



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

模拟电路分析与设计基础 学习指导

吴援明 唐军 曲健 主编

 科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书是为普通高等教育“十一五”国家级规划教材《模拟电路分析与设计基础》(吴援明,唐军主编)而编写的配套学习指导书。本书共分9章,主要内容包括半导体材料及二极管、双极型晶体三极管、BJT放大电路、MOSFET及其放大电路、放大器的频率响应、模拟集成单元电路、负反馈技术、集成运算放大器、集成运放电路的应用与设计。本书对教材中各章的内容进行了系统的归纳和总结,对各章的重点、难点做了较深刻的分析,对各章习题做了全面解析。

本书可作为高等院校电子、电气信息类和其他电类专业的学习指导书,也可作为教师教学的参考书,还可作为报考理工科硕士研究生的考研辅导书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路分析与设计基础学习指导/吴援明,唐军,曲健主编. —北京:科学出版社,2007

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 978-7-03-019485-5

I. 模… II. ①吴… ②唐… ③曲… III. ①模拟电路-电路分析-高等学校-教学参考资料②模拟电路-电路设计-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 114886 号

责任编辑:刘俊来 毛 莹 潘继敏 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:张克忠 / 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>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年8月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2007年8月第一次印刷 印张:14 3/4

印数:1—4 000 字数:281 000

定价:20.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

前 言

模拟电路基础是电子信息类和其他电类的入门性的专业基础课，由于本课程内容庞杂、基本概念多、工程性很强，加上课堂授课学时有限，教与学都有困难，初学者备感“入门难”。因此，为了适应模拟电子技术的发展和教学要求，编者根据多年的教学实践，特意编写了由科学出版社出版的、普通高等教育“十一五”国家级规划教材《模拟电路分析与设计基础》（吴援明，唐军主编）的这本配套学习指导书。

为了帮助学生加深对所学基本内容的理解，切实掌握基本概念、基本原理和基本分析方法，扩展知识的深度和广度，本书在章节编排顺序上与教材完全同步，使其更具有针对性、启发性、指导性和补充性。本书各章节内容主要包括以下三个方面：

(1) 内容提要。对各章节教学的基本概念、基本原理和基本分析方法进行了系统归纳、分析比较和提炼总结，便于掌握重点，从各章节内容之间的有机联系上把握知识的系统性和完整性。

(2) 重点与难点分析。对各章节的重点与难点进行了较为深入、详细的讨论与分析，力求“紧扣课程要求，突出重点难点”，以帮助学生有的放矢地进行学习。

(3) 习题解答。各章节的习题大多选自近几年来国内外的优秀教材、有关书刊和多年积累的优秀试题，题型新颖、丰富，知识覆盖面宽，重点突出，难易并举，尤其增加了大量的与工程应用联系紧密的设计题，并对各种题型的习题都作了简要分析和解答，力求使学生通过典型习题的解析掌握解决同类问题的能力。

本书由电子科技大学模拟电路基础课程首席教师吴援明教授统稿并审定，唐军老师编写了第1~4章的主体内容和习题解答，曲健副教授编写了第5~9章的主体内容和习题解答。

本书在编写过程中，得到了电子科技大学教务处的大力支持，吸纳了电子科技大学模拟电路课程组三十多位教师的教研成果和有益建议。在此，谨向他们表示衷心的感谢！

限于编者水平，书中难免有不妥之处，恳请读者不吝指正。

编者

于电子科技大学

2007年1月

目 录

前言

第 1 章 半导体材料及二极管	1
一、内容提要.....	1
二、重点与难点分析.....	5
三、习题解答.....	6
第 2 章 双极型晶体三极管	19
一、内容提要	19
二、重点与难点分析	25
三、习题解答	26
第 3 章 BJT 放大电路	36
一、内容提要	36
二、重点与难点分析	44
三、习题解答	46
第 4 章 MOSFET 及其放大电路	85
一、内容提要	85
二、重点与难点分析	89
三、习题解答	90
第 5 章 放大器的频率响应	122
一、内容提要.....	122
二、重点与难点分析.....	126
三、习题解答.....	128
第 6 章 模拟集成单元电路	145
一、内容提要.....	145
二、重点与难点分析.....	148
三、习题解答.....	151
第 7 章 负反馈技术	167
一、内容提要.....	167

二、重点与难点分析·····	171
三、习题解答·····	180
第 8 章 集成运算放大器 ·····	202
一、内容提要·····	202
二、重点与难点分析·····	203
三、习题解答·····	203
第 9 章 集成运放电路的应用与设计 ·····	218
一、内容提要·····	218
二、重点与难点分析·····	219
三、习题解答·····	220

第 1 章 半导体材料及二极管

一、内容提要

1. 半导体基础知识

半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的物质，可分为本征半导体和杂质半导体，它的导电能力随温度、光照或掺杂不同而发生显著变化。

1) 本征半导体

纯净且具有完整晶体结构的半导体称为本征半导体。在绝对零度 (0K) 时，本征半导体中没有载流子，是良好的绝缘体；但在一定温度下，本征半导体内会发生本征激发现象，产生两种带电性质相反的载流子——自由电子空穴对。温度越高，本征激发越强。

2) 杂质半导体

(1) N 型半导体。

在本征硅或锗中掺入少量五价杂质元素后形成 N 型半导体，N 型半导体中的多子是电子，少子为空穴。自由电子数 = 空穴数 + 正离子数，故对外呈电中性。

(2) P 型半导体。

在本征硅或锗中掺入少量三价杂质元素后形成 P 型半导体，P 型半导体中的多子是空穴，少子为电子。空穴数 = 自由电子数 + 负离子数，故对外呈电中性。

(3) 两种浓度不等的载流子。

多子：由掺杂形成。

少子：由热激发形成。

多子浓度由掺杂浓度决定，少子浓度很小且是温度的敏感函数。

3) 半导体中的两种电流

(1) 漂移电流。

在电场作用下，自由电子（空穴）逆（顺）电场方向的定向运动而形成的电流。

(2) 扩散电流。

由于同一种载流子的浓度差而产生的载流子从浓度高处向浓度低处扩散运动形成的电流。

2. PN 结及其单向导电性

采用特殊的工艺方法将 P 型和 N 型半导体结合在一起，在界面处形成一个特殊的薄层——PN 结。

1) PN 结的形成过程

P 区和 N 区载流子浓度差→引起多子向对方扩散→形成空间电荷区和内电场→阻止多子扩散，促进少子漂移→达到扩散与漂移动态平衡→交界面上形成稳定的空间电荷区（耗尽层、势垒层或阻挡层）——PN 结。

2) PN 结的特点

PN 结是非中性区（故称为空间电荷区），存在由 N 区指向 P 区的内建电场和内建电压；PN 结内载流子数远少于结外的载流子数（故称为耗尽区）；PN 结的内建电场阻止结外两区的多子越结扩散（故称为势垒层或阻挡层）。

3) PN 结的单向导电性

(1) 正偏 PN 结。

当 PN 结外加正向电压（P 区外接高于 N 区的电压）时→空间电荷区变窄，内电场减弱→扩散 > 漂移→多子扩散形成随正偏电压增加而呈指数增大的正向电流。

(2) 反偏 PN 结。

当 PN 结外加反向电压（P 区外接低于 N 区的电压）时→空间电荷区变宽，内电场增强→扩散 < 漂移→少子漂移形成很小的反向饱和电流（大小受温度影响很大）。

因此，PN 结具有单向导电特性——正偏导通，反偏截止。

3. PN 结的伏安特性

PN 结的伏安方程

$$i = I_s(e^{\frac{v}{V_T}} - 1)$$

其中， I_s 为反向饱和电流， $V_T = \frac{KT}{q}$ 为热电压， $T = 300\text{K}$ 时， $V_T = \frac{KT}{q} \approx 26\text{mV}$ 。

(1) 当 $v > 0$ ，且 $v \gg V_T$ 时， $i \approx I_s e^{\frac{v}{V_T}}$ ，伏安特性呈非线性指数规律。

(2) 当 $v < 0$ ，且 $|v| \gg V_T$ 时， $i \approx -I_s \approx 0$ ，电流基本与 v 无关。

由此可见，PN 结表现为单向导电性。

4. PN 结击穿特性

当反向偏压加得很大，超过某一极限值时，反向电流突然猛增，这种现象称为“击穿”。根据击穿形成的机理，击穿可分为雪崩击穿和齐纳击穿两种。

1) 雪崩击穿

发生条件：大多发生在掺杂浓度较低、PN 结较宽、反向偏压较高的 PN 结中。

形成原因：碰撞电离。少数载流子在较高的反向偏压加速下，获得很大的动能足以把空间电荷区内共价键的价电子撞出，由于阻挡层较宽，碰撞电离的机会增多，使载流子数目剧增，反向电流急剧增大，造成雪崩击穿。雪崩击穿电压具有正的温度系数。

2) 齐纳击穿

发生条件：发生在掺杂浓度较高、PN 结较薄、反向偏压较小的 PN 结中。

形成原因：场致激发。由于空间电荷区较窄，即使不大的反向偏压也会建立起很强的电场，该电场可直接将共价键的价电子拉出，使载流子数目剧增，反向电流急剧增大，造成齐纳击穿。齐纳击穿电压具有负的温度系数。

5. PN 结的温度特性

(1) PN 结结电压为负的温度系数，即温度每升高 1°C ，结电压以 $(2 \sim 2.5)\text{mV}$ 规律下降。

$$\frac{dv}{dT} \approx -(2 \sim 2.5)\text{mV}/^{\circ}\text{C}$$

(2) 反向饱和电流 I_s 则以温度每升高 10°C 加倍的规律增加。

$$I_s(T_2) = I_s(T_1) 2^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

6. PN 结的电容特性

PN 结的结电容 C_j 由势垒电容 C_T 和扩散电容 C_D 组成，即 $C_j = C_T + C_D$ 。

1) 势垒电容 C_T

势垒电容 C_T 反映 PN 结内部的电荷存储效应，类似于平板电容器，其电容为

$$C_T = \frac{\epsilon S}{4\pi d}$$

其中， S 是 PN 结面积， d 是 PN 结宽度， ϵ 是半导体的介电常数。

2) 扩散电容 C_D

扩散电容 C_D 反映 PN 结正向偏置时，PN 结外的电荷存储效应。扩散电容 C_D 与正向电流的关系为

$$C_D = \frac{dQ}{dv} \approx \frac{\tau}{V_T} I_D$$

其中， τ 是非平衡少子在被复合前的平均存在时间，也称平均寿命， V_T 是热电压， I_D 是正向电流。

(1) 当 PN 结正偏时, $C_D \gg C_T$, $C_J \approx C_D$ 。因此, 正偏时以扩散电容 C_D 为主。

(2) 当 PN 结反偏时, $C_T \gg C_D \approx 0$, $C_J \approx C_T$ 。因此, 反偏时以势垒电容 C_T 为主。

7. 二极管

二极管实质上就是一个 PN 结, PN 结的所有特性, 二极管都具有。

1) 二极管的伏安特性

二极管的伏安特性可用其伏安方程来描述, 即

$$i_D = I_s(e^{\frac{v_D}{V_T}} - 1)$$

其中, v_D 是加在二极管上的端电压, i_D 是流过二极管上的电流。

当二极管正偏导通时, Si 管和 Ge 管导通电压的典型值分别为 0.7V 和 0.3V; 反偏截止时, Ge 管的反向饱和电流比 Si 管大很多。

2) 二极管的直流电阻和交流电阻

(1) 直流电阻

$$R_D = \left. \frac{V_D}{I_D} \right|_Q$$

工作点处的电流 I_D 越大, R_D 也越大。

(2) 交流电阻

$$r_d = \left. \frac{dv_D}{di_D} \right|_Q = \frac{V_T}{I_D}$$

室温下

$$r_d \approx \frac{26\text{mV}}{I_D}$$

工作点处的电流 I_D 越大, r_d 越小, 且有 $r_d \ll R_D$ 。

3) 二极管模型

(1) 二极管的低频大信号模型 (见重点与难点分析)。

(2) 二极管的低频小信号模型 (见重点与难点分析)。

4) 二极管的主要参数

二极管的主要参数是对二极管特性和极限运用条件的定量描述, 也是设计电路时选择器件的依据。二极管参数分为极限参数、直流参数、交流参数等。主要有最大平均整流电流 I_F 、最高反向工作电压 V_R 、反向电流 I_R 、最高工作频率 f_{\max} 。

5) 稳压二极管

稳压二极管是利用反向击穿特性来达到稳定电压的一种二极管。其主要的性

能参数有稳定电压、稳定电流、动态电阻、电压温度系数及额定功耗。

6) 变容二极管

变容二极管是在高频条件下,利用PN结反偏工作时势垒电容效应而做成的一种特殊二极管。在通信电路中有较多的应用,如压控振荡器(VCO)、倍频器等。

7) 光电二极管

光电二极管是一种将光能转换为电能的半导体器件。在无光照时,与普通二极管一样,具有单向导电性。在光照射下,在外电路形成一反向电流,称为光电流,其值不仅随入射光的照度增强而增大,还与入射光的波长有关。

8) 发光二极管

发光二极管简称LED,是一种将电能转换为光能的半导体器件,包括可见光、不可见光、激光等不同类型,具有单向导电性。只有当外加的正向电压使得正向电流足够大时它才发光。发光二极管因其体积小、驱动电压低、工作电流小(10~30mA)、功耗小、发光均匀稳定、响应速度快和寿命长等优点,被广泛应用于显示电路中。

9) 肖特基二极管

利用金属与半导体之间的接触势垒可制成肖特基二极管。因其正向导通电压小、结电容小、存储时间短,广泛应用于微波混频、检测、集成化数字电路中。

8. 二极管电路的分析方法

1) 图解法

利用二极管的伏安特性曲线与外电路所确定的负载线,用作图的方法进行求解。

2) 模型法

将电路中的二极管用简化电路模型替代,利用简化电路直接分析、求解。

9. 二极管的应用电路(见重点与难点分析)

二、重点与难点分析

1. 二极管四种模型

1) 二极管的低频大信号模型

(1) 理想开关模型。

二极管正偏导通时,认为 $v_D \approx 0$, $R_D \approx 0$, $r_d \approx 0$, 正向电流 i_D 由外电路决定;二极管反偏截止时,认为 $i_D \approx 0$, $R_D \rightarrow \infty$, $r_d \rightarrow \infty$, 反向管压降 v_D 由外电路决定。

(2) 恒压源模型。

二极管正偏导通时, 认为 $v_D \approx V_{ON}$, $R_D \approx 0$, $r_d \approx 0$, 正向电流 i_D 由外电路决定; 二极管反偏或正偏电压小于 V_{ON} 时, 二极管截止, 认为 $i_D \approx 0$, $R_D \rightarrow \infty$, $r_d \rightarrow \infty$, 管压降 v_D 由外电路决定。

(3) 折线近似模型。

当二极管电压 $v_D < V_{ON}$ 时, $i_D = 0$, $R_D \rightarrow \infty$, $r_d \rightarrow \infty$; 当 $v_D > V_{ON}$ 时, 二极管导通, 且交流电阻 r_d 不变。

2) 二极管的低频小信号模型

在低频小信号条件下, 二极管工作点 Q 附近的伏安特性曲线可近似看成直线, 二极管可近似等效为一个线性元件 (交流电阻), 这种模型也用来计算叠加在工作点 Q 上微小电压或电流变化时的响应。

2. 二极管应用电路的分析

1) 整流电路

利用二极管的单向导电特性, 可将交流电压转变为单一极性的直流脉动电压。常见的整流电路有半波整流电路、全波整流电路、全波桥式整流电路。

2) 限幅电路

利用二极管的单向导电特性和导通后端电压基本不变的特点, 可组成将信号限定在某一范围内变化的限幅电路。限幅电路有单向限幅和双向限幅电路之分。

3) 稳压电路

利用稳压管反向击穿后的电流有很大变化时, 其端电压却变化很小, 几乎是恒定的这种特性可以构成所要求的稳压电路。

要使稳压电路能正常稳压, 必须正确选取限流电阻, 使稳压管工作在稳压区 ($I_{zmin} \leq I_z \leq I_{zmax}$)。限流电阻的选取范围为

$$\frac{V_{I_{max}} - V_z}{I_{z_{max}} + \frac{V_z}{R_{L_{max}}}} \leq R \leq \frac{V_{I_{min}} - V_z}{I_{z_{min}} + \frac{V_z}{R_{L_{min}}}}$$

三、习题解答

1.1 某 N 型 Si 材料的施主密度 $N_D = 10^{15}/\text{cm}^3$ 。在 $T = 300\text{K}$ 和 $T = 550\text{K}$ 时 Si 的本征浓度 n_i 分别为 $1.5 \times 10^{10}/\text{cm}^3$ 和 $10^{15}/\text{cm}^3$ 。计算在这两种温度下的自由电子浓度和空穴浓度, 并说明材料导电特性的变化。

解: (1) $T = 300\text{K}$ 。

因为 $N_D \gg n_i$, 肯定成立 $n_{n0} \gg p_{n0}$, 有

$$n_{n0} \approx N_D = 10^{15}/\text{cm}^3$$

$$p_{n0} = \frac{n_i^2}{n_{n0}} \approx \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{2.25 \times 10^{20}}{10^{15}} = 2.25 \times 10^5 (\text{cm}^{-3})$$

(2) $T=550\text{K}$ 。

因为 $n_i = N_D$ ，应联立 $\begin{cases} n_{n0} p_{n0} = n_i^2 \\ n_{n0} = N_D + p_{n0} \end{cases}$ 求解 n_{n0} 和 p_{n0} 。

将 n_i, N_D 代入上二方程可得

$$n_{n0}^2 - 10^{15} n_{n0} - 10^{30} = 0$$

由上式解出

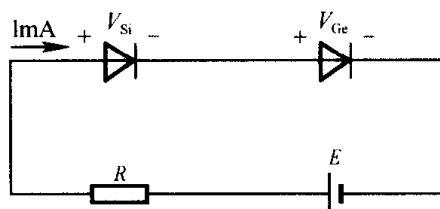
$$n_{n0} = 1.62 \times 10^5 / \text{cm}^3$$

所以

$$p_{n0} = n_{n0} - N_D = 0.62 \times 10^{15} / \text{cm}^3$$

结论：在 $T=300\text{K}$ 时， $n_{n0} \gg p_{n0}$ ，材料呈现杂质导电特性。在 $T=550\text{K}$ 时， $n_{n0} \approx p_{n0}$ ，材料已呈现本征导电特性。

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



题图 1.2

解：因为 $I \gg I_s$ ，两管已充分导通，故伏安关系近似为 $I = I_s e^{V/V_T}$ ，由此

$$V = V_T \ln \frac{I}{I_s}, \quad \text{取 } V_T = 26\text{mV} \quad (T = 300\text{K})$$

所以

$$V_{\text{Ge}} = 0.026 \ln \frac{1000}{1} = 0.18(\text{V})$$

$$V_{\text{Si}} = 0.026 \ln \frac{10^9}{0.5} = 0.557(\text{V})$$

1.3 在 $T=300\text{K}$ 时，利用 PN 结伏安方程做以下估算：

(1) 若反向饱和电流 $I_s = 10\mu\text{A}$ ，求正向电压为 0.1V 、 0.2V 和 0.3V 时的电流。

(2) 当反向电流达到反向饱和电流的 90% 时，反向电压为多少？

(3) 若正、反向电压均为 0.05V ，求正向电流与反向电流比值的绝对值。

解 (1) $V=0.1\text{V}$ 时， $I_1 = 10(e^{0.1/0.026} - 1) = 458 (\mu\text{A})$ ；

$$V=0.2\text{V} \text{ 时， } I_2 = 10(e^{0.2/0.026} - 1) = 21.9 (\text{mA})$$

$$V=0.3\text{V} \text{ 时， } I_3 = 10(e^{0.3/0.026} - 1) = 1.026 (\text{A})$$

(2) 按题意

$$-0.9I_s = I_s(e^{V/0.026} - 1)$$

由上式解出

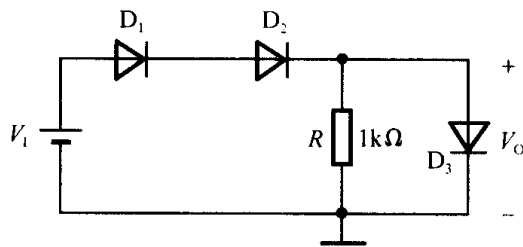
$$V = 0.026 \ln 0.1 = -0.06(\text{V})$$

$$(3) \quad \left| \frac{I_+}{I_-} \right| = \frac{e^{0.05/0.026} - 1}{e^{-0.05/0.026} - 1} = \frac{5.84}{0.54} = 6.84$$

1.4 二极管的伏安特性可用 $i_D = 20 \times 10^{-12} (e^{\frac{v_D}{V_T}} - 1) \text{A}$ 来表示, 设 $V_T = 26\text{mV}$ 。如果用一个 1.5V 的干电池正向接在该二极管的两端, 试计算将有多大电流通过? 电流值是否与实际情况相符?

解: 计算值 $I_D = 2.27 \times 10^{14} \text{A}$, 实际上, 电流一旦超过允许的最大整流电流, 管子就因过热而烧毁。

1.5 题图 1.5 中所有二极管的反向饱和电流均为 $I_S = 2 \times 10^{-13} \text{A}$, 求输出电压 $V_O = 0.6\text{V}$ 时相应的输入电压 V_I 。



题图 1.5

解:

$$I_{D_3} \approx I_S e^{\frac{V_{D_3}}{V_T}} = I_S e^{\frac{V_O}{V_T}} = 2 \times 10^{-13} e^{\frac{0.6 \times 10^3}{26}} = 2.1 \times 10^{-3} (\text{A}) = 2.1 (\text{mA})$$

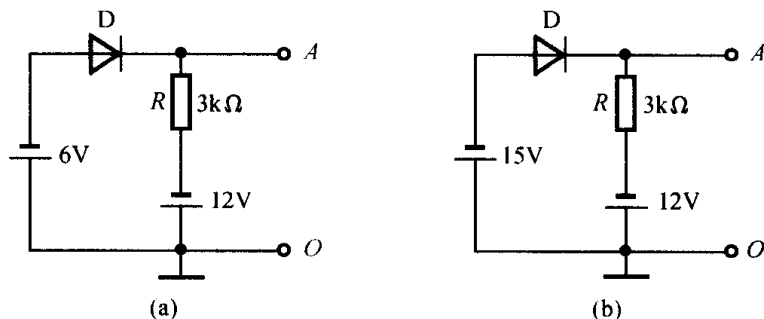
$$I_R = \frac{V_O}{R} = \frac{0.6}{1000} = 0.6 \times 10^{-3} (\text{A}) = 0.6 (\text{mA})$$

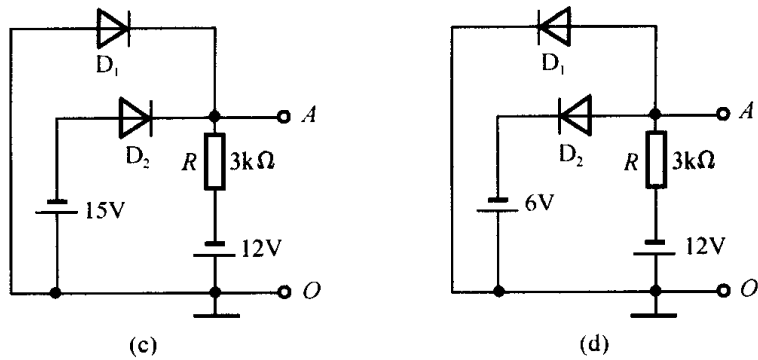
$$I_{D_1 D_2} = I_R + I_{D_3} = 2.7 \times 10^{-3} (\text{A}) = 2.7 (\text{mA})$$

$$V_{D_1} = V_{D_2} = V_T \ln \frac{I_{D_1 D_2}}{I_S} = 0.026 \times \ln \frac{2.7 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-13}} = 0.61 (\text{V})$$

$$V_I = V_{D_1} + V_{D_2} + V_O = 2V_{D_1} + V_O = 1.2 + 0.6 = 1.8 (\text{V})$$

1.6 二极管电路如题图 1.6 所示, 判断各图中的二极管是导通还是截止, 并求出 A、O 两端电压 V_{AO} 。设二极管的导通压降为 0.7V 。





题图 1.6

解：图 (a) 首先将二极管 D 断开，求二极管两端将承受的电压

$$V_D = -6 - (-12) = 6(\text{V}) > V_{D(\text{ON})} = 0.7\text{V}, \quad \text{二极管 D 导通}$$

$$V_{AO} = -6 - 0.7 = -6.7(\text{V})$$

图 (b) 断开二极管 D，二极管两端将承受的电压

$$V_D = -15 - (-12) = -3(\text{V}) < V_{D(\text{ON})} = 0.7\text{V}, \quad \text{二极管 D 截止}$$

$$V_{AO} = -12\text{V}$$

图 (c) 两个二极管 D_1 、 D_2 未接入时所承受的电压分别为

$$V_{D_1} = 0 - (-12) = 12(\text{V}), \quad V_{D_2} = -15 - (-12) = -3(\text{V})$$

两个二极管 D_1 、 D_2 接入后，由于

$$V_{D_1} = 12\text{V} > V_{D_1(\text{ON})} = 0.7\text{V}, \quad \text{故二极管 } D_1 \text{ 导通}$$

$$V_{D_2} = -3\text{V} < V_{D_2(\text{ON})} = 0.7\text{V}, \quad \text{故二极管 } D_2 \text{ 截止}$$

则

$$V_{AO} = -V_{D_1(\text{ON})} = -0.7\text{V}$$

图 (d) 两个二极管 D_1 、 D_2 未接入时所承受的电压分别为

$$V_{D_1} = -12 - 0 = -12(\text{V}), \quad V_{D_2} = -12 - (-6) = -6(\text{V})$$

两个二极管 D_1 、 D_2 接入后，由于

$$V_{D_1} = -12\text{V} < V_{D_1(\text{ON})} = 0.7\text{V}, \quad \text{故二极管 } D_1 \text{ 截止}$$

$$V_{D_2} = -6\text{V} < V_{D_2(\text{ON})} = 0.7\text{V}, \quad \text{故二极管 } D_2 \text{ 截止}$$

则

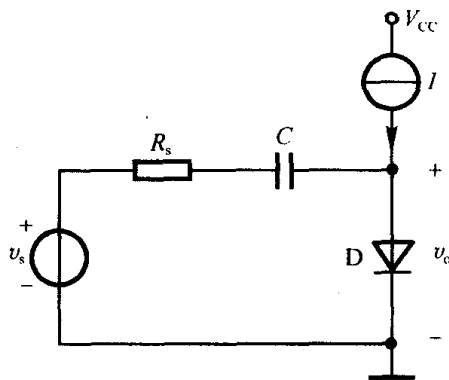
$$V_{AO} = -12\text{V}$$

1.7 二极管电路如题图 1.7 所示，偏置电流为 I ，正弦信号 v_s 与 R_s 和 C 串联。设 C 足够大，在正弦信号作用下可视为短路。(1) 证明： $v_o = \left(\frac{V_T}{V_T + IR_s}\right)v_s$ ；

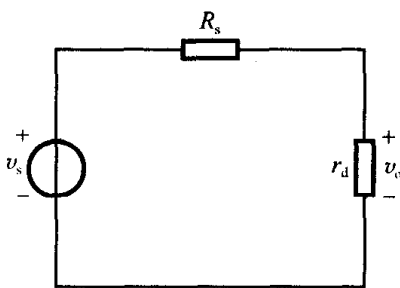
(2) 当 $T=300\text{K}$, $R_s=260\Omega$, 且 $I=1\text{mA}$, $I=0.1\text{mA}$, $I=0.01\text{mA}$ 时, 分别计算 $\frac{v_o}{v_s}$ 。

解: (1) 二极管 D 的交流电阻 $r_d = \frac{V_T}{I_D} = \frac{V_T}{I}$, 由交流通路 (题图 1.7.1) 可知

$$v_o = \frac{r_d}{R_s + r_d} v_s = \frac{\frac{V_T}{I}}{R_s + \frac{V_T}{I}} v_s = \frac{V_T}{V_T + IR_s} v_s$$



题图 1.7



题图 1.7.1

(2) 当 $T=300\text{K}$, $R_s=260\Omega$ 时, 有

$$I = 1\text{mA}, \quad \frac{v_o}{v_s} = \frac{V_T}{V_T + IR_s} = 0.9991$$

$$I = 0.1\text{mA}, \quad \frac{v_o}{v_s} = \frac{V_T}{V_T + IR_s} = 0.99991$$

$$I = 0.01\text{mA}, \quad \frac{v_o}{v_s} = \frac{V_T}{V_T + IR_s} = 0.999991$$

1.8 二极管电路如题图 1.8 所示, 设二极管的正向导通电压为 0.7V , 电容 C_1 和 C_2 容量足够大, 对信号可视为短路, $v_1(t) = \sin\omega t$ (V)。

(1) 试画出直流等效电路和交流等效电路;

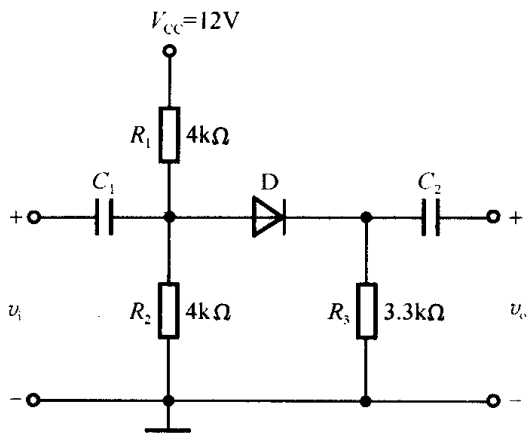
(2) 求输出电压 v_o 的值。

解: (1) 直流等效电路 (题图 1.8.1)。

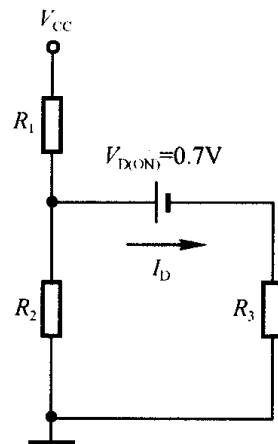
由节点方程可知

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)V_{R_2} = \frac{V_{CC}}{R_1} + \frac{V_{D(ON)}}{R_3}$$

$$V_{R_2} = 4\text{V}, \quad I_D = \frac{V_{R_2} - V_{D(ON)}}{R_3} = 1\text{mA}$$



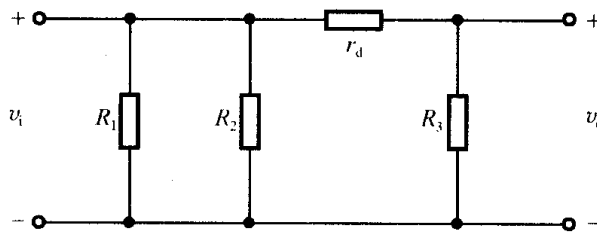
题图 1.8



题图 1.8.1

$$r_d = \frac{26\text{mV}}{I_D} = 26\Omega$$

(2) 交流等效电路 (题图 1.8.2)。



题图 1.8.2

由于 $R_3 \gg r_d$, 则

$$v_o = \frac{R_3}{r_d + R_3} v_i \approx v_i = \sin\omega t (\text{V})$$

1.9 题图 1.9 所示电路中, v_i 是振幅为 10V 的低频正弦电压, 二极管视为恒压器件 ($V_{\text{ON}} = 0.7\text{V}$)。试画出 v_o 的波形。

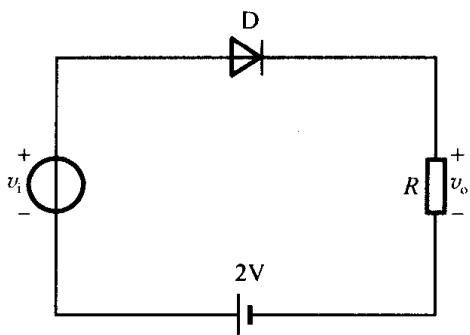
解一: 因为二极管在回路中有 2V 正偏, 又 D 导通电压为 0.7V , 所以 $v_i > -1.3\text{V}$ 时, D 导通。

$$v_o = -0.7 + v_i + 2 = 1.3 + v_i$$

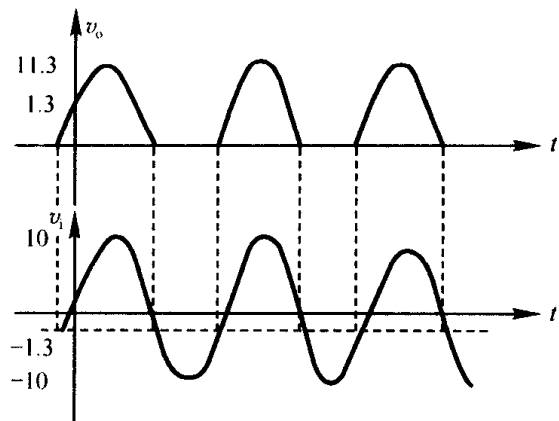
当 $v_i < -1.3\text{V}$ 时, D 截止, $v_o = 0$ 。

所以 v_o 的波形为题图 1.9.1。

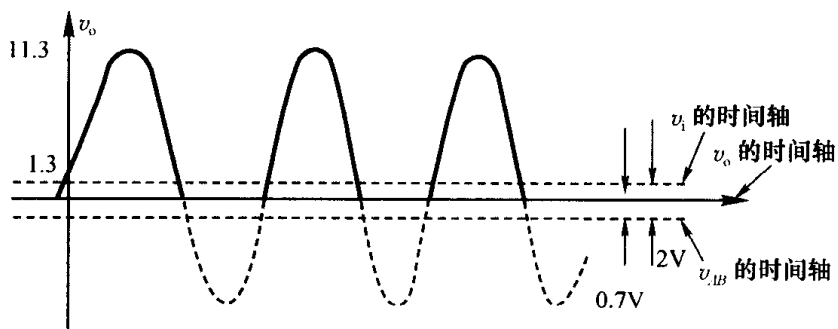
解二: $v_{AB} = v_i + 2$, $v_{AB} > 0.7\text{V}$ 时, D 导通, $v_o = v_{AB} - 0.7$ 。 $v_{AB} < 0.7\text{V}$ 时, D 截止, $v_o = 0$, 所以波形为题图 1.9.2。



题图 1.9

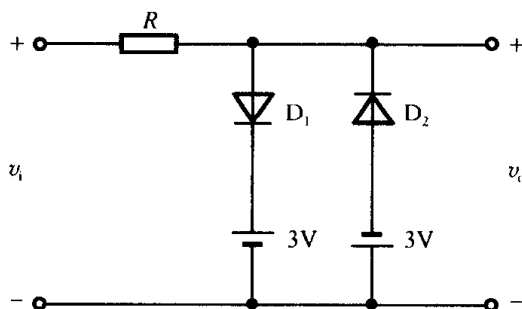


题图 1.9.1



题图 1.9.2

1.10 并联型二极管双限幅电路如题图 1.10 示, 已知 $v_i(t) = 5\sin\omega t$ (V), 二极管视为恒压器件 ($V_{ON} = 0.7V$)。试画出 v_o 的波形。



题图 1.10

解: 当 $v_i < -3.7V$ 时, D_1 截止, D_2 导通, 有

$$v_o = -3.7V$$

当 $-3.7V < v_i < 3.7V$ 时, D_1 、 D_2 均截止, 有