



快乐大本·优秀教材辅导

KUAILE DABEN
YOUTIJIJIAOCAIFUDAO

电子线路(线性部分) 习题精解精练

(配谢嘉奎第四版教材·高教版)

主 编 李建军

- 课后习题 精析 精解
- 同步训练 勤学 勤练

XITI
JINGJIEJINGLIAN

哈尔滨工程大学出版社



电子线路(线性部分) 习题精解精练

(配谢嘉奎第四版教材·高教版)

主 编 李建军

XITI
JINGJIEJINGLIAN

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书是配合东南大学谢嘉奎教授主编的《电子线路(线性部分)》(第四版)教材而编写的辅导书。本书按教材的章节顺序编排,每章包括书后习题解析和同步训练题两部分内容,旨在帮助学生熟练掌握解题的基本方法和技巧,巩固所学的知识,开阔视野。

本书可作为高等学校学生学习电子线路的辅导书,也可供教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路(线性部分)习题精解精练/李建军主编.

哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2007.4

ISBN 978 - 7 - 81073 - 984 - 9

I . 电… II . 李… III . 电子电路 - 高等学校 - 解题
IV . TN710 - 44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 046898 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 肇东粮食印刷厂
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 8.5
字 数 178 千字
版 次 2007 年 4 月第 1 版
印 次 2007 年 4 月第 1 次印刷
定 价 12.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

本书是配合谢嘉奎教授主编的《电子线路(线性部分)》(第四版)编写的配套学习辅导书。

《电子线路》(第四版)是面向 21 世纪课程教材,2002 年荣获全国优秀教材一等奖,被列为普通高等教育“九五”国家教委重点教材。由于本课程内容多、概念强,对问题分析又常采用近似方法,这给初学者带来很大困难。为帮助读者提高分析问题、解决问题的能力,我们编写了这本辅导书。

为便于读者学习,本书在章节编排顺序上与教材完全相同。本书各章节内容主要包括书后习题解析和同步训练题两部分内容。

本书由李建军编写,对书中存在的错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2007 年 3 月

目 录

第 1 章 晶体二极管	1
书后习题解析	1
同步训练题	8
同步训练题答案	9
第 2 章 晶体三极管	11
书后习题解析	11
同步训练题	20
同步训练题答案	22
第 3 章 场效应管	26
书后习题解析	26
同步训练题	33
同步训练题答案	33
第 4 章 放大器基础	37
书后习题解析	37
同步训练题	81
同步训练题答案	85
第 5 章 放大器中的负反馈	90
书后习题解析	90
同步训练题	104
同步训练题答案	106
第 6 章 集成运算放大器及其应用电路	109
书后习题解析	109
同步训练题	126
同步训练题答案	128

第1章 晶体二极管

书后习题解析

1-1 一块本征锗半导体,掺入三价受主杂质硼,浓度为 $1.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$,试分别求出 $T = 300 \text{ K}$ (27°C)、 400 K (127°C) 时自由电子和空穴热平衡浓度值,并指出相应半导体类型。

解 当 $T = 300 \text{ K}$ 时, $n_i = 2.4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3} \ll N_a$, 因此 $p_0 \approx N_a = 1.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 。由 $n_0 p_0 = n_i^2$ 得 $n_0 = \frac{n_i^2}{p_0} = \frac{(2.4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3})^2}{1.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}} \approx 3.84 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 。由于 $p_0 \gg n_0$, 故为 P 型半导体。

当 $T = 400 \text{ K}$ 时, $n_i = AT^{\frac{3}{2}} e^{\frac{-E_g}{2kT}} = 1.76 \times 10^{16} \times 400^{\frac{3}{2}} \times e^{\frac{-0.785}{2 \times 8.63 \times 10^{-5} \times 400}} = 1.62 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 。由于 $n_i > N_a$, 因此 $p_0 = N_a + n_0$ 及 $n_0 p_0 = n_i^2$, 解得 $p_0 = 2.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $n_0 = 1.03 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 。由于 p_0 与 n_0 近似相等, 故为本征半导体。

1-2 一块本征硅半导体,掺入五价元素磷,浓度为 10^{14} cm^{-3} ,试分别求出 $T = 300 \text{ K}$ 、 500 K 时自由电子和空穴的热平衡浓度值,并指出相应半导体类型。

解 当 $T = 300 \text{ K}$ 时, $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3} \ll N_d$, 则 $n_0 \approx N_d = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 。

由 $n_0 p_0 = n_i^2$ 得 $p_0 = \frac{n_i^2}{n_0} = \frac{(1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3})^2}{10^{14} \text{ cm}^{-3}} \approx 2.25 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$ 。由于 $p_0 \ll n_0$, 故为 N 型半导体。

当 $T = 500 \text{ K}$ 时, $n_i = AT^{\frac{3}{2}} e^{\frac{-E_g}{2kT}} = 3.88 \times 10^{16} \times 500^{\frac{3}{2}} \times e^{\frac{-1.21}{2 \times 8.63 \times 10^{-5} \times 500}} = 3.49 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 。由于 n_i 与掺杂浓度 N_d 相近, 故为本征半导体。

1-3 在本征硅半导体中,掺入浓度为 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 的受主杂质,试指出 $T = 300 \text{ K}$ 时所形成的杂质类型。若再掺入浓度为 10^{16} cm^{-3} 的施主杂质,则将为何种类型半导体?若将该半导体温度分别上升到 $T = 500 \text{ K}$ 、 600 K ,试分析为何种类型半导体?

解 (1) $p_0 \approx N_a = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \gg n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, 故为 P 型半导体。

(2) 由于 $N_d > N_a$, 故为 N 型半导体。且多子 $n_0 = N_d - N_a = 10^{16} \text{ cm}^{-3} - 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 。

(3) 当 $T = 500 \text{ K}$ 时, $n_i = AT^{\frac{3}{2}} e^{\frac{-E_g}{2kT}} = 3.88 \times 10^{16} \times 500^{\frac{3}{2}} \times e^{\frac{-1.21}{2 \times 8.63 \times 10^{-5} \times 500}} = 3.49 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 。由于 $n_i < n_0$, 所以为 N 型半导体。当 $T = 600 \text{ K}$ 时, $n_i = AT^{\frac{3}{2}} e^{\frac{-E_g}{2kT}} = 3.88 \times 10^{16} \times 600^{\frac{3}{2}} \times e^{\frac{-1.21}{2 \times 8.63 \times 10^{-5} \times 600}} = 4.74 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \approx n_0$, 所以为本征半导体。

1-4 若在每 10^5 个硅原子中掺杂一个施主原子,试计算在 $T = 300 \text{ K}$ 时自由电子和空穴热平衡浓度值,掺杂前后半导体的电导率之比。

解 $T = 300 \text{ K}$ 时, $n_0 \approx N_d = (4.96 \times 10^{22}/10^5) \text{ cm}^{-3} = 4.96 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \gg n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 。由 $n_0 p_0 = n_i^2$ 得 $p_0 = \frac{n_i^2}{n_0} = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{4.96 \times 10^{17}} \approx 4.5 \times 10^2 \text{ cm}^{-3}$ 。

本征半导体电导率为 $\sigma_{\text{本}} = (\mu_n + \mu_p)n_i q = (1.5 + 0.6) \times 10^3 \times 1.5 \times 10^{10} \times 1.6 \times 10^{-19} = 5.04 \times 10^{-6} \text{ S/cm}$ 。

杂质半导体电导率为 $\sigma_{\text{杂}} \approx \mu_n n_0 q = 1.5 \times 10^3 \times 1.5 \times 10^{10} \times 1.6 \times 10^{-19} = 119 \text{ S/cm}$, 因此

$$\frac{\sigma_{\text{杂}}}{\sigma_{\text{本}}} = \frac{119 \text{ S/cm}}{5.04 \times 10^{-6} \text{ S/cm}} = 2.38 \times 10^7$$

1-5 有一N型硅棒,棒长 l 为 1 mm ,其左端边界处不断注入空穴,空穴浓度 $p(0)$ 为 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$,右端边界处的空穴浓度 $p(l)$ 为 $4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$,空穴的扩散系数 $D_p = 13 \text{ cm}^2/\text{s}$ 。设空穴浓度以线性规律由左端向右端扩散,试计算扩散电流密度 J_{pd} 。

解 由于 $\frac{dp(x)}{dx} = \frac{p(l) - p(0)}{l} = \frac{4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} - 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}}{0.1 \text{ cm}} = -1.6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-4}$, 则

$$J_{\text{pd}} = -qD_p \frac{dp(x)}{dx} = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 13 \text{ cm}^2/\text{s} \times (-1.6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-4}) = 33.3 \text{ mA/cm}^2$$

1-6 已知硅PN结两侧的杂质浓度分别为 $N_a = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $N_d = 1.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 。试求温度在 27°C 和 100°C 时的内建电位差 V_B , 并进行比较。

解 $T = 27^\circ\text{C}$ 时, $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, 则 $V_B \approx V_T \ln\left(\frac{N_a N_d}{n_i^2}\right) = 26 \text{ mV} \times \ln\left[\frac{10^{16} \text{ cm}^{-3} \times 1.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}}{(1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3})^2}\right] = 0.76 \text{ V}$ 。

$T = 100^\circ\text{C}$ 时, $n_i = 1.9 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$, 则 $V_B \approx V_T \ln\left(\frac{N_a N_d}{n_i^2}\right) = \frac{kT}{q} \cdot \ln\left(\frac{N_a N_d}{n_i^2}\right) = \frac{373}{0.6 \times 10^{-19}} \ln\left[\frac{10^{16} \times 1.5 \times 10^{17}}{(1.5 \times 10^{10})^2}\right] = 0.64 \text{ V}$, V_B 随温度升高而减小。

1-7 已知锗PN结的反向饱和电流为 10^{-8} A 。当外加电压 V 为 0.2 V 、 0.36 V 及 0.4 V 时, 试求室温下流过PN结的电流 I ? 由计算结果说明伏安特性的特点。

解 将 $V = 0.2 \text{ V}$ 、 0.36 V 、 0.4 V 代入 $I = I_s(e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$, 分别得 $21.91 \mu\text{A}$ 、 10.3 mA 、 48 mA 。

由计算结果说明, 当外加电压 V 大于锗管导通电压 0.2 V 后, 电压 V 的微小增大, 就会引起电流的显著增大。

1-8 已知硅和锗PN结的反向饱和电流分别为 10^{-14} A 和 10^{-8} A 。若外加电压为 -0.1 V 、 0 V 、 0.25 V 、 0.45 V 、 0.65 V 时, 试求室温下各电流 I , 并指出电压增加 0.2 V 时, 电流增加的倍数。

解 计算硅管电流 I 时, 将反向饱和电流 10^{-14} A 代入 $I = I_s(e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$ 。当外加电压 $V = -0.1 \text{ V}$ 、 0 V 、 0.25 V 、 0.45 V 、 0.65 V 时, 所求电流 I 分别为: $-9.79 \times 10^{-3} \text{ pA}$ 、 0 A 、 $1.5 \times 10^2 \text{ pA}$ 、 $0.33 \mu\text{A}$ 、 0.72 mA 。

计算锗管电流 I 时, 将反向饱和电流 10^{-8} A 代入 $I = I_s(e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$, 当外加电压 $V = -0.1 \text{ V}$ 、 0 V 、 0.25 V 、 0.45 V 、 0.65 V 时, 所求电流 I 分别为: $-9.79 \times 10^{-3} \mu\text{A}$ 、 0 A 、 $1.5 \times 10^2 \mu\text{A}$ 、 0.33 A 、 720 A 。

当电压增加 0.2 V 时, 电流约增加 $e^{\frac{200}{26}} \approx 2191$ 倍。

1-9 在室温时锗二极管和硅二极管的反向饱和电流分别为 $1 \mu\text{A}$ 和 0.5 pA , 若两个二极

管均通过 1 mA 的正向电流,试求它们的管压降分别为多少。

解 由公式 $I = I_S(e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$ 得 $V \approx V_T \ln\left(\frac{I}{I_S} + 1\right)$, 则

$$V_{\text{硅}} = V_T \ln\left(\frac{I}{I_S} + 1\right) = 26\text{mV} \times \ln\left(\frac{1\text{mA}}{0.5\text{pA}} + 1\right) = 0.55\text{V}$$

$$V_{\text{锗}} = V_T \ln\left(\frac{I}{I_S} + 1\right) = 26\text{mV} \times \ln\left(\frac{1\text{mA}}{1\mu\text{A}} + 1\right) = 0.18\text{V}$$

1-10 两个硅二极管在室温时反向饱和电流分别为 $2 \times 10^{-12}\text{A}$ 和 $2 \times 10^{-15}\text{A}$, 若定义二极管电流 $I = 0.1\text{mA}$ 时所需施加的电压为导通电压, 试求各 $V_{D(\text{on})}$ 。若 I 增加到 10 倍, 试问 $V_{D(\text{on})}$ 增加多少伏。

解 由 $I = I_S(e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$ 得 $V = V_T \ln\left(\frac{I}{I_S} + 1\right)$, 将 $I_S = 2 \times 10^{-12}\text{A}$ 和 $I_S = 2 \times 10^{-15}\text{A}$ 代入前式, 分别得 $V_{D(\text{on})} = 461\text{mV}$ 和 640mV 。

$$V_{D(\text{on})2} - V_{D(\text{on})1} = 2.3 V_T \lg\left(\frac{I_2}{I_1}\right) = 2.3 \times 26\text{mV} = 60\text{mV}$$

1-11 已知 $I_S(27^\circ\text{C}) = 10^{-9}\text{A}$, 试求温度为 -10°C 、 47°C 和 60°C 时的 I_S 值。

解 将 $T = -10^\circ\text{C}$ 、 47°C 、 60°C 分别代入 $I_S(t_2) = I_S(t_1) \times 2^{\frac{t_2 - t_1}{10}}$, 从而分别得到 $I_S = 77\text{pA}$ 、 4nA 、 9.85nA 。

1-12 一晶体二极管, 已知 $T = 300\text{K}$ 时, $I_S = 2 \times 10^{-16}\text{A}$, $r_s = 10\Omega$, $n \approx 1$, 试求: (1) $I_{D1} = 1\text{mA}$ 时的正向电压 V_{D1} ; (2) $I_{D2} = 0.1\text{mA}$ 时的正向电压 V_{D2} ; (3) 相应于 $\frac{I_{D1}}{I_{D2}} = 10$ 时的 $\frac{V_{D1}}{V_{D2}}$ 值, 并进行分析。

解 利用公式 $V_D = I_D r_s + n V_T \ln\left(1 + \frac{I_D}{I_S}\right)$ 进行计算。

(1) 当 $I_{D1} = 1\text{mA}$ 时, $V_{D1} = I_{D1} r_s + n V_T \ln\left(1 + \frac{I_{D1}}{I_S}\right) = 1\text{mA} \times 10\Omega + n \cdot 26\text{mV} \ln\left(1 + \frac{1\text{mA}}{2 \times 10^{-16}\text{A}}\right) = 770.25\text{mV}$;

(2) 当 $I_{D2} = 0.1\text{mA}$ 时, $V_{D2} = I_{D2} r_s + n V_T \ln\left(1 + \frac{I_{D2}}{I_S}\right) = 0.1\text{mA} \times 10\Omega + n \cdot 26\text{mV} \ln\left(1 + \frac{0.1\text{mA}}{2 \times 10^{-16}\text{A}}\right) = 701.39\text{mV}$;

(3) 当 $\frac{I_{D1}}{I_{D2}} = 10$ 时, $\frac{V_{D1}}{V_{D2}} = \frac{770.25\text{mV}}{701.39\text{mV}} \approx 1.1$ 。

1-13 设二极管为理想的, 试判断图 1-1 电路中, 各二极管是否导通, 并求 V_{A0} 值。

解 图 1-1(a) 中, 假设 D 开路, 则 D 两端电压为 $V_D = V_1 - V_2 = -6\text{V} - 12\text{V} = -18\text{V} < 0$, 所以 D 截止。此时 $V_{A0} = 12\text{V}$ 。

图 1-1(b) 中, 假设 D 开路, 则 D 两端电压为 $V_D = V_1 - V_2 = 15\text{V} - 12\text{V} = 3\text{V} > 0$, 所以 D 导通。此时 $V_{A0} = 15\text{V}$ 。

图 1-1(c) 中, 假设 D_1 、 D_2 全部开路, 则:

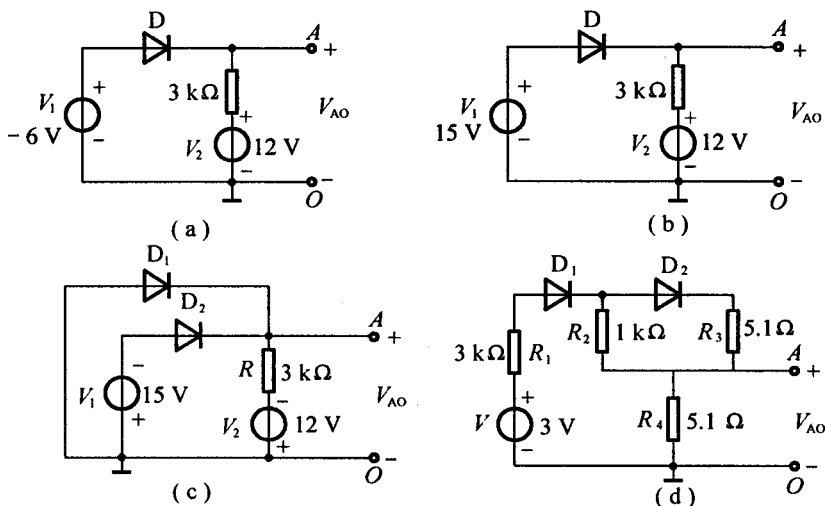


图 1-1

D_1 两端电压 $V_{D1} = 0 - V_2 = 0 - (-12 \text{ V}) = 12 \text{ V} > 0$

D_2 两端电压 $V_{D2} = V_1 - V_2 = -15 \text{ V} - (-12 \text{ V}) = -3 \text{ V} < 0$

所以 D_1 导通, D_2 截止。此时 $V_{AO} = 0 \text{ V}$ 。

图 1-1(d) 中, 显然 D_1 、 D_2 均导通, 故

$$V_{AO} = \frac{V \times R_4}{R_1 + R_2 \parallel R_3 + R_4} = \frac{3 \text{ V} \times 5.1 \Omega}{3 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega \parallel 5.1 \Omega + 5.1 \Omega} \approx 50 \text{ mV}$$

1-14 晶体二极管的伏安特性用理想指数模型表示, 当 $V = V_Q + \Delta V$, 并用泰勒级数在 Q 点上对 ΔV 展开。若认为 ΔV 的二次方项比一次方项小十分之一以上时, 二次方及其以上各项可忽略。试求 $|\Delta V|$ 的最大允许值。

$$\begin{aligned} \text{解} \quad I &\approx I_S e^{\frac{V}{V_T}} = I_S e^{\frac{V_Q + \Delta V}{V_T}} = I_Q e^{\frac{\Delta V}{V_T}} \\ &= I_Q \left[1 + \frac{\Delta V}{V_T} + \frac{1}{2!} \left(\frac{\Delta V}{V_T} \right)^2 + \frac{1}{3!} \left(\frac{\Delta V}{V_T} \right)^3 + \dots \right] \end{aligned}$$

$$\text{根据题意应满足} \quad \frac{1}{2!} \cdot \frac{I_Q}{V_T^2} \Delta V^2 \leq \frac{1}{10} \cdot \frac{I_Q}{V_T} \Delta V$$

$$\text{解得} \quad |\Delta V| \leq 5.2 \text{ mV}$$

1-15 试用图解法求图 1-2(a) 所示电路中二极管的 V_Q 、 I_Q 。设 R_L 分别为 $1 \text{ k}\Omega$ 、 $2 \text{ k}\Omega$ 、 $5.1 \text{ k}\Omega$, 二极管特性如图 1-2(b) 所示。

解 利用戴维宁定理将图 1-2(a) 等效为图 1-3 所示, 其中 $R_T = R_1 \parallel R_2 = 1 \text{ k}\Omega \parallel 200 \Omega = 167 \Omega$, $V_T = \frac{R_2 V}{R_1 + R_2} = \frac{200 \Omega \times 5 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega + 200 \Omega} = 833 \text{ mV}$ 。

因此, 直流负载线方程为

$$V = V_T - I(R_T + R_L)$$

当 R_L 分别为 $1 \text{ k}\Omega$ 、 $2 \text{ k}\Omega$ 、 $5.1 \text{ k}\Omega$ 时, 分别将直流负载画在图 1-2(b) 中, 得 $Q_1(I_{Q1} =$

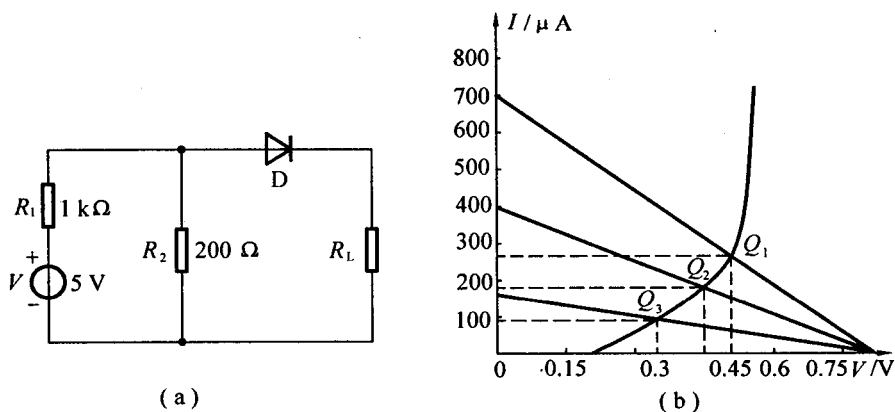


图 1-2

$270 \mu\text{A}$, $V_{Q_1} = 0.52 \text{ V}$)、 $Q_2(I_{Q_2} = 180 \mu\text{A}$, $V_{Q_2} = 0.44 \text{ V}$)、 $Q_3(I_{Q_3} = 85 \mu\text{A}$, $V_{Q_3} = 0.38 \text{ V}$)。

1-16 图 1-4 所示电路中的二极管为理想的, 试画出输出电压 v_o 的波形。设 $v_i = 6\sin\omega t \text{ V}$ 。

解 根据输入信号, 分段讨论二极管的导通与截止。

图 1-4(a) 中, 当 $-2 \text{ V} < v_i < 5 \text{ V}$ 时, D_1 截止、 D_2 截止, $v_o = v_i$; 当 $v_i \geq 5 \text{ V}$ 时, D_2 导通、 D_1 截止, $v_o = 5 \text{ V}$; 当 $v_i \leq -2 \text{ V}$ 时, D_1 导通、 D_2 截止, $v_o = -2 \text{ V}$ 。

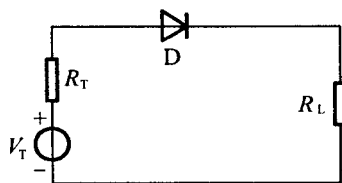


图 1-3

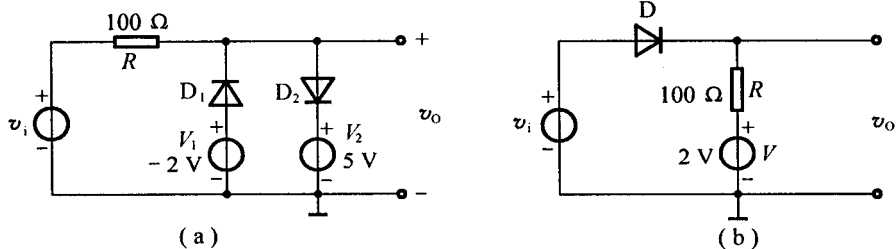


图 1-4

由此可画出输出电压 v_o 的波形如图 1-5(a) 所示。

图 1-4(b) 中, 当 $v_i > 2 \text{ V}$ 时, D 导通, $v_o = v_i$; 当 $v_i \leq 2 \text{ V}$ 时, D 截止, $v_o = 2 \text{ V}$ 。

由此可画出输出电压 v_o 的波形如图 1-5(b) 所示。

1-17 在图 1-6 所示电路中, 已知二极管参数 $V_{D(\text{on})} = 0.25 \text{ V}$, $R_D = 7 \Omega$, $r_S = 2 \Omega$, $V_{DD} = 1 \text{ V}$, $v_S = 20\sin\omega t \text{ mV}$, 试求通过二极管的电流 $i_D = I_{DQ} + i_d$ 。

解 令 $v_S = 0$, 则

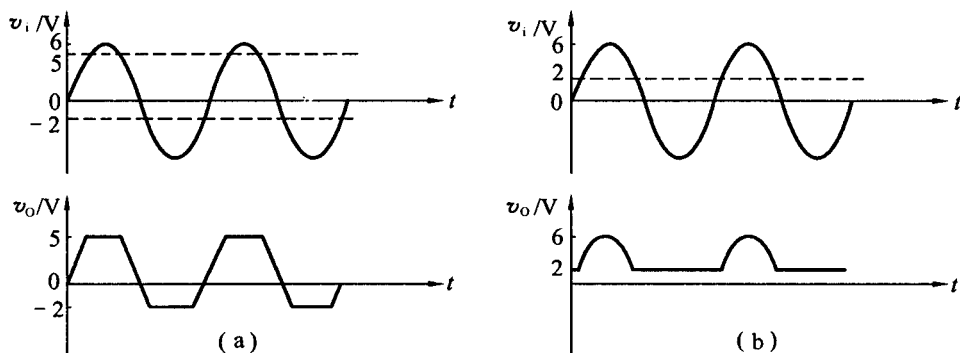


图 1-5

$$I_{DQ} = \frac{V_{DD} - V_{D(on)}}{R_L + R_D} = \frac{1 \text{ V} - 0.25 \text{ V}}{50 \Omega + 7 \Omega} = 0.01316 \text{ A} = 13.16 \text{ mA}$$

令 $V_{DD} = 0$, 由于 $r_j = \frac{V_T}{I_{DQ}} = \frac{26 \text{ mV}}{13.16 \text{ mA}} \approx 2 \Omega$, 则 $I_{dm} = \frac{V_{sm}}{r_s + r_j + R_L} = \frac{20 \text{ mV}}{2 \Omega + 2 \Omega + 50 \Omega} \approx 0.370 \text{ mA} = 370 \mu\text{A}$, 因此 $i_D = (13.16 + 0.37 \sin \omega t) \text{ mA}$ 。

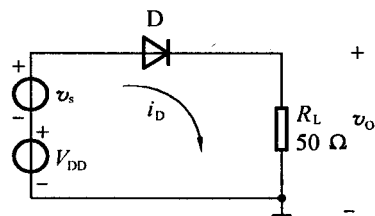


图 1-6

1-18 二极管电路如图 1-7 所示, 设 $V_{D(on)} = 0.7 \text{ V}$, $R_D = 0 \text{ V}$, $r_s = 5 \Omega$, $v_s = 10 \sin \omega t \text{ mV}$, 试求: (1) 图 1-7(a) 中 V 、 I 值; (2) 图 1-7(b) 中 C 对交流信号呈短路, $R = 50 \Omega$, $I_D = 1 \text{ mA}$ 、 0.1 mA 时相应的 v_o 值。

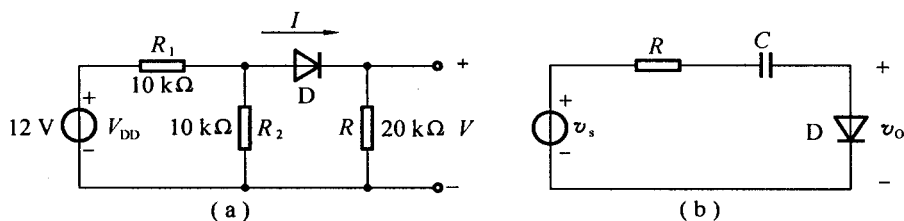


图 1-7

解 (1) 由图 1-7(a) 得

$$I = \frac{\frac{R_2 V_{DD}}{R_1 + R_2} - V_{D(on)}}{R_1 // R_2 + R} = \frac{\frac{10 \text{ k}\Omega \times 12 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} - 0.7 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega // 10 \text{ k}\Omega + 20 \text{ k}\Omega} = 0.212 \text{ mA} = 212 \mu\text{A}$$

$$V = IR = 212 \mu\text{A} \times 20 \text{ k}\Omega = 4.24 \text{ V}$$

(2) 由图 1-7(b) 得 $r_j = \frac{V_T}{I_D}$, $v_o = \frac{r_s + r_j}{r_s + r_j + R} v_s$ 。

当 $I_D = 1 \text{ mA}$ 时, $r_j = \frac{V_T}{I_D} = \frac{26 \text{ mV}}{1 \text{ mA}} = 26 \Omega$, $v_o = \frac{r_s + r_j}{r_s + r_j + R} v_s = \frac{5 + 26}{5 + 26 + 50} \Omega \times$

$$10\sin\omega t \text{ mV} = 3.38\sin\omega t \text{ mV};$$

$$\text{当 } I_D = 0.1 \text{ mA 时, } r_j = \frac{V_T}{I_D} = \frac{26 \text{ mV}}{0.1 \text{ mA}} = 260 \Omega, v_o = \frac{r_s + r_j}{r_s + r_j + R} v_s = \frac{5 + 260}{5 + 260 + 50} \Omega \times$$

$$10\sin\omega t \text{ mV} = 8.41\sin\omega t \text{ mV}.$$

1-19 在图1-8所示稳压电路中,要求输出稳定电压为7.5 V,已知输入电压 V_1 在15 V到25 V范围内变化,负载电流 I_L 在0到15 mA范围内变化,稳压管参数为 $I_{Z\max} = 50 \text{ mA}$, $I_{Z\min} = 5 \text{ mA}$, $V_Z = 7.5 \text{ V}$, $r_z = 10 \Omega$ 试求所需 R 值,并分别计算 V_1 和 V_L 在规定范围内变化时输出电压的变化值 ΔV_{O1} 和 ΔV_{O2} 。

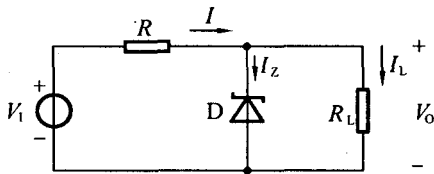


图1-8

解 为保证稳压管安全工作,限流电阻 R 的最小值应是在负载电流 I_L 为0,即负载开路,输入电压最大、稳压管上电流最大时的数值

$$R_{\min} = \frac{V_{1\max} - V_Z}{I_{Z\max}} = \frac{25 \text{ V} - 7.5 \text{ V}}{50 \text{ mA}} = 0.35 \text{ k}\Omega$$

为保证稳压管工作在稳压状态,限流电阻 R 上电流应大于 $I_{Z\min}$,稳压管电压 $V_Z = 7.5 \text{ V}$ 。因此

$$R_{\max} = \frac{V_{1\max} - V_Z}{I_{Z\min}} = \frac{25 \text{ V} - 7.5 \text{ V}}{5 \text{ mA}} = 3.5 \text{ k}\Omega$$

所以,限流电阻取值范围为 $0.35 \text{ k}\Omega \leq R < 3.5 \text{ k}\Omega$

当 V_1 变化,且 $\Delta V_1 = \pm \frac{1}{2} \times (25 - 15) \text{ V} = \pm 5 \text{ V}$, $r_z \leq R_L$ 时,输出电压的变化量

$$\Delta V_{O1} = \Delta V_1 \times \frac{R_L // r_z}{R + R_L // r_z} \approx \pm 5 \text{ V} \times \frac{10}{350 + 10} = \pm 139 \text{ mV}$$

当只有 I_L 变化,且 $\Delta I_L = \pm \frac{15 - 0}{2} \text{ mA} = \pm 7.5 \text{ mA}$ 时,输出电压的变化量

$$\Delta V_{O2} = \Delta I_L \cdot (R // r_z) = \pm 7.5 \text{ mA} \times \frac{350 \times 10}{350 + 10} \Omega = \pm 73 \text{ mV}$$

可见,输入电压或负载电流变化很大时,电路起到了稳压作用。

1-20 图1-9(a)所示为双向限幅电路,已知二极管参数 $V_{D(\text{on})} = 0.7 \text{ V}$, $R_D = 100 \Omega$,试:(1)画出 $(V_O - V_1)$ 限幅特性曲线;(2)若 $v_1 = V_m \sin\omega t$, $V_m = 5 \text{ V}$,画出 v_o 的波形。

解 (1)依题意,双限幅特性曲线如图1-9(b)所示。

(2)根据题给条件:

当 $-3.7 \text{ V} < v_1 < 3.7 \text{ V}$ 时, D_1 、 D_2 均截止,此时 $v_o = v_1$ 。当 $v_1 \geq 3.7 \text{ V}$ 时, D_1 截止, D_2 导通,此时 $v_o = \frac{v_1 - 3.7}{R + R_D} R_D + 3.7$ 。

当 $v_1 \leq -3.7 \text{ V}$ 时, D_1 导通, D_2 截止,此时 $v_o = \frac{v_1 + 3.7}{R + R_D} R_D - 3.7$ 。

其中,在 $V_{1m} = \pm 5 \text{ V}$ 时, $V_{Om} = \pm 3.725 \text{ V}$ 。所以, v_{o1} 波形,如图1-9(c)所示。

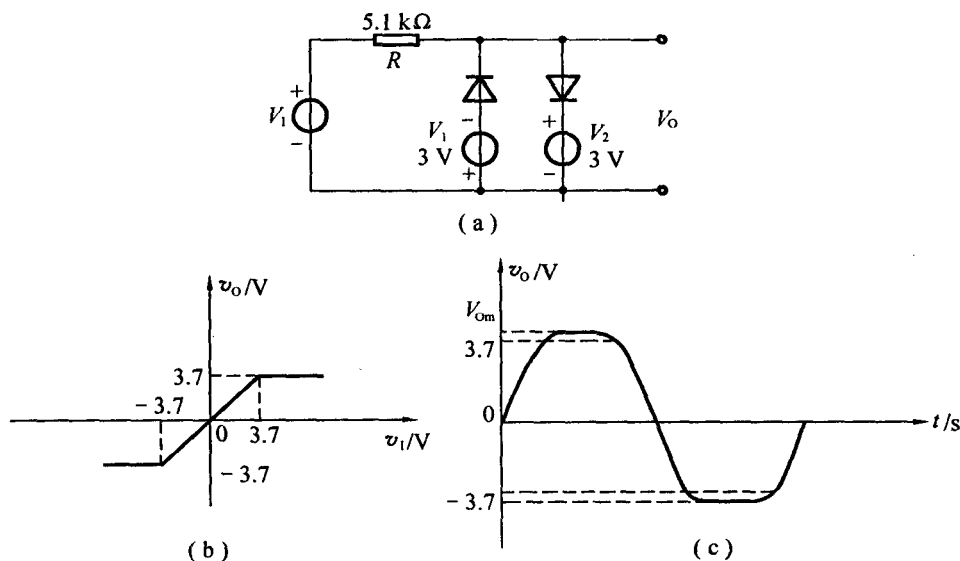


图 1-9

同步训练题

1. 电路如图 1-10(a) 所示, 已知 $v_i = 5\sin\omega t \text{ V}$, 二极管导通电压 $V_{D(\infty)} = 0.7 \text{ V}$ 。试画出 v_i 与 v_o 的波形, 并标出幅值。

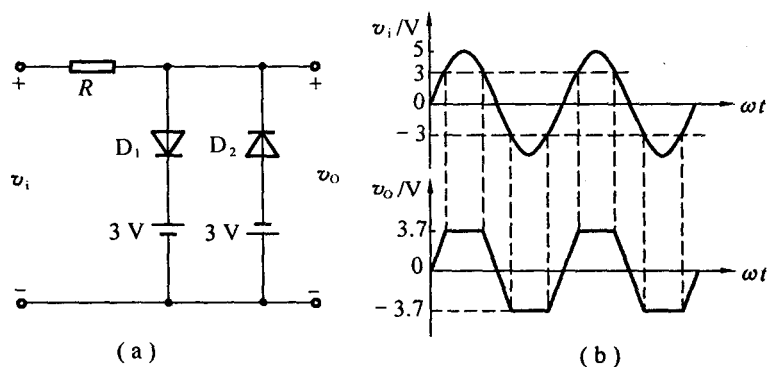


图 1-10

2. 电路如图 1-11(a) 所示, 其输入电压 v_{i1} 和 v_{i2} 的波形如图 1-11(b) 所示, 二极管导通电压 $V_{D(\infty)} = 0.7 \text{ V}$ 。试画出输出电压 v_o 的波形, 并标出幅值。

3. 电路如图 1-12 所示, 二极管导通电压 $V_{D(\infty)} = 0.7 \text{ V}$, 常温下 $V_T \approx 26 \text{ mV}$, 电容 C 对交流信号可视为短路, v_i 为正弦波, 有效值为 10 mV 。

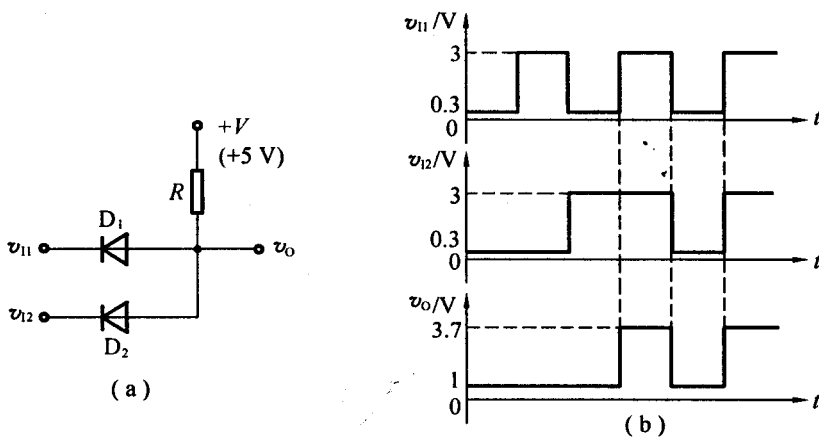


图 1-11

试问:二极管中流过的交流电流有效值为多少?

4. 已知稳压管的稳定电压 $V_Z = 6\text{ V}$, 稳定电流的最小值 $I_{Z\min} = 5\text{ mA}$, 最大功耗 $P_{Z\max} = 150\text{ mW}$ 。试求图 1-13 所示电路中电阻 R 的取值范围。

5. 已知图 1-14 所示电路中稳压管的稳定电压 $V_Z = 6\text{ V}$, 最小稳定电流 $I_{Z\min} = 5\text{ mA}$, 最大稳定电流 $I_{Z\max} = 25\text{ mA}$ 。(1) 分别计算 V_i 为 10 V 、 15 V 、 35 V 三种情况下输出电压 V_o 的值;(2) 若 $V_i = 35\text{ V}$ 时负载开路, 则会出现什么现象, 为什么?

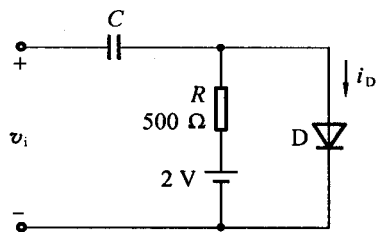


图 1-12

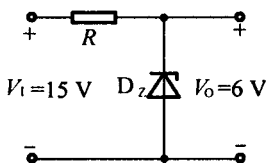


图 1-13

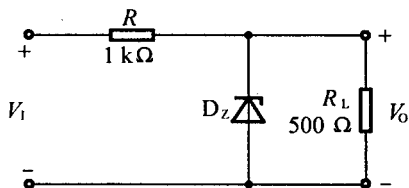


图 1-14

同步训练题答案

1. 解 波形如图 1-10(b) 所示。

2. 解 v_o 的波形如图 1-11(b) 所示。

3. 解 二极管的直流电流为 $I_D = \frac{V - V_{D(on)}}{R} = \frac{2\text{ V} - 0.7\text{ V}}{500\text{ }\Omega} = 2.6\text{ mA}$, 其动态电阻为 $r_D \approx \frac{V_T}{I_D} = 10\text{ }\Omega$, 故动态电流有效值为 $I_d = \frac{V_i}{r_D} = \frac{10\text{ mV}}{10\text{ }\Omega} \approx 1\text{ mA}$ 。

4. 解 稳压管的最大稳定电流 $I_{Z\max} = \frac{P_{Z\max}}{V_Z} = \frac{150 \text{ mW}}{6 \text{ V}} = 25 \text{ mA}$, 电阻 R 的电流为 $I_{Z\max} \sim I_{Z\min}$, $R_{\max} = \frac{V_1 - V_Z}{I_{Z\min}} = \frac{15 \text{ V} - 6 \text{ V}}{5 \text{ mA}} = 1.8 \text{ k}\Omega$, $R_{\min} = \frac{V_1 - V_Z}{I_{Z\max}} = \frac{15 \text{ V} - 6 \text{ V}}{25 \text{ mA}} = 0.36 \text{ k}\Omega$, 所以其取值范围为 $R = 0.36 \sim 1.8 \text{ k}\Omega$ 。

5. 解 (1) 若 $V_0 = V_Z = 6 \text{ V}$, 则稳压管的电流为 $5 \sim 25 \text{ mA}$, $I_L = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{6 \text{ V}}{500 \Omega} = 12 \text{ mA}$, $I_R = I_L + I_Z = 17 \sim 37 \text{ mA}$, $17 \text{ V} < V_1 < 37 \text{ V}$ 。

当 $V_1 = 10 \text{ V}$ 时, 小于其最小稳定电流, 所以稳压管未击穿。故

$$V_0 = \frac{R_L}{R + R_L} \cdot V_1 = \frac{500 \Omega}{1 \times 10^3 \Omega + 500 \Omega} \times 10 \text{ V} \approx 3.33 \text{ V}$$

当 $V_1 = 15 \text{ V}$ 时, 稳压管中的电流小于最小稳定电流 $I_{Z\min}$, 所以

$$V_0 = \frac{R_L}{R + R_L} \cdot V_1 = \frac{500 \Omega}{1000 \Omega + 500 \Omega} \times 15 \text{ V} \approx 5 \text{ V}$$

当 $V_1 = 35 \text{ V}$ 时, $V_0 = V_Z = 6 \text{ V}$ 。

(2) $I_{DZ} = \frac{V_1 - V_Z}{R} = \frac{35 \text{ V} - 6 \text{ V}}{1000 \Omega} = 29 \text{ mA} > I_{Z\max} = 25 \text{ mA}$, 稳压管将因功耗过大而损坏。

第2章 晶体三极管

书后习题解析

2-1 试画出 PNP 型晶体三极管在放大模式下内部载流子传输过程的示意图。

解 放大模式下 PNP 管内部载流子传输过程的示意图如图 2-1 所示。

图中 $I_E = I_{Ep} + I_{En}$, $I_C = I_{Cp} + I_{CBo}$, $I_B = I_{En} + (I_{Ep} - I_{Cp}) - I_{CBo}$, 由于 I_{En} 与 I_{CBo} 很小, 因此 I_B 中的主要部分就是复合电流部分。

2-2 试指出如何使用三用电表电阻挡判别双极型晶体管的三个电极和类型。

答 三用电表有模拟三用电表与数字三用电表之分, 现以模拟三用电表为例来说明。

(1) 判断基极

无论 NPN 型还是 PNP 型, 它的基极相对于发射极和集电极来说就是一个 PN 结, 根据这一特点就可以方便地判断出管子的基极。先将三用电表置于电阻挡, 然后用一只表笔与任一假定基极相接, 另一表笔分别与其他两个电极接触。若两次测得的阻值都很大或很小, 则该假定的电极为基极。否则, 另假定一个基极, 重新测量。

(2) 判断 NPN 型或 PNP 型

用红表笔接三极管基极, 黑表笔与其他任一电极相接。若呈现的阻值都很小, 则为 PNP 型管; 反之为 NPN 型管。

(3) 判断集电极与发射极(以 NPN 型管为例)

首先假定基极以外的任一电极为集电极, 并将基极与黑表笔相接, 再将红表笔与假定的发射极相接。用一只手的拇指与中指捏住基极, 同时用这只手的食指去接触假定的集电极, 并观察接触前后指针的摆动情况; 将上述假定的集电极与发射极反过来重新测试一遍, 观察两次测试中哪一次的指针摆动大。摆动大的相当于管子正向运用, 此时黑表笔所接的为集电极, 红表笔所接的为发射极。

PNP 管测试方法与上述方法相同, 但结论相反, 即指针摆动较大时, 红表笔接集电极。

2-3 测得某型号晶体管的 $\bar{\beta}$ 值范围为 50 ~ 150, 试求 $\bar{\alpha}$ 值的范围。

解 $\bar{\alpha}_1 = \frac{\bar{\beta}_1}{(1 + \bar{\beta}_1)} = \frac{50}{1 + 50} = 0.98$, $\bar{\alpha}_2 = \frac{\bar{\beta}_2}{(1 + \bar{\beta}_2)} = \frac{150}{1 + 150} = 0.993$, 所以得 $\bar{\alpha}$ 值的范围为 0.98 ~ 0.993。

2-4 两个晶体三极管的 $\bar{\alpha}$ 值分别为 0.99、0.985, 试求各管的 $\bar{\beta}$ 值。若每管的集电极电流

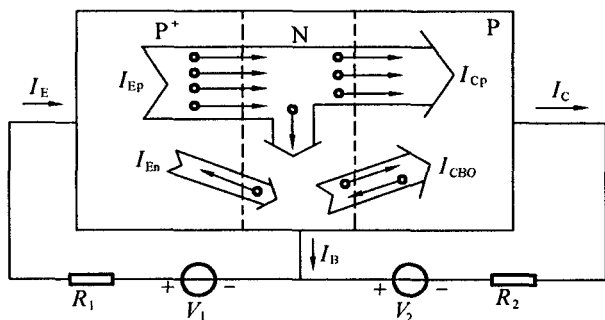


图 2-1

均为 10 mA, I_{CBO} 忽略不计, 试求各管的 I_B 值。

解 当 $\bar{\alpha} = 0.99$ 时

$$\bar{\beta} = \frac{\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} = \frac{0.99}{1 - 0.99} = 99, I_B = \frac{I_C}{\bar{\beta}} = \frac{10 \text{ mA}}{99} = 100 \mu\text{A}$$

当 $\bar{\alpha} = 0.985$ 时

$$\bar{\beta} = \frac{\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} = \frac{0.985}{1 - 0.985} = 66, I_B = \frac{I_C}{\bar{\beta}} = \frac{10 \text{ mA}}{66} = 152 \mu\text{A}$$

2-5 — NPN 型硅晶体三极管, 已知 $I_{CBO} = 5 \text{ pA}$, $I_B = 14.5 \mu\text{A}$, $I_C = 1.45 \text{ mA}$, 设 $V_{BE(ON)} = 0.7 \text{ V}$, 试求 $\bar{\alpha}$ 、 $\bar{\beta}$ 、 I_S 、 I_{CEO} 。

$$\text{解 } \bar{\beta} = \frac{I_C - I_{CBO}}{I_B + I_{CBO}} \approx \frac{I_C}{I_B} = \frac{1.45 \text{ mA}}{14.5 \mu\text{A}} = 100, \bar{\alpha} = \frac{\bar{\beta}}{1 + \bar{\beta}} = \frac{100}{1 + 100} = 0.99$$

由 $I_C \approx I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$, $V_T = 26 \text{ mV}$ 得

$$I_S = \frac{I_C}{\frac{V_{BE}}{e V_T}} = \frac{1.45 \mu\text{A}}{\frac{0.7 \text{ V}}{e^{26 \text{ mV}}}} = 2.94 \times 10^{-15} \text{ A}$$

$$I_{CEO} = (1 + \bar{\beta}) I_{CBO} = (1 + 100) \times 5 \text{ pA} = 505 \text{ pA}$$

2-6 在 NPN 型晶体三极管中, 发射结加正偏, 集电结加反偏。已知 $I_S \approx 4.5 \times 10^{-15} \text{ A}$, $\bar{\alpha} = 0.98$, I_{CBO} 忽略不计。试求室温时 $V_{BE} = 0.65 \text{ V}$ 、 0.7 V 、 0.75 V 的 I_E 、 I_C 和 I_B 值, 并分析比较。

解 室温时取 $V_T = 26 \text{ mV}$, 当 $V_{BE} = 0.65 \text{ V}$ 时

$$I_C \approx I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} = 4.5 \times 10^{-15} \text{ A} \cdot e^{\frac{0.65 \text{ V}}{26 \text{ mV}}} = 324 \mu\text{A}, I_E = \frac{I_C}{\bar{\alpha}} = \frac{324 \mu\text{A}}{0.98} = 331 \mu\text{A}$$

$$I_B = I_E - I_C = 331 \mu\text{A} - 324 \mu\text{A} = 7 \mu\text{A}$$

当 $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ 时

$$I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} = 4.5 \times 10^{-15} \text{ A} \cdot e^{\frac{0.7 \text{ V}}{26 \text{ mV}}} = 2.22 \text{ mA}$$

$$I_E = \frac{I_C}{\bar{\alpha}} = \frac{2.22 \text{ mA}}{0.98} = 2.27 \text{ mA}, I_B = I_E - I_C = 2.27 \text{ mA} - 2.22 \text{ mA} = 50 \mu\text{A}$$

当 $V_{BE} = 0.75 \text{ V}$ 时

$$I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} = 4.5 \times 10^{-15} \text{ A} \cdot e^{\frac{0.75 \text{ V}}{26 \text{ mV}}} = 15.17 \text{ mA}$$

$$I_E = \frac{I_C}{\bar{\alpha}} = \frac{15.17 \text{ mA}}{0.98} = 15.48 \text{ mA}, I_B = I_E - I_C = 15.48 \text{ mA} - 15.17 \text{ mA} = 310 \mu\text{A}$$

2-7 — NPN 型晶体三极管, 已知温度为 300°C 时 $\bar{\beta} = 150$, 50°C 时 $\bar{\beta} = 180$, 试计算在此温度变化范围内, $\bar{\beta}$ 和 $\bar{\alpha}$ 的相对变化率(相当于 30°C)。

$$\text{解 } \frac{\Delta \bar{\beta}}{\bar{\beta}} = \frac{\bar{\beta}_2 - \bar{\beta}_1}{\bar{\beta}_1} = \frac{180 - 150}{150} = 20\%$$

$$\bar{\alpha}_1 = \frac{\bar{\beta}_1}{(1 + \bar{\beta}_1)} = \frac{150}{1 + 150} = 0.9934, \bar{\alpha}_2 = \frac{\bar{\beta}_2}{(1 + \bar{\beta}_2)} = \frac{180}{1 + 180} = 0.9945$$

$$\frac{\Delta \bar{\alpha}}{\bar{\alpha}} = \frac{(\bar{\alpha}_2 - \bar{\alpha}_1)}{\bar{\alpha}_1} = \frac{0.9945 - 0.9934}{0.9934} \approx 0.11\%$$

2-8 已知某晶体三极管在室温(27°C)下的 $\bar{\beta} = 50$, $V_{BE(ON)} = 0.2 \text{ V}$, $I_{CBO} = 10^{-8} \text{ A}$, 当温