

第1章

第1章习题答案

1.1 能否将 1.5V 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 1.5V 时管子会因电流过大而烧坏。

1.2 已知稳压管的稳压值 $U_Z = 6V$ ，稳定电流的最小值 $I_{Zmin} = 5mA$ 。求图 T1.2 所示电路中的 U_{O1} 和 U_{O2} 各为多少伏。

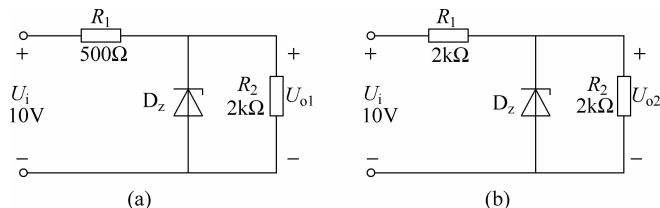


图 T1.2

解：图 T1.2(a) 若 $U_{O1} = U_Z = 6V$ ，则稳压管的电流为

$$I_Z = \frac{U_i - U_Z}{R_1} - \frac{U_{O1}}{R_2} = \frac{10V - 6V}{500\Omega} - \frac{6V}{2000\Omega} = 5mA$$

等于稳压管的最小稳定电流，所以 $U_{O1} = 6V$ 。

图 T1.2(b) 靠近电源正端电阻 R_1 的电压 $U_1 = U_i - U_Z = 10V - 6V = 4V$ ， $I_1 = U_1 / R_1 = 4V / 2000\Omega = 2mA$ ，因为 $I_Z = I_1 - I_2$ ，而且稳压管的稳定电流最小值 $I_{Zmin} = 5mA > I_1$ ，所以稳压管未击穿，故

$$U_{O2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_i = \frac{2k\Omega}{2k\Omega + 2k\Omega} \cdot 10V = 5V$$

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

解：在图 T1.3(a) 所示的电路中，二极管 D_1 正向导通，相当于短路，输出电压 $u_{O1} \approx 0.7V$ 。

在图 T1.3(b) 所示的电路中，二极管 D_1 正向导通，相当于短路，输出电压为 $u_{O2} \approx 3V - 0.7V = 2.3V$ 。

在图 T1.3(c) 所示的电路中，二极管 D_1 反向截止，相当于开路，输出电压 $u_{O3} = 0V$ 。

在图 T1.3(d) 所示的电路中，二极管 D_1 正向导通，相当于短路，输出电压为 $u_{O4} \approx 3V - 0.7V = 2.3V$ 。

在图 T1.3(e) 所示的电路中，二极管 D_1 反向截止，相当于开路，输出电压 $u_{O5} \approx 3V$ 。

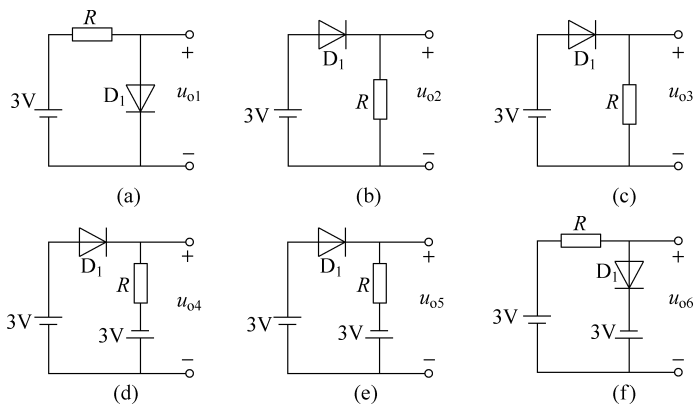


图 T1.3

在图 T1.3(f)所示的电路中,二极管 D_1 正向导通,相当于短路,输出电压为 $u_{o6} \approx -3V + 0.7V = -2.3V$ 。

1.4 测得某放大电路中三个 MOS 管的三个电极的电位如表 T1.4 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 T1.4

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

1.5 电路如图 T1.5(a)所示,其输入电压 u_{i1} 和 u_{i2} 的波形如图 T1.5(b)所示,二极管导通电压 $U_D = 0.7V$ 。试画出输出电压 u_o 的波形,并标出幅值。

解: u_o 的波形图如图 A1.5 所示。

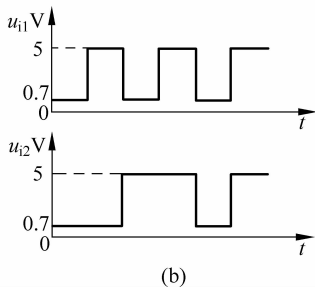
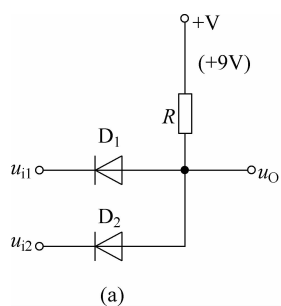


图 T1.5

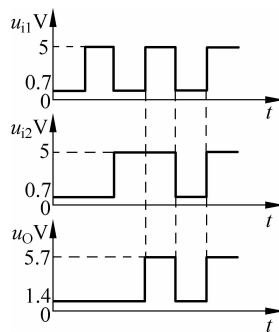


图 A1.5

1.6 某一只晶体管的 $P_{CM} = 100mW$, $U_{CEO} = 20V$, $I_{CM} = 20mA$ 。

(1) 若 $U_{CE} = 2V$, $I_C = 40mA$,该管子能否正常工作?

(2) 若 $U_{CE} = 5V$, $I_C = 15mA$,该管子能否正常工作?

解: (1) 最大管压降 $U_{CE} = \frac{P_{CM}}{I_{CM}} = \frac{100mW}{20mA} = 5V$, 当 $U_{CE} = 2V$ 时小于最大管压降; 当

$I_C = 40\text{mA}$ 时大于集电极最大允许电流 $I_{CM} = 20\text{mA}$, 所以该管子不能正常工作。

(2) 最大管压降 $U_{CE} = \frac{P_{CM}}{I_{CM}} = \frac{100\text{mW}}{20\text{mA}} = 5\text{V}$, 当 $U_{CE} = 5\text{V}$ 时等于最大管压降; 当 $I_C = 15\text{mA}$ 时小于集电极最大允许电流 $I_{CM} = 20\text{mA}$, 所以该管子能正常工作。

1.7 N 沟道增强型绝缘栅场效应管与 N 沟道耗尽型绝缘栅场效应管的工作原理有什么不同?

解: (1) N 沟道增强型绝缘栅场效应管工作原理:

在漏、源极间所加电压 $V_{DS} > 0$ 时

当 $V_{GS} = 0$, 漏源极之间的电流 $I_D = 0$ 。

当 $V_{GS} > 0$, 在绝缘层和衬底之间感应出一个反型层, 使漏极和源极之间产生导电沟道将产生电流 I_D 。

开启电压 V_T : 增强型 MOS 管开始形成反型层的栅源电压。

若 $V_{GS} < V_T$, 反型层消失, 无导电沟道, $I_D = 0$;

若 $V_{GS} > V_T$, 出现反型层即导电沟道, D、S 之间有电流 I_D 流过;

若 V_{GS} 逐渐增大, 导电沟道变宽, I_D 也随之逐渐增大, 即 V_{GS} 控制 I_D 的变化。

(2) N 沟道耗尽型绝缘栅场效应管工作原理:

在 $V_{DS} > 0$ 时,

若 $V_{GS} = 0$, 导电沟道有电流 I_D ;

当 $V_{GS} > 0$, 并逐渐增大时, 导致沟道变宽, 使 I_D 增大;

当 $V_{GS} < 0$, 并逐渐增大此负电压, 导致沟道变窄, 使 I_D 减小。实现 V_{GS} 对 I_D 的控制。

夹断电压 V_P : 使 $I_D = 0$ 时的栅源电压 V_{GS} 。

1.8 在图 T1.8 所示的电路中, 已知 $U_i = 15\text{V}$, $R_L = 1\text{k}\Omega$, 稳压管 D_Z 的稳定电压 $U_Z = 8\text{V}$, 稳定工作电流为 6mA , 试求限流电阻 R 的阻值。

解: 负载电阻上的电压为 $U_{R_L} = U_Z = 8\text{V}$,

$$\text{负载电流为 } I_{R_L} = \frac{U_{R_L}}{R_L} = \frac{8\text{V}}{1000\Omega} = 8\text{mA},$$

限流电阻的电流为两分支电流之和,

限流电阻的阻值为

$$R = \frac{U_i - U_Z}{I_Z + I_{R_L}} = \frac{15\text{V} - 8\text{V}}{0.006\text{A} + 0.008\text{A}} = 500\Omega.$$

1.9 电路如图 T1.9 所示, $V_{BB} = 2\text{V}$, $V_{CC} = 15\text{V}$, $\beta = 100$, $U_{BE} = 0.7\text{V}$, $R_C = 5\text{k}\Omega$ 。试问:

(1) $R_B = 50\text{k}\Omega$ 时, U_o 为多少?

(2) 若 T 临界饱和, 则 R_B 约为多少?

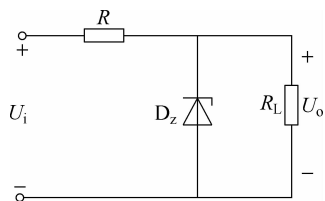


图 T1.8

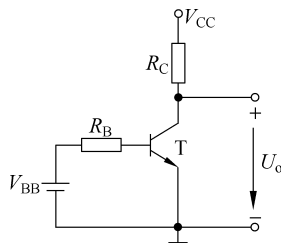


图 T1.9

解：(1) 当 $R_B = 50\text{k}\Omega$ 时，

$$\text{基极电流 } I_B = \frac{V_{BB} - U_{BE}}{R_B} = \frac{2\text{V} - 0.7\text{V}}{5 \times 10^3 \Omega} = 26\mu\text{A},$$

$$\text{集电极电流 } I_C = \beta I_B = 100 \cdot 26\mu\text{A} = 2.6\text{mA},$$

管压降：

$$U_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 15\text{V} - 2.6\text{mA} \cdot 5\text{k}\Omega = 2\text{V},$$

$$U_O = U_{CE} = 2\text{V}.$$

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

$$\text{集电极电流 } I_C = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_C} = \frac{15\text{V} - 0.7\text{V}}{5\text{k}\Omega} = 2.86\text{mA},$$

$$\text{基极电流 } I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2.86\text{mA}}{100} = 28.6\mu\text{A},$$

$$R_B = \frac{V_{BB} - U_{BE}}{I_B} = \frac{2\text{V} - 0.7\text{V}}{28.6\mu\text{A}} \approx 45.4\text{k}\Omega.$$

1.10 有两只晶体管, 一只的 $\beta = 250$, $I_{CEO} = 180\mu\text{A}$; 另一只的 $\beta = 100$, $I_{CEO} = 10\mu\text{A}$, 其他参数大致相同。你认为应选用哪只管子? 为什么?

解: 选用 $\beta = 100$, $I_{CEO} = 10\mu\text{A}$ 的管子, 因为其温度稳定性好。

1.11 电路如图 T1.11 所示, $V_{CC} = 5\text{V}$, $R_B = 500\text{k}\Omega$, $R_C = 5\text{k}\Omega$, 试问 β 大于多少时晶体管饱和?

解: 若晶体管饱和, 取 $U_{CES} = U_{BE}$

$$\text{因为 } I_C = \beta I_B, \text{ 则 } \beta \cdot \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_B} = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_C}$$

$$\beta = \frac{R_B}{R_C} = \frac{500\text{k}\Omega}{5\text{k}\Omega} = 100$$

所以 $\beta \geq 100$ 时晶体管饱和。

1.12 分别判断图 T1.12 所示各电路中的晶体管是否有可能工作在放大状态。

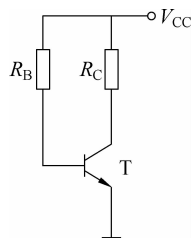


图 T1.11

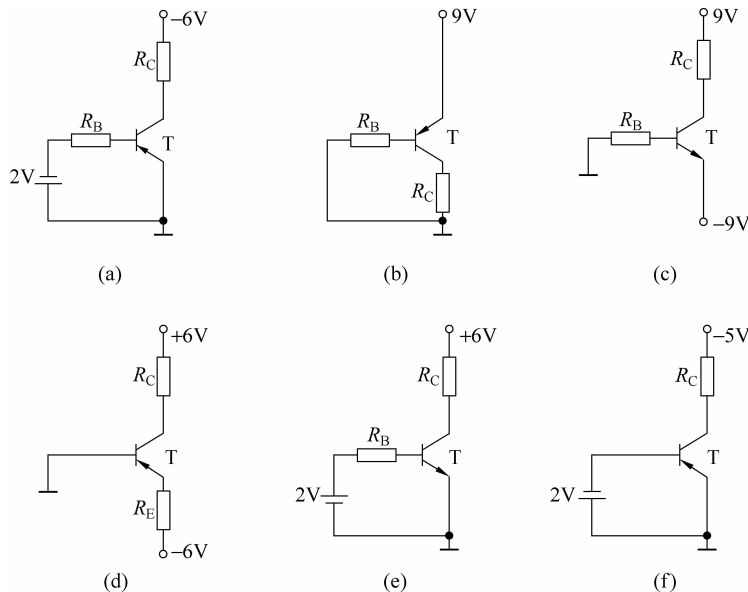
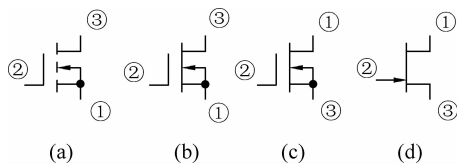


图 T1.12

解：图 T1. 12(a)可能,图 T1. 12(b)可能,图 T1. 12(c)可能,图 T1. 12(d)不能,图 T1. 12(e)可能,图 T1. 12(f)可能。

1.13 已知放大电路中一只 N 沟道场效应管三个极①、②、③的电位分别为 4V、8V、12V,管子工作在恒流区。试判断它可能是哪种管子(结型管、MOS 管、增强型、耗尽型),并说明 ①、②、③与 G、S、D 的对应关系。

解：



图号	管子型号	G	S	D
(a)	增强型	②8V	①4V	③12V
(b)	MOS 管	②8V	①4V	③12V
(c)	耗尽型	②8V	③12V	①4V
(d)	结型管	②8V	③12V	①4V

第2章

第2章习题答案

2.1 试分析图 T2.1 所示的各电路是否能够放大正弦交流信号, 简述理由。设图中所有电容对交流信号均可视为短路。

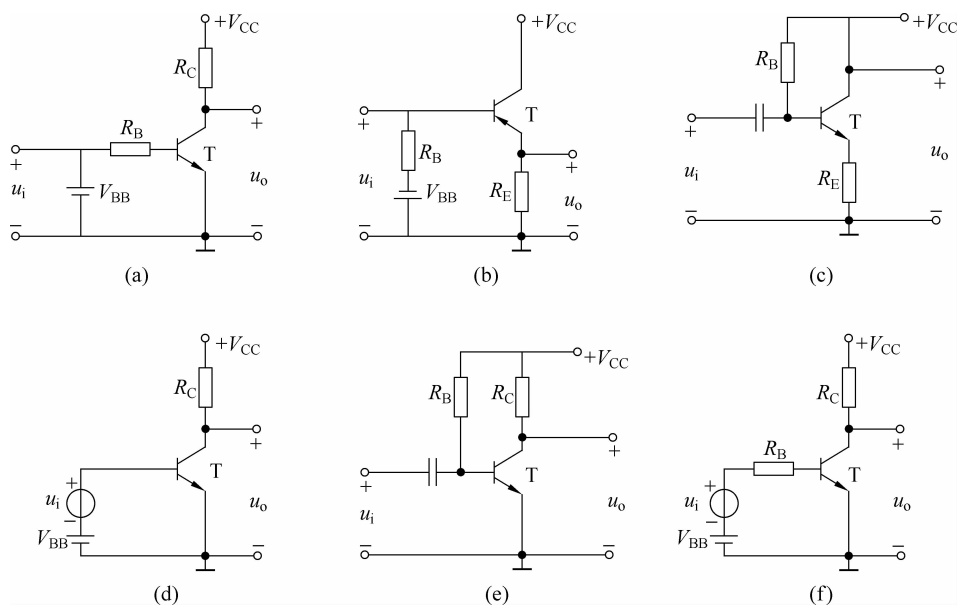


图 T2.1

解: 图 T2.1(a)不能。因为输入信号被 V_{BB} 短路。

图 T2.1(b)不能。

图 T2.1(c)不能。因为 u_o 被直流电源 V_{CC} 短接。

图 T2.1(d)不能。因为晶体管将因发射结电压过大而损坏。

图 T2.1(e)可能。

图 T2.1(f)可能。

2.2 画出图 T2.2 所示各电路的直流通路和交流通路, 设所有电容对交流信号均可视为短路。

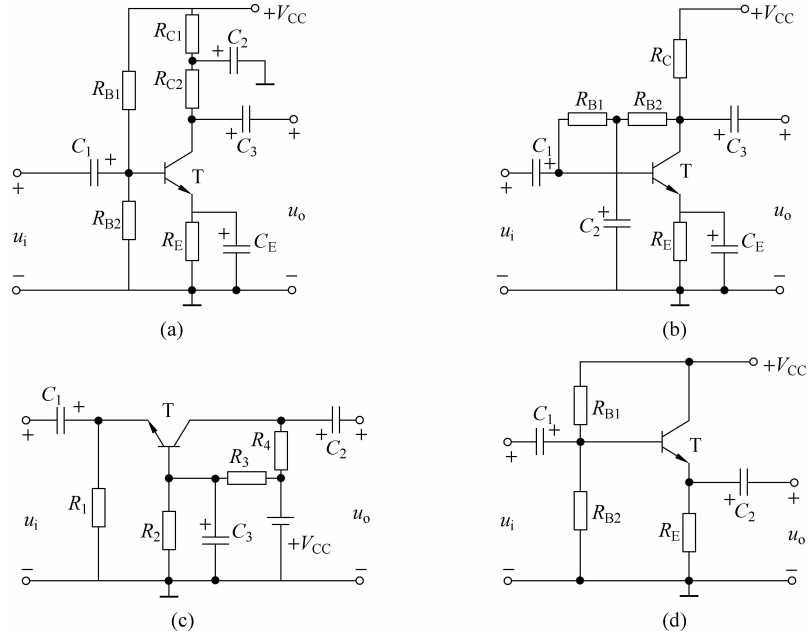
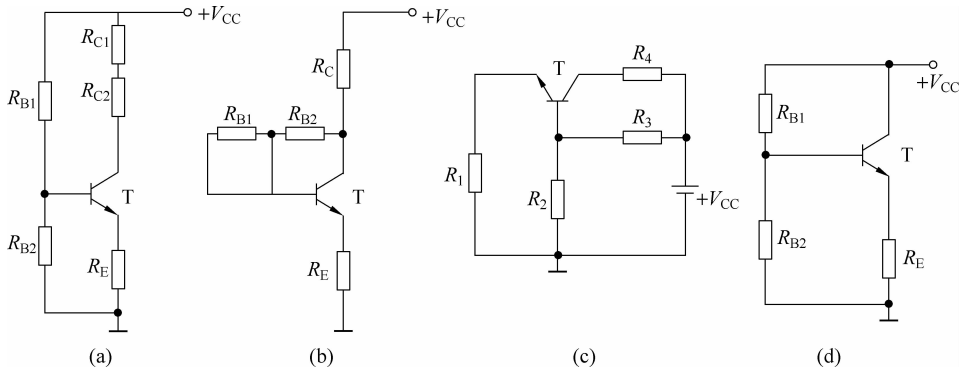
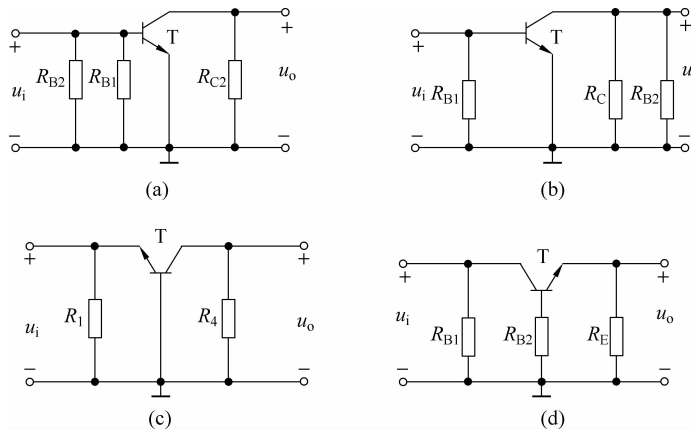


图 T2.2

解：直流通路如下。



交流通路如下。



2.3 在图 T2.3 所示电路中,已知晶体管的 $\beta=100$, $r_{be}=1\text{k}\Omega$, $\dot{U}_i=40\text{mV}$, 信号源内阻 $R_s=2\text{k}\Omega$; 静态时 $V_{CC}=12\text{V}$, $U_{BEQ}=0.7\text{V}$, $U_{CEQ}=5\text{V}$, $I_{BQ}=30\mu\text{A}$, $R_B=630\text{k}\Omega$, $R_C=5\text{k}\Omega$, $R_L=5\text{k}\Omega$ 。判断下列结论是否正确,凡对的在括号内打“√”,否则打“×”。

$$(1) \dot{A}_u = -\frac{5}{20 \times 10^{-3}} = -250 (\times) \quad (2) \dot{A}_u = -\frac{5}{0.7} \approx -7.14 (\times)$$

$$(3) \dot{A}_u = -\frac{100 \times (5\text{k}\Omega // 5\text{k}\Omega)}{1\text{k}\Omega} = -250 (\checkmark)$$

$$(4) R_i = (2\text{k}\Omega // 630\text{k}\Omega // 1\text{k}\Omega) = 0.67\text{k}\Omega (\times)$$

$$(5) R_i = \frac{0.7\text{V}}{30\mu\text{A}} = 23.3\text{k}\Omega (\times)$$

$$(6) R_i \approx 2\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega = 3\text{k}\Omega (\times)$$

$$(7) R_i = (630\text{k}\Omega // 1\text{k}\Omega) \approx 1\text{k}\Omega (\checkmark)$$

$$(8) R_o \approx 5\text{k}\Omega (\checkmark)$$

$$(9) R_o = 5\text{k}\Omega // 5\text{k}\Omega = 2.5\text{k}\Omega (\times)$$

$$(10) \dot{U}_s \approx 120\text{mV} (\checkmark)$$

$$(11) \dot{U}_s \approx 60\text{mV} (\times)$$

2.4 电路如图 T2.4 所示,晶体管的 $\beta=100$, $r_{be}=100\Omega$ 。分别计算 $R_L=\infty$ 和 $R_L=5\text{k}\Omega$ 时的 Q 点、 \dot{A}_u 、 R_i 和 R_o 。

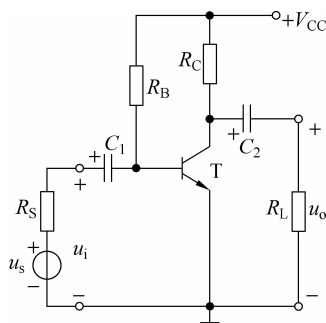


图 T2.3

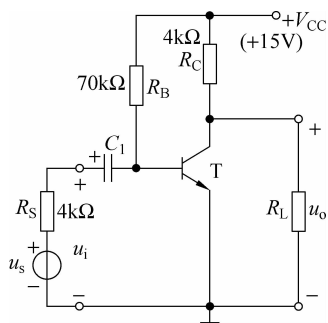


图 T2.4

解: 求 Q 点

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b} \approx 20.4 \mu\text{A}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \approx 2.04\text{mA}$$

空载时,静态管压降、电压放大倍数、输入电阻和输出电阻分别为

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c \approx 6.84\text{V}$$

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta R_c}{r_{be}} \approx -4000$$

$$\dot{A}_{us} \approx \frac{r_{be}}{R_s + r_{be}} \cdot \dot{A}_u \approx -98$$

$$R_i = R_b // r_{be} \approx r_{be} \approx 100\Omega$$

$$R_o = R_c = 4\text{k}\Omega$$

$R_L=5\text{k}\Omega$ 时,静态管压降、电压放大倍数分别为

$$U_{CEQ} = V_{CC} \frac{R_L}{R_c + R_L} - I_{CQ}(R_c // R_L) \approx 3.8\text{V}$$

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be}} \approx -2222$$

$$\dot{A}_{us} \approx \frac{r_{be}}{R_s + r_{be}} \cdot \dot{A}_u \approx -54$$

$$R_i = R_b // r_{be} \approx r_{be} \approx 100\Omega$$

$$R_o = R_c = 4k\Omega$$

2.5 在图 T2.5 所示图中,由于电路参数不同,在信号源电压为正弦波时,测得输出波形如图 T2.5(a)、图 T2.5(b)、图 T2.5(c)所示,试说明电路分别产生了什么失真,如何消除。

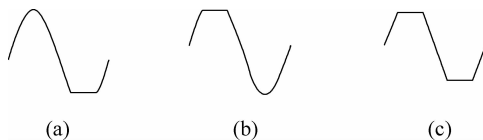


图 T2.5

解: 图 T2.5(a) 饱和失真,可增大 R_b ,减小 R_c 。图 T2.5(b) 截止失真,可减小 R_b 。

图 T2.5(c) 同时出现饱和失真和截止失真,可增大 V_{CC} 。

2.6 已知图 T2.6 所示电路中晶体管的 $\beta=100$, $r_{be}=1k\Omega$ 。

(1) 现已测得静态管压降 $U_{CEQ}=6V$,估算 R_b 约为多少千欧;

(2) 若测得 \dot{U}_i 和 \dot{U}_o 的有效值分别为 $1mV$ 和 $100mV$,则负载电阻 R_L 为多少千欧?

解: (1) 管压降 $U_{CEQ}=6V$ 时,

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - U_{CEQ}}{R_c} = 2mA$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = 20\mu A$$

$$R_b = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{I_{BQ}} \approx 565k\Omega$$

(2) 当 \dot{U}_i 和 \dot{U}_o 的有效值分别为 $1mV$ 和 $100mV$ 时,

$$\dot{A}_u = -\frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -100, \quad \dot{A}_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}}, \quad R'_L = 1k\Omega$$

$$\frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_L} = 1, \quad R_L = 1.5k\Omega$$

2.7 在图 T2.7 所示的电路中,设某一参数变化时其余参数不变,在表 T2.7 中填入①增大;②减小;③基本不变。

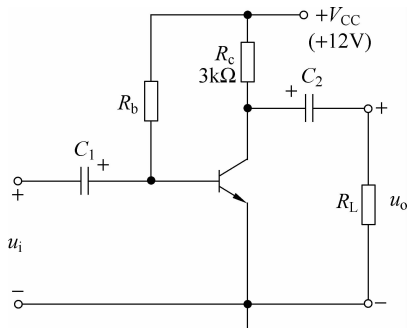


图 T2.6

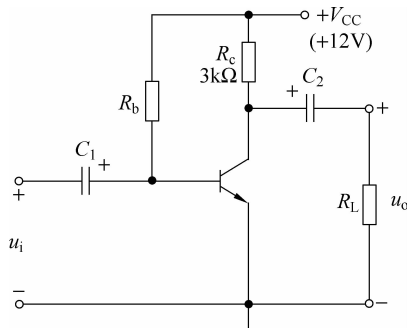


图 T2.7

表 T2.7

参数变化	I_{BQ}	U_{CEQ}	$ \dot{A}_u $	R_i	R_o
R_b 增大	②	①	②	①	③
R_c 增大	③	②	①	③	①
R_L 增大	③	③	①	③	③

2.8 电路如图 T2.8 所示, 晶体管的 $\beta=100, r_{bb'}=100\Omega$ 。

(1) 求电路的 Q 点、 \dot{A}_u 、 R_i 和 R_o ；

(2) 若电容 C_e 开路, 则将引起电路的哪些动态参数发生变化? 如何变化?

解: (1) 静态及动态分析:

$$U_{BQ} \approx \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{CC} = 2V \quad I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_f + R_e} \approx 1mA$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{1 + \beta} \approx 10\mu A \quad U_{CEQ} \approx V_{CC} - I_{EQ}(R_c + R_f + R_e) = 5.7V$$

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{EQ}} \approx 2.73k\Omega$$

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_f} \approx -7.7$$

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_f] \approx 3.7k\Omega$$

$$R_o = R_c = 5k\Omega$$

(2) R_i 增大, $R_i \approx 4.1k\Omega$; $|\dot{A}_u|$ 减小, $\dot{A}_u \approx -1.92$ 。

2.9 设在图 T2.9 所示的电路中所加输入电压为正弦波。试问:

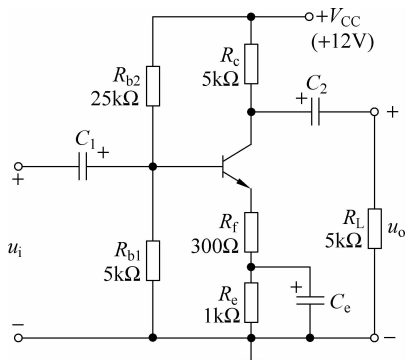


图 T2.8

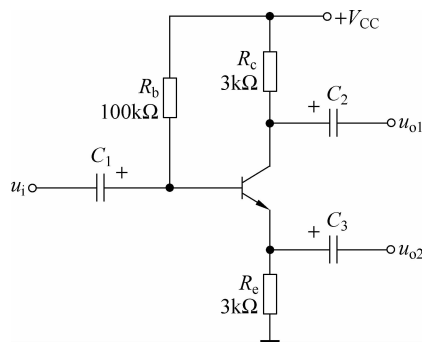


图 T2.9

(1) $\dot{A}_{u1} = \dot{U}_{o1} / \dot{U}_i \approx ?$, $\dot{A}_{u2} = \dot{U}_{o2} / \dot{U}_i \approx ?$

(2) 画出输入电压和输出电压 u_i 、 u_{o1} 、 u_{o2} 的波形。

解: (1) 因为通常 $\beta \gg 1$, 所以电压放大倍数应分别为

$$\dot{A}_{u1} = -\frac{\beta R_c}{r_{be} + (1 + \beta)R_e} \approx -\frac{R_c}{R_e} = -1$$

$$\dot{A}_{u2} = \frac{(1 + \beta)R_e}{r_{be} + (1 + \beta)R_e} \approx +1$$

(2) 两个电压放大倍数说明 $u_{o1} \approx -u_i, u_{o2} \approx u_i$ 。波形如图 A2.9 所示。

2.10 电路如图 T2.10 所示, 晶体管的 $\beta=80, r_{be}=1\text{k}\Omega$ 。

(1) 求出 Q 点;

(2) 分别求出 $R_L=\infty$ 和 $R_L=3\text{k}\Omega$ 时电路的 \dot{A}_u 和 R_i ;

(3) 求出 R_o 。

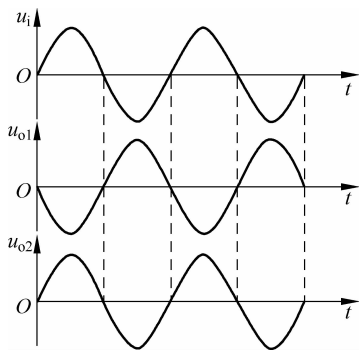


图 A2.9

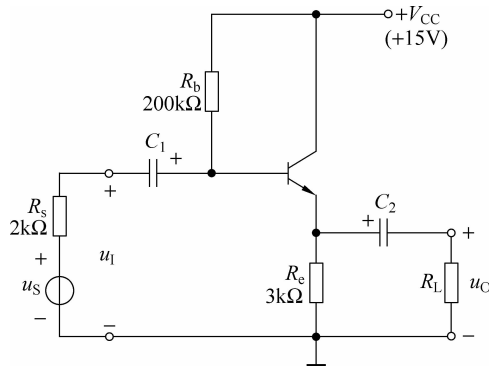


图 T2.10

解: (1) 求解 Q 点:

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta)R_e} \approx 32.3\mu\text{A}$$

$$I_{EQ} = (1 + \beta)I_{BQ} \approx 2.61\text{mA}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ}R_e \approx 7.17\text{V}$$

(2) 求解电压放大倍数和输入电阻:

$$R_L = \infty \text{ 时 } R_i = R_b // [r_{be} + (1 + \beta)R_e] \approx 110\text{k}\Omega$$

$$\dot{A}_u = \frac{(1 + \beta)R_e}{r_{be} + (1 + \beta)R_e} \approx 0.996$$

$$R_L = 3\text{k}\Omega \text{ 时 } R_i = R_b // [r_{be} + (1 + \beta)(R_e // R_L)] \approx 76\text{k}\Omega$$

$$\dot{A}_u = \frac{(1 + \beta)(R_e // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)(R_e // R_L)} \approx 0.992$$

(3) 求解输出电阻: $R_o = R_e // \frac{R_s // R_b + r_{be}}{1 + \beta} \approx 37\Omega$ 。

2.11 改正图 T2.11 所示各电路中的错误, 使它们有可能放大正弦波电压。要求保留电路的共漏接法。

解: 图 T2.11(a) 源极加电阻 R_s 。图 T2.11(b) 输入端加耦合电容, 漏极加电阻 R_D 。

图 T2.11(c) 输入端加耦合电容。图 T2.11(d) 在 R_g 支路加 $-V_{GG}, +V_{DD}$ 改为 $-V_{DD}$ 。

2.12 电路如图 T2.12 所示, 所有晶体管均为硅管, β 均为 60, $r_{bb'}=100\Omega$, 静态时 $|U_{BEQ}| \approx 0.7\text{V}$ 。试求:

(1) 静态时 T_1 管和 T_2 管的发射极电流。

(2) 若静态时 $u_o > 0$, 则应如何调节 R_{c2} 的值才能使 $u_o = 0\text{V}$? 若静态 $u_o = 0\text{V}$, 则 $R_{c2} = ?$ 电压放大倍数为多少?

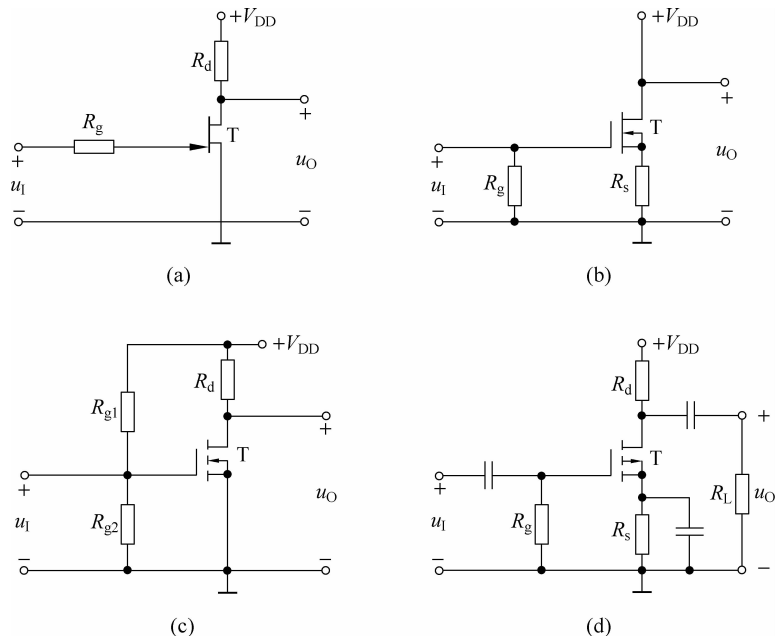


图 T2.11

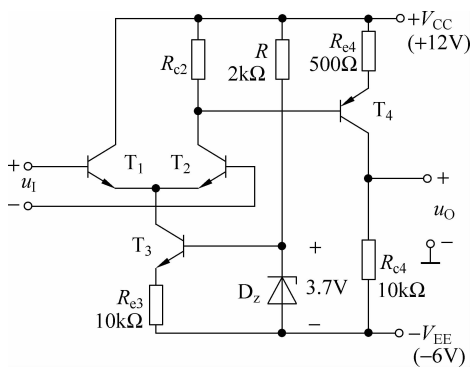


图 T2.12

解：(1) T_3 管的集电极电流为

$$I_{C3} = (U_Z - U_{BEQ3}) / R_{e3} = 0.3 \text{ mA}$$

静态时 T_1 管和 T_2 管的发射极电流为

$$I_{E1} = I_{E2} = 0.15 \text{ mA}$$

(2) 若静态时 $u_O > 0$, 则应减小 R_{c2} 。

当 $u_1 = 0$ 时 $u_O = 0$, T_4 管的集电极电流 $I_{CQ4} = V_{EE} / R_{c4} = 0.6 \text{ mA}$ 。 R_{c2} 的电流及其阻值分别为

$$I_{R_{c1}} = I_{C2} - I_{B4} = I_{C2} - \frac{I_{CQ4}}{\beta} = 0.14 \text{ mA}$$

$$R_{c2} = \frac{I_{E4} R_{E4} + |U_{BEQ4}|}{I_{R_{c2}}} \approx 7.14 \text{ k}\Omega$$

电压放大倍数求解过程如下：

$$r_{be2} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{EQ2}} \approx 10.7\text{k}\Omega$$

$$r_{be4} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{EQ4}} \approx 2.74\text{k}\Omega$$

$$\dot{A}_{u1} = \frac{\beta \{R_{c2} // [r_{be4} + (1 + \beta)R_{e4}]\}}{2r_{be2}} \approx 16.5$$

$$\dot{A}_{u2} = -\frac{\beta R_{e4}}{r_{be4} + (1 + \beta)R_{e4}} \approx -18$$

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2} \approx -297$$

2.13 设图 T2.13 所示各电路的静态工作点均合适, 分别画出它们的交流等效电路, 并写出 \dot{A}_u 、 R_i 和 R_o 的表达式。

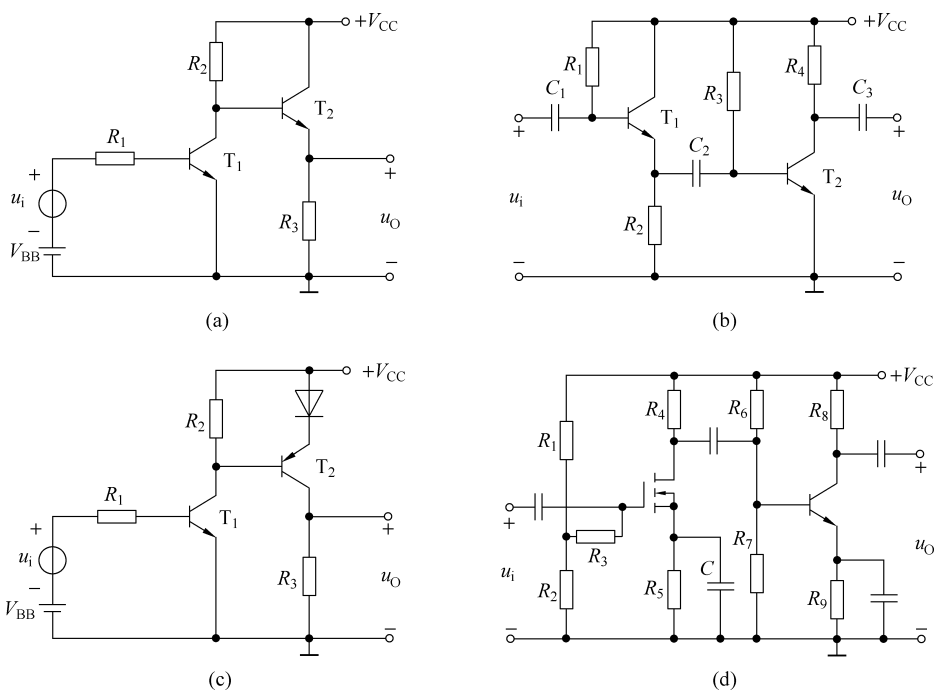


图 T2.13

解: (1) 图 T2.13 所示各电路的交流等效电路如图 A2.13 所示。

(2) 各电路 \dot{A}_u 、 R_i 和 R_o 的表达式分别为

图 T2.13(a)

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta_1 \{R_2 // [r_{be2} + (1 + \beta_2)R_3]\}}{R_1 + r_{be1}} \cdot \frac{(1 + \beta_2)R_3}{r_{be2} + (1 + \beta_2)R_3}$$

$$R_i = R_1 + r_{be1}$$

$$R_o = R_3 // \frac{r_{be2} + R_2}{1 + \beta_2}$$

图 T2.13(b)

$$\dot{A}_u = \frac{(1 + \beta_1)(R_2 // R_3 // r_{be2})}{r_{be1} + (1 + \beta_1)(R_2 // R_3 // r_{be2})} \cdot \left(-\frac{\beta_2 R_4}{r_{be2}}\right)$$

$$R_i = R_1 // [r_{be1} + (1 + \beta_1)(R_2 // R_3 // r_{be2})]$$

$$R_o = R_4$$

图 T2.13(c)

$$\dot{A}_u = - \frac{\beta_1 \{R_2 // [r_{be2} + (1 + \beta_2)r_d]\}}{R_1 + r_{be1}} \cdot \left[- \frac{\beta_2 R_3}{r_{be2} + (1 + \beta_2)r_d} \right]$$

$$R_i = R_1 + r_{be1}$$

$$R_o = R_3$$

图 T2.13(d)

$$\dot{A}_u = [-g_m(R_4 // R_6 // R_7 // r_{be2})] \cdot \left(-\frac{\beta_2 R_8}{r_{be2}} \right)$$

$$R_i = R_3 + R_1 // R_2$$

$$R_o = R_8$$

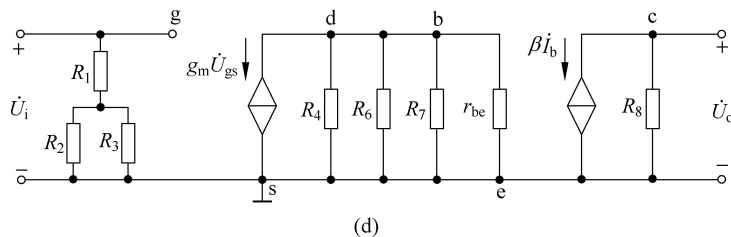
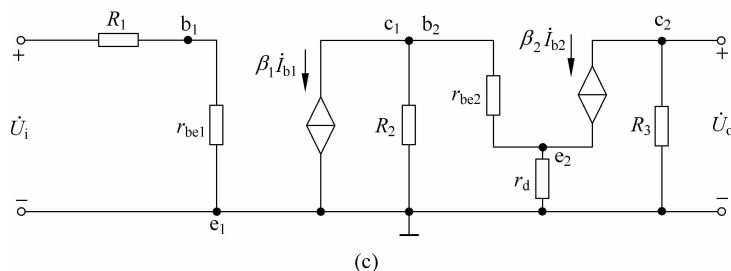
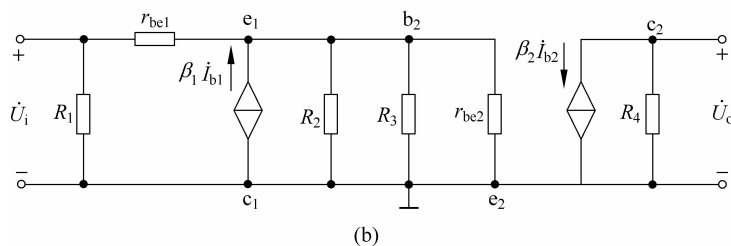
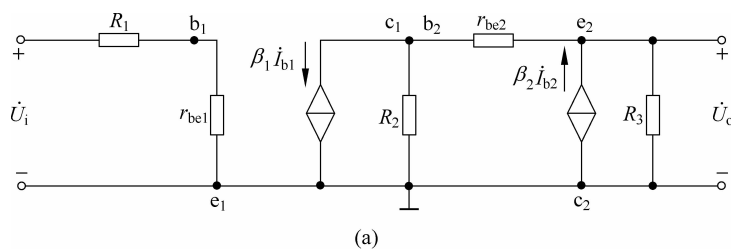


图 A2.13

2.14 电路如图 T2.14 所示, T_1 管和 T_2 管的 β 均为 40, r_{be} 均为 $3k\Omega$ 。试问: 若输入直流信号 $u_{i1} = 20mV$, $u_{i2} = 10mV$, 则电路的共模输入电压 $u_{iC} = ?$ 差模输入电压 $u_{id} = ?$ 输出动态电压 $\Delta u_O = ?$

解: 电路的共模输入电压 u_{iC} 、差模输入电压 u_{id} 、差模放大倍数 A_d 和动态电压 Δu_O 分别为

$$u_{iC} = \frac{u_{i1} + u_{i2}}{2} = 15mV$$

$$u_{id} = u_{i1} - u_{i2} = 10mV$$

$$A_d = -\frac{\beta R_c}{2r_{be}} \approx -67$$

$$\Delta u_O = A_d u_{id} \approx -0.67V$$

由于电路的共模放大倍数为零, 故 Δu_O 仅由差模输入电压和差模放大倍数决定。

2.15 电路如图 T2.15 所示, 晶体管的 $\beta = 50$, $r_{bb'} = 100\Omega$ 。

(1) 计算静态时 T_1 管和 T_2 管的集电极电流和集电极电位;

(2) 用直流表测得 $u_O = 2V$, $u_i = ?$ 若 $u_i = 10mV$, 则 $u_O = ?$

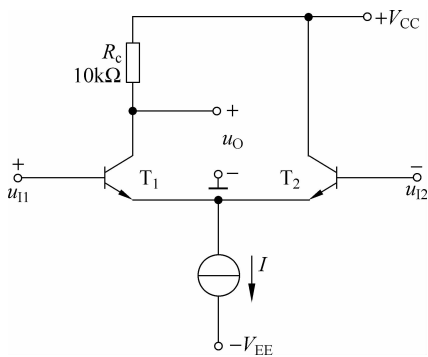


图 T2.14

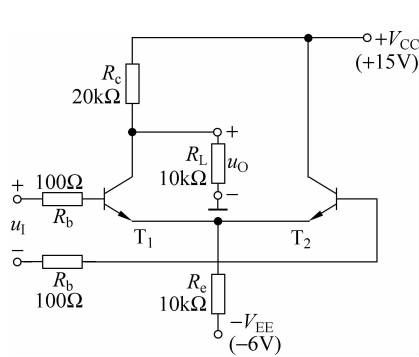


图 T2.15

解: (1) 用戴维宁定理计算出左边电路的等效电阻和电源为

$$R'_L = R_c // R_L \approx 6.67k\Omega, \quad V'_{CC} = \frac{R_L}{R_c + R_L} \cdot V_{CC} = 5V$$

静态时 T_1 管和 T_2 管的集电极电流和集电极电位分别为

$$I_{CQ1} = I_{CQ2} = I_{CQ} \approx I_{EQ} \approx \frac{V_{EE} - U_{BEQ}}{2R_E} = 0.265mA$$

$$U_{CQ1} = V'_{CC} - I_{CQ} R'_L \approx 3.23V$$

$$U_{CQ2} = V_{CC} = 15V$$

(2) 先求出输出电压变化量, 再求解差模放大倍数, 最后求出输入电压, 如下:

$$\Delta u_O = u_O - U_{CQ1} \approx -1.23V$$

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26mA}{I_{EQ}} \approx 5.1k\Omega$$

$$A_d = -\frac{\beta R'_L}{2(R_b + r_{be})} \approx -32.7$$

$$u_1 = \frac{\Delta u_O}{A_d} \approx 37.6 \text{ mV}$$

若 $u_1 = 10 \text{ mV}$, 则

$$\Delta u_O = A_d u_1 \approx -0.327 \text{ V}$$

$$u_O = U_{CQ1} + \Delta u_O \approx 2.9 \text{ V}$$

2.16 已知交流负反馈有 4 种组态:

- A. 电压串联负反馈 B. 电压并联负反馈
C. 电流串联负反馈 D. 电流并联负反馈

选择合适的答案填入下列空格内, 只填入 A、B、C 或 D。

- (1) 欲得到电流-电压转换电路, 应在放大电路中引入 _____;
 (2) 欲将电压信号转换成与之成比例的电流信号, 应在放大电路中引入 _____;
 (3) 欲减小电路从信号源索取的电流, 增大带负载能力, 应在放大电路中引入 _____;
 (4) 欲从信号源获得更大的电流, 并稳定输出电流, 应在放大电路中引入 _____。

解: (1) B (2) C (3) A (4) D

2.17 判断图 T2.17 所示的各电路中是否引入了反馈; 若引入了反馈, 则判断是正反馈还是负反馈; 若引入了交流负反馈, 则判断是哪一种组态的负反馈, 并求出反馈系数和深度负反馈条件下的电压放大倍数 \dot{A}_{uf} 或 \dot{A}_{usf} 。设图中所有电容对交流信号均可视为短路。

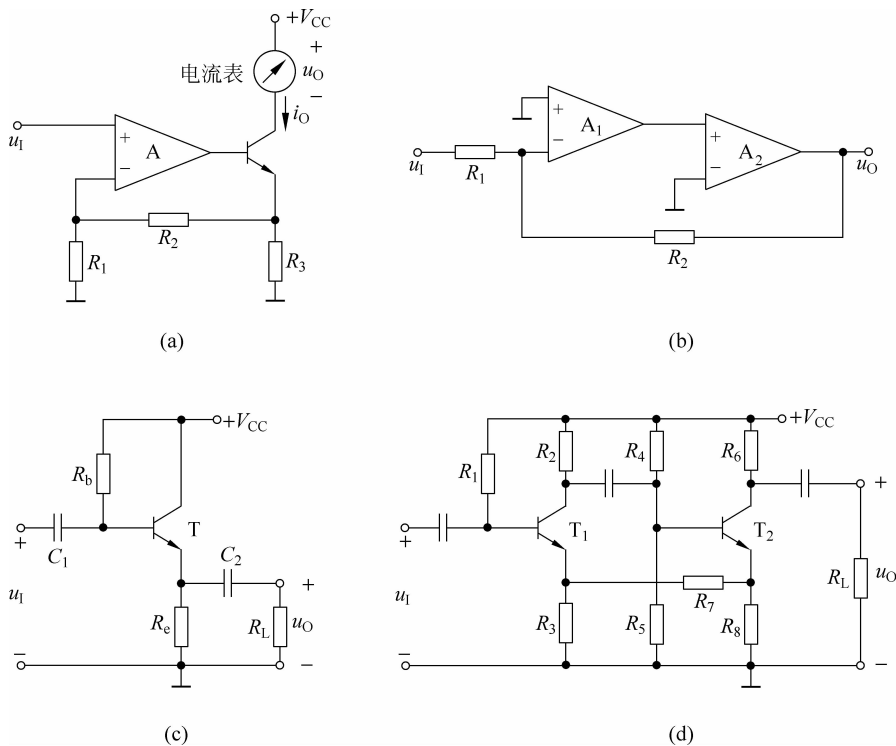


图 T2.17

解：图 T2.17(a)所示电路中引入了电流串联负反馈。反馈系数和深度负反馈条件下的电压放大倍数 \dot{A}_{uf} 分别为

$$\dot{F} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}, \quad \dot{A}_{uf} \approx \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1 R_3} \cdot R_L$$

式中 R_L 为电流表的等效电阻。

图 T2.17(b)所示的电路中引入了电压并联负反馈。反馈系数和深度负反馈条件下的电压放大倍数 \dot{A}_{uf} 分别为

$$\dot{F} = -\frac{1}{R_2}, \quad \dot{A}_{uf} \approx -\frac{R_2}{R_1}$$

图 T2.17(c)所示的电路中引入了电压串联负反馈。反馈系数和深度负反馈条件下的电压放大倍数 \dot{A}_{uf} 分别为

$$\dot{F} = 1, \quad \dot{A}_{uf} \approx 1$$

图 T2.17(d)所示的电路中引入了正反馈。

2.18 判断图 T2.18 所示的各电路中是否引入了反馈，是直流反馈还是交流反馈，是正反馈还是负反馈。设图中所有电容对交流信号均可视为短路。

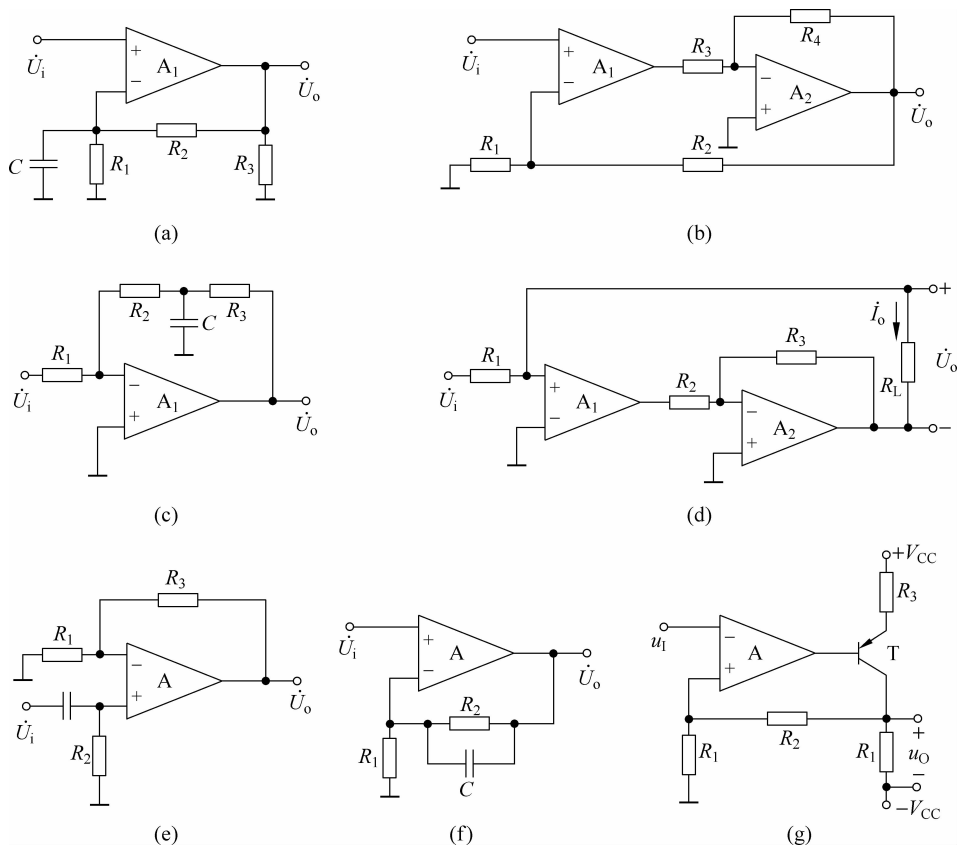


图 T2.18

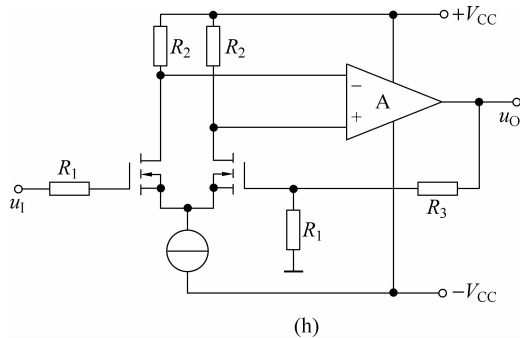


图 T2. 18(续)

解：图 T2. 18(a)所示的电路中引入了直流负反馈。

图 T2. 18(b)所示的电路中引入了交、直流正反馈。

图 T2. 18(c)所示的电路中引入了直流负反馈。

图 T2. 18(d)、图 T2. 18(e)、图 T2. 18(f)、图 T2. 18(g)、图 T2. 18(h)所示的各电路中均引入了交、直流负反馈。

2.19 分别判断图 T2. 18(d)~(h)所示的各电路中引入了哪种组态的交流负反馈,并计算它们的反馈系数。

解：各电路中引入交流负反馈的组态及反馈系数分别如下。

$$\text{图 T2. 18(d) 电流并联负反馈 } \dot{F} = \dot{I}_f / \dot{I}_o = 1;$$

$$\text{图 T2. 18(e) 电压串联负反馈 } \dot{F} = \dot{U}_f / \dot{U}_o = \frac{R_1}{R_1 + R_2};$$

$$\text{图 T2. 18(f) 电压串联负反馈 } \dot{F} = \dot{U}_f / \dot{U}_o = 1;$$

$$\text{图 T2. 18(g) 电压串联负反馈 } \dot{F} = \dot{U}_f / \dot{U}_o = \frac{R_1}{R_1 + R_2};$$

$$\text{图 T2. 18(h) 电压串联负反馈 } \dot{F} = \dot{U}_f / \dot{U}_o = \frac{R_1}{R_1 + R_3}.$$

2.20 估算图 T2. 18 所示的各电路在深度负反馈条件下的电压放大倍数。

解：各电路在深度负反馈条件下的电压放大倍数如下。

$$\text{图 T2. 18(a) } \dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_f} = 1 + \frac{R_2}{R_1};$$

$$\text{图 T2. 18(b) } \dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_f} = \frac{R_2}{R_1};$$

$$\text{图 T2. 18(c) } \dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_f} = \frac{R_2 // R_3}{R_1};$$

$$\text{图 T2. 18(d) } \dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\dot{I}_o R_L}{\dot{I}_i R_1} \approx \frac{\dot{I}_o R_L}{\dot{I}_i R_1} = \frac{R_L}{R_1};$$

$$\text{图 T2.18(e)} \quad \dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_f} = 1 + \frac{R_3}{R_1};$$

$$\text{图 T2.18(f)} \quad \dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_f} = 1;$$

$$\text{图 T2.18(g)} \quad \dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_f} = 1 + \frac{R_2}{R_1};$$

$$\text{图 T2.18(h)} \quad \dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_f} = 1 + \frac{R_3}{R_1}。$$

2.21 电路如图 T2.21 所示,指出各电路中是否引入了反馈,是直流反馈还是交流反馈,是正反馈还是负反馈。设图中所有电容对交流信号均可视为短路。

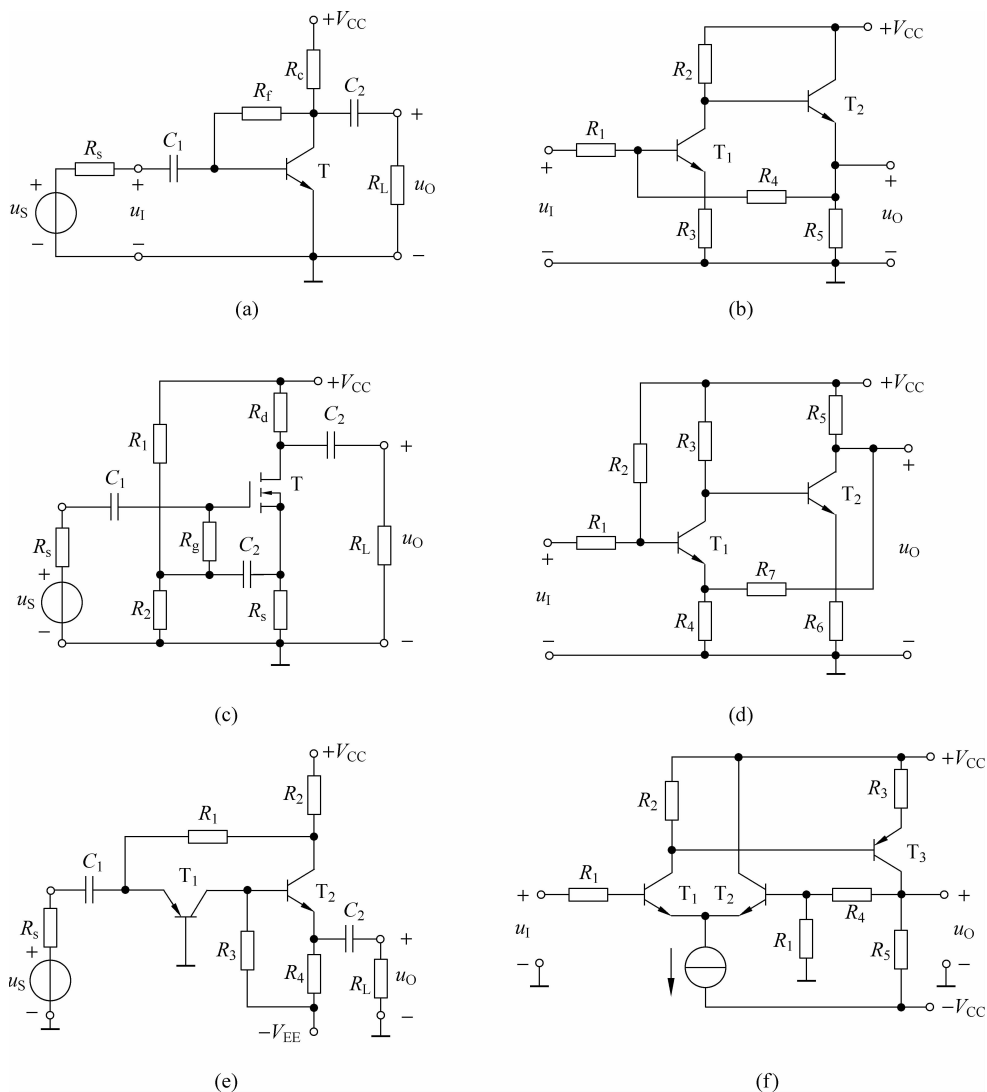


图 T2.21

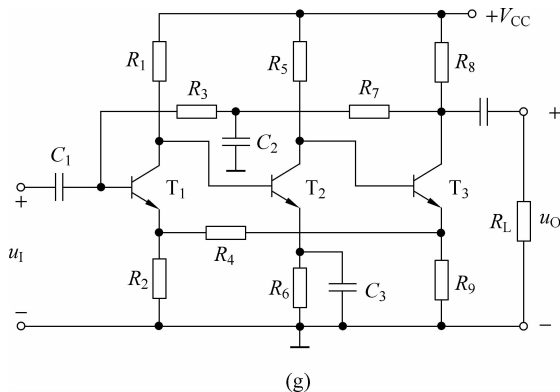


图 T2.21(续)

解：图 T2.21(a)所示的电路中引入了交、直流负反馈。

图 T2.21(b)所示的电路中引入了交、直流负反馈。

图 T2.21(c)所示的电路中通过 R_s 引入直流负反馈，通过 R_s 、 R_1 、 R_2 并联引入交流负反馈，通过 C_2 、 R_g 引入交流正反馈。

图 T2.21(d)、图 T2.21(e)、图 T2.21(f)所示的各电路中均引入了交、直流负反馈。

图 T2.21(g)所示的电路中通过 R_3 和 R_7 引入直流负反馈，通过 R_4 引入交、直流负反馈。

2.22 分别判断图 T2.21(a)、图 T2.21(b)、图 T2.21(e)、图 T2.21(f)、图 T2.21(g)所示的各电路中引入了哪种组态的交流负反馈，并计算它们的反馈系数。

解：各电路中引入交流负反馈的组态及反馈系数分别如下。

$$\text{图 T2.21(a) 电压并联负反馈} \quad \dot{F} = I_f / U_o = -1/R;$$

$$\text{图 T2.21(b) 电压并联负反馈} \quad \dot{F} = I_f / U_o = -1/R_4;$$

$$\text{图 T2.21(e) 电流并联负反馈} \quad \dot{F} = \dot{i}_f / \dot{I}_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2};$$

$$\text{图 T2.21(f) 电压串联负反馈} \quad \dot{F} = \dot{U}_f / \dot{U}_o = \frac{R_1}{R_1 + R_4};$$

$$\text{图 T2.21(g) 电流串联负反馈} \quad \dot{F} = \dot{U}_f / \dot{I}_o = -\frac{R_2 R_9}{R_2 + R_4 + R_9}.$$

第3章

第3章习题答案

3.1 已知图 T3.1 所示各电路中的集成运放均为理想运放,模拟乘法器的乘积系数 k 大于零。试分别求解各电路的运算关系。

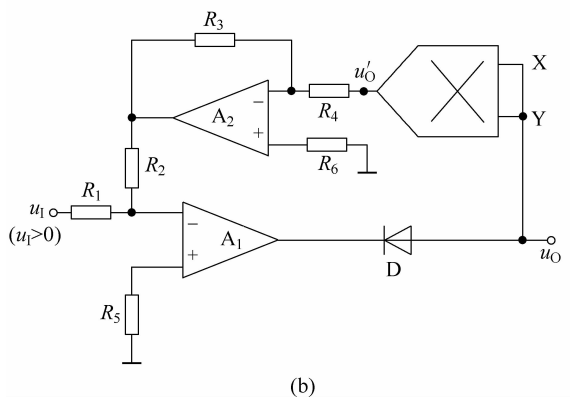
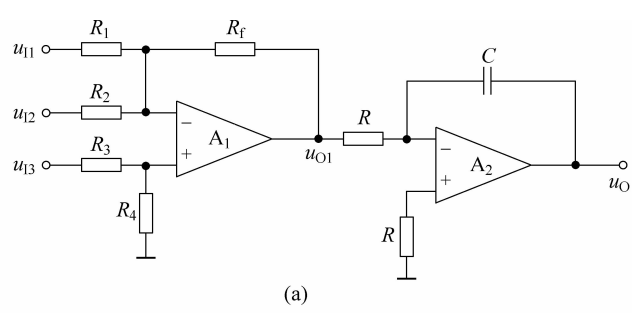


图 T3.1

解:

图 T3.1(a) u_{11} 与 u_{12} 单独作用于 A_1 为反相比例运算电路。

节点 N 的电流方程为 $i_{11} + i_{12} = i_f$ 。

$$\frac{u_{11} - u_N}{R_1} + \frac{u_{12} - u_N}{R_2} = \frac{u_N - u'_{O1}}{R_f}$$

整理得 $u'_{O1} = -R_f \left(\frac{u_{11}}{R_1} + \frac{u_{12}}{R_2} \right)$ 。

u_{13} 单独作用于 A_1 为同相比例运算电路,同相输入端电位 $u_P = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right)u_{13}$, 输出电压为

$$u''_{O1} = \left(\frac{R_f}{R_1 // R_2} + 1\right)u_P = \left(\frac{R_f}{R_1 // R_2} + 1\right)\left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right)u_{13}$$

因此 $u_{O1} = u'_{O1} + u''_{O1} = -R_f\left(\frac{u_{11}}{R_1} + \frac{u_{12}}{R_2}\right) + \left(\frac{R_f}{R_1 // R_2} + 1\right)\left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right)u_{13}$ 。

u_{O1} 作用于 A_2 , 根据“虚短路”和“虚断路”原则, $u_P = u_N = 0$ 。

节点 N 的电流方程为 $i_R = i_F, i_R = \frac{u_{O1} - u_N}{R}, i_F = C \frac{du_C}{dt} = -C \frac{du_O}{dt}$, 所以

$$u_O = -\frac{1}{RC} \int u_{O1} dt$$

图 T3.1(b) 集成模拟乘法器的输出 $u'_O = ku_O^2$,

反相比例运算电路 A_2 的节点 N 的电流方程为 $i_3 = i_4$,

$$\frac{u'_O - u_N}{R_4} = \frac{u_N - u_{O1}}{R_3}$$

$$u_{O1} = -\frac{R_3}{R_4} u'_O$$

反相比例运算电路 A_1 的节点 N 的电流方程为 $i_1 = i_2$,

$$\frac{u_1 - u_{N1}}{R_1} = \frac{u_{N1} - u_{O1}}{R_2}$$

所以 $u_{O1} = -\frac{R_2}{R_1} u_1 = -\frac{R_3}{R_4} u'_O = -\frac{R_3}{R_4} \cdot ku_O^2$

$$u_O = \sqrt{\frac{R_2 R_4}{k R_1 R_3}} \cdot u_1$$

3.2 电路如图 T3.2 所示, 集成运放输出电压的最大幅值为 $\pm 14V$, 填表。

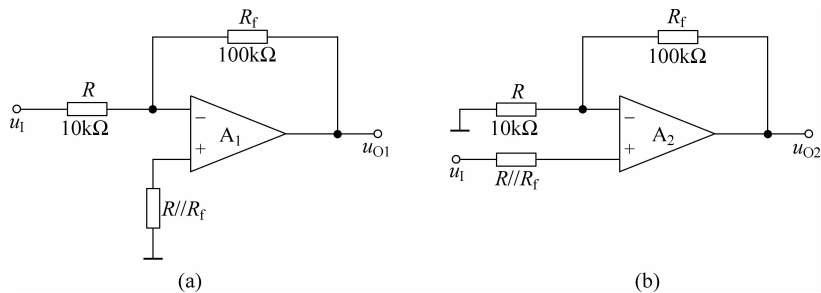


图 T3.2

u_1/V	0.1	0.5	1.0	1.5
u_{O1}/V				
u_{O2}/V				

解: $u_{O1} = (-R_f/R)u_1 = -10u_1, u_{O2} = (1 + R_f/R)u_1 = 11u_1$ 。当集成运放工作在线性区时, 输出电压不是 $+14V$, 就是 $-14V$ 。

u_1/V	0.1	0.5	1.0	1.5
u_{O1}/V	-1	-5	-10	-14
u_{O2}/V	1.1	5.5	11	14

3.3 试求图 T3.3 所示各电路输出电压与输入电压的运算关系式。

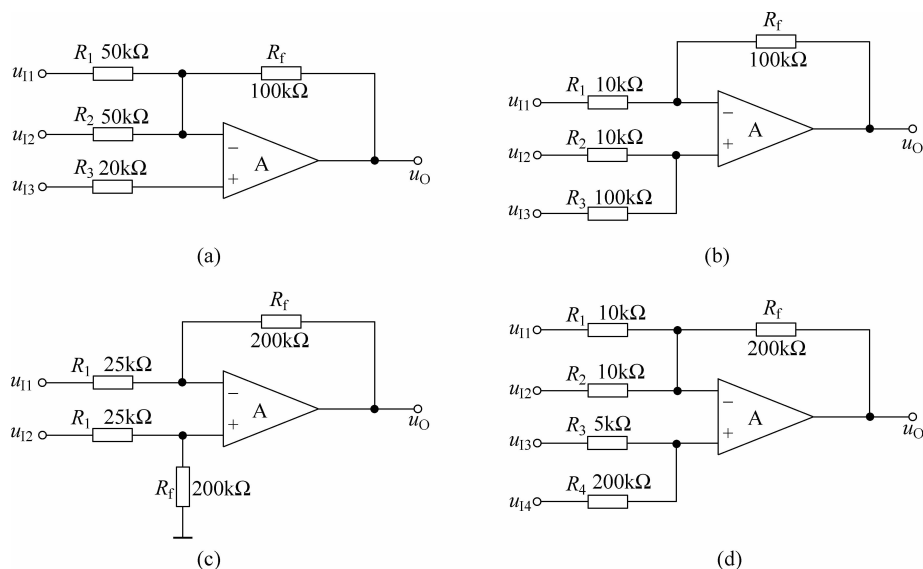


图 T3.3

解：在图 T3.3 所示各电路中，集成运放的同相输入端和反相输入端所接总电阻均相等。各电路的运算关系式分析如下。

$$\text{图 T3.3(a)} \quad u_O = -\frac{R_f}{R_1} \cdot u_{11} - \frac{R_f}{R_2} \cdot u_{12} + \frac{R_f}{R_3} \cdot u_{13} = -2u_{11} - 2u_{12} + 5u_{13};$$

$$\text{图 T3.3(b)} \quad u_O = -\frac{R_f}{R_1} \cdot u_{11} + \frac{R_f}{R_2} \cdot u_{12} + \frac{R_f}{R_3} \cdot u_{13} = -10u_{11} + 10u_{12} + u_{13};$$

$$\text{图 T3.3(c)} \quad u_O = \frac{R_f}{R_1} (u_{12} - u_{11}) = 8(u_{12} - u_{11});$$

$$\begin{aligned} \text{图 T3.3(d)} \quad u_O &= -\frac{R_f}{R_1} \cdot u_{11} - \frac{R_f}{R_2} \cdot u_{12} + \frac{R_f}{R_3} \cdot u_{13} + \frac{R_f}{R_4} \cdot u_{14} \\ &= -20u_{11} - 20u_{12} + 40u_{13} + u_{14}. \end{aligned}$$

3.4 分别求解图 T3.4 所示各电路的运算关系。

解：

图 T3.4(a) 所示为反相求和运算电路，设 R_3 、 R_4 、 R_5 的节点为 M，则

$$u_M = -R_3 \left(\frac{u_{11}}{R_1} + \frac{u_{12}}{R_2} \right)$$

$$i_{R_4} = i_{R_3} - i_{R_5} = \frac{u_{11}}{R_1} + \frac{u_{12}}{R_2} - \frac{u_M}{R_5}$$

$$u_O = u_M - i_{R_4} R_4 = - \left(R_3 + R_4 + \frac{R_3 R_4}{R_5} \right) \left(\frac{u_{11}}{R_1} + \frac{u_{12}}{R_2} \right)$$

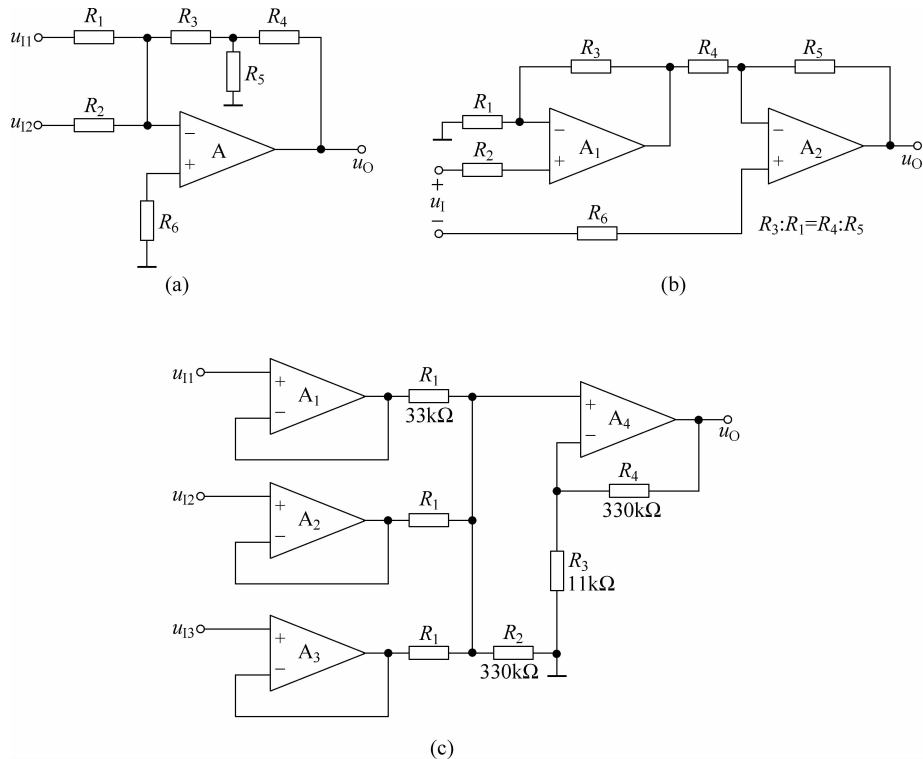


图 T3.4

图 T3.4(b)所示的 A_1 组成同相比运算电路, A_2 组成加减运算电路。先求解 u_{O1} , 再求解 u_O 。

$$\begin{aligned} u_{O1} &= \left(1 + \frac{R_3}{R_1}\right) u_{11} \\ u_O &= -\frac{R_5}{R_4} u_{O1} + \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) u_{12} \\ &= -\frac{R_5}{R_4} \left(1 + \frac{R_3}{R_1}\right) u_{11} + \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) u_{12} \\ &= \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) (u_{12} - u_{11}) \end{aligned}$$

图 T3.4(c)所示的 A_1 、 A_2 、 A_3 均组成电压跟随器电路, A_4 组成反相求和运算电路。 A_1 、 A_2 、 A_3 的输出电压分别为 u_{11} 、 u_{12} 、 u_{13} 。由于在 A_4 组成的反相求和运算电路中反相输入端和同相输入端外接电阻阻值相等, 所以

$$u_O = \frac{R_4}{R_1} (u_{11} + u_{12} + u_{13}) = 10(u_{11} + u_{12} + u_{13})$$

3.5 在图 T3.5(a)所示电路中, 已知输入电压 u_1 的波形如图 T3.5(b)所示, 当 $t=0$ 时 $u_O=0$, 试画出输出电压 u_O 的波形。

解: 输出电压的表达式为 $u_O = -\frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} u_1 dt + u_O(t_1)$

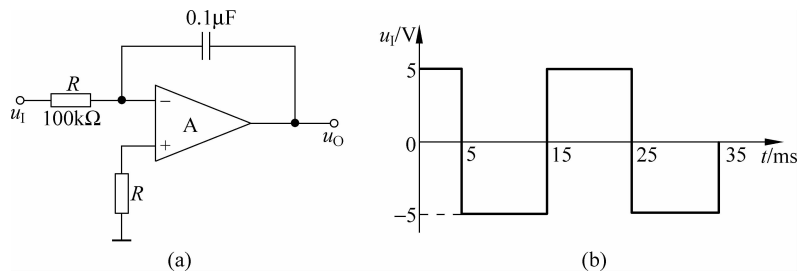


图 T3.5

当 u_1 为常量时

$$\begin{aligned} u_O &= -\frac{1}{RC}u_1(t_2 - t_1) + u_O(t_1) \\ &= -\frac{1}{10^5 \times 10^{-7}}u_1(t_2 - t_1) + u_O(t_1) \\ &= -100u_1(t_2 - t_1) + u_O(t_1) \end{aligned}$$

若 $t=0$ 时 $u_O=0$, 则 $t=5\text{ms}$ 时

$$u_O = -100 \times 5 \times 5 \times 10^{-3} \text{V} = -2.5 \text{V}.$$

当 $t=15\text{ms}$ 时

$$u_O = [-100 \times (-5) \times 10 \times 10^{-3} + (-2.5)] \text{V} = 2.5 \text{V}.$$

因此输出波形如图 A3.5 所示。

3.6 已知图 T3.6 所示电路输入电压 u_1 的波形如图 T3.5(b) 所示, 且当 $t=0$ 时 $u_O=0$, 试画出输出电压 u_O 的波形。

解: 输出电压与输入电压的运算关系为 $u_O = 100u_1(t_2 - t_1) + u_1 - u_C(t_1)$, 波形如图 A3.6 所示。

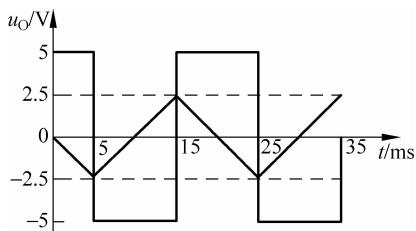


图 A3.5

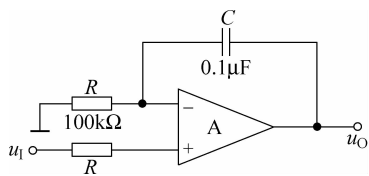


图 T3.6

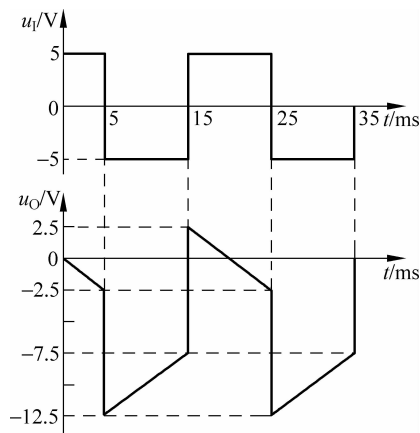


图 A3.6

3.7 试分别求解图 T3.7 所示各电路的运算关系。

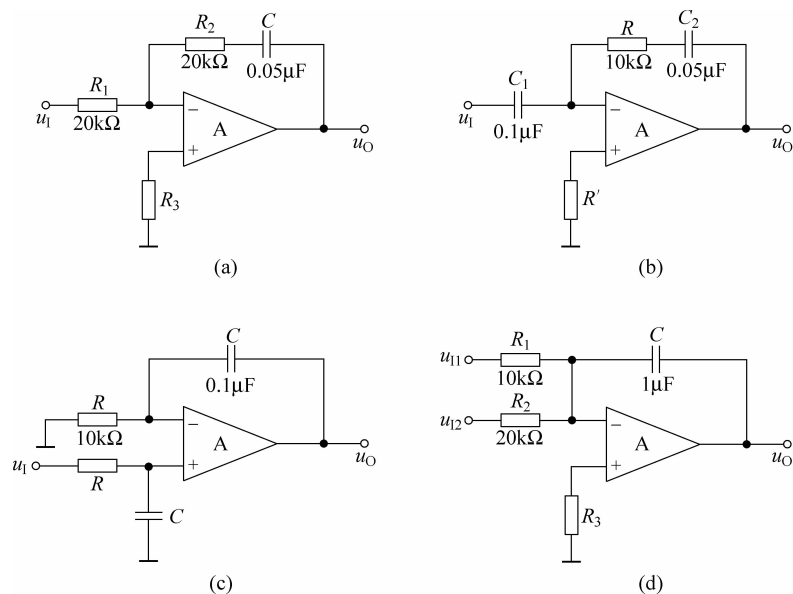


图 T3.7

解：利用节点电流法，可解出各电路的运算关系分别为

$$\text{图 T3.7(a)} \quad u_o = -\frac{R_2}{R_1}u_1 - \frac{1}{R_1 C} \int u_1 dt = -u_1 - 100 \int u_1 dt;$$

$$\text{图 T3.7(b)} \quad u_o = -RC_1 \frac{du_1}{dt} - \frac{C_1}{C_2}u_1 = -10^{-3} \frac{du_1}{dt} - 2u_1;$$

$$\text{图 T3.7(c)} \quad u_o = \frac{1}{RC} \int u_1 dt = 10^3 \int u_1 dt;$$

$$\text{图 T3.7(d)} \quad u_o = -\frac{1}{C} \int \left(\frac{u_{11}}{R_1} + \frac{u_{12}}{R_2} \right) dt = -100 \int (u_{11} + 0.5u_{12}) dt.$$

3.8 在图 T3.8 所示电路中，已知 $R_1 = R = R' = 100\text{k}\Omega$, $R_2 = R_f = 100\text{k}\Omega$, $C = 1\mu\text{F}$ 。

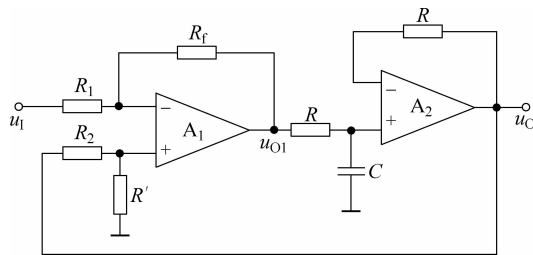


图 T3.8

- (1) 试求出 u_o 与 u_1 的运算关系。
- (2) 设 $t=0$ 时 $u_o=0$ ，且 u_1 由 0V 跃变为 -1V ，试求输出电压由 0V 上升到 $+6\text{V}$ 所需的时间。

解：(1) 因为 A_1 的同相输入端和反相输入端所接电阻相等，电容上的电压 $u_c = u_o$ ，所以其输出电压为

$$u_{O1} = -\frac{R_f}{R_1} \cdot u_1 + \frac{R_f}{R_2} \cdot u_O = u_O - u_1$$

电容的电流为

$$i_C = \frac{u_{O1} - u_O}{R} = -\frac{u_1}{R}$$

因此,输出电压为

$$u_O = \frac{1}{C} \int i_C dt = -\frac{1}{RC} \int u_1 dt = -10 \int u_1 dt$$

(2) $u_O = -10u_1t_1 = [-10 \times (-1) \times t_1] \text{V} = 6 \text{V}$, 故 $t_1 = 0.6 \text{s}$ 。即经过 0.6s 输出电压达到 6V 。

3.9 为了使图 T3.9 所示电路实现除法运算,

(1) 标出集成运放的同相输入端和反相输入端;

(2) 求出 u_O 和 u_{11} 、 u_{12} 的运算关系式。

解: (1) 为了保证电路引入负反馈, A 的上端为“-”, 下端为“+”。

(2) 根据模拟乘法器输出电压和输入电压的关系和节点电流关系, 可得

$$u'_O = k u_O u_{12}$$

$$u_{11} = \frac{R}{R + R_f} u'_O = \frac{R}{R + R_f} \cdot (-0.1 u_O u_{12})$$

所以

$$u_O = -\frac{10(R + R_f)}{R} \cdot \frac{u_{11}}{u_{12}}$$

3.10 求出图 T3.10 所示各电路的运算关系。

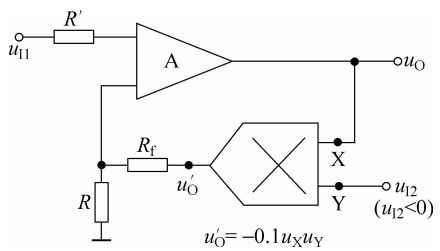
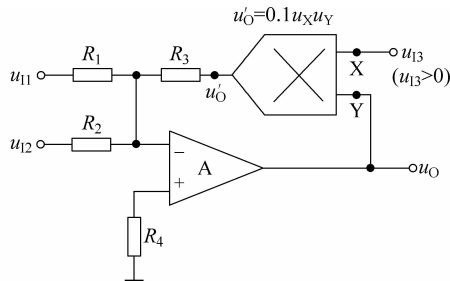
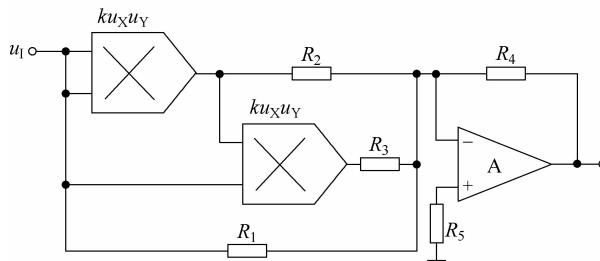


图 T3.9



(a)



(b)

图 T3.10

解：图 T3.10(a) 实现求和、除法运算，它的运算关系式为

$$u'_O = -R_3 \left(\frac{u_{11}}{R_1} + \frac{u_{12}}{R_2} \right) = ku_O u_{13}$$

$$u_O = -\frac{R_3}{ku_{13}} \left(\frac{u_{11}}{R_1} + \frac{u_{12}}{R_2} \right)$$

图 T3.10(b) 实现一元三次方程，它的运算关系式为

$$u_O = -\frac{R_4}{R_2} ku_1^2 - \frac{R_4}{R_3} k^2 u_1^3 - \frac{R_4}{R_1} u_1$$

3.11 试分别求出图 T3.11 所示各电路的电压传输特性。

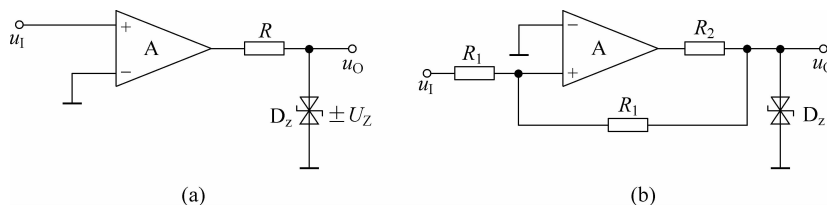


图 T3.11

解：图 T3.11(a) 所示电路为同相输入的过零比较器；图 T3.11(b) 所示电路为同相输入的滞回比较器，两个阈值电压为 $\pm U_T = \pm 0.5U_Z$ 。两个电路的电压传输特性如图 A3.11 所示。

3.12 电路如图 T3.12 所示。

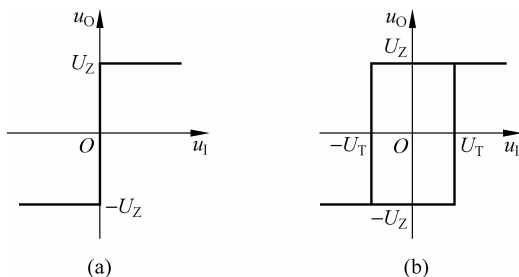


图 A3.11

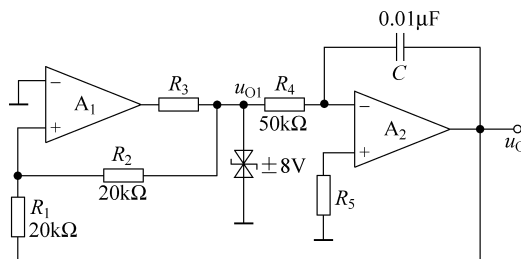


图 T3.12

- (1) 分别说明 A_1 和 A_2 各构成哪种基本电路；
- (2) 求出 u_{O1} 与 u_O 的关系曲线 $u_{O1} = f(u_O)$ ；
- (3) 求出 u_O 与 u_{O1} 的运算关系式 $u_O = f(u_{O1})$ ；
- (4) 定性画出 u_{O1} 与 u_O 的波形；
- (5) 说明若要提高振荡频率，则可以改变哪些电路参数，如何改变？

解：(1) A_1 ：滞回比较器； A_2 ：积分运算电路。

$$(2) \text{ 根据 } u_{P1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_{O1} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot u_O = \frac{1}{2}(u_{O1} + u_O) = u_{N1} = 0,$$

可得

$$\pm U_T = \pm 8V$$

u_{O1} 与 u_O 的关系曲线如图 A3.12(a)所示。

(3) u_O 与 u_{O1} 的运算关系式为

$$\begin{aligned} u_O &= -\frac{1}{R_4 C} u_{O1} (t_2 - t_1) + u_O(t_1) \\ &= -2000 u_{O1} (t_2 - t_1) + u_O(t_1) \end{aligned}$$

(4) u_{O1} 与 u_O 的波形如图 A3.12(b)所示。

(5) 要提高振荡频率,可以减小 R_4 、 C 、 R_1 或增大 R_2 。

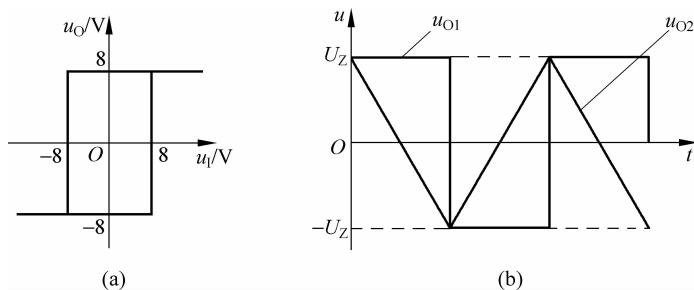


图 A3.12

3.13 试分别求解图 T3.13 所示各电路的电压传输特性。

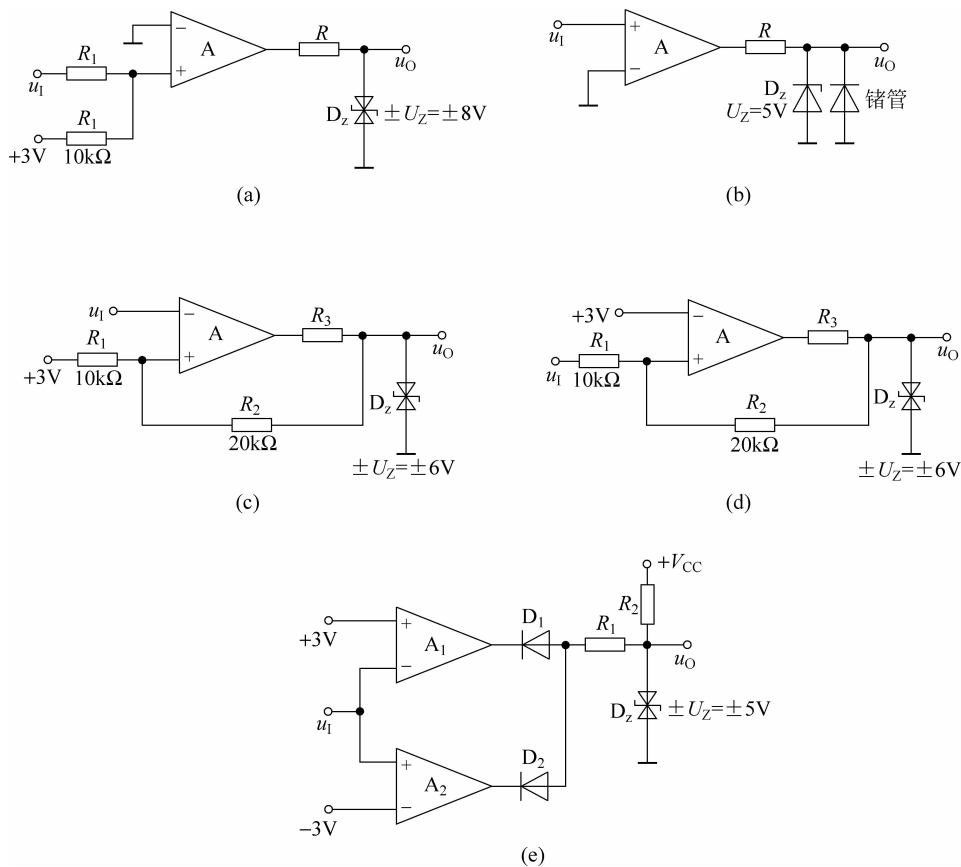


图 T3.13

解：图 T3.13(a)所示电路为单限比较器， $u_O = \pm U_Z = \pm 8\text{V}$ ， $U_T = -3\text{V}$ ，其电压传输特性如图 A3.13(a)所示。

图 T3.13(b)所示电路为过零比较器， $U_{OL} = -U_D = -0.2\text{V}$ ， $U_{OH} = +U_Z = +6\text{V}$ ， $U_T = 0\text{V}$ 。其电压传输特性如图 A3.13(b)所示。

图 T3.13(c)所示电路为反相输入的滞回比较器， $u_O = \pm U_Z = \pm 6\text{V}$ 。令

$$u_P = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_O + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{\text{REF}} = u_N = u_1$$

求出阈值电压 $U_{T1} = 0\text{V}$ ， $U_{T2} = 4\text{V}$ 。其电压传输特性如图 A3.13(c)所示。

图 T3.13(d)所示电路为同相输入的滞回比较器， $u_O = \pm U_Z = \pm 6\text{V}$ 。令

$$u_P = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot u_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_{O1} = u_N = 3\text{V}$$

得出阈值电压

$$U_{T1} = 1.5\text{V}$$

$$U_{T2} = 7.5\text{V}$$

其电压传输特性如图 A3.13(d)所示。

图 T3.13(e)所示电路为窗口比较器， $u_O = \pm U_Z = \pm 5\text{V}$ ， $\pm U_T = \pm 3\text{V}$ ，其电压传输特性如图 A3.13(e)所示。

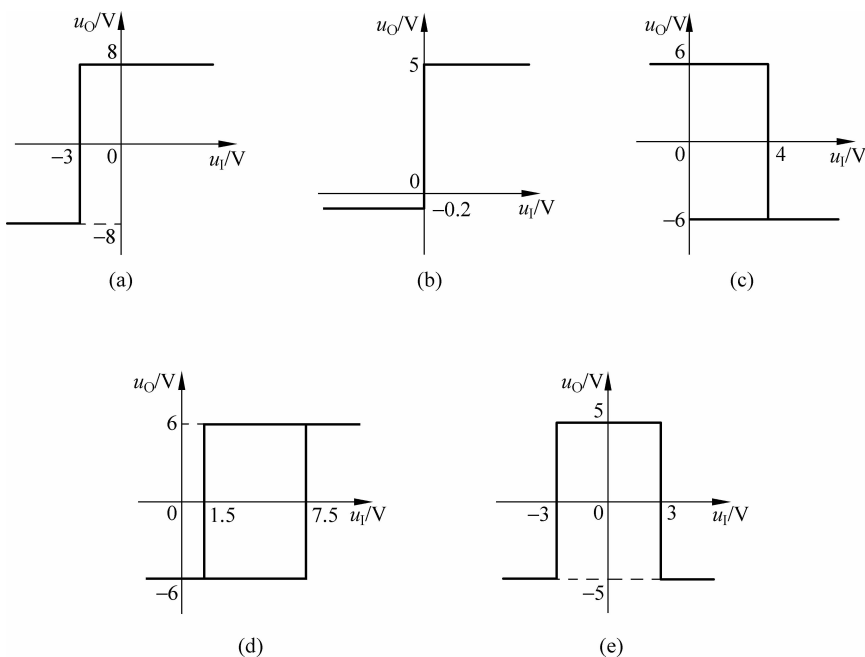


图 A3.13