

科学版

高等院校电子信息类学习指导丛书

模拟电子线路

习题精解

宋文涛 王汝君 编
钱秀珍 华南盾

- ◆ 课程学习与考研复习的理想读物
- ◆ 通过典型例题教授解题技巧
- ◆ 习题中收录了研究生入学试题



科学出版社

www.sciencep.com

TN710-44

7

高等院校电子信息类学习指导丛书

模拟电子线路习题精解

宋文涛 王汝君 编
钱秀珍 华南盾

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是依据高等学校《工科本科基础课程教学基本要求(1995年修订版)》的“电子线路(I)、(II)课程教学基本要求”、“电子线路(I)、(II)实验教学基本要求”编写的。内容包含半导体器件与模型、基本放大电路、高频放大电路、正弦波振荡、频率变换、反馈与控制、基本电子测量仪器、半导体器件与电路参数测量等19章。每章列出重点与难点,有例题精选、习题及答案。总计例题精选234道,习题492道。

本书可供电子信息工程、电子科学与技术等专业本科教学使用;电视大学、函授大学、职业大学、业余大学和自学考试等同类专业可选用;亦可供电气自动化、计算机等专业学生和从事信息工程工作的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子线路习题精解/宋文涛等编. —北京:科学出版社,2002

(高等院校电子信息类学习指导丛书)

ISBN 7-03-010744-6

I. 模… II. 宋… III. 模拟电路-电子技术-高等学校-解题
IV. TN710-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 065804 号

责任编辑:马长芳/责任校对:钟 洋

责任印制:刘秀平/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年1月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2003年1月第一次印刷 印张: 30 1/2

印数: 1—5 000 字数: 607 000

定价: 34.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

电子线路课程是电子信息类专业的主要技术基础课,是培养学生掌握“硬件能力”的关键课程之一,课程内容具有概念多、电路类型多和分析方法多等特点。为了帮助学生在学中更好地掌握电子线路各部分的基本工作原理、典型电路的基本分析方法和基本计算方法,提高分析问题和解决问题的能力,特编写本书。

本书以 1995 年国家教育委员会高校工科电工课程教学指导委员会(电子线路小组)修订的《电子线路(Ⅰ)、(Ⅱ)课程教学基本要求》、《电子线路(Ⅰ)、(Ⅱ)实验教学基本要求》为依据。编者曾参加上述教学基本要求的制订与修订,主编《电子线路试题集》(高等教育出版社,1989 年)、《电子线路试题集题解》(东南大学出版社,1990 年),于 1994~1998 年负责“九五”国家重点科技攻关项目 02 专题子专题“电子线路试题库”的研制工作,积累了大量的资料。以此为基础,结合多年的教学实践,考虑了近年课程内容的发展,完成本书的编写。

在编写过程中,考虑到便于学生掌握要点,分清主次,每章均列出重点与难点,选题注意内容合理布局,题目有难有易;在编写例题的精解时,注意突出物理概念和明确解题思路;习题的答案中,对于有一定难度者,不是简单地给出答案的结果,而是给出提示或说明,便于理解。

全书内容包含半导体器件与模型、基本放大电路、高频放大、正弦波振荡、频率变换、反馈与控制、基本电子测量仪器、半导体器件与电路参数的测量等 19 章。第 1~3,6,12 章由王汝君编写;第 4,5,7~9,13~15 章由钱秀珍编写;第 10,17~19 章由华南盾编写;宋文涛编写第 11,16 章并负责全书统稿。王汝君协助宋文涛对全书定稿。

本书的编写完成,与过去的工作有密切关系,在此谨向《电子线路试题集》编写组的老师、参加“电子线路试题库”研制工作的老师表示衷心感谢;向华东地区高校电子线路课程教学研究会有关高校的老师表示感谢。本书的编写得到东南大学谢嘉奎教授的推荐、关心,在此一并表示感谢。

限于编者水平,书中错误难免。谬误之处,敬请读者指正。

编 者
2001.12

目 录

第1章	半导体器件原理	(1)
第2章	半导体三极管基本放大电路	(29)
第3章	场效应管基本放大电路	(86)
第4章	差动放大电路	(117)
第5章	多级放大电路	(144)
第6章	负反馈放大电路	(173)
第7章	放大电路的频率响应和噪声	(207)
第8章	集成运算放大器	(235)
第9章	低频功率放大器	(298)
第10章	直流稳压电源	(317)
第11章	高频功率放大器	(329)
第12章	正弦波振荡器	(339)
第13章	振幅调制与解调	(374)
第14章	角度调制与解调	(402)
第15章	混频器	(431)
第16章	反馈控制、锁相技术	(443)
第17章	模拟乘法器	(451)
第18章	实验室常用电子仪器原理及使用技术	(457)
第19章	半导体器件及模拟电路的参数测量	(463)
参考文献		(483)

第 1 章 半导体器件原理

重点与难点

1. 重点

- (1) 半导体器件(晶体二极管、三极管及场效应管)导电的工作原理。
- (2) 半导体器件的外部特性及主要参数。
- (3) 二极管的运用和二极管电路的分析方法。
- (4) 晶体三极管和场效应管的微变等效电路。

2. 难点

- (1) 器件内部的物理过程。
- (2) 器件特性的物理概念。
- (3) 埃伯尔斯-莫尔模型的推导。

例题精选

1.1 在一本征硅中,掺入施主杂质,其浓度 $N_D = 2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 。

(1) 求室温 300 K 时自由电子和空穴的热平衡浓度值,并说明半导体为 P 型或 N 型。

(2) 若再掺入受主杂质,其浓度 $N_A = 3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$,重复(1)。

(3) 若 $N_D = N_A = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$,重复(1)。

(4) 若 $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $N_A = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$,重复(1)。

解:(1) 已知本征硅室温时热平衡载流子浓度值 $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$,施主杂质 $N_D = 2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3} \gg n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$,所以可得多子自由电子浓度为

$$n_0 \approx N_D = 2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

少子空穴浓度

$$p_0 = \frac{n_i^2}{n_0} = 1.125 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$$

该半导体为 N 型。

(2) 因为 $N_A - N_D = 1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3} \gg n_i$,所以多子空穴浓度

$$p_0 \approx 1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

少子电子浓度

$$n_0 = \frac{n_i^2}{p_0} = 2.25 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$$

该半导体为 P 型。

(3) 因为 $N_A = N_D$, 所以

$$p_0 = n_0 = n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

该半导体为本征半导体。

(4) 因为 $N_D - N_A = 10^{16} - 10^{14} = 99 \times 10^{14} (\text{cm}^{-3}) \gg n_i$, 所以, 多子自由电子浓度

$$n_0 = 99 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

空穴浓度

$$p_0 = \frac{n_i^2}{n_0} = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{99 \times 10^{14}} = 2.27 \times 10^4 (\text{cm}^{-3})$$

该半导体为 N 型。

1.2 当 $T = 300 \text{ K}$ 时, 锗和硅二极管的反向饱和电流 I_S 分别为 $1 \mu\text{A}$ 和 0.5 pA 。如果将此两个二极管串联连接, 有 1 mA 的正向电流流过, 试问它们的结电压各为多少?

解: $T = 300 \text{ K}$ 时, 热电压 $V_T = 26 \text{ mV}$

二极管正偏时, $I = I_S \cdot \exp\left(\frac{V_D}{V_T}\right)$

对于硅管: $V_D = V_T \ln \frac{I}{I_S} = 556.4 \text{ mV}$

对于锗管: $V_D = V_T \ln \frac{I}{I_S} = 179.6 \text{ mV}$

1.3 室温 27°C 时, 某硅二极管的反向饱和电流 I_S 为 0.1 pA 。

(1) 当二极管正偏电压为 0.65 V 时, 二极管的正向电流为多少?

(2) 当温度升高至 67°C 或降低至 -10°C 时, 试分别计算二极管的反向饱和电流。此时, 如保持(1)中的正向电流不变, 则二极管的正偏电压为多少?

解: (1) 二极管正偏时,

$$I = I_S e^{\frac{V_D}{V_T}} = 0.1 \times 10^{-12} e^{\frac{650}{26}} = 7.2 (\text{mA})$$

(2) 当温度上升 10°C 时, I_S 增加 1 倍, 则

$$I_{S(67^\circ\text{C})} = I_{S(27^\circ\text{C})} 2^{\frac{67-27}{10}} = 1.6 \text{ pA}$$

$$I_{S(-10^\circ\text{C})} = I_{S(27^\circ\text{C})} 2^{\frac{-10-27}{10}} = 7.7 \times 10^{-3} \text{ pA}$$

温度上升时, I_S 增加, 为保持二极管电流不变, 正偏电压下降; 反之, 正偏电压增加。

$$T = 67^\circ\text{C} \text{ 时, } V_D = V_T \ln \frac{I}{I_S} = 26 \text{ mV} \times \ln \frac{7.2 \times 10^{-3} \text{ A}}{1.6 \times 10^{-12} \text{ A}} = 578 \text{ mV}$$

$$T = -10^{\circ}\text{C} \text{ 时, } V_D = 26 \text{ mV} \times \ln \frac{7.2 \times 10^{-3} \text{ A}}{7.7 \times 10^{-15} \text{ A}} = 716.7 \text{ mV}$$

如用经验公式,即温度升高 1°C 时,二极管的导通电压下降 $2 \sim 2.5 \text{ mV}$,现取 2 mV ,则

$$T = 67^{\circ}\text{C} \text{ 时, } V_D = 650 - 2(67^{\circ} - 27^{\circ}) = 570(\text{mV})$$

$$T = -10^{\circ}\text{C} \text{ 时, } V_D = 650 - 2(-10^{\circ} - 27^{\circ}) = 724(\text{mV})$$

1.4 二极管电路如图 1.4 所示。已知直流电源电压为 6V ,二极管直流管压降为 0.7V ,二极管的体电阻为 10Ω 。

(1) 试求流过二极管的直流电流。

(2) 二极管的直流电阻 R_D 和交流电阻 r_a 各为多少?

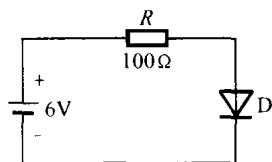


图 1.4

解:(1)流过二极管的直流电流也就是图 1.4 的回路电流,即

$$I_D = \frac{6 - 0.7}{100} \text{ A} = 53 \text{ mA}$$

$$(2) \quad R_D = \frac{0.7 \text{ V}}{53 \times 10^{-3} \text{ A}} = 13.2 \Omega$$

$$r_a = \frac{V_T}{I_D} + \text{体电阻} = \frac{26 \times 10^{-3} \text{ V}}{53 \times 10^{-3} \text{ A}} + 10 \Omega = 10.49 \Omega$$

1.5 电路如图 1.5(a)所示。设二极管的正向导通电压为 0.7 V ,电容 C_1 和 C_2 容量足够大对信号可视作短路。 $v_i = 1 \sin \omega t \text{ (V)}$ 。

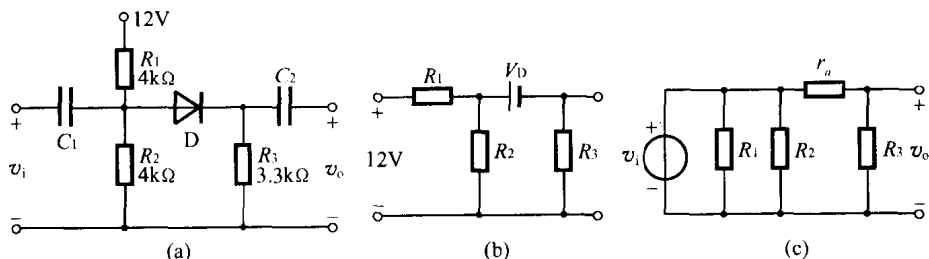


图 1.5

(1) 试画出直流等效电路和交流等效电路。

(2) 求输出电压 v_o 的值。

解:(1) 直流等效电路如图 1.5(b)所示,交流等效电路如图 1.5(c)所示。

(2) 由图 1.5(c)可求得 v_o 的值,为此应先求 r_a 的值。先由图 1.5(b)求得流过二极管的直流电流:

$$I_D = \frac{12 \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} - V_D}{R_1 // R_2 + R_3} = \frac{12 \times \frac{4}{4+4} - 0.7}{4 // 4 + 3.3} = 1 \text{ (mA)}$$

$$r_a = \frac{V_T}{I_D} = \frac{26}{1} = 26 \text{ } (\Omega)$$

$$v_o = \frac{R_3}{R_3 + r_a} v_i = \frac{3.3}{3.3 + 0.026} \times \sin \omega t = 992 \sin \omega t \text{ (mV)}$$

1.6 二极管电路如图 1.6(a)所示, 设 D 为理想二极管。

(1) 试画出电路的传输特性 (v_o - v_i 特性)。

(2) 假定输入电压如图 1.6(b)所示, 试画出相应的 v_o 波形。

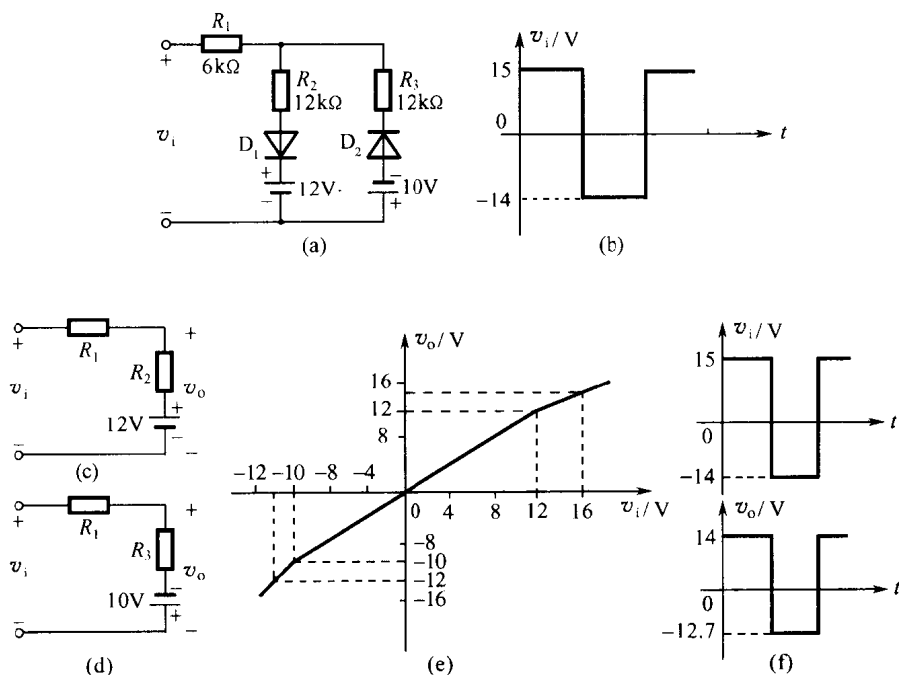


图 1.6

解: (1) 当 $v_i < 12 \text{ V}$, 且 $v_i > -10 \text{ V}$, D_1 和 D_2 同时截止, 则 $v_o = v_i$; 当 $v_i \geq 12 \text{ V}$ 时, D_1 导通, D_2 截止, 此时电路可简化成图 1.6(c)。

由图 1.6(c)可得:

$$v_o = 12 \text{ V} + (v_i - 12 \text{ V}) \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 4 \text{ V} + \frac{2}{3} v_i$$

如 $v_i = 16 \text{ V}$, $v_o = 14.7 \text{ V}$ 。

当 $v_i \leq -10 \text{ V}$ 时, D_1 截止, D_2 导通, 此时电路可简化成图 1.6(d)。此时

$$v_o = -10 \text{ V} + (v_i + 10 \text{ V}) \times \frac{R_3}{R_1 + R_3} = -\frac{10}{3} \text{ V} + \frac{2}{3} v_i$$

如 $v_i = -12 \text{ V}$, $v_o = -11.33 \text{ V}$ 。

由上可得传输特性如图 1.6(e)所示。

(2) 输出波形如图 1.6(f)所示。

$$v_i = +15 \text{ V 时, } v_o = 4 \text{ V} + \frac{2}{3} v_i = 14 \text{ V}$$

$$v_i = -14 \text{ V 时, } v_o = -\frac{10}{3} \text{ V} + \frac{2}{3} v_i = -12.7 \text{ V}$$

1.7 稳压管电路如图 1.7 所示。

(1) 设 $V_i = 20(1 \pm 10\%) \text{ V}$, 稳压管 D_Z 的稳定电压 $V_Z = 10 \text{ V}$, 允许最大稳定电流 $I_{Z \max} = 30 \text{ mA}$, $I_{Z \min} = 5 \text{ mA}$, $R_{L \min} = 800 \Omega$, $R_{L \max} = \infty$ 。试选择限流电阻 R 的值。

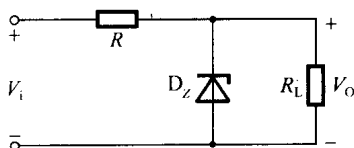


图 1.7

(2) 稳压管的参数如(1)中所示, $R = 100 \Omega$, $R_L = 250 \Omega$, 试求 V_i 允许的变化范围。

(3) 稳压管的参数如(1)中所示, 当 $V_Z = 10 \text{ V}$ 时, 其工作电流 $I_Z = 20 \text{ mA}$, $r_Z = 12 \Omega$, 如 $V_i = 20 \text{ V}$ 不变, 试求 R_L 从无穷大变化到 $1 \text{ k}\Omega$ 时, 输出电压变化的值 ΔV_o 为多少?

解:(1) 因为

$$R_{\min} = \frac{V_{i \max} - V_Z}{I_{Z \max} + I_{L \min}} = \frac{(22 - 10) \text{ V}}{30 \text{ mA}} = 400 \Omega$$

式中, 因 $R_{L \max} \rightarrow \infty$, 所以 $I_{L \min} = 0$, $V_{i \max} = 20 + 20 \times 0.1 = 22 \text{ V}$

$$R_{\max} = \frac{V_{i \min} - V_Z}{I_{Z \min} + I_{L \max}} = \frac{(18 - 10) \text{ V}}{(5 + 12.5) \text{ mA}} = 457 \Omega$$

式中 $I_{L \max} = \frac{10}{800} = 12.5 \text{ mA}$, $V_{i \min} = (20 - 20 \times 0.1) \text{ V} = 18 \text{ V}$

选择 R 应满足: $400 \Omega < R < 457 \Omega$

(2) 当 $R_L = 250 \Omega$ 时, $I_L = \frac{10}{250} = 40 \text{ mA}$ 。

$$\begin{aligned} \text{当 } I_Z \text{ 达到最大时, } V_{i \max} &= (I_{Z \max} + I_L)R + V_Z \\ &= (30 + 40) \times 0.1 + 10 = 17(\text{V}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{当 } I_Z \text{ 为 } I_{Z \min} \text{ 时, } V_{i \min} &= (I_{Z \min} + I_L)R + V_Z = (5 + 40) \times 0.1 + 10 \\ &= 14.5(\text{V}) \end{aligned}$$

即 V_i 的变化范围是 $14.5 \sim 17 \text{ V}$ 。

(3) 当 $R_L = \infty$ 时, $V_o = 10 \text{ V}$ 。

$$\text{当 } R_L = 1 \text{ k}\Omega \text{ 时, } V_o = 10 \text{ V} \times \frac{R_L}{r_Z + R_L} = 10 \times \frac{1000}{12 + 1000} = 9.8814(\text{V})$$

$$\Delta V_o = 9.8814 - 10 = -118.6(\text{mV})$$

或

$$|\Delta V_o| = V_Z \frac{r_z}{R_L + r_z} = 10 \times \frac{12}{1000 + 12} = 118.6(\text{mV})$$

1.8 已知晶体管工作在线性放大区,并测得其各极电压如图 1.8 所示。试画出晶体管的电路符号,并分别说明是硅管还是锗管。

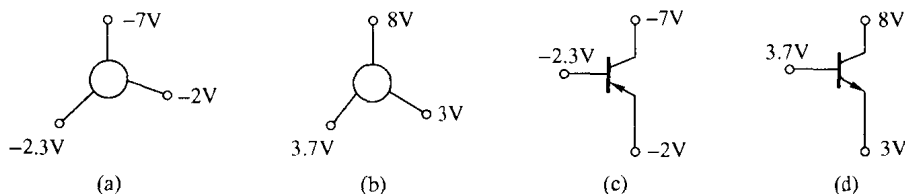


图 1.8

解:因器件工作在放大器,发射结正偏,集电结反偏;对于硅管,发射结正偏电压应为 $0.6 \sim 0.8 \text{ V}$,对于锗管,发射结正偏电压应为 $0.2 \sim 0.3 \text{ V}$;对于 PNP 管,集电极电位最低,发射极电位最高,对于 NPN 管,集电极电位最高,发射极电位最低。由此可判别:图 1.8(a)是 PNP 锗管,电路符号如图 1.8(c)所示。图 1.8(b)是 NPN 硅管,电路符号如图 1.8(d)所示。

1.9 已测得晶体三极管各极对地电位如图 1.9 所示。试判断各晶体三极管处于何种工作状态(饱和、放大、截止或损坏)。

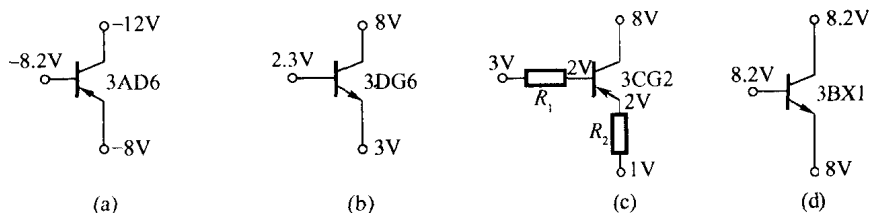


图 1.9

解:在图 1.9(a)中,3AD6 是锗 PNP 管, $V_{BE} = -0.2 \text{ V}$,即发射结正偏, $V_{CB} = -3.8 \text{ V}$,即集电结反偏,所以晶体管工作在放大区。

在图 1.9(b)中,3DG6 是硅 NPN 管, $V_{BE} = -0.7 \text{ V}$,即发射结反偏, $V_{CB} = 5.7 \text{ V}$,即集电结反偏,所以晶体管工作在截止区。

在图 1.9(c)中,3CG2 是硅 PNP 管, $V_{BE} = 0$,而 I_E 和 I_B 不为零,表明发射结短路,晶体管已损坏。

在图 1.9(d) 中, 3BX1 是锗 NPN 管, $V_{BE} = 0.2 \text{ V}$, 即发射结正偏, $V_{CB} = 0$, 即集电结零偏, 所以晶体管工作在临界饱和区。

1.10 共射电路如图 1.10(a) 所示。已知晶体管的 $\beta = 50$, $I_{CBO} = 0$, $V_B = 5.6 \text{ V}$, $R_B = 100 \text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 12 \text{ V}$, $V_{BE(on)} = 0.6 \text{ V}$ 。

(1) 如 $R_C = 2 \text{ k}\Omega$, 试求基极电流 I_B 、集电极电流 I_C 和 V_{CE} 的值, 并说明电路的工作状态。

(2) 如 $R_C = 5.1 \text{ k}\Omega$, 重复(1)。

(3) 如晶体管工作在放大状态, 调节 R_B 使集电极电流 $I_C = 2 \text{ mA}$, 厄尔利电压 $|V_A| = 120 \text{ V}$, $r_{bb'} = 50 \text{ }\Omega$, 试画出晶体管的低频微变等效电路, 并标出元件值。

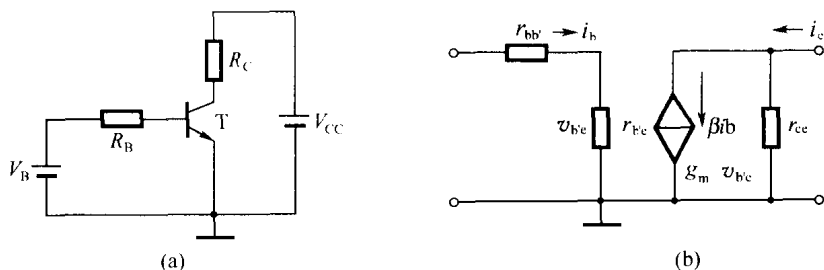


图 1.10

解:(1)
$$I_B = \frac{V_B - V_{BE(on)}}{R_B} = \frac{5.6 - 0.6}{100} = 0.05 \text{ (mA)}$$

$$I_C = \beta I_B = 50 \times 0.05 = 2.5 \text{ (mA)}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 12 - 2.5 \times 2 = 7 \text{ (V)}$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 7 - 0.6 = 6.4 \text{ (V)}$$

即发射结正偏, 集电结反偏, 晶体管工作在放大区。

(2) 当 $R_C = 5.1 \text{ k}\Omega$ 时, I_B 仍为 0.05 mA 。假设晶体管工作在放大区, 则 $I_C = \beta I_B = 2.5 \text{ mA}$, $V_{CE} = 12 - 2.5 \times 5.1 = -0.75 \text{ (V)}$, 这是不可能的, 表明晶体管工作在饱和区, β 下降了。设 $V_{CS} = 0.3 \text{ V}$, 则

$$I_{Cmax} = \frac{V_{CC} - V_{CS}}{R_C} = \frac{12 - 0.3}{5.1} = 2.29 \text{ (mA)} < 2.5 \text{ mA}$$

(3) 晶体管的微变等效电路如图 1.10(b) 所示, 其中

$$r_{b'e} = (1 + \beta) \frac{V_T}{I_{EQ}} = \beta \frac{V_T}{I_{CQ}} = 50 \times \frac{26}{2} = 650 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$r_{ce} = \frac{|V_A|}{I_C} = \frac{120}{2} = 60 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} = \frac{2}{26} \text{ S} = 76.9 \text{ mS}$$

1.11 N^+PN 型晶体管基区的少数载流子的浓度分布曲线如图 1.11 所示。

(1) 说明每种浓度分布曲线所对应的发射结和集电结的偏置状态。

(2) 说明每种浓度分布曲线所对应的晶体管的工作状态。

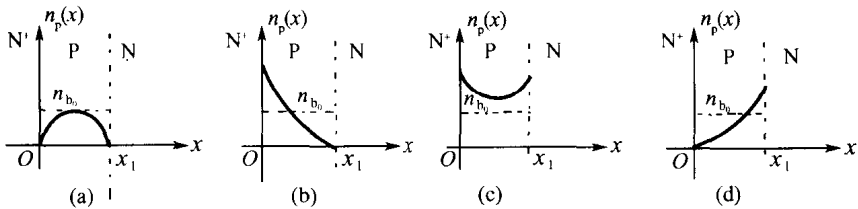


图 1.11

解: (1) 对于 N^+PN 晶体管, 当发射结(集电结)正偏时, 由于从发射区(集电区)向基区注入了非平衡少数电子, 所以 $x=0$ ($x=x_1$) 处 P 区边界上少数电子的浓度大于平衡的电子浓度 n_{b0} , 当发射结(集电结)反偏时, 在阻挡层两侧边界上的少数浓度趋向于零。据此, 可以判别:

(1) 图 1.11(a): 发射结反偏, 集电结反偏。图 1.11(b): 发射结正偏, 集电结反偏。图 1.11(c): 发射结正偏, 集电结正偏。图 1.11(d): 发射结反偏, 集电结正偏。

(2) 图 1.11(a): 截止。图 1.11(b): 放大。图 1.11(c): 饱和。图(d): 反向放大。

1.12 已知场效应晶体管的输出特性或转移特性如图 1.12 所示。试判别其类型, 并说明 $V_{DS} = |10V|$ 的饱和漏电流、夹断电压(或开启电压)各为多少。

解: FET 有 JFET 和 MOSFET, JFET 有 P 沟 (V_{GS} 只能为正) 和 N 沟 (V_{GS} 只能为负) 之分。MOSFET 中有耗尽型 P 沟和 N 沟 (V_{GS} 可为正、零或负), 增强型 P

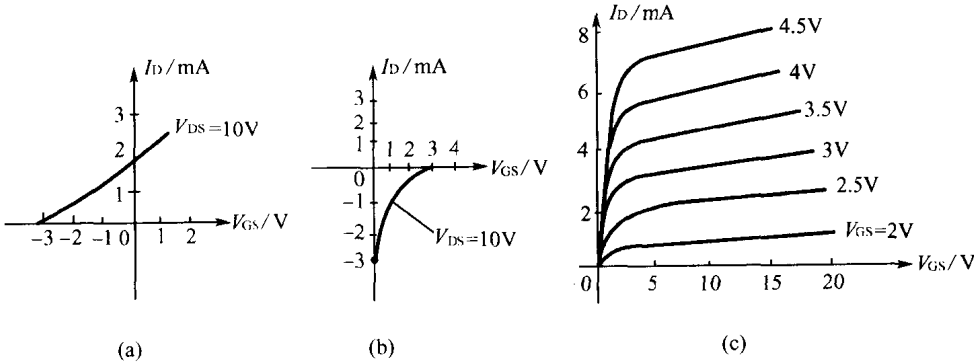


图 1.12

沟(V_{GS} 只能为负)和N沟(V_{GS} 只能为正)。

图 1.12(a): N 沟耗尽型 MOSFET, $I_{DSS} = 2 \text{ mA}$, $V_{GS(th)} = -3 \text{ V}$ 。

图 1.12(b): P 沟结型 FET, $I_{DSS} = 3 \text{ mA}$, $V_{GS(th)} = 3 \text{ V}$ 。

图 1.12(c): N 沟增强型 MOSFET, I_{DSS} 无意义, $V_{GS(th)} = 1.5 \text{ V}$ 。

1.13 已知各 FET 各极电压如图 1.13 所示, 并设各管的 $|V_{GS(th)}| = 2 \text{ V}$ 。试分别判别其工作状态(可变电阻区, 饱和区, 截止区或不能正常工作)。

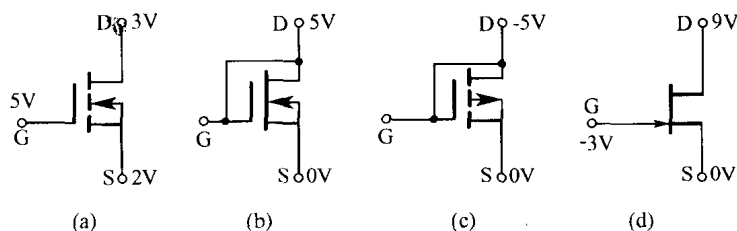


图 1.13

解: 图 1.13(a) 中, N 沟增强型 MOSFET, 因为 $V_{GS} = 3 \text{ V} > V_{GS(th)} = 2 \text{ V}$, $V_{GD} = 2 \text{ V} = V_{GS(th)} = 2 \text{ V}$, 所以工作在临界饱和状态。

图 1.13(b) 中, N 沟耗尽型 MOSFET, $V_{GS} = 5 \text{ V} > V_{GS(th)} = -2 \text{ V}$, $V_{GD} = 0 > V_{GS(th)} = -2 \text{ V}$, 所以工作在可变电阻区。

图 1.13(c) 中, P 沟增强型 MOSFET, $V_{GS} = -5 \text{ V} < V_{GS(th)} = -2 \text{ V}$, $V_{GD} = 0 > V_{GS(th)} = -2 \text{ V}$, 所以工作在饱和区。

图 1.13(d) 中, 为 N 沟 JFET, $V_{GS} = -3 \text{ V} < V_{GS(th)} = -2 \text{ V}$, 所以工作在截止区。

1.14 已知场效应管电路如图 1.14(a) 所示。设 MOSFET 的 $\mu_n C_{ox} W/2L = 80 \mu\text{A}/\text{V}^2$, $V_{GS(th)} = 1.5 \text{ V}$, 忽略沟道长度调制效应。

(1) 试求漏极电流 I_{DQ} , 场效应管的 V_{GSQ} 和 V_{DSQ} 。

(2) 画出电路的低频微变等效电路, 并求参数 g_m 的值。

解: (1) 设电路工作在饱和区, 则

$$I_{DQ} = \frac{\mu_n C_{ox} W}{2L} (V_{GSQ} - V_{GS(th)})^2 = 80 \times 10^{-6} (V_{GSQ} - 1.5)^2$$

$$V_{GSQ} = V_{DD} \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} - I_{DQ} \cdot R_S = 10 \times \frac{1}{1.5 + 1} - I_{DQ} \times 10^3$$

联立上式求解得

$$I_{DQ} = 0.375 \text{ mA}$$

$$V_{GSQ} = 3.625 \text{ V}$$

$$V_{DSQ} = 5.875 \text{ V}$$

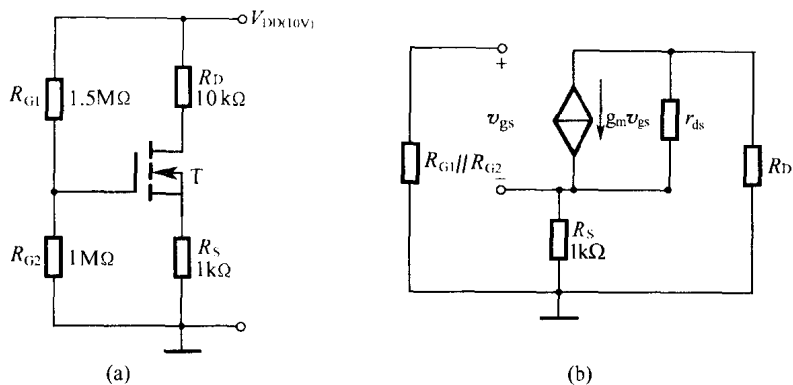


图 1.14

$$V_{GSQ} = 3.625 > V_{GS(th)} = 1.5 \text{ V}$$

$$V_{GDQ} = V_{GSQ} - V_{DSQ} = 3.625 \text{ V} - 5.875 \text{ V} = -2.25 \text{ V} < V_{GS(th)}$$

可见符合工作在饱和区的假设条件。

(2) 低频微变等效电路如图 1.14(b)所示。

$$g_m = 2 \cdot \frac{\mu_n C_{ox} W}{2L} (V_{GS} - V_{GS(th)}) = 340 \mu\text{S}$$

1.15 场效应管电路如图 1.15 所示。并设各管的 $\frac{\mu_n C_{ox} W}{2L}$ 均相同, $|V_{GS(th)}| = 2 \text{ V}$ 。略去沟道长度调制效应。试求各电路 V_o 的值, 并检验各管是否工作在饱和区。

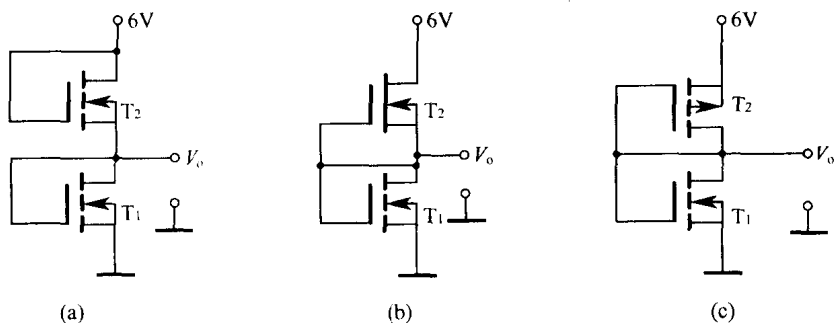


图 1.15

解: 图 1.15(a)中, $V_o = 3\text{V}$, $V_{GS1} = V_{GS2} = 3\text{V} > V_{GS(th)} = 2\text{V}$, $V_{GD1} = V_{GD2} = 0 < V_{GS(th)}$, 所以是工作于饱和区。

图 1.15(b)中, 利用 $I_D = \frac{\mu_n C_{ox} W}{2L} (V_{GS} - V_{GS(th)})^2$ 和 $I_{D1} = I_{D2} = I_D$, 可解得 $V_o = V_{GS1} = 4\text{V}$ 。

$$\begin{cases} V_{GS1} > V_{GS(th)} = 2\text{V}, \\ V_{GD1} = 0 < V_{GS(th)} = 2\text{V}, \end{cases} \quad \begin{cases} V_{GS2} = 0 > V_{GS(th)} = -2\text{V} \\ V_{GD2} = -2\text{V} = V_{GS(th)} = -2\text{V} \end{cases}$$

所以 T_1 和 T_2 均处于饱和区。

图 1.15(c)中, $V_o = 3\text{V}$,

$$\begin{aligned} V_{GS1} &= 3\text{V} > V_{GS(th)} = 2\text{V}, & V_{GD1} &= 0\text{V} < V_{GS(th)} = 2\text{V} \\ V_{GS2} &= -3\text{V} < V_{GS(th)} = -2\text{V}, & V_{GD2} &= 0\text{V} > V_{GS(th)} = -2\text{V} \end{aligned}$$

所以 T_1 和 T_2 均处于饱和区。

习 题

1.1 对于一个 PN 结, 其两边掺杂浓度越大, 则内建电位差_____, 阻挡层宽度_____, 阻挡层两边的电荷量_____, 阻挡层主要向杂质浓度_____区域延伸; PN 结外加正向电压, 内建电位差_____, 此时扩散电流_____, 漂移电流_____; PN 结外加反向电压, 阻挡层宽度将_____, 使_____电流占优势。

1.2 PN 结有雪崩和齐纳两种击穿机理。雪崩击穿发生在掺杂浓度_____的 PN 结中, 击穿电压一般在_____V 以上, 击穿电压的温度特性具有_____温度系数; 齐纳击穿发生在掺杂浓度_____的 PN 结中, 击穿电压一般在_____V 以下, 击穿电压的温度特性具有_____温度系数; 利用 PN 结的击穿特性可制成_____。

1.3 PN 结具有非线性电容特性, 它有_____电容和_____电容两部分组成; 正偏时 PN 结的电容以_____电容为主, 它随 PN 结的正向电流增加而_____; 反偏时 PN 结的电容以_____电容为主, 它随外加反向电压的增加而_____; 利用_____电容可制成变容二极管。

1.4 本征半导体中分别掺入施主杂质 N_D 和受主杂质 N_A , 根据电荷中性定律写出决定自由电子和空穴浓度的方程式。

1.5 在室温 27°C 时, 某硅二极管的反向饱和电流 $I_S = 20\text{pA}$ 。

(1) 如果二极管加 0.6V 的正向电压, 则二极管的电流是多少?

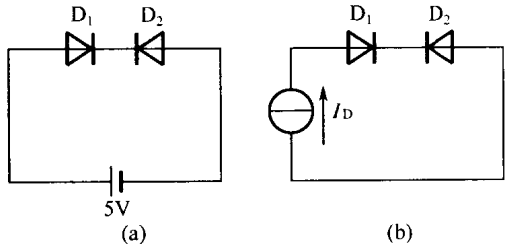
(2) 如果二极管加 1V 的反向电压, 则二极管的电流是多少?

1.6 有两个相同的硅二极管反向串联与 5V 直流电源相连接, 如题图 1.6(a)所示。设室温时二极管的反向饱和电流为 $2 \times 10^{-12}\text{A}$ 。

(1) 设二极管的击穿电压大于 5V , 试求室温时每个二极管两端的电压。

(2) 如二极管的击穿电压为 4.9V , 求电路中的电流。

(3) 设二极管的击穿电压为 5 V, 并已知两管反向连接后通过它们的电流为 3.2 mA, 如题图 1.6(b) 所示。试求室温时每个二极管两端的电压(此时, 外加电压 $\neq 5$ V)。

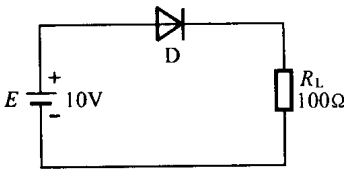


题图 1.6

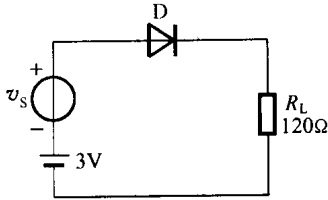
1.7 室温 $T = 300$ K 时, 硅二极管的正向电压 $V_D = 0.7$ V, 其电流为 1 mA, 试计算正向电压增加至 0.8 V 时二极管的电流为多少。

1.8 二极管电路如题图 1.8 所示。

- (1) 设二极管为理想二极管, 试问流过负载 R_L 的电流为多少?
- (2) 设二极管可看作是理想二极管和电压源串联, 并设二极管的门限电压 $V_{D(th)} = 0.6$ V, 试问流过负载 R_L 的电流是多少?
- (3) 设二极管可看作是电阻和电压源串联, 并设二极管的门限电压 $V_{D(th)} = 0.6$ V, $R_D = 20 \Omega$, 试问流过负载的电流是多少?
- (4) 将电源电压反接时, 流过负载电阻的电流是多少?
- (5) 增加电源电压 E , 其他参数不变时, 二极管的交流电阻怎样变化?



题图 1.8



题图 1.9

1.9 二极管电路如题图 1.9 所示。设二极管的工作电压 $V_D = 0.7$ V。

- (1) 试求二极管的交流电阻 r_a 。
- (2) 如信号 $v_s = 0.01 \sin \omega t$ (V), 试问回路的交流电流峰值为多少?