



# 模拟电子技术基础 同步辅导

清华·第三版

主 编 李国顺  
副主编 张凯利 林喜荣

哈尔滨工业大学出版社



# 模拟电子技术基础

## 同步辅导

——概念·典型例题·习题——

主 编 李国顺

副主编 张松海 周建强

电子工业出版社·北京

高等学校教材同步辅导系列

# 模拟电子技术基础 同步辅导

(清华·第三版)

主 编 李国顺  
副主编 张凯利 林喜荣

哈尔滨工业大学出版社

·哈尔滨·

## 内 容 提 要

本书是为了配合高等学校“模拟电子技术基础”课程的教学而编写的一本教学参考书。编者按照《模拟电子技术基础》(第三版,清华大学电子学教研组编,高等教育出版社)教材的章节顺序进行编写,每章分三个版块:一、典型题解析;二、自测题全解;三、习题全解。

本书可作为高等学校电气、电子类及相关专业学生的辅导教材,也可作为从事电子技术的教学人员和自学者的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础同步辅导/清华大学第3版/李国顺主编.  
—哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2005.1

ISBN 7-5603-2112-7

I.模… II.李… 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(2004)第 094526 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

开 本 850×1168 1/32 印张 8.75 字数 246 千字

版 次 2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5603-2112-7/TN·75

印 数 1~5 000

定 价 10.00 元

# 前 言

学习电子技术,做习题是不可缺少的教学环节。经常有同学反映,上课能听懂,而遇到习题往往不会做。这就说明做习题需要一定的引导。为了适应当前模拟电子技术的发展形势及教学要求,满足广大同学的求知欲望,我们编写了此书,试图对学生理解教材内容、掌握解题方法和技巧起到辅导作用。

本书按照《模拟电子技术基础》(第三版,清华大学电子学教研组编,高等教育出版社)教材的章节顺序进行编写,每章分三个版块:

**一、典型题解析**——精选了典型的具有代表性的例题进行详尽的分析和解答,使您加深对教材内容的理解和提高解题技巧。

**二、自测题全解**——给出了《模拟电子技术基础》(第三版,清华大学电子学教研组编,高等教育出版社)各章自测题的全部解答。

**三、习题全解**——给出了《模拟电子技术基础》(第三版,清华大学电子学教研组编,高等教育出版社)各章习题的全部解答。

参加本书编写的有李国顺、张凯利、林喜荣、于春雨、王英立、王旭峰、李胜明、刘正梅老师。全书由房国志、沈永斌老师审阅。

限于编者水平,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2004年9月于哈尔滨

# 目 录

## 第一章 常用半导体器件

|               |   |
|---------------|---|
| 一、典型题解析 ..... | 1 |
| 二、自测题全解 ..... | 4 |
| 三、习题全解 .....  | 9 |

## 第二章 基本放大电路

|               |    |
|---------------|----|
| 一、典型题解析 ..... | 23 |
| 二、自测题全解 ..... | 27 |
| 三、习题全解 .....  | 33 |

## 第三章 多级放大电路

|               |    |
|---------------|----|
| 一、典型题解析 ..... | 55 |
| 二、自测题全解 ..... | 61 |
| 三、习题全解 .....  | 64 |

## 第四章 集成运算放大电路

|               |    |
|---------------|----|
| 一、典型题解析 ..... | 78 |
| 二、自测题全解 ..... | 82 |
| 三、习题全解 .....  | 85 |

## 第五章 放大电路的频率响应

|               |     |
|---------------|-----|
| 一、典型题解析 ..... | 97  |
| 二、自测题全解 ..... | 104 |
| 三、习题全解 .....  | 108 |

## 第六章 放大电路中的反馈

|               |     |
|---------------|-----|
| 一、典型题解析 ..... | 123 |
| 二、自测题全解 ..... | 128 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 三、习题全解 .....           | 132 |
| <b>第七章 信号的运算和处理</b>    |     |
| 一、典型题解析 .....          | 152 |
| 二、自测题全解 .....          | 155 |
| 三、习题全解 .....           | 158 |
| <b>第八章 波形的发生和信号的转换</b> |     |
| 一、典型题解析 .....          | 180 |
| 二、自测题全解 .....          | 184 |
| 三、习题全解 .....           | 189 |
| <b>第九章 功率放大电路</b>      |     |
| 一、典型题解析 .....          | 216 |
| 二、自测题全解 .....          | 219 |
| 三、习题全解 .....           | 222 |
| <b>第十章 直流电源</b>        |     |
| 一、典型题解析 .....          | 238 |
| 二、自测题全解 .....          | 239 |
| 三、习题全解 .....           | 244 |
| <b>第十一章 模拟电子电路读图</b>   |     |
| 一、典型题解析 .....          | 260 |
| 二、习题全解 .....           | 266 |

# 第一章

## 常用半导体器件

### 一、典型题解析

【例 1.1】电路如图 L1.1(a) 和(b) 所示, 设二极管的正向压降  $U_D = 0.7 \text{ V}$ 。试估算 A 点的电位和流过二极管的电流。

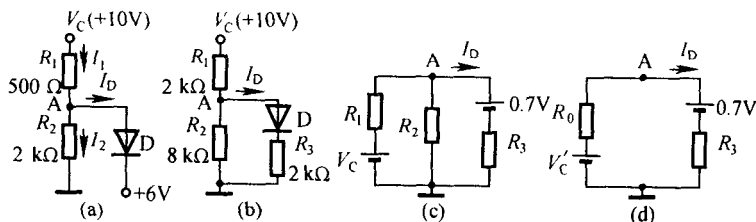


图 L1.1

**解** 首先判断二极管在电路中的工作状态, 常用方法是: 假设二极管断开, 求得二极管阳极和阴极之间将承受的电压。如果该电压大于导通电压, 则二极管处于正向偏置而导通, 两端的实际电压为二极管的导通压降; 如果该电压小于导通电压, 则二极管截止。因此

1. 在图 L1.1(a) 中, 首先将 D 断开, 二极管将承受  $+4 \text{ V}$  的电压而导通, 故

$$V_A = (U_D + 6) \text{ V} = 6.7 \text{ V}$$

$$I_D = I_1 - I_2 = \frac{V_C - V_A}{R_1} - \frac{V_A}{R_2} = \frac{(10 - 6.7) \text{ V}}{0.5 \text{ k}\Omega} - \frac{6.7 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega} = 3.25 \text{ mA}$$

2. 在图 L1.1(b) 中, 首先将 D 断开, 二极管将承受  $+8 \text{ V}$  的电

压而导通,其等效电路如图 L1.1(c) 所示,由此可得

$$V_A = \frac{\frac{V_C}{R_1} + \frac{U_D}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{\frac{10 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega} + \frac{0.7 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega}}{\frac{1}{2 \text{ k}\Omega} + \frac{1}{8 \text{ k}\Omega} + \frac{1}{2 \text{ k}\Omega}} \approx 4.76 \text{ V}$$

$$I_D = \frac{V_A - U_D}{R_3} = \frac{(4.76 - 0.7) \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega} \approx 2.03 \text{ mA}$$

本题还可以用戴维宁定理将图 L1.1(b) 等效变换为图 L1.1(d)。

$$\text{其中 } V'_C = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_C = 8 \text{ V}, R_0 = R_1 // R_2 = 1.6 \text{ k}\Omega,$$

$$I_D = \frac{V'_C - U_D}{R_0 + R_3} = 2.03 \text{ mA}, \text{结果相同。}$$

[例 1.2] 二极管电路如图 L1.2 (a) 所示, 已知  $u_i = 5\sin\omega t(\text{mV})$ , 直流电源  $V = 4 \text{ V}$ ,  $R = 1 \text{ k}\Omega$ , 电容  $C$  和直流电源  $V$  对交流视为短路, 求硅二极管两端的电压和流过二极管的电流。

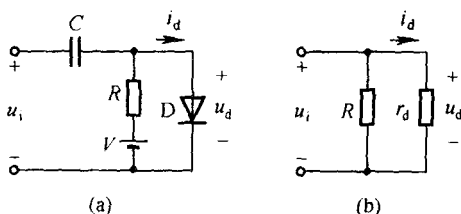


图 L1.2

**解** 由图 L1.2 (a) 可知, 加在二极管两端的电压既有直流成分又有交流成分, 流过二极管的电流也既有直流又有交流。二极管在其直流电压建立的静态工作点上再叠加一个微小信号。分析交、直流量共存的电子电路, 常用方法是对直流状态和交流状态分别进行分析, 然后再进行综合。

(1) 静态分析 令  $u_i = 0$ , 用估算法得  $U_D \approx 0.7 \text{ V}$ 。则

$$I_D = \frac{V - U_D}{R} = \frac{(4 - 0.7)V}{1 \text{ k}\Omega} = 3.3 \text{ mA}$$

(2) 动态分析 二极管电路的微变等效电路如图 L1.2 (b)

$$u_d = u_i = 5 \sin \omega t \text{ mV}$$

$$r_d = \frac{U_T}{I_D} = \frac{26 \text{ mV}}{3.3 \text{ mA}} \approx 8 \Omega$$

$$I_{dm} = \frac{U_{im}}{r_d} = \frac{5 \text{ mV}}{8 \Omega} = 0.625 \text{ mA}$$

$$i_d = 0.625 \sin \omega t \text{ mA}$$

(3) 瞬时电压、电流

$$u_D = U_D + u_d = (0.7 + 0.005 \sin \omega t) \text{ V}$$

$$i_D = I_D + i_d = (3.3 + 0.625 \sin \omega t) \text{ mA}$$

[例 1.3] 试说明图 L1.3 所示的器件各工作在什么状态。已知:  $T_1$  管  $\beta = 40$ ,  $T_2$  管  $U_{GS(th)} = 2 \text{ V}$ ,  $T_3$  管  $U_{GS(off)} = -3.5 \text{ V}$ 。

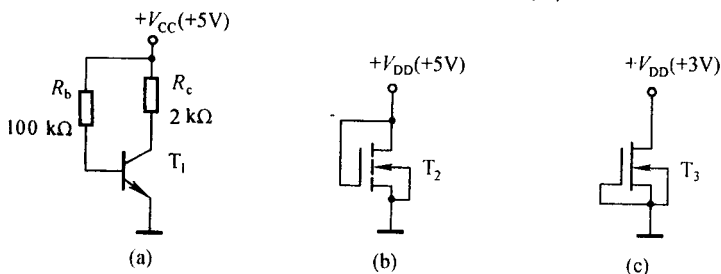


图 L1.3

解 1. 在图 L1.3(a) 中,

$$I_B = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_b} = \frac{(5 - 0.7)V}{100 \text{ k}\Omega} = 0.043 \text{ mA} = 43 \mu\text{A}$$

临界饱和时的基极电流为

$$I_{BS} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\beta R_C} = \frac{(5 - 0.7)V}{40 \times 2 \text{ k}\Omega} = 0.054 \text{ mA} = 54 \mu\text{A}$$

由于  $I_B < I_{BS}$ , 故管子工作在放大状态。

2. 在图 L1.3(b) 中,  $U_{GS} = 5\text{ V} > U_{GS(th)}$ ,  $U_{DS} = 5\text{ V}$ ,  $U_{GS} - U_{GS(th)} = 5 - 2 = 3\text{ V}$ , 由于  $U_{DS} > U_{GS} - U_{GS(th)}$ , 故管子工作在恒流区(饱和区)。

3. 在图 L1.3(c) 中,  $T_3$  管是 N 沟道耗尽型 MOS 管, 由图可见,  $U_{GS} = 0$ ,  $U_{DS} = +3\text{ V}$ , 而  $U_{GS} - U_{GS(th)} = 0 - (-3.5) = 3.5\text{ V}$ , 由于  $U_{DS} < U_{GS} - U_{GS(th)}$ , 故管子工作在可变电阻区。

## 二、自测题全解

一、判断下列说法是否正确, 用“√”和“×”表示判断结果填入空内。

(1) 在 N 型半导体中如果掺入足够量的三价元素, 可将其改型为 P 型半导体。( )

(2) 因为 N 型半导体的多子是自由电子, 所以它带负电。( )

(3) PN 结在无光照、无外加电压时, 结电流为零。( )

(4) 处于放大状态的晶体管, 集电极电流是多子漂移运动形成的。( )

(5) 结型场效应管外加的栅 - 源电压应使栅 - 源间的耗尽层承受反向电压, 才能保证其  $R_{GS}$  大的特点。( )

(6) 若耗尽型 N 沟道 MOS 管的  $U_{GS}$  大于零, 则其输入电阻会明显变小。( )

解 (1)√ (2)× (3)√ (4)× (5)√ (6)×

二、选择正确答案填入空内。

(1) PN 结加正向电压时, 空间电荷区将 \_\_\_\_\_。

A. 变窄                      B. 基本不变                      C. 变宽

(2) 设二极管的端电压为  $U$ , 则二极管的电流方程是

- \_\_\_\_\_。  
 A.  $I_S e^U$                       B.  $I_S e^{U/U_T}$                       C.  $I_S (e^{U/U_T} - 1)$

(3) 稳压管的稳压区是其工作在 \_\_\_\_\_。

- A. 正向导通              B. 反向截止                      C. 反向击穿

(4) 当晶体管工作在放大区时, 发射结电压和集电结电压应为 \_\_\_\_\_。

- A. 前者反偏、后者也反偏  
 B. 前者正偏、后者反偏  
 C. 前者正偏、后者也正偏

(5)  $U_{GS} = 0 \text{ V}$  时, 能够工作在恒流区的场效应管有 \_\_\_\_\_。

- A. 结型管                      B. 增强型 MOS 管                      C. 耗尽型 MOS 管

解 (1)A (2)C (3)C (4)B (5)A C

三、写出图 T1.3 所示各电路的输出电压值, 设二极管导通电压  $U_D = 0.7 \text{ V}$ 。

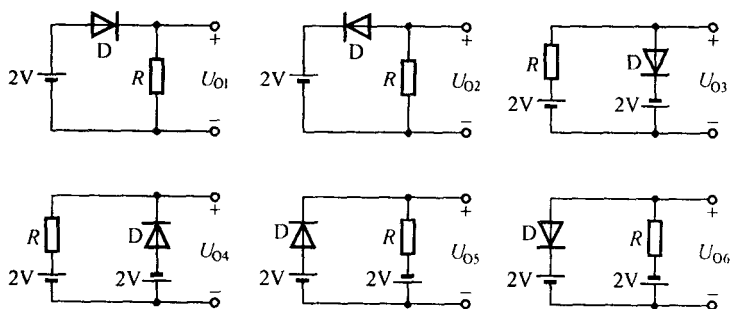


图 T1.3

解  $U_{01} \approx 1.3 \text{ V}$ ,  $U_{02} = 0$ ,  $U_{03} \approx -1.3 \text{ V}$ ,  $U_{04} \approx 2 \text{ V}$ ,  $U_{05} \approx 1.3 \text{ V}$ ,  $U_{06} \approx -2 \text{ V}$ 。

四、已知稳压管的稳压值  $U_Z = 6 \text{ V}$ , 稳定电流的最小值

$I_{Zmin} = 5 \text{ mA}$ 。求图 T1.4 所示电路中  $U_{O1}$  和  $U_{O2}$  各为多少伏。

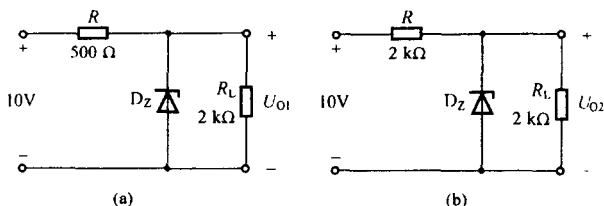


图 T1.4

解 首先假设稳压管能稳压, 求出稳压管中的电流  $I_Z$ , 若  $I_{Zmin} \leq I_Z \leq I_{Zmax}$ , 则假设正确, 输出为  $U_Z$ , 否则, 稳压管截止。

1. 由图 T1.4(a)

$$I_R = \frac{10 - U_Z}{R} = 8 \text{ mA}, I_L = \frac{U_Z}{R_L} = \frac{6 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega} = 3 \text{ mA},$$

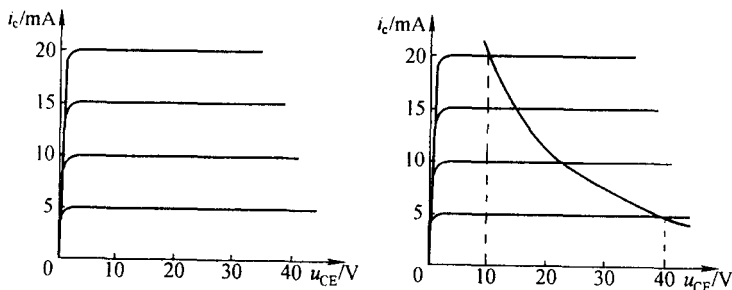
$$I_Z = I_R - I_L = 5 \text{ mA} = I_{Zmin},$$

故稳压管能稳压,  $U_{O1} = U_Z = 6 \text{ V}$

2. 由图 T1.4(b)

$$I_R = \frac{10 - U_Z}{R} = 2 \text{ mA} < I_{Zmin}, \text{故 } D_Z \text{ 截止, } U_{O2} = \frac{R_L}{R + R_L} \times 10 = 5 \text{ V}$$

五、某晶体管的输出特性曲线如图 T1.5 所示, 其集电极最大耗散功率  $P_{CM} = 200 \text{ mW}$ , 试画出它的过损耗区。



• 6 • 图 T1.5

解图 T1.5

解 根据  $P_{CM} = 200 \text{ mW}$  可得:  $U_{CE} = 40 \text{ V}$  时  $I_C = 5 \text{ mA}$ ,  $U_{CE} = 30 \text{ V}$  时  $I_C \approx 6.67 \text{ mA}$ ,  $U_{CE} = 20 \text{ V}$  时  $I_C = 10 \text{ mA}$ ,  $U_{CE} = 10 \text{ V}$  时  $I_C = 20 \text{ mA}$ , 将各点连接成曲线, 即为临界过损耗线, 如解图 T1.5 所示。临界过损耗线的右上边为过损耗区。

六、电路如图 T1.6 所示,  $V_{CC} = 15 \text{ V}$ ,  $\beta = 100$ ,  $U_{BE} = 0.7 \text{ V}$ 。试问:

- (1)  $R_b = 50 \text{ k}\Omega$  时,  $U_O = ?$
- (2) 若 T 临界饱和, 则  $R_b \approx ?$

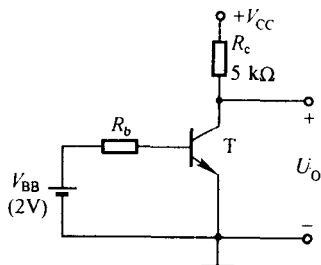


图 T1.6

解 (1)  $R_b = 50 \text{ k}\Omega$  时, 基极电流、集电极电流和管压降分别为

$$I_B = \frac{V_{BB} - U_{BE}}{R_b} = 26 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 2.6 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 2 \text{ V}$$

所以, 输出端电压  $U_O = U_{CE} = 2 \text{ V}$ 。

(2) 设临界饱和时  $U_{CES} = U_{BE} = 0.7 \text{ V}$ , 所以

$$I_C = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_c} = 2.86 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = 28.6 \mu\text{A}$$

$$R_b = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{I_B} \approx 45.4 \text{ k}\Omega$$

七、测得某放大电路中三个 MOS 管的三个电极的电位如表 T1.7 所示,它们的开启电压也在表中。试分析各管的工作状态(截止区、恒流区、可变电阻区),并填入表内。

表 T1.7

| 管 号            | $U_{GS(th)}/V$ | $U_S/V$ | $U_G/V$ | $U_D/V$ | 工作状态 |
|----------------|----------------|---------|---------|---------|------|
| T <sub>1</sub> | 4              | -5      | 1       | 3       |      |
| T <sub>2</sub> | -4             | 3       | 3       | 10      |      |
| T <sub>3</sub> | -4             | 6       | 0       | 5       |      |

解 因为三只管子均有开启电压,所以它们均为增强型 MOS 管。根据  $U_{GS(th)}$  的值可知, T<sub>1</sub> 为 N 沟道管, T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 为 P 沟道管。根据表中所示各极电位可判断出它们各自的工作状态。

T<sub>1</sub>: 因为  $U_{GS} = U_G - U_S = 6 \text{ V} > U_{GS(th)}$ , 所以管子导通。

而  $U_{DS} = U_D - U_S = 8 \text{ V}$ ,  $U_{GS} - U_{GS(th)} = 2 \text{ V}$ ,

$U_{DS} > U_{GS} - U_{GS(th)}$ , 故工作在恒流区。

T<sub>2</sub>: 因为  $U_{GS} = U_G - U_S = 0$ ,  $|U_{GS}| < |U_{GS(th)}|$ , 故工作在截止区。

T<sub>3</sub>: 因为  $U_{GS} = U_G - U_S = -6 \text{ V}$ ,  $|U_{GS}| > |U_{GS(th)}|$ , 所以管子导通。

而  $U_{DS} = U_D - U_S = -1 \text{ V}$ ,  $U_{GS} - U_{GS(th)} = -2 \text{ V}$

$|U_{DS}| < |U_{GS} - U_{GS(th)}|$ , 故工作在可变电阻区。

如解表 T1.7 所示。

解表 T1.7

| 管 号   | $U_{GS(th)}/V$ | $U_S/V$ | $U_G/V$ | $U_D/V$ | 工作状态  |
|-------|----------------|---------|---------|---------|-------|
| $T_1$ | 4              | - 5     | 1       | 3       | 恒流区   |
| $T_2$ | - 4            | 3       | 3       | 10      | 截止区   |
| $T_3$ | - 4            | 6       | 0       | 5       | 可变电阻区 |

### 三、习题全解

#### 1.1 选择合适答案填入空内。

(1) 在本征半导体中加入 \_\_\_\_\_ 元素可形成 N 型半导体, 加入 \_\_\_\_\_ 元素可形成 P 型半导体。

A. 五价                      B. 四价                      C. 三价

(2) 当温度升高时, 二极管的反向饱和电流将 \_\_\_\_\_。

A. 增大                      B. 不变                      C. 减小

(3) 工作在放大区的某三极管, 如果当  $I_B$  从  $12\mu A$  增大到  $22\mu A$  时,  $I_C$  从  $1\text{ mA}$  变为  $2\text{ mA}$ , 那么它的  $\beta$  约为 \_\_\_\_\_。

A. 83                      B. 91                      C. 100

(4) 当场效应管的漏极直流电流  $I_D$  从  $2\text{ mA}$  变为  $4\text{ mA}$  时, 它的低频跨导  $g_m$  将 \_\_\_\_\_。

A. 增大                      B. 不变                      C. 减小

解 (1) A, C (2) A (3) C (4) A

1.2 能否将  $1.5\text{ V}$  的干电池以正向接法接到二极管两端? 为什么?

解 不能。因为二极管的正向电流与其端电压成指数关系, 当端电压为  $1.5\text{ V}$  时, 管子会因电流过大而烧坏。

**1.3** 电路如图 P1.3 所示, 已知  $u_i = 10\sin\omega t$  V, 试画出  $u_i$  与  $u_o$  的波形。设二极管正向导通电压可忽略不计。

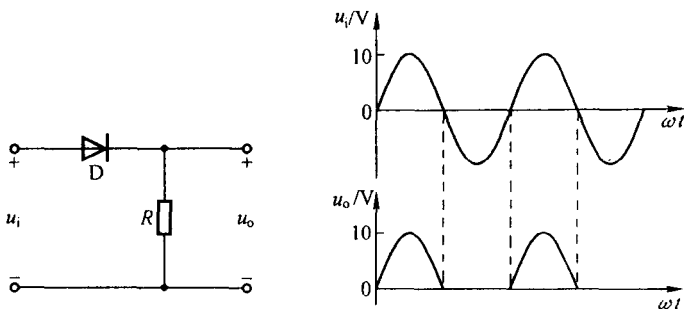


图 P1.3

解图 P1.3

**解**  $u_i > 0$  时, D 导通,  $u_o = u_i$ ;  $u_i < 0$  时, D 截止,  $u_o = 0$ 。  
 $u_i$  和  $u_o$  的波形如解图 P1.3 所示。

**1.4** 电路如图 P1.4 所示, 已知  $u_i = 5\sin\omega t$  V, 二极管导通电压  $U_D = 0.7$  V。试画出  $u_i$  与  $u_o$  的波形, 并标出幅值。

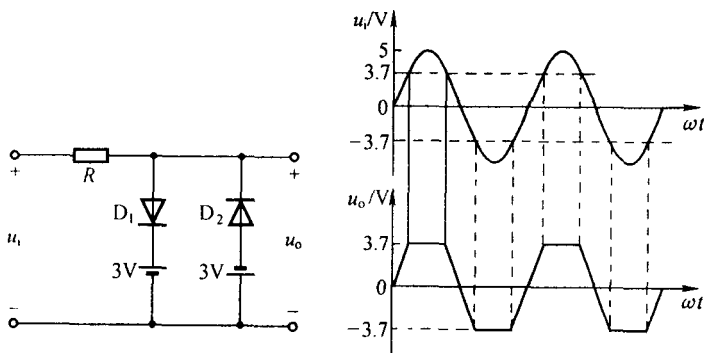


图 P1.4

解图 P1.4

**解**  $u_i > 3.7$  V 时,  $D_1$  导通,  $D_2$  截止,  $u_o = 3.7$  V;  $u_i <$   
• 10 •