

自测题

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。(×)

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。
A. 变窄 B. 基本不变 C. 变宽
- (2) 稳压管的稳压区是其工作在 C。
A. 正向导通 B. 反向截止 C. 反向击穿
- (3) 当晶体管工作在放大区时，发射结电压和集电结电压应为 B。
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
- (4) $U_{GS}=0V$ 时，能够工作在恒流区的场效应管有 A、C。
A. 结型管 B. 增强型 MOS 管 C. 耗尽型 MOS 管

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 $U_D=0.7V$ 。

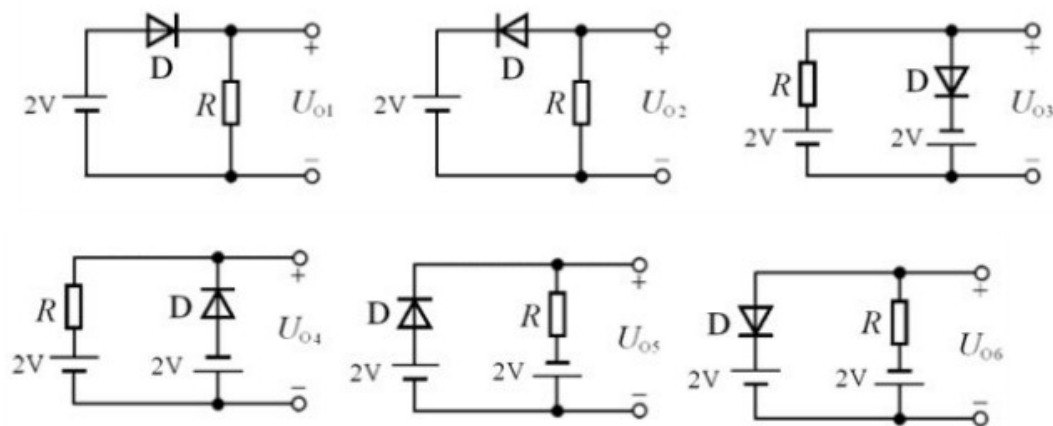


图 T1.3

解： $U_{O1}=1.3V$, $U_{O2}=0V$, $U_{O3}=-1.3V$, $U_{O4}=2V$, $U_{O5}=1.3V$, $U_{O6}=-2V$ 。

四、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 T1.4 所示电路中 U_{O1} 和 U_{O2} 各为多少伏。

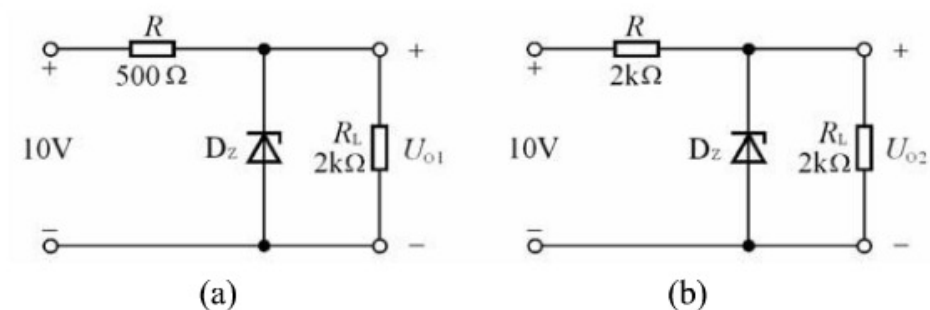


图 T1.4

解：左图中稳压管工作在击穿状态，故 $U_{O1}=6V$ 。

右图中稳压管没有击穿，故 $U_{O2}=5V$ 。

五、电路如图 T1.5 所示， $V_{CC}=15V$ ， $\beta=100$ ， $U_{BE}=0.7V$ 。

试问：

(1) $R_b=50k\Omega$ 时， $U_o=?$

(2) 若 T 临界饱和，则 $R_b=?$

解： (1) $I_B = \frac{V_{BB} - U_{BE}}{R_b} = 26\mu A$,

$$I_C = \beta I_B = 2.6mA,$$

$$U_o = V_{CC} - I_C R_c = 2V.$$

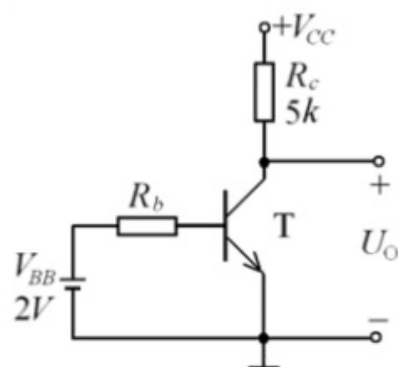


图 T1.5

$$(2) \because I_{CS} = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_c} = 2.86mA, \quad I_{BS} = I_{CS} / \beta = 28.6\mu A$$

$$\therefore R_b = \frac{V_{BB} - U_{BE}}{I_{BS}} = 45.5k\Omega$$

六、测得某放大电路中三个 MOS 管的三个电极的电位如表 T1.6 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 T1.6

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

解：因为三管子均有开启电压，所以它们均为增强型 MOS 管。根据表中所示各极电位可判断出它们各自的工作状态，如表 T1.6 最后一栏所示。

习题

1.1 选择合适答案填入空内。

(1) 在本征半导体中加入(A)元素可形成 N 型半导体, 加入(C)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)。

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 $12\text{ }\mu\text{A}$ 增大到 $22\text{ }\mu\text{A}$ 时, I_C 从 1mA 变为 2mA , 那么它的 β 约为(C)。

A. 83 B. 91 C. 100

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

A. 增大; B. 不变; C. 减小

1.2 电路如图 P1.2 所示, 已知 $u_i = 10\sin\omega t\text{ (V)}$, 试画出 u_i 与 u_o 的波形。设二极管导通电压可忽略不计。

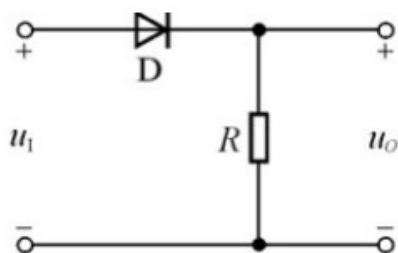
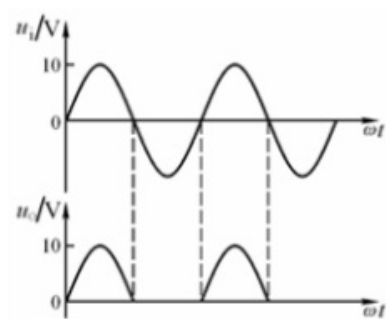


图 P1.2



解图 P1.2

解: u_i 与 u_o 的波形如解图 P1.2 所示。

1.3 电路如图 P1.3 所示, 已知 $u_i = 5\sin\omega t\text{ (V)}$, 二极管导通电压 $U_D = 0.7\text{V}$ 。试画出 u_i 与 u_o 的波形图, 并标出幅值。

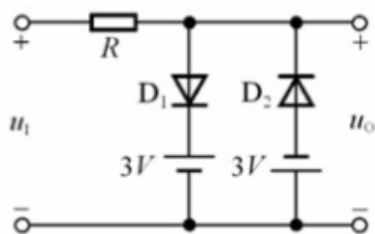
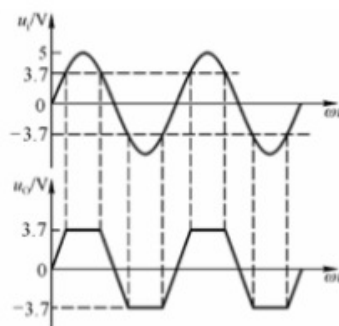


图 P1.3

解：波形如解图 P1.3 所示。



解图 P1.3

1.4 电路如图 P1.4 所示，二极管导通电压 $U_D=0.7V$ ，常温下 $U_T \approx 26mV$ ，电容 C 对交流信号可视为短路； u_i 为正弦波，有效值为 $10mV$ 。试问二极管中流过的交流电流的有效值为多少？

解：二极管的直流电流

$$I_D = (V - U_D) / R = 2.6mA$$

其动态电阻：

$$r_D \approx U_T / I_D = 10\Omega$$

故动态电流的有效值： $I_d = U_i / r_D \approx 1mA$

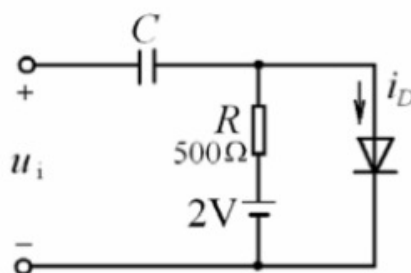


图 P1.4

1.5 现有两只稳压管，稳压值分别是 $6V$ 和 $8V$ ，正向导通电压为 $0.7V$ 。试问：
(1)若将它们串联相接，则可得到几种稳压值？各为多少？
(2)若将它们并联相接，则又可得到几种稳压值？各为多少？

解：(1)串联相接可得 4 种： $1.4V$ ； $14V$ ； $6.7V$ ； $8.7V$ 。

(2)并联相接可得 2 种： $0.7V$ ； $6V$ 。

1.6 已知图 P1.6 所示电路中稳压管的稳定电压 $U_Z = 6V$ ，最小稳定电流

$I_{Zmin} = 5mA$ ，最大稳定电流 $I_{Zmax} = 25mA$ 。

(1)分别计算 U_i 为 $10V$ 、 $15V$ 、 $35V$ 三种情况下输出电压 U_o 的值；

(2)若 $U_i = 35V$ 时负载开路，则会出现什么现象？为什么？

解: (1) 只有当加在稳压管两端的电压大于其稳压值时, 输出电压才为 6V。

$$\therefore U_I = 10V \text{ 时, } U_O = \frac{R_L}{R + R_L} U_I = 3.3V ;$$

$$U_I = 15V \text{ 时, } U_O = \frac{R_L}{R + R_L} U_I = 5V ;$$

$$U_I = 35V \text{ 时, } U_O = \frac{R_L}{R + R_L} U_I \approx 11.7V > U_Z, \therefore U_O = U_Z = 6V .$$

0.1

(2) 当负载开路时, $I_Z = \frac{U_I - U_Z}{R} = 29mA > I_{Z\max} = 25mA$, 故稳压管将被烧毁。

1.7 在图 P1.7 所示电路中, 发光二极管导通电压 $U_D = 1.5V$, 正向电流在 $5 \sim 15mA$ 时才能正常工作。

试问: (1) 开关 S 在什么位置时发光二极管才能发光?

(2) R 的取值范围是多少?

解: (1) S 闭合。

(2) R 的范围为:

$$R_{\min} = (V - U_D) / I_{D\max} \approx 233\Omega$$

$$R_{\max} = (V - U_D) / I_{D\min} \approx 700\Omega$$

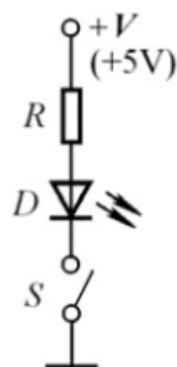


图 P1.7

1.8 现测得放大电路中两只管子两个电极的电流如图 P1.8 所示。分别求另一电极的电流, 标出其方向, 并在圆圈中画出管子, 且分别求出它们的电流放大系数 β 。

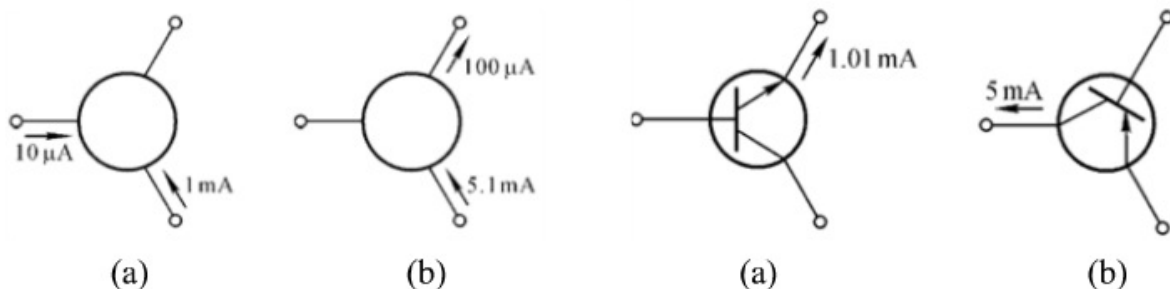


图 P1.8

解图 P1.8

解：答案如解图 P1.8 所示。

放大倍数分别为 $\beta_a = 1mA/10\mu A = 100$ 和 $\beta_b = 5mA/100\mu A = 50$

1.9 测得放大电路中六只晶体管的直流电位如图 P1.9 所示。在圆圈中画出管子，并说明它们是硅管还是锗管。

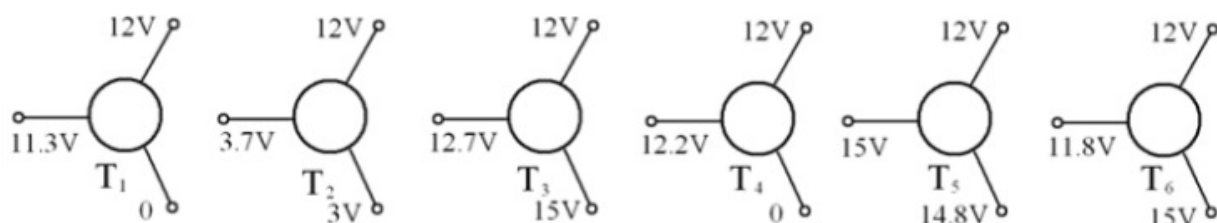
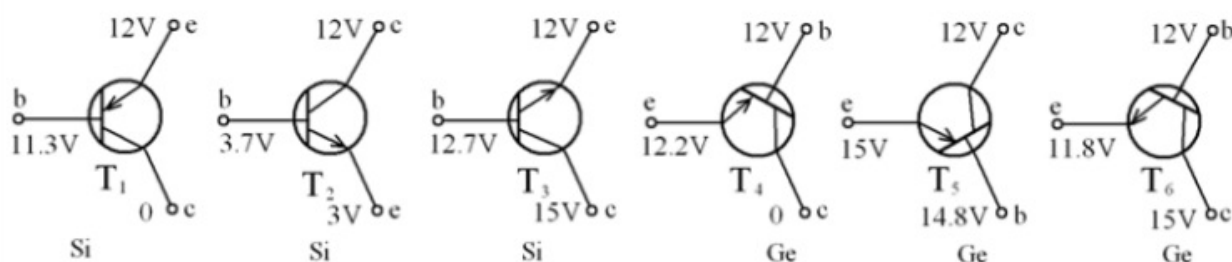


图 P1.9

解：如解图 1.9。



解图 1.9

1.10 电路如图 P1.10 所示，晶体管导通时 $U_{BE} = 0.7V$ ， $\beta = 50$ 。试分析 V_{BB} 为 0V、1V、3V 三种情况下 T 的工作状态及输出电压 u_O 的值。

解： (1) 当 $V_{BB} = 0$ 时，T 截止， $u_O = 12V$ 。

(2) 当 $V_{BB} = 1V$ 时，因为

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_b} = 60\mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 3mA$$

$$u_O = V_{CC} - I_{CQ}R_c = 9V$$

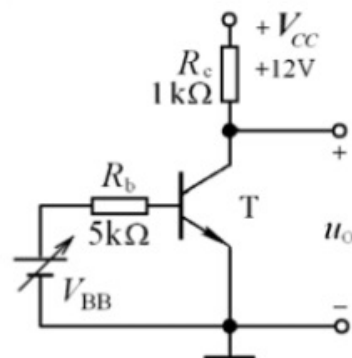


图 P1.10

所以 T 处于放大状态。

$$(3) \text{ 当 } V_{BB} = 3V \text{ 时, 因为 } I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_b} = 460\mu A,$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 23mA \quad I_{CS} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_c} = 11.3mA, \quad \text{所以 } T \text{ 处于饱和状态。}$$

1.11 电路如图 P1.11 所示, 晶体管的 $\beta=50$, $|U_{BE}|=0.2V$, 饱和管压降 $|U_{CES}|=0.1V$; 稳压管的稳定电压 $U_Z=5V$, 正向导通电压 $U_D=0.5V$ 。试问: 当 $u_I=0V$ 时 $u_O=?$; 当 $u_I=-5V$ 时 $u_O=?$

解: 当 $u_I=0V$ 时, 晶体管截止, 稳压管击穿,

$$u_O = -U_Z = -5V。$$

当 $u_I=-5V$ 时, 晶体管饱和,

$$u_O = -0.1V。$$

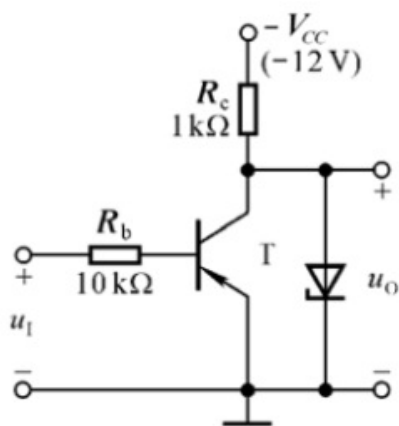
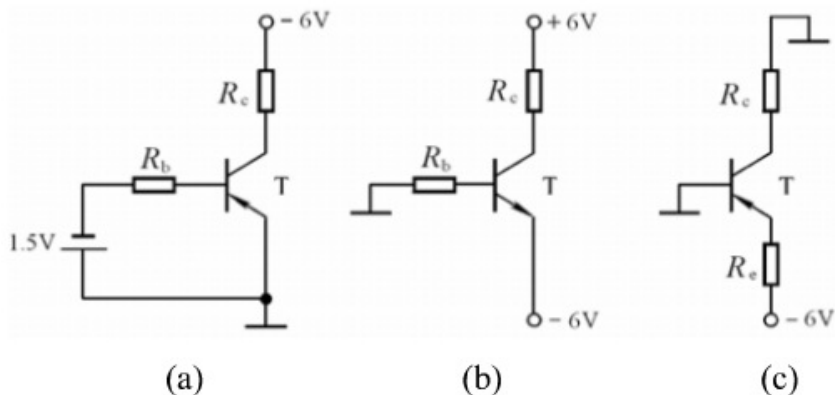


图 P1.11

因为:

$$|I_B| = \frac{u_I - U_{BE}}{R_b} = 480\mu A, \quad |I_C| = \beta |I_B| = 24mA, \quad U_{EC} = V_{CC} - |I_C| R_c < 0$$

1.12 分别判断图 P1.12 所示各电路中晶体管是否有可能工作在放大状态。



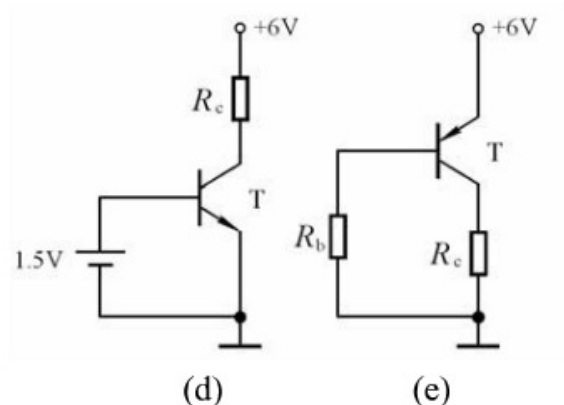
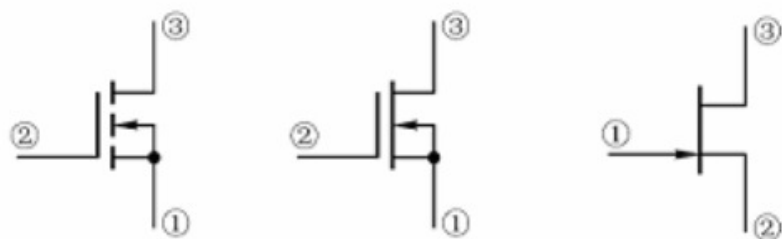


图 P1.12

解: (a)可能; (b)可能; (c)不能; (d)不能, T 的发射结会因电流过大而损坏。(e)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: 管子可能是增强型管、耗尽型管和结型管，三个极①、②、③与G、S、D的对应关系如解图 P1.13 所示。



解图 P1.13

1.14 已知场效应管的输出特性曲线如图 P1.14 所示，画出它在恒流区的转移特性曲线。

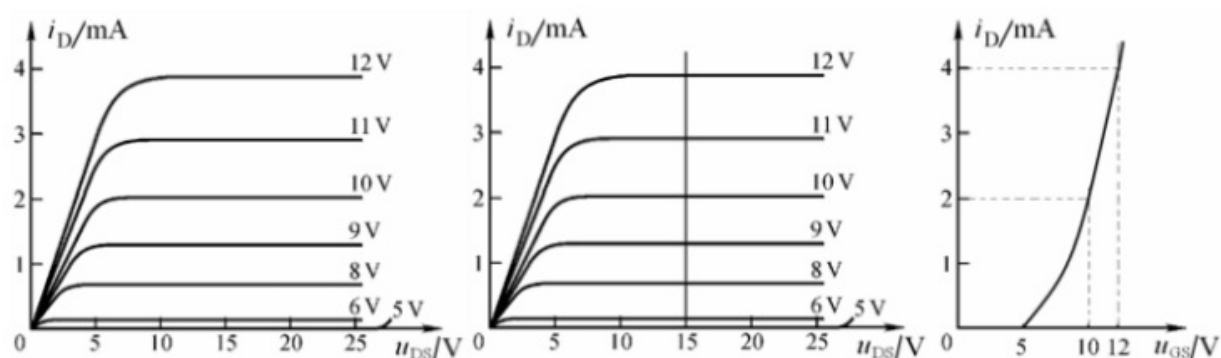


图 P1.14

(a)

(b)

解图 P1.14

解：在场效应管的恒流区作横坐标的垂线(如解图 PL.14 (a)所示),读出其与各条曲线交点的纵坐标值及 u_{GS} 值, 建立 $i_D = f(u_{GS})$ 坐标系, 描点, 连线, 即可得到转移特性曲线, 如解图 PL.14 (b)所示。

1.15 电路如图 P1.15 所示, T 的输出特性如图 PL.14 所示, 分析当 $u_I = 4V$ 、 $8V$ 、 $12V$ 三种情况下场效应管分别工作在什么区域。

解：根据图 P1.14 所示 T 的输出特性可知, 其开启电压为 $5V$, 根据图 P1.15 所示电路可知 $u_{GS} = u_I$ 。

当 $u_I = 4V$ 时, u_{GS} 小于开启电压, 故 T 截止。

当 $u_I = 8V$ 时, 设 T 工作在恒流区, 根据输出特性可知 $i_D \approx 0.6mA$, 管压降 $u_{DS} \approx V_{DD} - i_D R_d \approx 10V$,

因此, $u_{GD} = u_{GS} - u_{DS} \approx -2V$, 小于开启电压, 说明假设成立, 即 T 工作在恒流区。

当 $u_I = 12V$ 时, 由于 $V_{DD} = 12V$, 必然使 T 工作在可变电阻区。

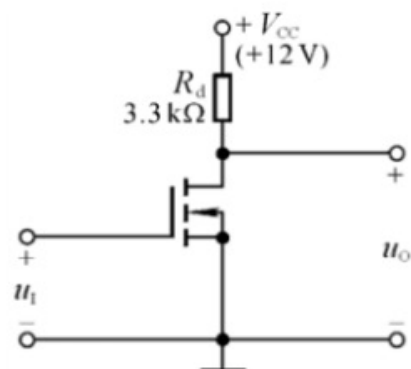


图 P1.15

1.16 分别判断图 P1.16 所示各电路中的场效应管是否有可能工作在恒流区。

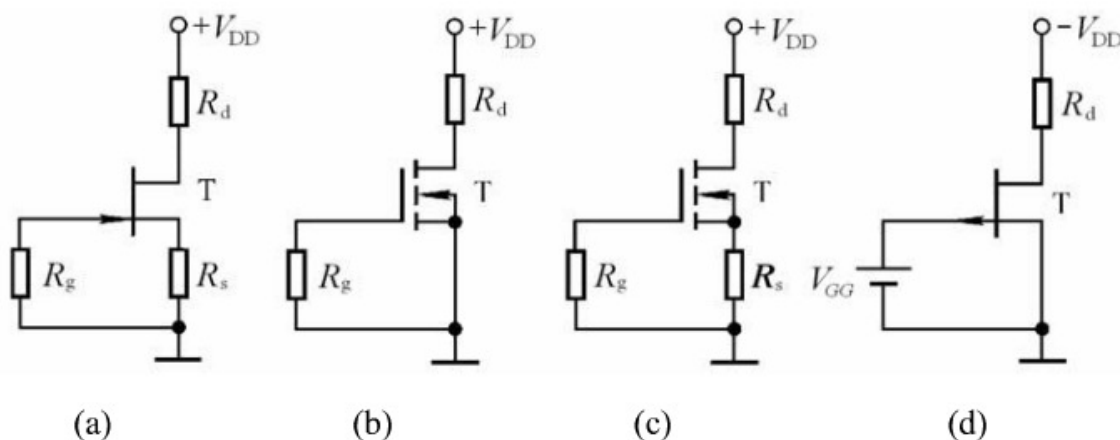
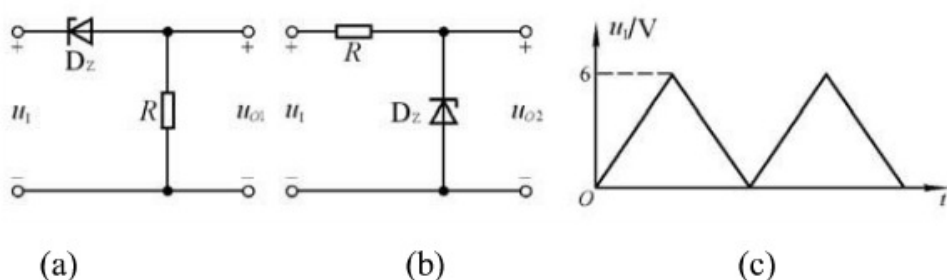


图 P1.16

解：(a)可能,(b)不能,(c)不能,(d)可能。

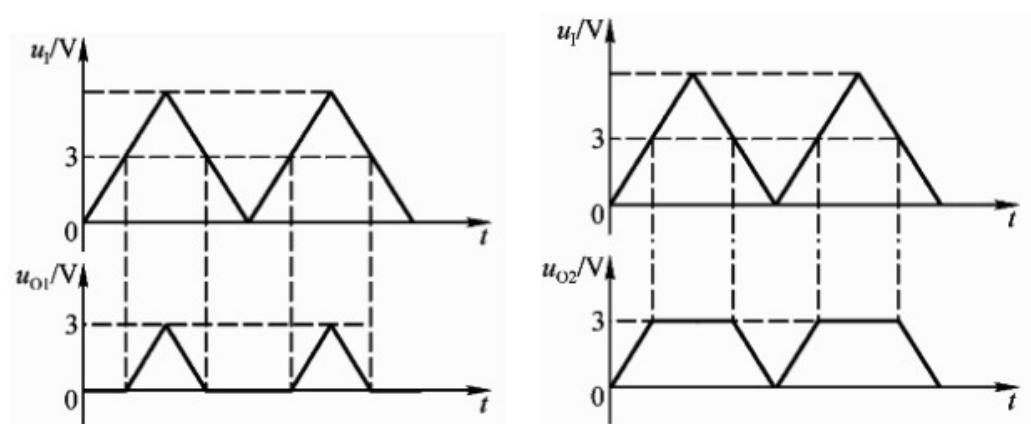
补充 1.电路如补图 P1(a)、(b)所示, 稳压管的稳定电压 $U_Z = 3V$, R 的取值合适,

u_I 的波形如图(c)所示。试分别画出 u_{O1} 和 u_{O2} 的波形。



补图 P1

解: 波形如下图所示



补充 2.在温度 20°C 时某晶体管的 $I_{CBO} = 2\mu\text{A}$, 试问温度是 60°C 时的 $I_{CBO} = ?$

解: $I_{CBO60} = I_{CBO20} \times 2^4 = 2 \times 2^4 = 32\mu\text{A}$ 。

补充 3.有两只晶体管, 一只的 $\beta=200$, $I_{CEO} = 200\mu\text{A}$; 另一只的 $\beta=100$,

$I_{CEO} = 10\mu\text{A}$, 其它参数大致相同。你认为应选用哪只管子? 为什么?

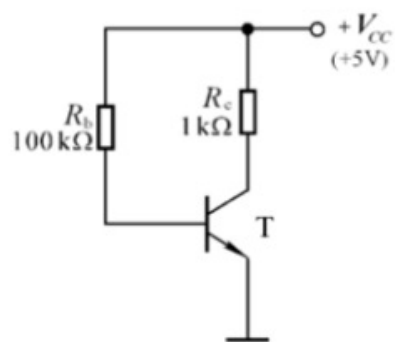
解: 选用 $\beta=100$, $I_{CEO} = 10\mu\text{A}$ 的管子, 因其 β 适中, I_{CEO} 较小, 因而温度稳定性较另一只管子好。

补充 4.电路如补图 P4 所示, 试问 β 大于多少时晶体管饱和?

解: 取 $U_{CES} = U_{BE}$, 若管子饱和,

则 $\beta \cdot \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_b} = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_c}$, 即 $R_b = \beta R_c$

所以, $\beta \geq \frac{R_b}{R_c} = 100$ 时,管子饱和。



补图 P4

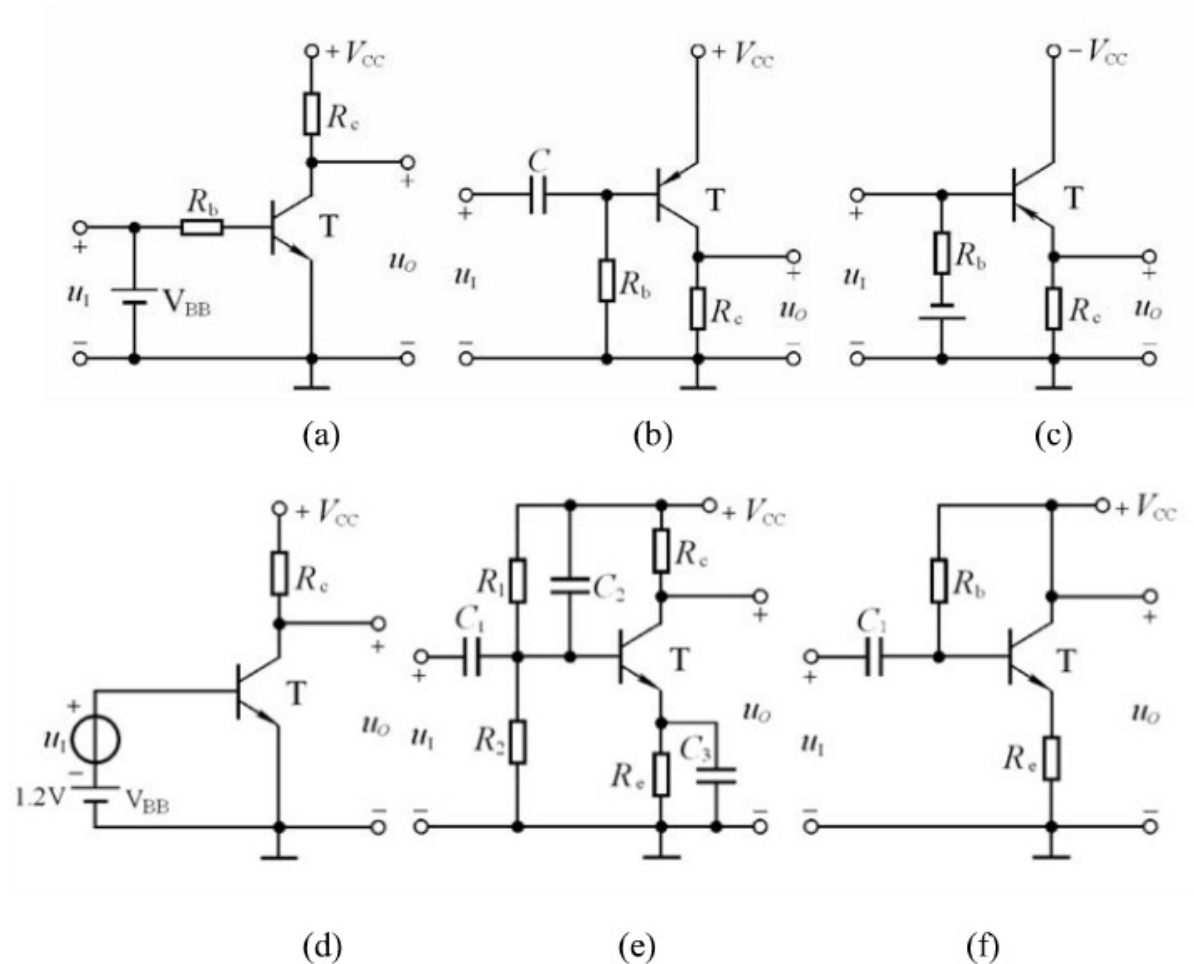
第2章 基本放大电路

自测题

一. 在括号内用“√”和“×”表明下列说法是否正确。

1. 只有电路既放大电流又放大电压,才称其有放大作用。(×)
2. 可以说任何放大电路都有功率放大作用。(√)
3. 放大电路中输出的电流和电压都是有源元件提供的。(×)
4. 电路中各电量的交流成分是交流信号源提供的。(×)
5. 放大电路必须加上合适的直流电源才能正常工作。(√)
6. 由于放大的对象是变化量,所以当输入直流信号时,任何放大电路的输出都毫无变化。(×)
7. 只要是共射放大电路,输出电压的底部失真都是饱和失真。(×)

二. 试分析图 T2.2 各电路是否能放大正弦交流信号,简述理由。设图中所有电容对交流信号均可视为短路。



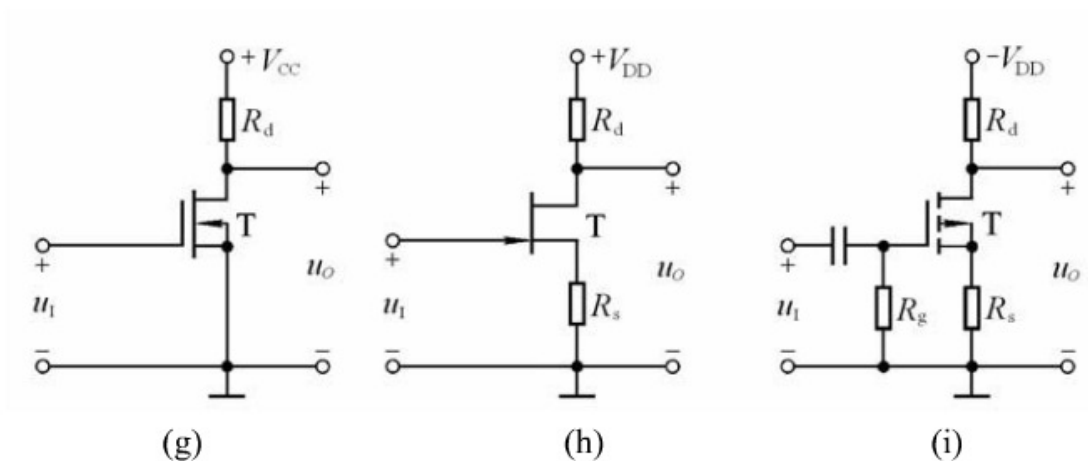


图 T2.2

解：图(a)不能。 V_{BB} 将输入信号短路。

图(b)可以。

图(c)不能。输入信号与基极偏置是并联关系而非串联关系。

图(d)不能。晶体管基极回路因无限流电阻而烧毁。

图(e)不能。输入信号被电容 C_2 短路。

图(f)不能。输出始终为零。

图(g)可能。

图(h)不合理。因为 $G-S$ 间电压将大于零。

图(i)不能。因为 T 截止。

三. 在图 T2.3 所示电路中, 已知 $V_{CC} = 12V$, 晶体管 $\beta = 100$, $R'_b = 100k\Omega$ 。填空:
要求先填文字表达式后填得数。

(1) 当 $\dot{U}_i = 0V$ 时, 测得 $U_{BEQ} = 0.7V$, 若要基极电流 $I_{BQ} = 20\mu A$, 则 R'_b 和 R_w 之和

$R_b = (V_{CC} - U_{BEQ}) / I_{BQ}) k\Omega \approx (565) k\Omega$; 而若测得 $U_{CEQ} = 6V$,

则 $R_c = (V_{CC} - U_{CEQ}) / \beta I_{BQ}) \approx (3) k\Omega$ 。

(2) 若测得输入电压有效值 $U_i = 5mV$ 时,

输出电压有效值 $U_o' = 0.6V$,

则电压放大倍数 $\dot{A}_u = (-U_o' / U_i) \approx (-120)$ 。

若负载电阻 R_L 值与 R_c 相等, 则带上

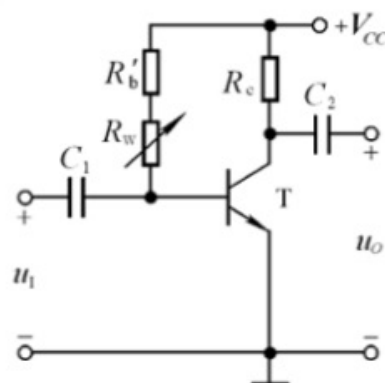


图 T2.3

负载后输出电压有效值 $U_o = (\frac{R_L}{R_L + R_c} \cdot U_o') = (0.3) \text{V}$ 。

四、已知图 T2.3 所示电路中 $V_{CC} = 12\text{V}$, $R_c = 3\text{k}\Omega$, 静态管压降 $U_{CEQ} = 6\text{V}$, 并在输出端加负载电阻 R_L , 其阻值为 $3\text{k}\Omega$ 。选择一个合适的答案填入空内。

(1) 该电路的最大不失真输出电压有效值 $U_{om} \approx$ (A);

A. 2V B. 3V C. 6V

(2) 当 $\dot{U}_i = 1\text{mV}$ 时, 若在不失真的条件下, 减小 R_w , 则输出电压的幅值将 (C);

A. 减小 B. 不变 C. 增大

(3) 在 $\dot{U}_i = 1\text{mV}$ 时, 将 R_w 调到输出电压最大且刚好不失真, 若此时增大输入电压, 则输出电压波形将 (B);

A. 顶部失真 B. 底部失真 C. 为正弦波

(4) 若发现电路出现饱和失真, 则为消除失真, 可将 (B)。

A. R_w 减小 B. R_c 减小 C. V_{CC} 减小

五、现有直接耦合基本放大电路如下:

A. 共射电路 B. 共集电路 C. 共基电路
D. 共源电路 E. 共漏电路

它们的电路分别如图 2.2.1、2.5.1(a)、2.5.4(a)、2.6.2 和 2.6.9(a) 所示; 设图中 $R_e < R_b$,

且 I_{CQ} 、 I_{DQ} 均相等。选择正确答案填入空内, 只需填 A、B、... ..

(1) 输入电阻最小的电路是 (C), 最大的是 (D、E);

(2) 输出电阻最小的电路是 (B);

(3) 有电压放大作用的电路是 (A、C、D);

(4) 有电流放大作用的电路是 (A、B、D、E);

(5) 高频特性最好的电路是 (C);

(6) 输入电压与输出电压同相的电路是 (B、C、E); 反相的电路是 (A、D)。

六、未画完的场效应管放大电路如图 T2.6 所示, 试将合适的场效应管接入电路, 使之能够正常放大。要求给出两种方案。

解：根据电路接法，可分别采用耗尽型 N 沟道和 P 沟道 MOS 管，如解图 T2.6 所示。

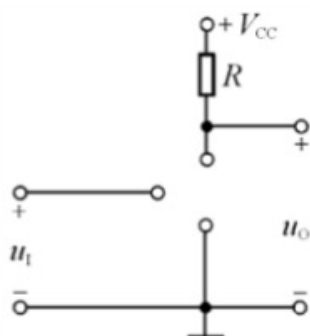


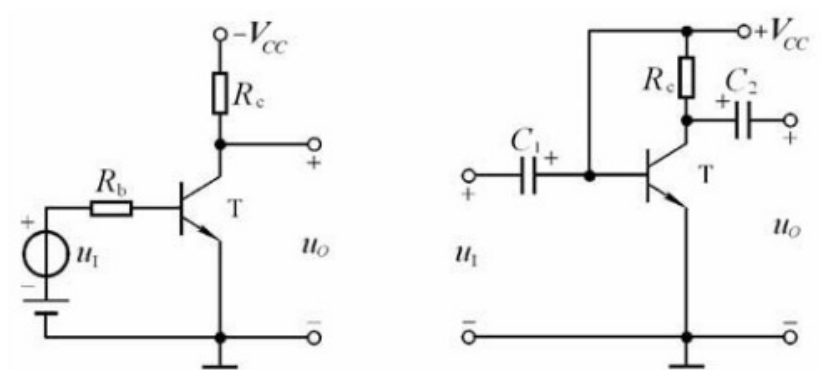
图 T2.6



解图 T2.6

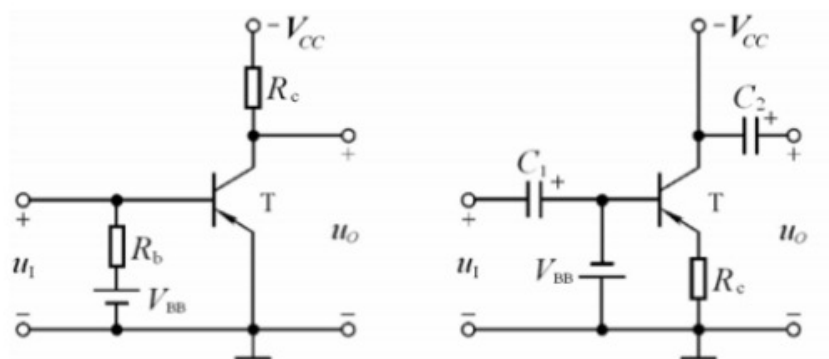
习题

2.1 分别改正图 P2.1 所示各电路中的错误，使它们有可能放大正弦波信号。要求保留电路原来的共射接法和耦合方式。



(a)

(b)



(c)

(d)

图 P2.1

解：(a)将 $-V_{CC}$ 改为 $+V_{CC}$ 。

(b)在 $+V_{CC}$ 与基极之间加 R_b 。

(c)将 V_{BB} 反接，且在输入端串联一个电阻。

(d) 在 V_{BB} 支路加 R_b ，在 $-V_{CC}$ 与集电极之间加 R_c 。

2.2 画出图 P2.2 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。

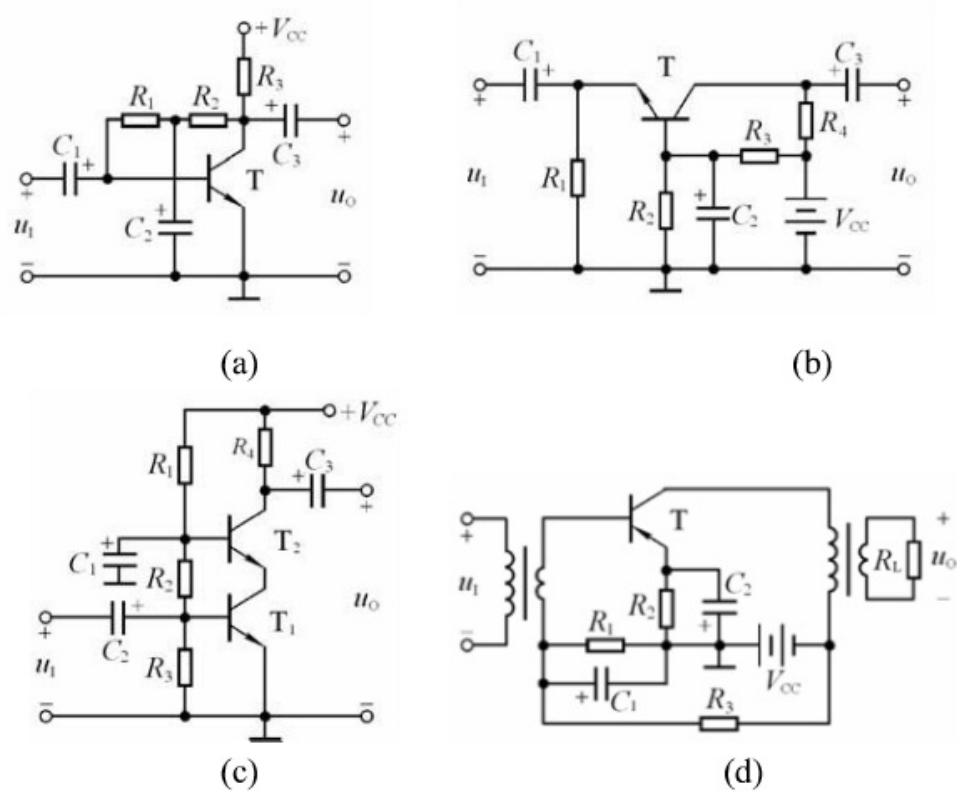
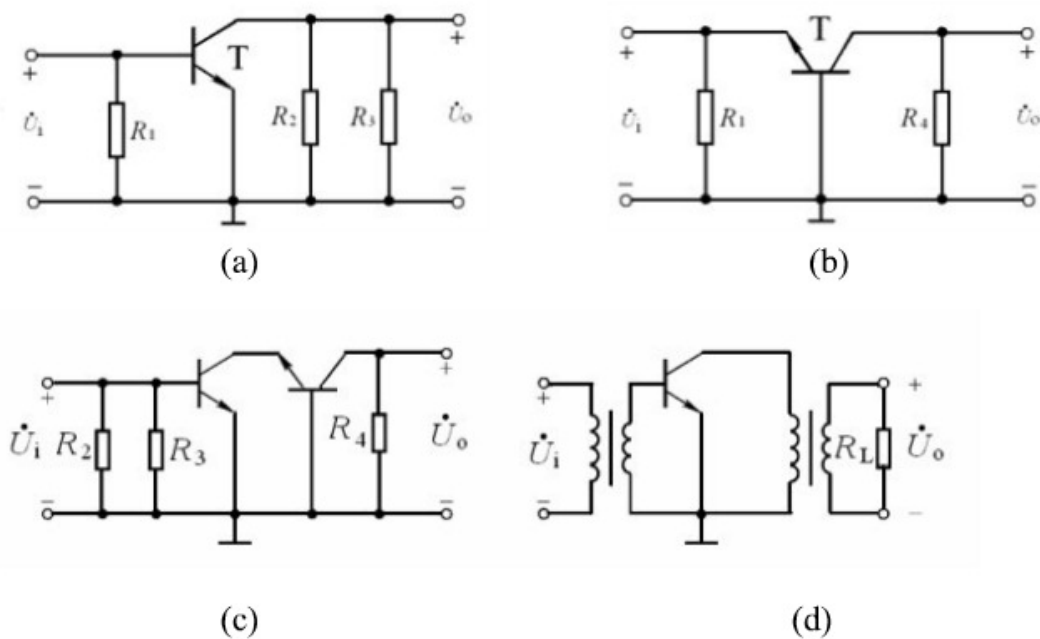


图 P2.2

解：将电容开路、变压器线圈短路即为直流通路，图略。

图 P2.2 所示各电路的交流通路如解图 P2.2 所示；



解图 P2.2

2.3 分别判断图 P2.2(a)、(b)所示两电路各属哪种放大电路，并写出 Q 、 $\dot{A}_u$ 、 R_i 和 R_o 的表达式。

解：图 (a): $I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_1 + R_2 + (1 + \beta)R_3}$, $I_{CQ} = \beta I_{BQ}$,

$$U_{CEQ} = V_{CC} - (1 + \beta)I_{BQ}R_c。$$

$$\dot{A}_u = -\beta \frac{R_2 // R_3}{r_{be}}, \quad R_i = r_{be} // R_1, \quad R_o = R_2 // R_3$$

图(b): $I_{BQ} = (\frac{R_2}{R_2 + R_3}V_{CC} - U_{BEQ}) / [R_2 // R_3 + (1 + \beta)R_1]$, $I_{CQ} = \beta I_{BQ}$,

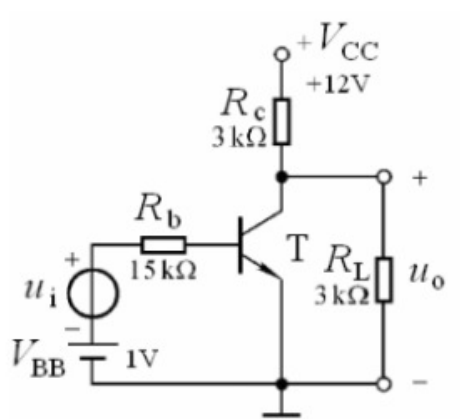
$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_4 - I_{EQ}R_1。$$

$$\dot{A}_u = \frac{\beta R_4}{r_{be}}, \quad R_i = R_1 // \frac{r_{be}}{1 + \beta}, \quad R_o = R_4。$$

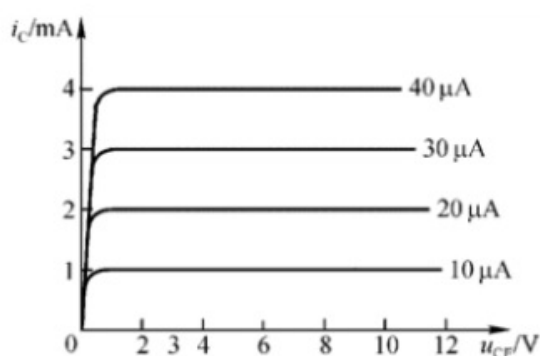
2.4 电路如图 P2.4 (a)所示，图(b)是晶体管的输出特性，静态时 $U_{BEQ} = 0.7V$ 。

利用图解法分别求出 $R_L = \infty$ 和 $R_L = 3k\Omega$ 时的静态工作点和最大不失真输出电压

U_{om} (有效值)。



(a)



(b)

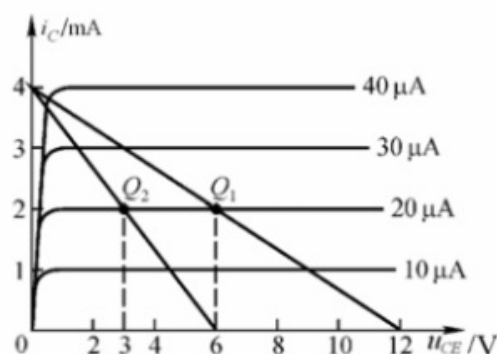
图 P2.4

解：空载时： $I_{BQ} = 20\mu A$, $I_{CQ} = 2mA$, $U_{CEQ} = 6V$ ；

最大不失真输出电压峰值约为 $5.3V$ ，有效值约为 $3.75V$ 。

带载时： $I_{BQ} = 20\mu A, I_{CQ} = 2mA, U_{CEQ} = 3V$ ；

最大不失真输出电压峰值约为 $2.3V$ ，有效值约为 $1.63V$ 。如解图 P2.4 所示。



解图 P2.4

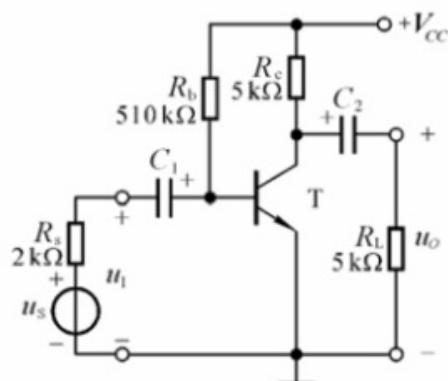


图 P2.5

2.5 在图 P2.5 所示电路中,已知晶体管的 $\beta=80, r_{be}=1k\Omega, \dot{U}_i = 20mV$,静态时

$U_{BEQ} = 0.7V, U_{CEQ} = 4V, I_{BQ} = 20\mu A$ 。判断下列结论是否正确,在括号内打“√”和“×”表示。

$$(1) \dot{A}_u = -\frac{4}{20 \times 10^{-3}} = -200 \quad (\times)$$

$$(2) \dot{A}_u = -\frac{4}{0.7} = -5.71 \quad (\times)$$

$$(3) \dot{A}_u = -\frac{80 \times 5}{1} = -400 \quad (\times)$$

$$(4) \dot{A}_u = -\frac{80 \times 2.5}{1} = -200 \quad (\checkmark)$$

$$(5) R_i = \frac{20}{20} k\Omega = 1k\Omega \quad (\times)$$

$$(6) R_i = \frac{0.7}{0.02} k\Omega = 35k\Omega \quad (\times)$$

$$(7) R_i \approx 3k\Omega \quad (\times)$$

$$(8) R_i \approx 1k\Omega \quad (\checkmark)$$

$$(9) R_o = 5k\Omega \quad (\checkmark)$$

$$(10) R_o = 2.5k\Omega \quad (\times)$$

$$(11) \dot{U}_s \approx 20mV \quad (\times)$$

$$(12) \dot{U}_s \approx 60mV \quad (\checkmark)$$

2.6 电路如图 P2.6 所示,已知晶体管 $\beta=120, U_{BE}=0.7V$,饱和管压降 $U_{CES}=0.5V$ 。在下列情况下,用直流电压表测量晶体管的集电极电位,应分别为多少?

(1) 正常情况; (2) R_{b1} 短路; (3) R_{b1} 开路; (4) R_{b2} 开路; (5) R_{b2} 短路; (6) R_C 短路;

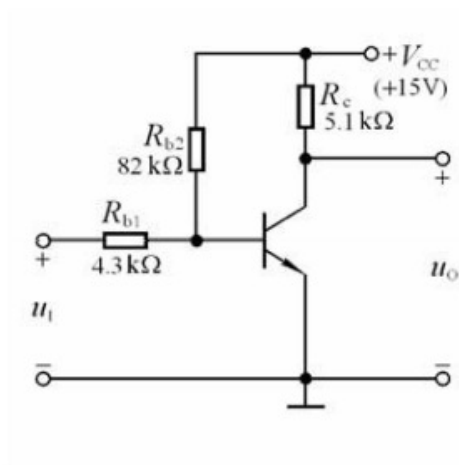


图 P2.6

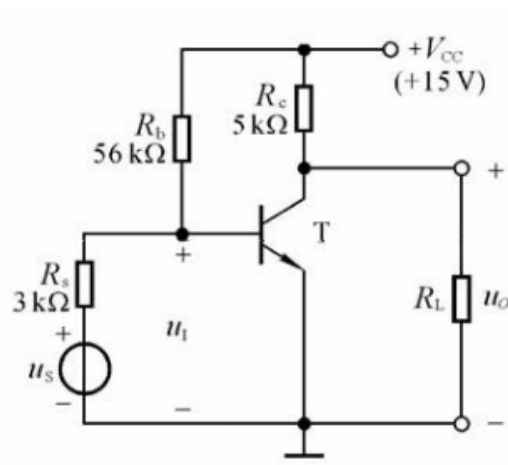


图 P2.7

解: (1) $I_B = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_{b2}} - \frac{U_{BE}}{R_{b1}} = 174 - 163 = 11\mu\text{A}$, $I_C = \beta I_B = 1.32\text{mA}$,

$\therefore U_C = V_{CC} - I_C R_c = 8.3\text{V}$ 。

(2) R_{b1} 短路, $I_C = I_B = 0$, $\therefore U_C = 15\text{V}$ 。

(3) R_{b1} 开路, 临界饱和基极电流 $I_{BS} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\beta R_c} \approx 23.7\mu\text{A}$,

实际基极电流 $I_B = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_{b2}} = 174\mu\text{A}$ 。

由于 $I_B > I_{BS}$, 管子饱和, $\therefore U_C = U_{CES} = 0.5\text{V}$ 。

(4) R_{b2} 开路, 无基极电流, $U_C = V_{CC} = 15\text{V}$ 。

(5) R_{b2} 短路, 发射结将烧毁, U_C 可能为 15V 。

(6) R_c 短路, $U_C = V_{CC} = 15\text{V}$ 。

2.7 电路如图 P2.7 所示, 晶体管的 $\beta=80$, $r_{bb'}=100\Omega$ 。分别计算 $R_L = \infty$ 和

$R_L = 3\text{k}\Omega$ 时的 Q 点、 $\dot{A}_u$ 、 R_i 和 R_o 。

解：在空载和带负载情况下，电路的静态电流、 r_{be} 均相等，它们分别为：

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b} - \frac{U_{BEQ}}{R_s} \approx 22\mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \approx 1.76mA$$

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{EQ}} \approx 1.3k\Omega$$

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：

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c \approx 6.2V ; \quad \dot{A}_u = -\frac{\beta R_c}{r_{be}} \approx -308$$

$$R_i = R_b // r_{be} \approx r_{be} \approx 1.3k\Omega ; \quad \dot{A}_{us} \approx \frac{r_{be}}{r_{be} + R_s} \cdot \dot{A}_u \approx -93$$

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

$R_L = 3k\Omega$ 时，静态管压降、电压放大倍数分别为：

$$U_{CEQ} = \frac{R_L}{R_L + R_c} V_{CC} - I_{CQ}(R_c // R_L) \approx 2.3V$$

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be}} \approx -115 \quad \dot{A}_{us} \approx \frac{r_{be}}{r_{be} + R_s} \cdot \dot{A}_u \approx -34.7$$

$$R_i = R_b // r_{be} \approx r_{be} \approx 1.3k\Omega \quad R_o = R_c = 5k\Omega。$$

2.8 若将图 P2.7 所示电路中的 NPN 管换成 PNP 管，其它参数不变，则为使电路正常放大电源应作如何变化？Q 点、 $\dot{A}_u$ 、 R_i 和 R_o 变化吗？如变化，则如何变化？若输出电压波形底部失真，则说明电路产生了什么失真，如何消除？

解：由正电源改为负电源；Q 点、 $\dot{A}_u$ 、 R_i 和 R_o 不会变化；输出电压波形底部失真对应输入信号正半周失真，对 PNP 管而言，管子进入截止区，即产生了截止失真；减小 R_b 。

2.9 已知图 P2.9 所示电路中, 晶体管 $\beta=100$, $r_{be}=1.4k\Omega$ 。

(1) 现已测得静态管压降 $U_{CEQ}=6V$, 估算 R_b ;

(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?

解: (1) $I_C = \frac{V_{CC} - U_{CE}}{R_c} = 2mA$, $I_B = I_C / \beta = 20\mu A$,

$$\therefore R_b = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{I_B} = 565k\Omega。$$

(2) 由 $\dot{A}_u = -\frac{U_o}{U_i} = -\frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be}} = -100$,

可得: $R_L = 2.625k\Omega$ 。

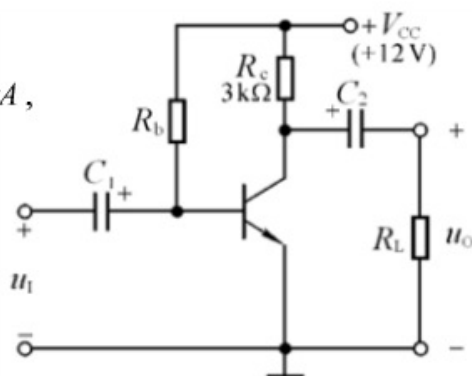


图 P2.9

2.10 在图 P2.9 所示电路中, 设静态时 $I_{CQ} = 2mA$, 晶体管饱和管压降 $U_{CES} = 0.6V$ 。试问: 当负载电阻 $R_L = \infty$ 和 $R_L = 3k\Omega$ 时, 电路的最大不失真输出电压各为多少伏?

解: 由于 $I_{CQ} = 2mA$, 所以 $U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c = 6V$ 。

空载时, 输入信号增大到一定幅值, 电路首先出现饱和失真。故

$$U_{om} = \frac{U_{CEQ} - U_{CES}}{\sqrt{2}} \approx 3.82V$$

$R_L = 3k\Omega$ 时, 当输入信号增大到一定幅值, 电路首先出现截止失真。故

$$U_{om} = \frac{I_{CQ}R_L'}{\sqrt{2}} \approx 2.12V$$

2.11 电路如图 P2.11 所示, 晶体管 $\beta=100$, $r_{bb'}=100\Omega$ 。

(1) 求电路的 Q 点、 $\dot{A}_u$ 、 R_i 和 R_o ;

(2) 若改用 $\beta=200$ 的晶体管, 则 Q 点如何变化?

(3) 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)静态分析:

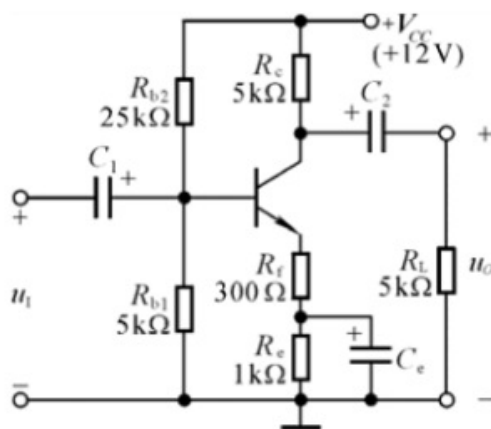
$$U_{BQ} = \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{CC} = 2V$$

$$I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_f + R_e} = 1mA$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{1 + \beta} = 10\mu A$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ}(R_c + R_f + R_e) = 5.7V$$

图 P2.11



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

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

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

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

(2) $\beta=200$ 时, $U_{BQ} = \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{CC} = 2V$ (不变);

$$I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_f + R_e} = 1mA \text{ (不变); } I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{1 + \beta} = 5\mu A \text{ (减小);}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ}(R_c + R_f + R_e) = 5.7V \text{ (不变).}$$

(3) C_e 开路时, $\dot{A}_u = -\frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)(R_e + R_f)} \approx -\frac{R_c // R_L}{R_e + R_f} = -1.92$ (减小);

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be} + (1 + \beta)(R_e + R_f)] \approx 4.1k\Omega \text{ (增大);}$$

$$R_o = R_c = 5k\Omega \text{ (不变).}$$

2.12 电路如图 P2.12 所示, 晶体管的 $\beta=80$, $r_{be}=1k\Omega$ 。

(1)求出 Q 点; (2)分别求出 $R_L=\infty$ 和 $R_L=3k\Omega$ 时电路的 $\dot{A}_u$ 、 R_i 和 R_o 。

解: (1)求解 Q 点:

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

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

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

(2)求解放大倍数和输入、输出电阻:

$$R_L=\infty \text{ 时; } \dot{A}_u = \frac{(1 + \beta)R_e}{r_{be} + (1 + \beta)R_e} \approx 0.996$$

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

$$R_L=3k\Omega \text{ 时; } \dot{A}_u = \frac{(1 + \beta)(R_e // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)(R_e // R_L)} \approx 0.992$$

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

$$\text{输出电阻: } R_o = R_e // \frac{R_s // R_b + r_{be}}{1 + \beta} \approx 37\Omega$$

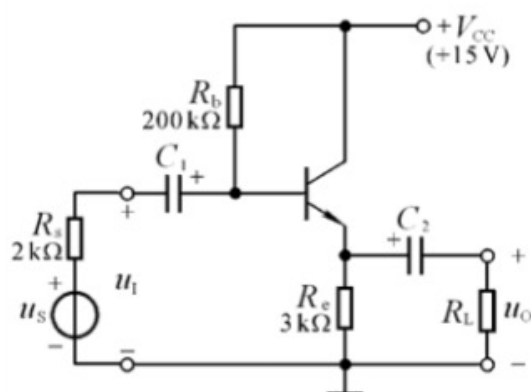


图 P2.12

2.13 电路如图 P2.13 所示, 晶体管的 $\beta=60$, $r_{bb'}=100\Omega$ 。

(1)求解 Q 点、 $\dot{A}_u$ 、 R_i 和 R_o

(2)设 $U_s = 10mV$ (有效值), 问 $U_i = ?$, $U_o = ?$

若 C_3 开路, 则 $U_i = ?$, $U_o = ?$

解: (1) Q 点:

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta)R_e} \approx 31\mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \approx 1.86mA$$

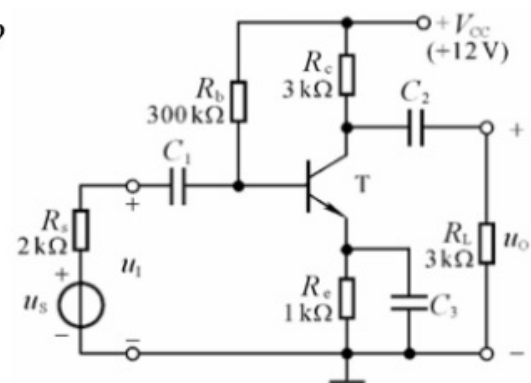


图 P2.13

$$U_{CEQ} \approx V_{CC} - I_{EQ}(R_c + R_e) \approx 4.56V$$

$\dot{A}_u$ 、 R_i 和 R_o 的分析:

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{EQ}} \approx 952\Omega, \quad \dot{A}_u = -\frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be}} \approx -95$$

$$R_i = R_b // r_{be} \approx 952\Omega, \quad R_o = R_c = 3k\Omega。$$

(2) 设 $U_s = 10mV$ (有效值), 则

$$U_i = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot U_s = 3.2mV; \quad U_o = |\dot{A}_u| \cdot U_i = 304mV$$

若 C_3 开路, 则:

$$R_i = R_b // [r_{be} + (1 + \beta)R_e] \approx 51.3k\Omega, \quad \dot{A}_u \approx -\frac{R_c // R_L}{R_e} \approx -1.5$$

$$U_i = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot U_s = 9.6mV, \quad U_o = |\dot{A}_u| \cdot U_i = 14.4mV。$$

2.14 改正图 P2.14 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。

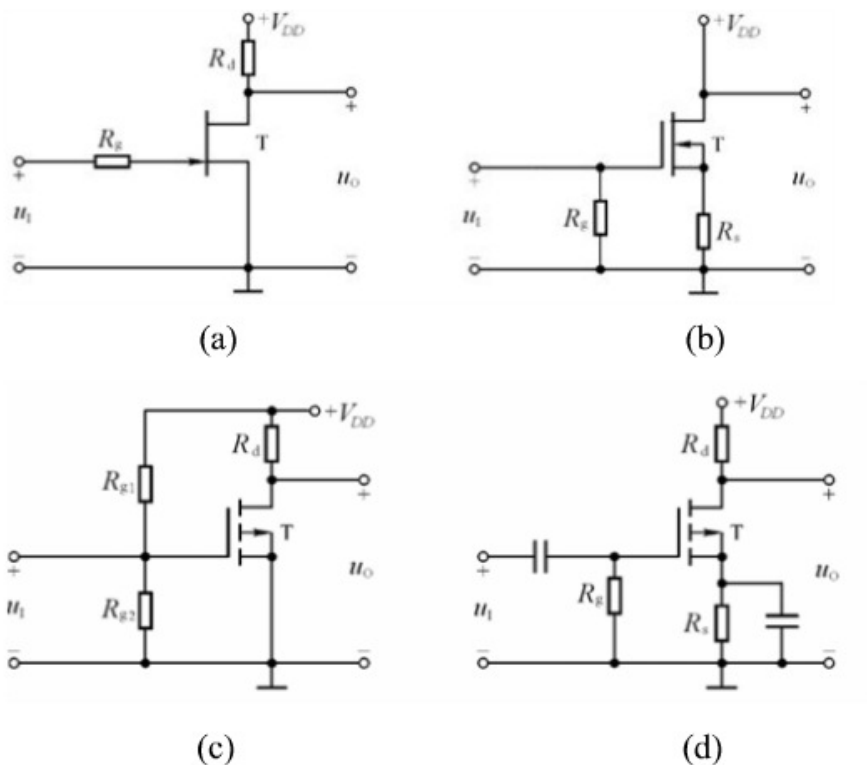


图 P2.14

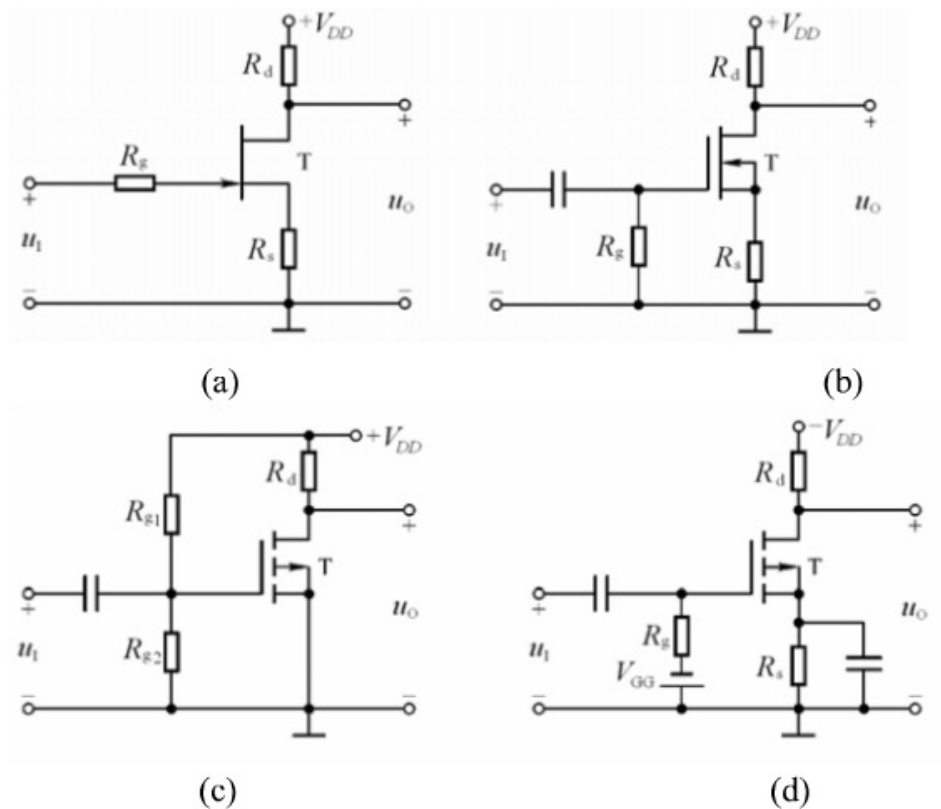
解: (a)源极加电阻 R_S ;

(b)漏极加电阻 R_D ;

(c)输入端加耦合电容;

(d)在 R_g 支路加 $-V_{GG}$, $+V_{DD}$ 改为 $-V_{DD}$

改正电路如解图 P2.14 所示。

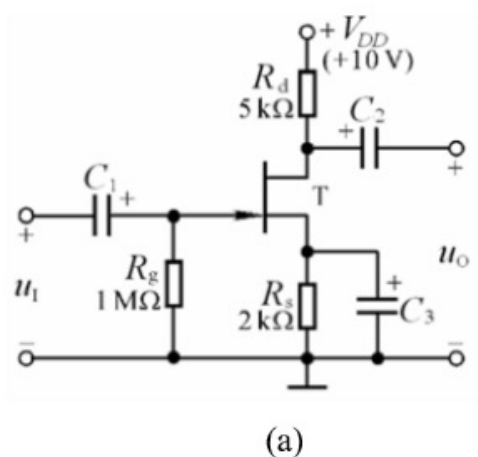


解图 P2.14

2.15 已知图 P2.21 (a)所示电路中场效应管的转移特性和输出特性分别如图(b)、(c)所示。

(1)利用图解法求解 Q 点;

(2)利用等效电路法求解 $\dot{A}_u$ 、 R_i 和 R_o 。



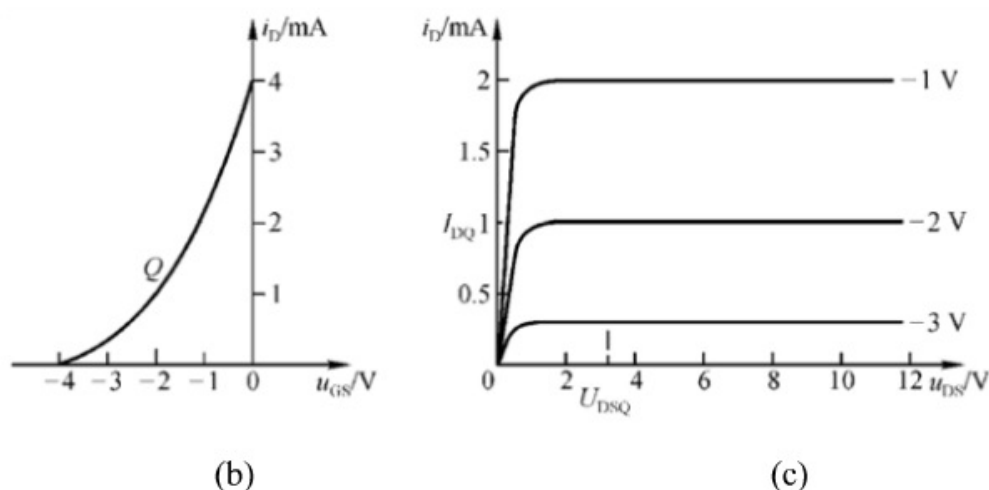
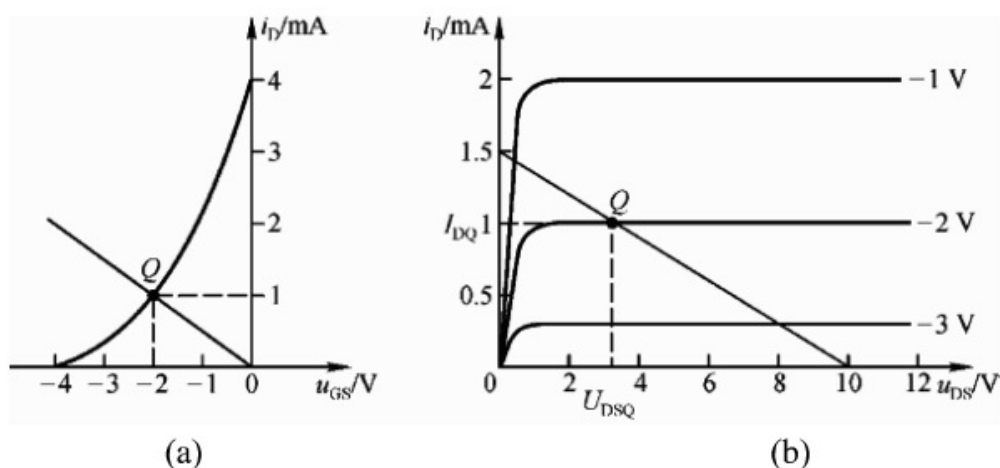


图 P2.15

解: (1) 在转移特性中作直线 $u_{GS} = -i_D R_s$ ，与转移特性的交点即为 Q 点；读出坐标值，得出 $I_{DQ} = 1mA, U_{GSQ} = -2V$ 。如解图 P2.15(a)所示。



解图 P2.21

在输出特性中作直流负载线 $u_{DS} = V_{DD} - i_D (R_d + R_s)$ ，与 $U_{GSQ} = -2V$ 的那条输出特性曲线的交点为 Q 点， $U_{DSQ} \approx 3V$ 。如解图 P2.21(b)所示。

(2) 首先画出交流等效电路（图略），然后进行动态分析。

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_{U_{DS}} = \frac{-2}{U_{GS(off)}} \sqrt{I_{DSS} I_{DQ}} = 1mV/V$$

$$\dot{A}_u = -g_m R_d = -5; \quad R_i = R_g = 1M\Omega; \quad R_o = R_d = 5k\Omega$$

2.16 已知图 P2.16(a)所示电路中场效应管的转移特性如图(b)所示。

求解电路的 Q 点和 $\dot{A}_u$ 。

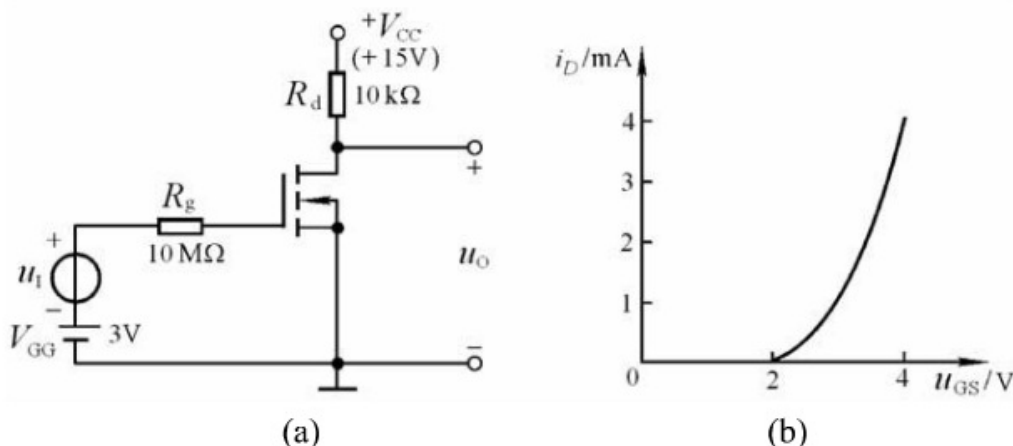


图 P2.16

解：(1)求 Q 点：

根据电路图可知， $U_{GSQ} = V_{GG} = 3V$ 。

从转移特性查得，当 $U_{GSQ} = 3V$ 时的漏极电流： $I_{DQ} = 1mA$

因此管压降 $U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ}R_d = 5V$ 。

(2)求电压放大倍数：

$$\because g_m = \frac{2}{U_{GS(th)}} \sqrt{I_{DQ}I_{DO}} = 2mA/V, \quad \therefore \dot{A}_u = -g_m R_d = -20$$

2.17 电路如图 P2.17 所示。(1)若输出电压波形底部失真，则可采取哪些措施？

若输出电压波形顶部失真，则可采取哪些措施？(2)若想增大 $|\dot{A}_u|$ ，则可采取哪些措施？

解：(1) 输出电压波形底部失真，类似于 NPN 型三极管的饱和失真，应降低 Q ，故可减小 R_2 或增大 R_1 、 R_S ；若输出电压波形顶部失真，则与上述相反，故可增大 R_2 或减小 R_1 、 R_S 。

(2) 若想增大 $|\dot{A}_u|$ ，就要增大漏极静态电流以增大 g_m ，故可增大 R_2 或减小 R_1 、 R_S 。

2.18 图 P2.18 中的哪些接法可以构成复合管？标出它们等效管的类型（如 NPN 型、PNP 型、N 沟道结型… …）及管脚(b、e、c、d、g、s)。

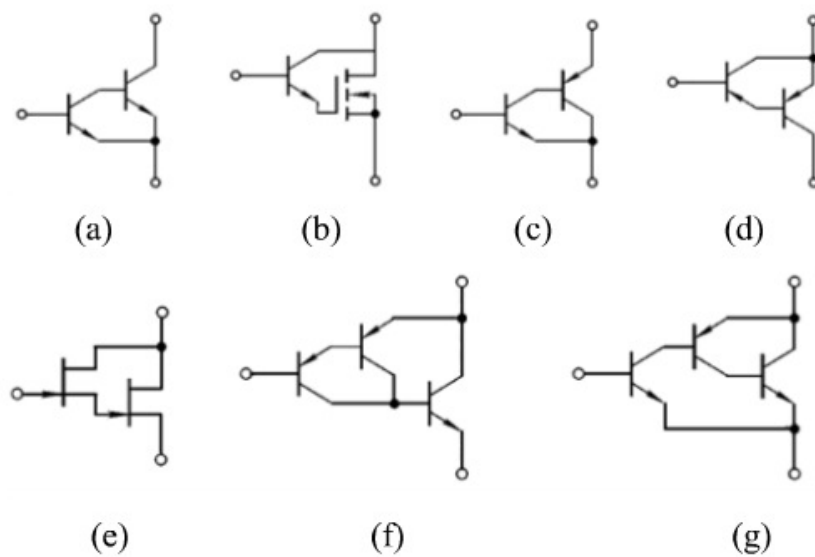


图 P2.18

解： (a)不能。(b)不能。

(c)构成 NPN 型管，上端为集电极，中端为基极，下端为发射极。

(d)不能。(e)不能。

(f)构成 PNP 型管，上端为发射极，中端为基极，下端为集电极。

(g)构成 NPN 型管，上端为集电极，中端为基极，下端为发射极。

第3章 多级放大电路

自测题

一、现有基本放大电路：

A.共射电路 B.共集电路 C.共基电路 D.共源电路 E.共漏电路

根据要求选择合适电路组成两级放大电路。

(1)要求输入电阻为 $1k\Omega$ 至 $2k\Omega$ ，电压放大倍数大于 3000，第一级应采用(A)，第二级应采用(A)。

(2)要求输入电阻大于 $10M\Omega$ ，电压放大倍数大于 300，第一级应采用(D)，第二级应采用(A)。

(3)要求输入电阻为 $100k\Omega \sim 200k\Omega$ ，电压放大倍数数值大于 100，第一级应采用(B)，第二级应采用(A)。

(4)要求电压放大倍数的数值大于 10，输入电阻大于 $10M\Omega$ ，输出电阻小于 100Ω ，第一级应采用(D)，第二级应采用(B)。

(5)设信号源为内阻很大的电压源，要求将输入电流转换成输出电压，且

$$\left| \dot{A}_{ui} \right| = \left| \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_i} \right| > 1000, \text{ 输出电阻 } R_o < 100, \text{ 第一级应采用采用(C), 第二级应(B).}$$

二、选择合适答案填入空内。

(1)直接耦合放大电路存在零点漂移的原因是(C、D)。

A. 电阻阻值有误差 B. 晶体管参数的分散性
C. 晶体管参数受温度影响 D. 电源电压不稳

(2)集成放大电路采用直接耦合方式的原因是(C)。

A. 便于设计 B. 放大交流信号 C. 不易制作大容量电容

(3)选用差动放大电路的原因是(A)。

A. 克服温漂 B. 提高输入电阻 C. 稳定放大倍数

(4)差动放大电路的差模信号是两个输入端信号的(A)，共模信号是两个输入端信号的(C)。

A.差 B.和 C.平均值

(5)用恒流源取代长尾式差动放大电路中的发射极电阻，将使单端电路的(B)。

A. 差模放大倍数数值增大 B. 抑制共模信号能力增强 C. 差模输入电阻增大

(6)互补输出级采用共集形式是为了使(C)。

A.放大倍数的数值大 B.最大不失真输出电压大 C.带负载能力强

3.1 判断图 P3.1 所示各两级放大电路中 T_1 和 T_2 管分别组成哪种基本接法的放大电路。设图中所有电容对于交流信号均可视为短路。

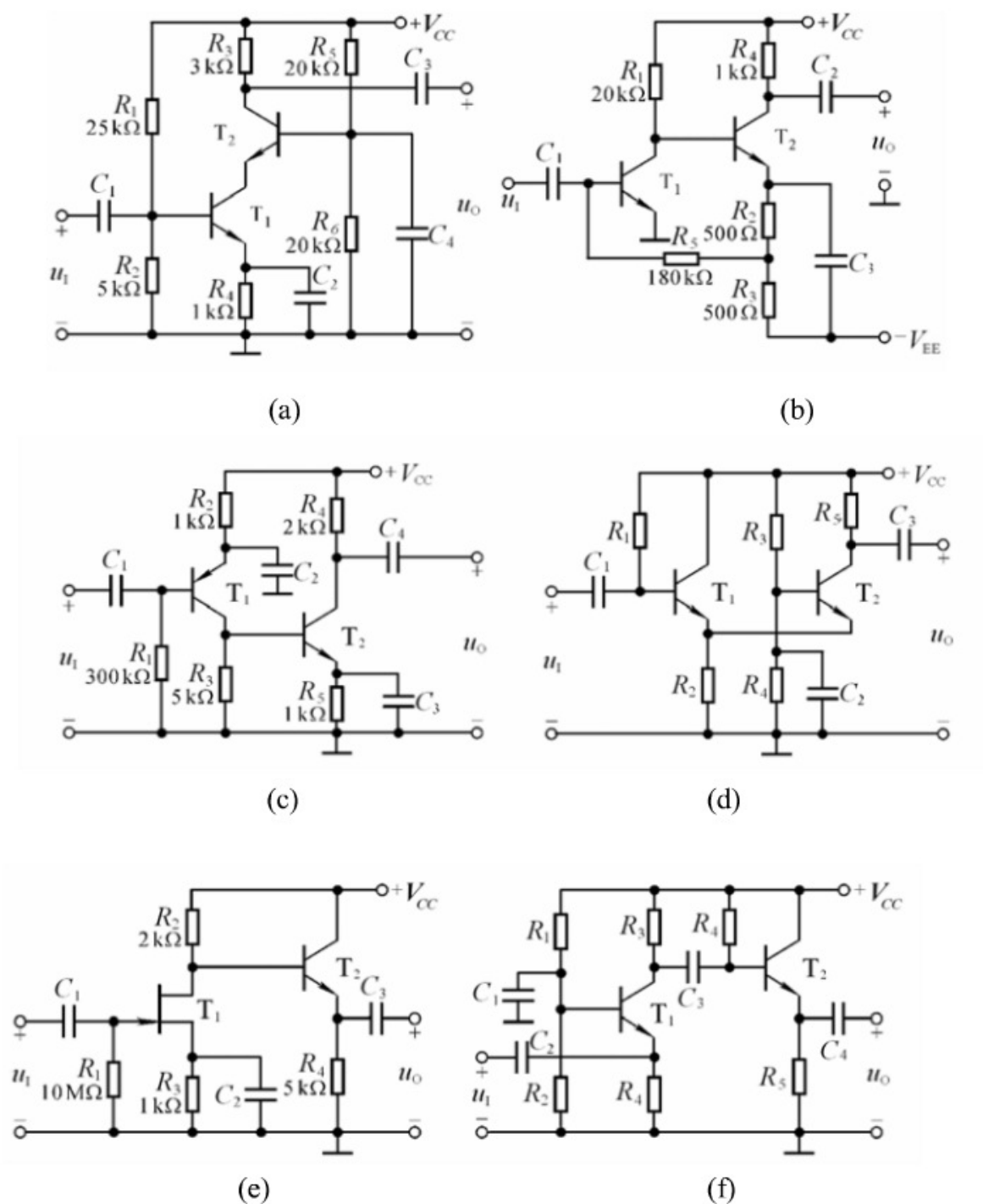


图 P3.1

解: (a)共射, 共基 (b)共射,共射 (c)共射,共射
(d)共集, 共基 (e)共源, 共集 (f)共基, 共集

3.2 设图 P3.2 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 A_u 、 R_i 和 R_o 的表达式。

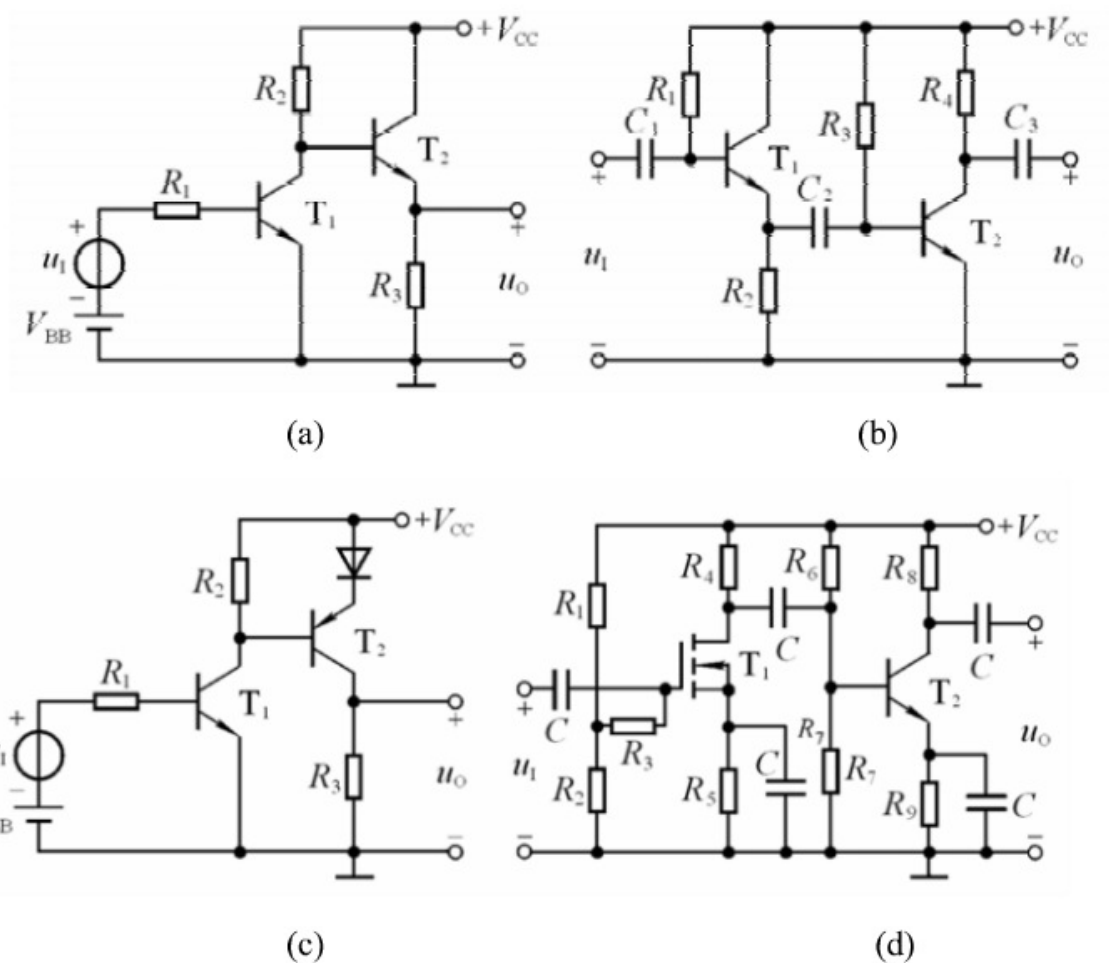


图 P3.2

解: (1) 图示各电路的交流等效电路如解图 P3.2 所示。

(2) 各电路的 A_u 、 R_i 和 R_o 的表达式分别为:

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

$$R_i = R_1 + r_{be1}; \quad R_o = R_3 // \frac{r_{be2} + R_2}{1 + \beta_2}$$

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

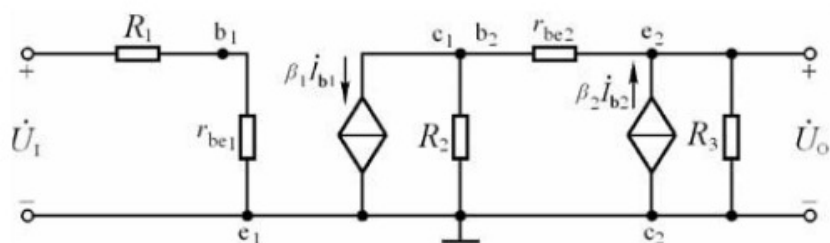
$$R_i = R_1 // [r_{be1} + (1 + \beta_1)(R_2 // R_3 // r_{be2})]; \quad R_o = R_4$$

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

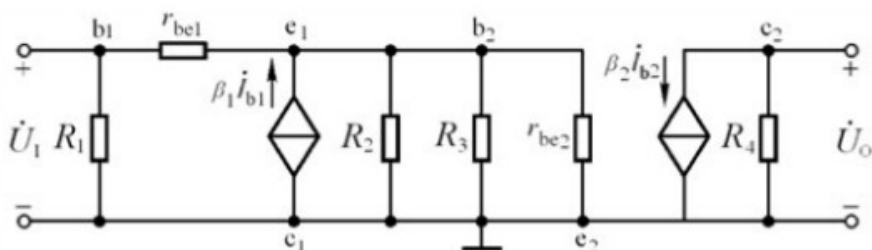
$$R_i = R_1 + r_{be1}; \quad R_o = R_3$$

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

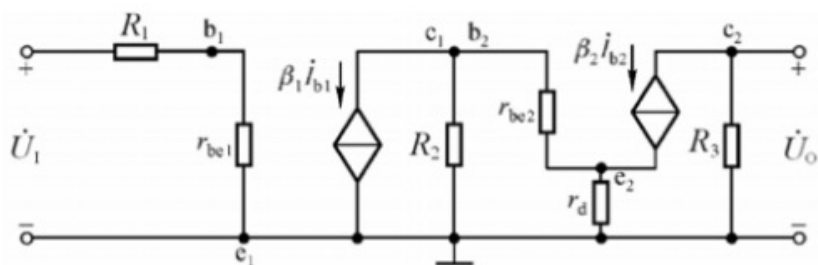
$$R_i = R_1 // R_2 + R_3; \quad R_o = R_8$$



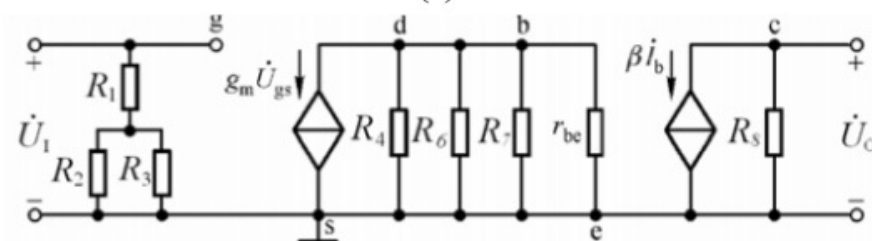
(a)



(b)



(c)



(d)

解图 P3.2

3.3 基本放大电路如图 P3.3(a)、(b)所示，图(a)虚线框内为电路 I，图(b)虚线框内为电路 II。由电路 I、II 组成的多级放大电路如图(c)、(d)、(e)所示，它们均正常工作。试说明图(c)、(d)、(e)所示电路中

(1)哪些电路的输入电阻较大；

- (2)哪些电路的输出电阻较小；
 (3)哪个电路的电压放大倍数最大。

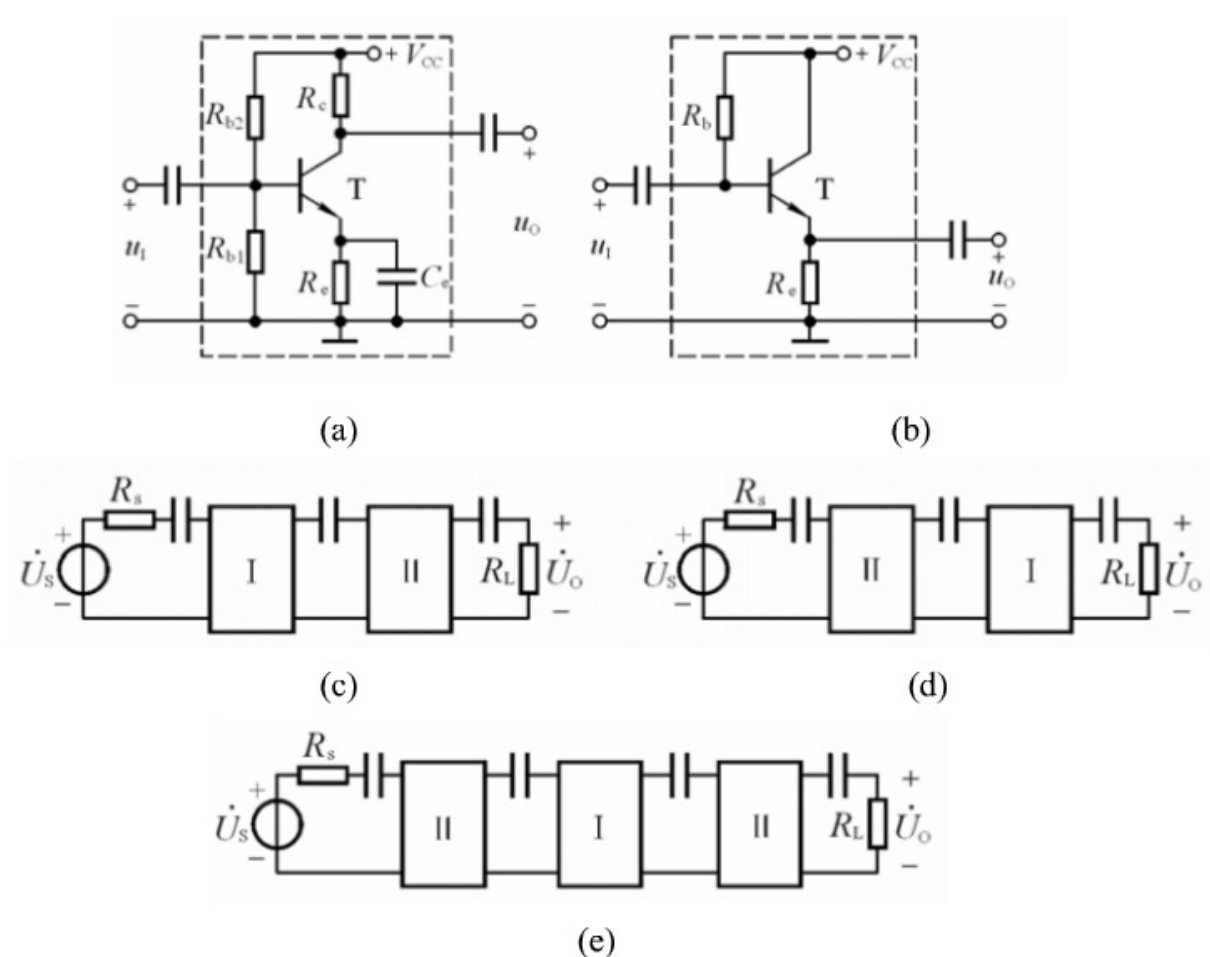


图 P3.3

- 解：** (1)图(d)、(e)所示电路的输入电阻比较大；
 (2)图(c)、(e)所示电路的输出电阻比较小；
 (3)图(e)所示电路的电压放大倍数最大。

3.4 电路如图 P3.1 (a) (b)所示，晶体管的 β 均为 150， r_{be} 均为 $2k\Omega$ ， Q 点合适。

求解 $\dot{A}_u$ 、 R_i 和 R_o 。

解： 在图(a)所示电路中

$$\therefore \dot{A}_{u1} = -\frac{\beta_1 \cdot \frac{r_{be2}}{1 + \beta_2}}{r_{be1}} \approx -1; \quad \dot{A}_{u2} = \frac{\beta_2 R_3}{r_{be2}} = 225;$$

$$\therefore \dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2} \approx -225$$

$$R_i = R_1 // R_2 // r_{be1} \approx 1.35k\Omega;$$

$$R_o = R_3 = 3k\Omega。$$

在图(b)所示电路中

$$\because \dot{A}_{u1} = -\frac{\beta_1 \cdot (R_1 // r_{be2})}{r_{be1}} \approx -136; \quad \dot{A}_{u2} = -\frac{\beta_2 R_4}{r_{be2}} = -75$$

$$\therefore \dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2} \approx 10200$$

$$R_i = (R_5 + R_2 // R_3) // r_{be1} \approx 2k\Omega; \quad R_o = R_4 = 1k\Omega$$

3.5 电路如图 P3.1 (c)、(e)所示, 晶体管的 β 均为 200, r_{be} 均为 $3k\Omega$ 。场效应管的

g_m 为 $15mS$; Q 点合适。求解 $\dot{A}_u$ 、 R_i 和 R_o 。

解: 在图(c)所示电路中

$$\dot{A}_{u1} = -\frac{\beta_1 \cdot (R_3 // r_{be2})}{r_{be1}} \approx -125; \quad \dot{A}_{u2} = -\frac{\beta_2 R_4}{r_{be2}} = -133.3$$

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2} \approx 16666.7; \quad R_i = R_1 // r_{be1} \approx 3k\Omega; \quad R_o = R_4 = 2k\Omega$$

在图(e)所示电路中

$$\dot{A}_{u1} = -g_m \{R_2 // [r_{be} + (1 + \beta)R_4]\} \approx -g_m R_2 \approx -30$$

$$\dot{A}_{u2} = -\frac{(1 + \beta)R_4}{r_{be} + (1 + \beta)R_4} \approx 1$$

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2} \approx -30; \quad R_i = R_1 = 10M\Omega; \quad R_o = R_4 // \frac{r_{be} + R_2}{1 + \beta} \approx 25\Omega$$

3.6 图 P3.6 所示电路参数理想对称, 晶体管的 β 均为 100, $r_{bb'} = 100\Omega$,

$U_{BEQ} \approx 0.7V$ 。试求 R_w 的滑动端在中点时 T_1 管和 T_2 管的发射极静态电流 I_{EQ} 以及动态参数 A_d 和 R_i 。

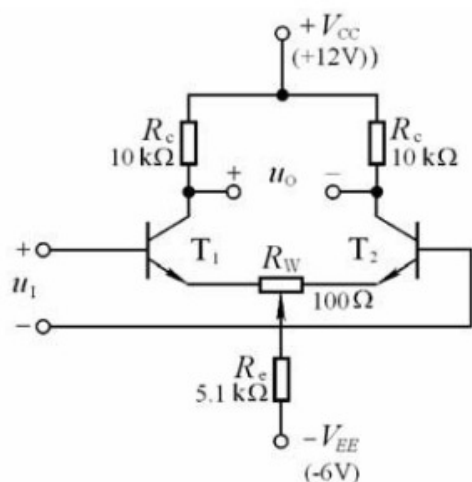


图 P3.6

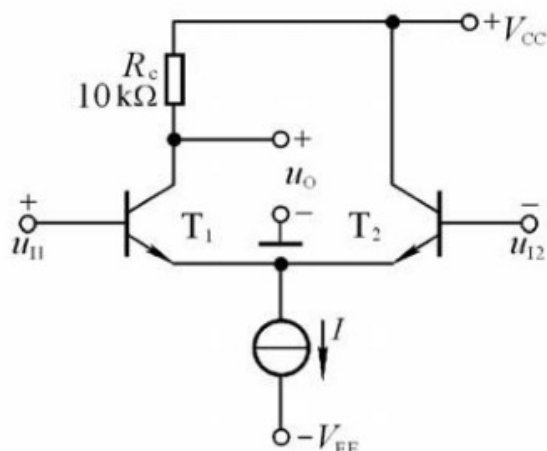


图 P3.7

解： R_w 滑动端在中点时 T_1 管和 T_2 管的发射极静态电流 I_{EQ} 分析如下：

$$\because U_{BEQ} + I_{EQ} \cdot \frac{R_w}{2} + 2I_{EQ}R_e = V_{EE}$$

$$\therefore I_{EQ} = \frac{V_{EE} - U_{BEQ}}{\frac{R_w}{2} + 2R_e} \approx 0.517mA$$

动态参数 A_d 和 R_i 分析如下：

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{EQ}} \approx 5.18k\Omega$$

$$A_d = -\frac{\beta R_c}{r_{be} + (1 + \beta)R_w / 2} \approx -98$$

$$R_i = 2r_{be} + (1 + \beta)R_w \approx 20.5k\Omega$$

3.7 电路如图 P3.7 所示， T_1 和 T_2 两管的 β 均为 140， r_{be} 均为 $4k\Omega$ 。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

$$\Delta u_O \text{ 分别为: } u_{IC} = \frac{u_{I1} + u_{I2}}{2} = 15\text{mV}; \quad u_{Id} = u_{I1} - u_{I2} = 10\text{mV}$$

$$A_d = -\frac{\beta R_c}{2r_{be}} \approx -175; \quad \Delta u_O = A_d u_{Id} = -1.75\text{V}$$

3.8 电路如图 P3.8 所示, T_1 和 T_2 的低频跨导 g_m 均为 10mS 。试求解差模放大倍数和输入电阻。

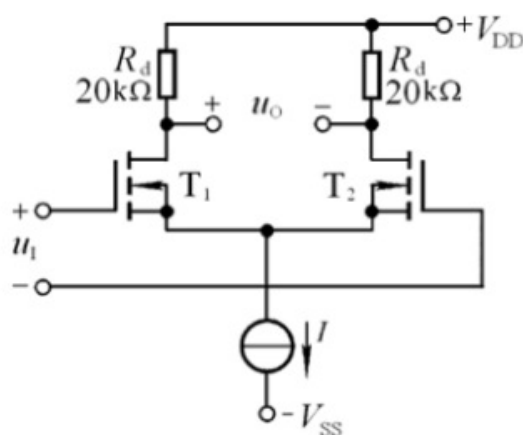


图 P3.8

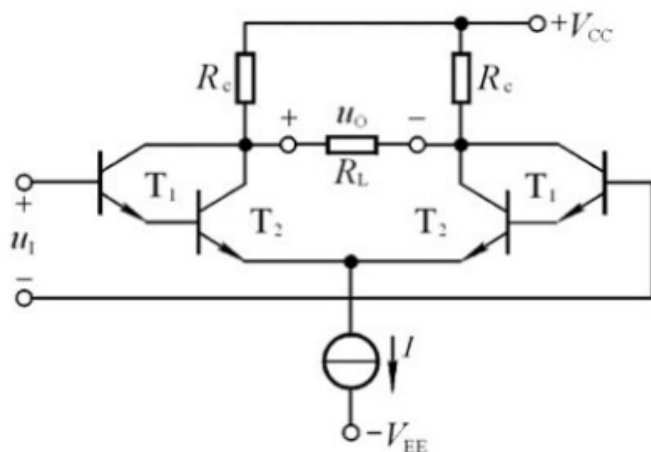


图 P3.9

解: 差模放大倍数和输入电阻分别为:

$$A_d = -g_m R_d = -200; \quad R_i = \infty。$$

3.9 试写出图 P3.9 所示电路 A_d 和 R_i 的近似表达式。设 T_1 和 T_2 的电流放大系数分别为 β_1 和 β_2 , b-e 间动态电阻分别为 r_{be1} 和 r_{be2} 。

解: A_d 和 R_i 的近似表达式分别为

$$A_d \approx -\frac{\beta_1 \beta_2 (R_c // \frac{R_L}{2})}{r_{be1} + (1 + \beta_1) r_{be2}}; \quad R_i = 2[r_{be1} + (1 + \beta_1) r_{be2}]$$

3.10 电路如图 P3.10 所示, $T_1 \sim T_5$ 的电流放大系数分别为 $\beta_1 \sim \beta_5$, b-e 间动态电阻分别为 $r_{be1} \sim r_{be5}$, 写出 A_u 、 R_i 和 R_o 的表达式。

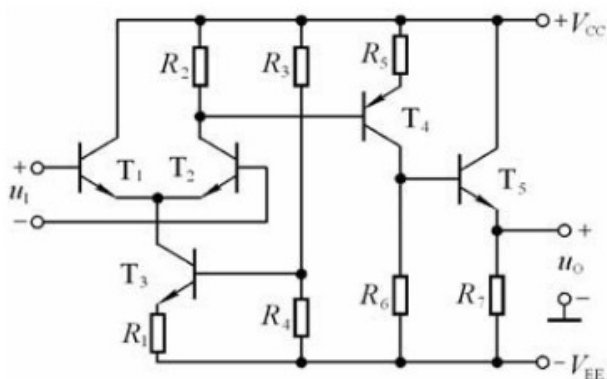


图 P3.10

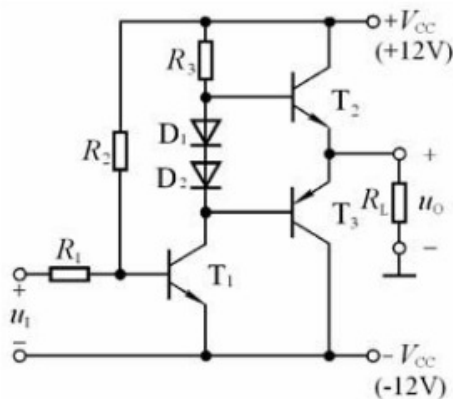


图 P3.11

解: A_u 、 R_i 和 R_o 的表达式分析如下:

$$A_{u1} = \frac{\Delta u_{o1}}{\Delta u_i} = \frac{\beta_1 \{R_2 // [r_{be4} + (1 + \beta_4)R_5]\}}{2r_{be1}}$$

$$A_{u2} = \frac{\Delta u_{o2}}{\Delta u_{i2}} = -\frac{\beta_4 \{R_6 // [r_{be5} + (1 + \beta_5)R_7]\}}{r_{be4} + (1 + \beta_4)R_5}$$

$$A_{u3} = \frac{\Delta u_{o3}}{\Delta u_{i3}} = \frac{(1 + \beta_5)R_7}{r_{be5} + (1 + \beta_5)R_7}$$

$$\therefore A_u = \frac{\Delta u_o}{\Delta u_i} = A_{u1} \cdot A_{u2} \cdot A_{u3}; \quad R_i = r_{be1} + r_{be2}; \quad R_o = R_7 // \frac{r_{be5} + R_6}{1 + \beta_5}$$

3.11 电路如图 P3.11 所示。已知电压放大倍数为 -100，输入电压 u_i 为正弦波， T_2 和 T_3 管的饱和压降 $U_{CES}=1V$ 。试问:

(1)在不失真的情况下，输入电压最大有效值 U_{imax} 为多少伏?

(2)若 $U_i=10mV$ (有效值)，则 $U_o=?$ 若此时 R_3 开路，则 $U_o=?$ 若 R_3 短路，则 $U_o=?$

解: (1)最大不失真输出电压有效值为: $U_{om} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\sqrt{2}} \approx 7.78V$

故在不失真的情况下，输入电压最大有效值: $U_{imax} = \frac{U_{om}}{|A_u|} \approx 77.8mV$

(2) $U_i=10mV$ ，则 $U_o=1V$ (有效值)。

若 R_3 开路，则 T_1 和 T_3 组成复合管，等效 $\beta = \beta_1\beta_3$ ， T_3 可能饱和，使得 $U_o = -11V$ (直流);若 R_3 短路，则 $U_o = 11.3V$ (直流)。

第4章 集成运算放大电路

自测题

一、选择合适答案填入空内。

(1)集成运放电路采用直接耦合方式是因为(C)。

A.可获得很大的放大倍数 B.可使温漂小 C.集成工艺难于制造大容量电

容

(2)通用型集成运放适用于放大(B)。

A.高频信号 B.低频信号 C.任何频率信号

(3)集成运放制造工艺使得同类半导体管的(C)。

A.指标参数准确 B.参数不受温度影响 C.参数一直性好

(4)集成运放的输入级采用差分放大电路是因为可以(A)。

A.减小温漂 B.增大放大倍数 C.提高输入电阻

(5)为增大电压放大倍数,集成运放的中间级多采用(A)。

A.共射放大电路 B.共集放大电路 C.共基放大电路

二、判断下列说法是否正确,用“√”和“×”表示判断结果。

(1)运放的输入失调电压 U_{IO} 是两输入端电位之差。(×)

(2)运放的输入失调电流 I_{IO} 是两输入端电流之差。(√)

(3)运放的共模抑制比 $K_{CMR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$ 。(√)

(4)有源负载可以增大放大电路的输出电流。(√)

(5)在输入信号作用时,偏置电路改变了各放大管的动态电流。(×)

三、电路如图 T4.3 所示,已知 $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 100$ 。各管的 U_{BE} 均为 $0.7V$,试求 I_{C2} 的值。

解: 分析估算如下:

$$I_R = \frac{V_{CC} - U_{BE2} - U_{BE1}}{R} = 100\mu A$$

$$I_{B2} = \frac{2I_{B0} + \beta I_{B0}}{1 + \beta} = \frac{2 + \beta}{1 + \beta} I_{B0};$$

$$I_R = \beta I_{B0} + I_{B2} = \left(\frac{2 + \beta}{1 + \beta} + \beta \right) I_{B0}$$

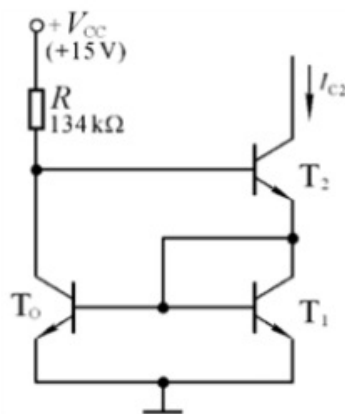


图 T4.3

$I_{C2} = \beta I_{B2} = \beta \frac{2+\beta}{1+\beta} \cdot I_{B0}$ 。比较上两式，得

$$I_{C2} = \frac{\beta(2+\beta)}{2+\beta+\beta(1+\beta)} \cdot I_R \approx I_R = 100\mu A$$

四、电路如图 T4.4 所示。

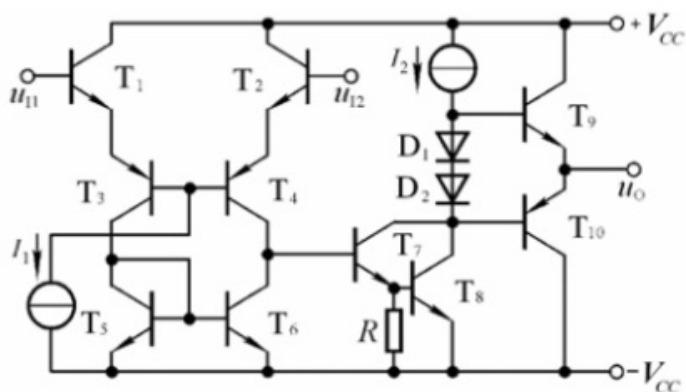


图 T4.4

(1)说明电路是几级放大电路，各级分别是哪种形式的放大电路（共射、共集、差放... ..）；

(2)分别说明各级采用了哪些措施来改善其性能指标（如增大放大倍数、输入电阻... ..）。

解：(1)三级放大电路，第一级为共集-共基双端输入单端输出差分放大电路，第二级是共射放大电路，第三级是互补输出级。

(2)第一级采用共集-共基形式，增大输入电阻，改善高频特性；利用有源负载(T_5 、 T_6)增大差模放大倍数，使单端输出电路的差模放大倍数近似等于双端输出电路的差模放大倍数，同时减小共模放大倍数。第二级为共射放大电路，以 T_7 、 T_8 构成的复合管为放大管、以恒流源作集电极负载，增大放大倍数。第三级为互补输出级，加了偏置电路，利用 D_1 、 D_2 的导通压降使 T_9 和 T_{10} 在静态时处于临界导通状态，从而消除交越失真。

习题

4.1 根据下列要求,将应优先考虑使用的集成运放填入空内。已知现有集成运放的类型是:①通用型 ②高阻型 ③高速型 ④低功耗型 ⑤高压型 ⑥大功率型 ⑦高精度型

- (1)作低频放大器,应选用(①)。
- (2)作宽频带放大器,应选用(③)。
- (3)作幅值为 $1\mu V$ 以下微弱信号的量测放大器,应选用(⑦)。
- (4)作内阻为 $100k\Omega$ 。信号源的放大器,应选用(②)。
- (5)负载需 $5A$ 电流驱动的放大器,应选用(⑥)。
- (6)要求输出电压幅值为 $\pm 80V$ 的放大器,应选用(⑤)。
- (7)宇航仪器中所用的放大器,应选用(④)。

4.2 已知几个集成运放的参数如表 P4.3 所示, 试分别说明它们各属于哪种类型的运放。

表 P4.3

特性指标	A_{od}	r_{id}	U_{IO}	I_{IO}	I_{IB}	$-3dBf_H$	K_{CMR}	SR	增益带宽
单位	dB	$M\Omega$	mV	nA	nA	Hz	dB	$V/\mu V$	MHz
A ₁	100	2	5	200	600	7	86	0.5	
A ₂	130	2	0.01	2	40	7	120	0.5	
A ₃	100	1000	5	0.02	0.03		86	0.5	5
A ₄	100	2	2	20	150		96	65	12.5

解: A_1 为通用型运放, A_2 为高精度型运放, A_3 为高阻型运放, A_4 为高速型运放。

4.3 多路电流源电路如图 P4.3 所示, 已知所有晶体管的特性均相同, U_{BE} 均为 $0.7V$ 。试求 I_{C1} 、 I_{C2} 各为多少。

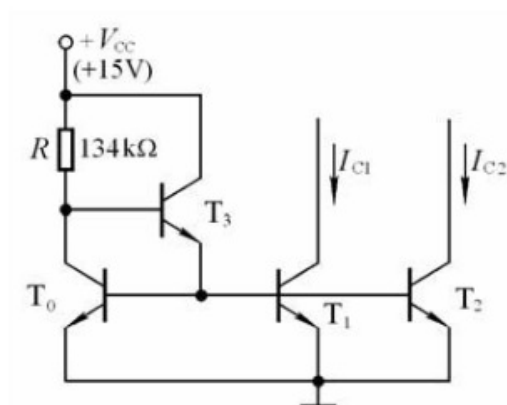


图 P4.3

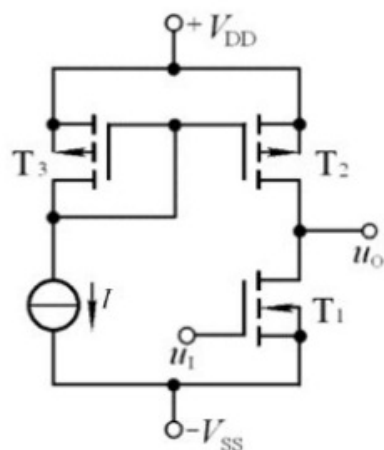


图 P4.4

解：因为 T_1 、 T_2 、 T_3 的特性均相同，且 U_{BE} 均相同，所以它们的基极、集电极电流均相等，设集电极电流为 I_C 。先求出 R 中电流，再求解 I_{C1} 、 I_{C2} 。

$$I_R = \frac{V_{CC} - U_{BE4} - U_{BE0}}{R} = 100\mu A$$

$$I_R = I_{C0} + I_{B3} = I_{C0} + \frac{3I_B}{1+\beta} = I_C + \frac{3I_C}{\beta(1+\beta)}$$

$$I_C = \frac{\beta^2 + \beta}{\beta^2 + \beta + 3} I_R$$

当 $\beta(1+\beta) \gg 3$ 时， $I_{C1} = I_{C2} \approx I_R = 100\mu A$ 。

4.4 电路如图 P4.4 所示， T_1 管的低频跨导为 g_m ， T_1 和 T_2 管 d-s 间的动态电阻分别为 r_{ds1} 和 r_{ds2} 。试求解电压放大倍数 $A_u = \Delta u_O / \Delta u_I$ 的表达式。

解：由于 T_2 和 T_3 所组成的镜像电流源是以 T_1 为放大管的共射放大电路的有源负载， T_1 和 T_2 管 d-s 间的动态电阻分别为 r_{ds1} 和 r_{ds2} ，所以电压放大倍数 A_u 的表达式

$$\text{为： } A_u = \frac{\Delta u_O}{\Delta u_I} = \frac{\Delta i_D (r_{ds1} // r_{ds2})}{\Delta u_I} = -g_m (r_{ds1} // r_{ds2})。$$

4.5 电路如图 P4.5 所示， T_1 与 T_2 管特性相同，它们的低频跨导为 g_m ； T_3 与 T_4 管特性对称； T_2 与 T_4 管 d-s 间的动态电阻分别为 r_{ds2} 和 r_{ds4} 。试求出电压放大倍数 $A_u = \Delta u_O / \Delta(u_{I1} - u_{I2})$ 的表达式。

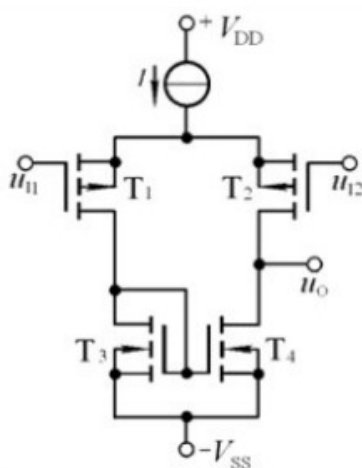


图 P4.5

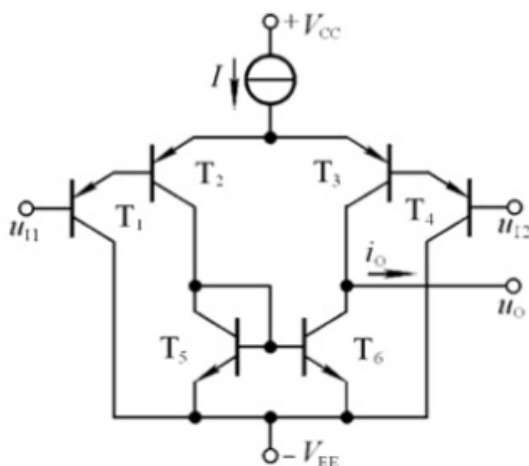


图 P4.6

解：在图示电路中：

$$\Delta i_{D1} = -\Delta i_{D2} \approx \Delta i_{D3} = \Delta i_{D4}; \quad \Delta i_O = \Delta i_{D2} - \Delta i_{D4} \approx \Delta i_{D2} - \Delta i_{D1} = -2\Delta i_{D1}$$

$$\Delta i_{D1} = g_m \cdot \frac{\Delta(u_{I1} - u_{I2})}{2}; \quad g_m \approx \frac{\Delta i_O}{\Delta(u_{I1} - u_{I2})}$$

$$\therefore \text{电压放大倍数: } A_u = \frac{\Delta u_O}{\Delta(u_{I1} - u_{I2})} = -\frac{\Delta i_O(r_{ds2} // r_{ds4})}{\Delta(u_{I1} - u_{I2})} \approx g_m(r_{ds2} // r_{ds4})$$

4.6 电路如图 P4.6 所示，具有理想的对称性。设各管 β 均相同。

(1)说明电路中各晶体管的作用；(2)若输入差模电压为 $(u_{I1} - u_{I2})$ 产生的差模电

流为 Δi_D ，则电路的电流放大倍数 $A_i = \frac{\Delta i_O}{\Delta i_D} = ?$

解：(1)图示电路为双端输入、单端输出的差分放大电路。 T_1 和 T_2 、 T_3 和 T_4 分别组成的复合管为放大管， T_5 和 T_6 组成的镜像电流源为有源负载。

(2)由于用 T_5 和 T_6 所构成的镜像电流源作为有源负载，将左半部分放大管的电流变化量转换到右边，故输出电流变化量及电路电流放大倍数分别为：

$$\Delta i_O \approx 2(1 + \beta)\beta\Delta i_D; \quad A_i = \frac{\Delta i_O}{\Delta i_D} \approx 2(1 + \beta)\beta。$$

4.7 电路如图 P4.7 所示， T_1 和 T_2 管的特性相同，所有晶体管的 β 均相同， R_{c1} 远大于二极管的正向电阻。当 $u_{I1} = u_{I2} = 0V$ 时， $u_O = 0V$ 。

(1)求解电压放大倍数的表达式；(2)当有共模输入电压时， $u_O = ?$ 简述理由。

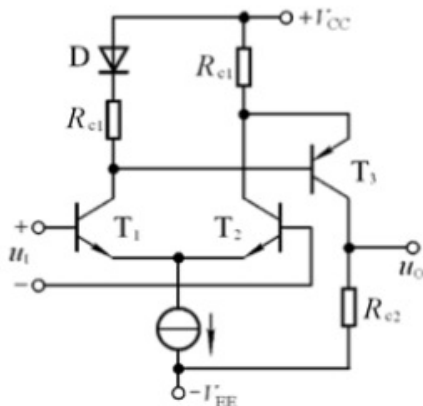


图 P4.7

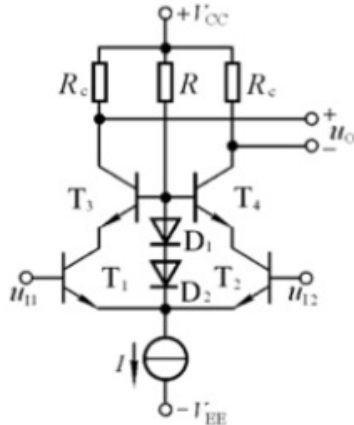


图 P4.8

解：(1)在忽略二极管动态电阻的情况下：

$$A_{u1} \approx -\beta \frac{R_{c1} // \frac{r_{be3}}{2}}{r_{be1}}, \quad A_{u2} \approx -\beta \frac{R_{c2}}{r_{be3}}。$$

$$\therefore A_u = A_{u1} \cdot A_{u2}。$$

(2)当有共模输入电压时， u_o 近似为零。

由于 $R_{c1} \gg r_d$ ， $\Delta u_{C1} \approx \Delta u_{C2}$ ，因此 $\Delta u_{BE3} \approx 0$ ，故 $u_o \approx 0$ 。

4.8 电路如图 P4.8 所示， T_1 和 T_2 管为超 β 管，电路具有理想的对称性。选择合适的答案填入空内。

(1)该电路采用了(C)。

A . 共集-共基接法 B . 共集-共射接法 C . 共射-共基接法

(2)电路所采用的上述接法是为(C)。

A . 增大输入电阻 B . 增大电流放大系数 C . 展宽频带

(3)电路采用超 β 管能够(B)。

A . 增大输入级的耐压值 B . 增大放大能力 C . 增大带负载能力

(4) T_1 和 T_2 管的静态压降约为(A)。

A . 0.7V B . 1.4V C . 不可知

4.9 在图 P4.9 所示电路中，已知 $T_1 \sim T_3$ 管的特性完全相同， $\beta \gg 2$ ；反相输入端的输入电流为 i_{I1} ，同相输入端的输入电流为 i_{I2} 。试问：

(1) $i_{C2} \approx ?$ ； (2) $i_{B3} \approx ?$ ； (3) $A_{ui} = \Delta u_o / (\Delta i_{I1} - \Delta i_{I2}) \approx ?$

解：(1)因为 T_1 和 T_2 为镜像关系，

且 $\beta \gg 2$ ，所以： $i_{C2} \approx i_{C1} \approx i_{I2}$

$$(2) i_{B3} = i_{I1} - i_{C2} \approx i_{I1} - i_{I2}$$

(3)输出电压的变化量和放大倍数分别为：

$$\Delta u_o = -\Delta i_{C3} R_c = -\beta_3 \Delta i_{B3} R_c$$

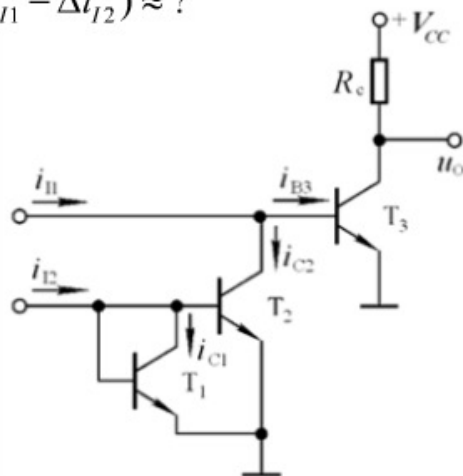


图 P4.9

$$A_{ui} = \Delta u_O / (\Delta i_{I1} - \Delta i_{I2}) \approx \Delta u_O / \Delta i_{B3} = -\beta_3 R_c$$

4.10 比较图 P4.10 所示两个电路, 分别说明它们是如何消除交越失真和如何实现过流保护的。

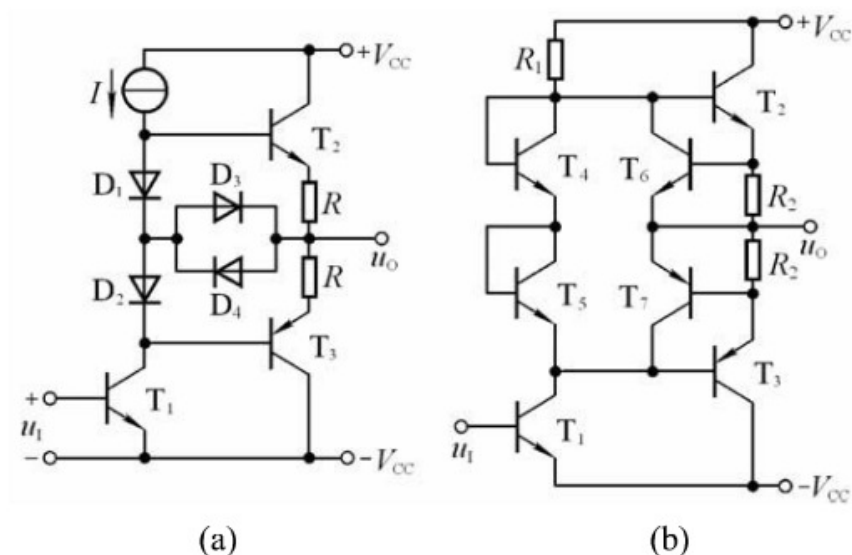


图 P4.10

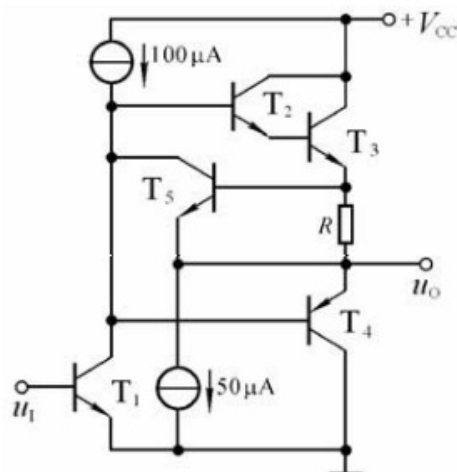
解: 在图(a)所示电路中, D_1 、 D_2 使 T_2 、 T_3 微导通, 可消除交越失真。 R 为电流采样电阻, D_3 对 T_2 起过流保护。当 T_2 导通时, $u_{D3} = u_{BE2} + i_O R - u_{D1}$, 未过流时 $i_O R$ 较小, 因 u_{D3} 小于开启电压使 D_3 截止; 过流时因 u_{D3} 大于开启电压使 D_3 导通, 为 T_2 基极分流。 D_4 对 T_4 起过流保护, 原因与上述相同。

在图(b)所示电路中, T_4 、 T_5 使 T_2 、 T_3 微导通, 可消除交越失真。 R_2 为电流采样电阻, T_6 对 T_2 起过流保护。当 T_2 导通时, $u_{BE6} = i_O R_2$, 未过流时 $i_O R_2$ 较小, 因 u_{BE6} 小于开启电压使 T_6 截止; 过流时因 u_{BE6} 大于开启电压使 T_6 导通, 为 T_2 基极分流。 T_7 对 T_3 起过流保护, 原因与上述相同。

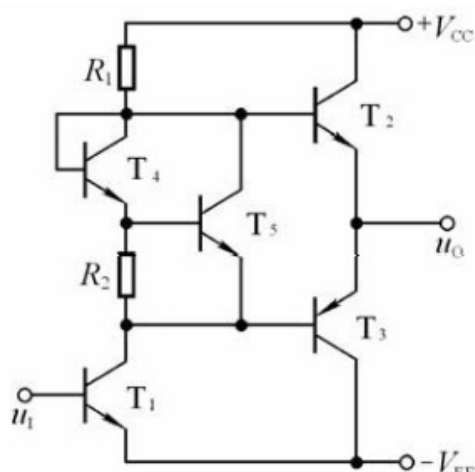
4.11 图 4.11 所示电路是某集成运放电路的一部分, 单电源供电。试分析:

- (1) $100\ \mu A$ 电流源的作用;
- (2) T_4 的工作区域 (截止、放大、饱和);
- (3) $50\ \mu A$ 电流源的作用;
- (4) T_5 与 R 的作用。

图 4.11



P



4.12

解: (1)为 T_1 提供静态集电极电流、为 T_2 提供基极电流, 并作为 T_1 的有源负载。

(2) T_4 截止。因为: $u_{B4} = u_{C1} = u_O + u_R + u_{B2} + u_{B3}$, $u_{E4} = u_O$, $\therefore u_{B4} > u_{E4}$ 。

(3) $50 \mu A$ 电流源为 T_3 提供射极电流, 在交流等效电路中等效为大阻值的电阻。

(4) 保护电路。 $u_{BE5} = i_O R_2$, 未过流时 T_5 电流很小; 过流时使 $i_{E5} > 50 \mu A$, T_5 更多地为 T_3 的基极分流。

4.12 电路如图 P4.12 所示, 试说明各晶体管的作用。

解: T_1 为共射放大电路的放大管; T_2 和 T_3 组成互补输出级; T_4 、 T_5 、 R_2 组成偏置电路, 用于消除交越失真。

第 6 章 放大电路中的反馈

自测题

一、已知交流负反馈由四种组态: 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。选择合适答案填入下列空格内。

1. 欲得到电流-电压转换电路, 应在放大电路中引入(B)。
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(C)。
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(A)。
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(D)。

二、判断图 T6.2 所示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。

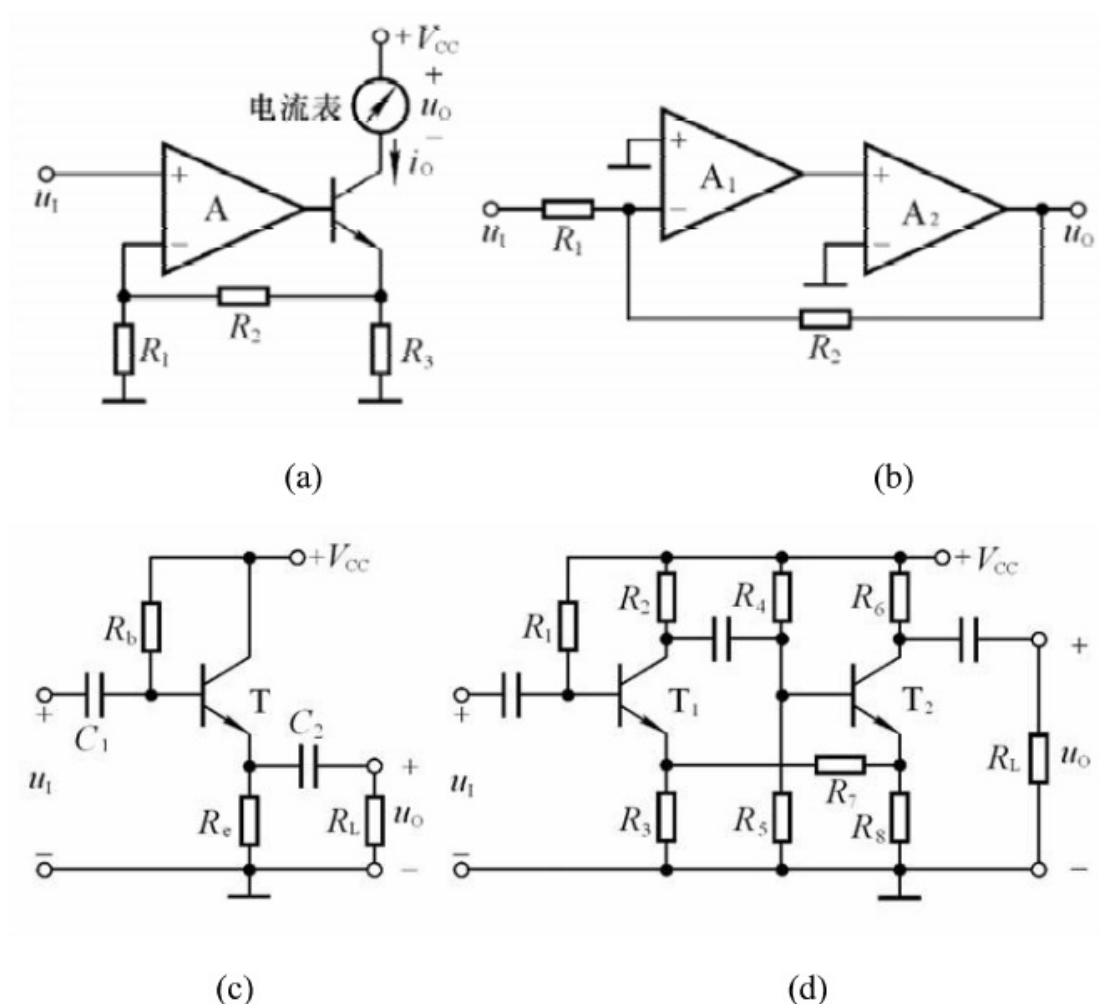


图 T6.2

解：图(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分别为： $F_{ui} = \frac{u_F}{i_o} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$ ； $A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = \frac{i_o R_L}{u_F} \approx \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1 R_3} R_L$ 。
 式中 R_L 为电流表的等效电阻。

图(b)所示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分别为： $F_{ui} = \frac{i_F}{u_o} \approx -\frac{1}{R_2}$ ； $A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = \frac{u_o}{i_i R_1} \approx \frac{u_o}{i_F R_1} = -\frac{R_2}{R_1}$ 。

图(c)所示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

压放大倍数分别为： $F_{uu} = \frac{u_O}{u_F} = 1$

$$A_{uf} = \frac{u_O}{u_I} \approx \frac{u_O}{u_I} = 1$$

图(d)所示电路中引入了正反馈。

三、电路如图 T6.3 所示。

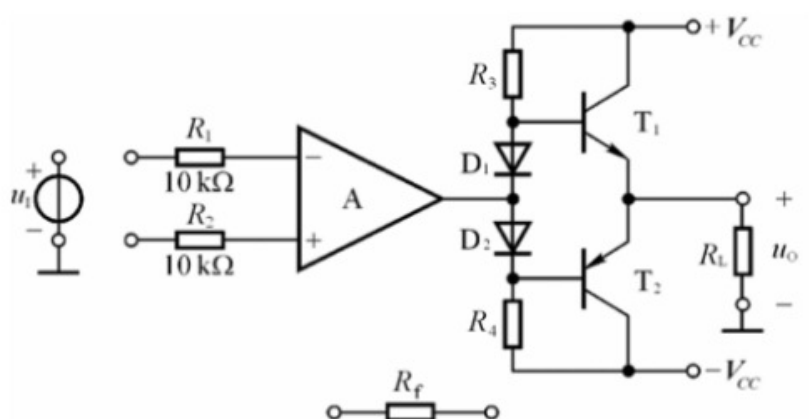


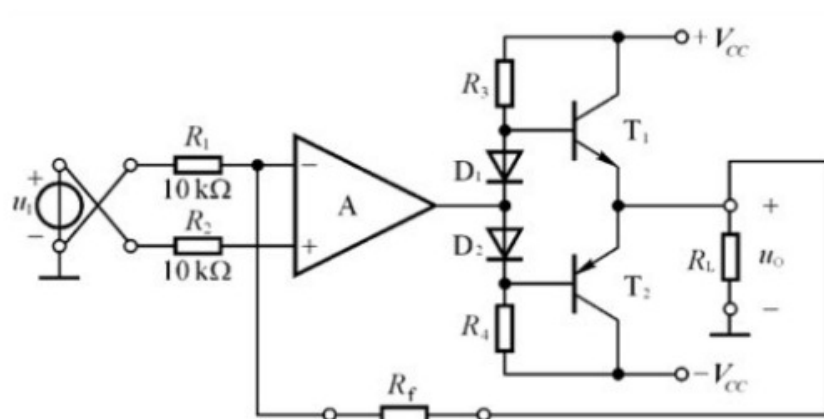
图 T6.3

(1)正确接入信号源和反馈，使电路的输入电阻增大，输出电阻减小；

(2)若 $\left| \dot{A}_u \right| = \frac{U_o}{U_i} = 20$ ，则 R_f 应取多少千欧？

解：(1)应引入电压串联负反馈，如解图 T6.3 所示。

(2)因 $A_u \approx 1 + \frac{R_f}{R_1} = 20$ ，故 $R_f = 190k\Omega$ 。



解图 T6.3

四、已知一个负反馈放大电路的基本放大电路的对数幅频特性如图 T6.4 所示，反馈网络由纯电阻组成。试问：若要求电路稳定工作，即不产生自激振荡，则反馈系数的

上限值为多少分贝？简述理由。

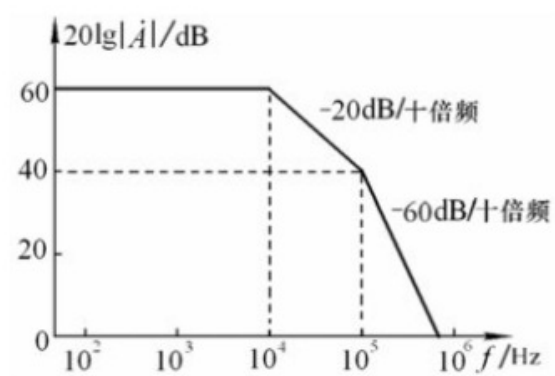


图 T6.4

解：因为 $f_H=10^5\text{Hz}$ 时， $20\lg|A_u|=40\text{dB}$ ， $\varphi_A=-180^\circ$ ；为使此时 $20\lg|A_u F|<0$ ，
 则需， $20\lg|F|<-40\text{dB}$ ，即 $|F|<10^{-2}$ 。

习题

6.1 选择合适答案填入空内。

(1)对于放大电路,所谓开环是指(B)。

A.无信号源 B.无反馈通路 C.无电源 D.无负载

而所谓闭环是指(B)

A.考虑信号源内阻 B.存在反馈通路 C.接入电源 D.接入负载

(2)在输入量不变的情况下,若引入反馈后(D),则说明引入的反馈是负反馈。

A.输入电阻增大 B.输出量增大 C.净输入量增大 D.净输入量减小

(3)直流负反馈是指(C)。

A.直接耦合放大电路中所引入的负反馈

B.只有放大直流信号时才有的负反馈

C.在直流通路中的负反馈

(4)交流负反馈是指(C)。

A.阻容耦合放大电路中所引入的负反馈

B.只有放大交流信号时才有的负反馈

C.在交流通路中的负反馈

(5)为了实现下列目的,应引入

A.直流反馈 B.交流反馈

①稳定静态工作点,应引入(A);

②稳定放大倍数,应引入(B);

③改变输入电阻和输出电阻,应引入(B);

④抑制温漂,应引入(A);

⑤展宽频带,应引入(B)。

6.2 选择合适答案填入空内。

A.电压 B.电流 C.串联 D.并联

(1)为了稳定放大电路的输出电压,应引入(A)负反馈;

(2)为了稳定放大电路的输出电流,应引入(B)负反馈;

(3)为了增大放大电路的输入电阻,应引入(C)负反馈;

(4)为了减小放大电路的输入电阻,应引入(D)负反馈;

(5)为了增大放大电路的输出电阻,应引入(B)负反馈;

(6)为了减小放大电路的输出电阻,应引入(A)负反馈;

6.3 下列说法是否正确,用“√”和“×”表示判断结果填入括号内。

(1)只要在放大电路中引入反馈,就一定能使其性能得到改善。(×)

(2)放大电路的级数越多,引入的负反馈越强,电路的放大倍数也就越稳定。(×)

(3)反馈量仅仅决定于输出量。(√)

(4)既然电流负反馈稳定输出电流，那么必然稳定输出电压。(×)

6.4 判断图 P6.4 所示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。

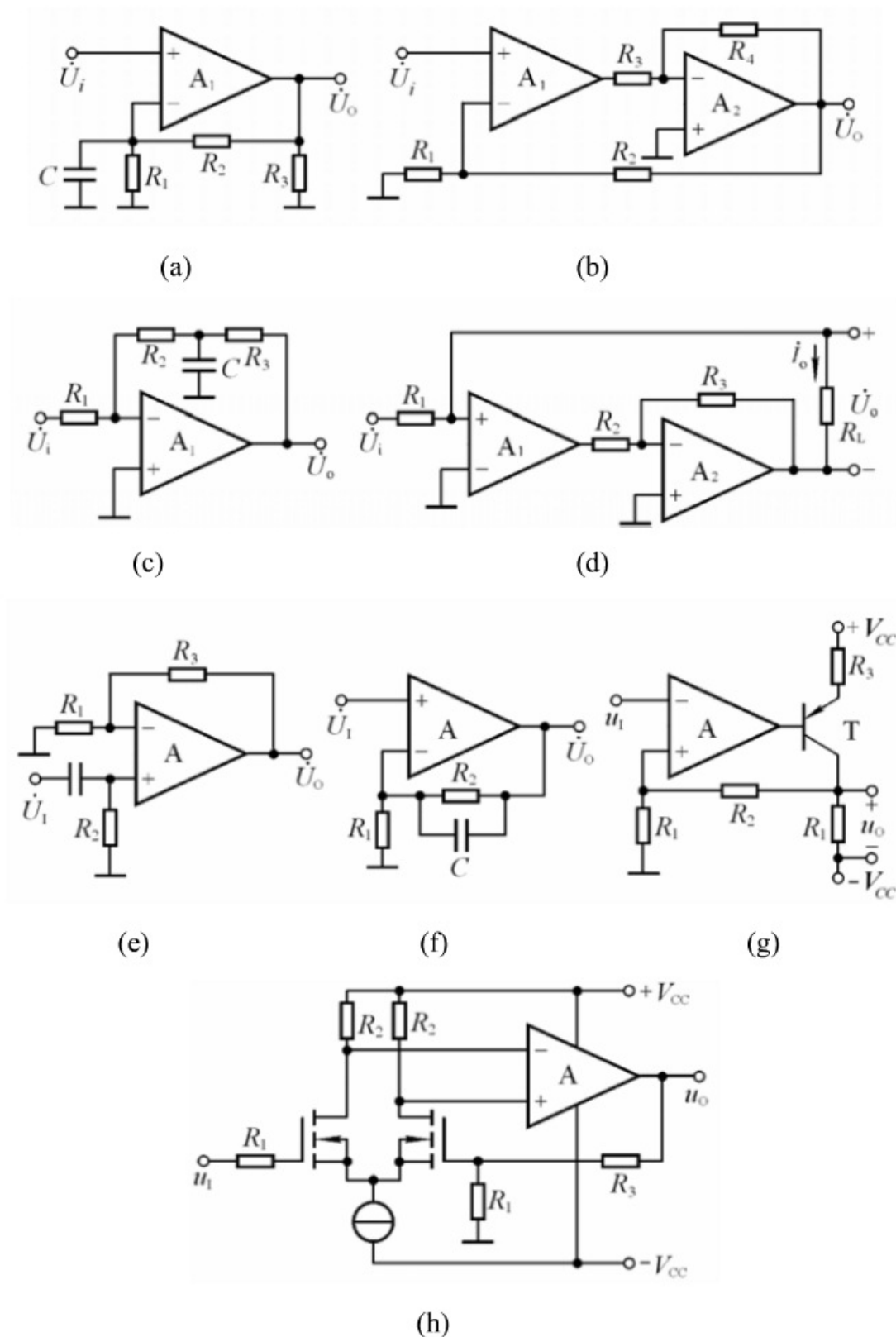


图 P6.4

解：图(a)所示电路中引入了直流负反馈。

图(b)所示电路中引入了交、直流正反馈。

图(c)所示电路中引入了直流负反馈。

图(d)、(e)、(f)、(g)、(h)所示各电路中均引入了交、直流负反馈。

6.5 电路如图 P6.5 所示，要求同题 6.4。

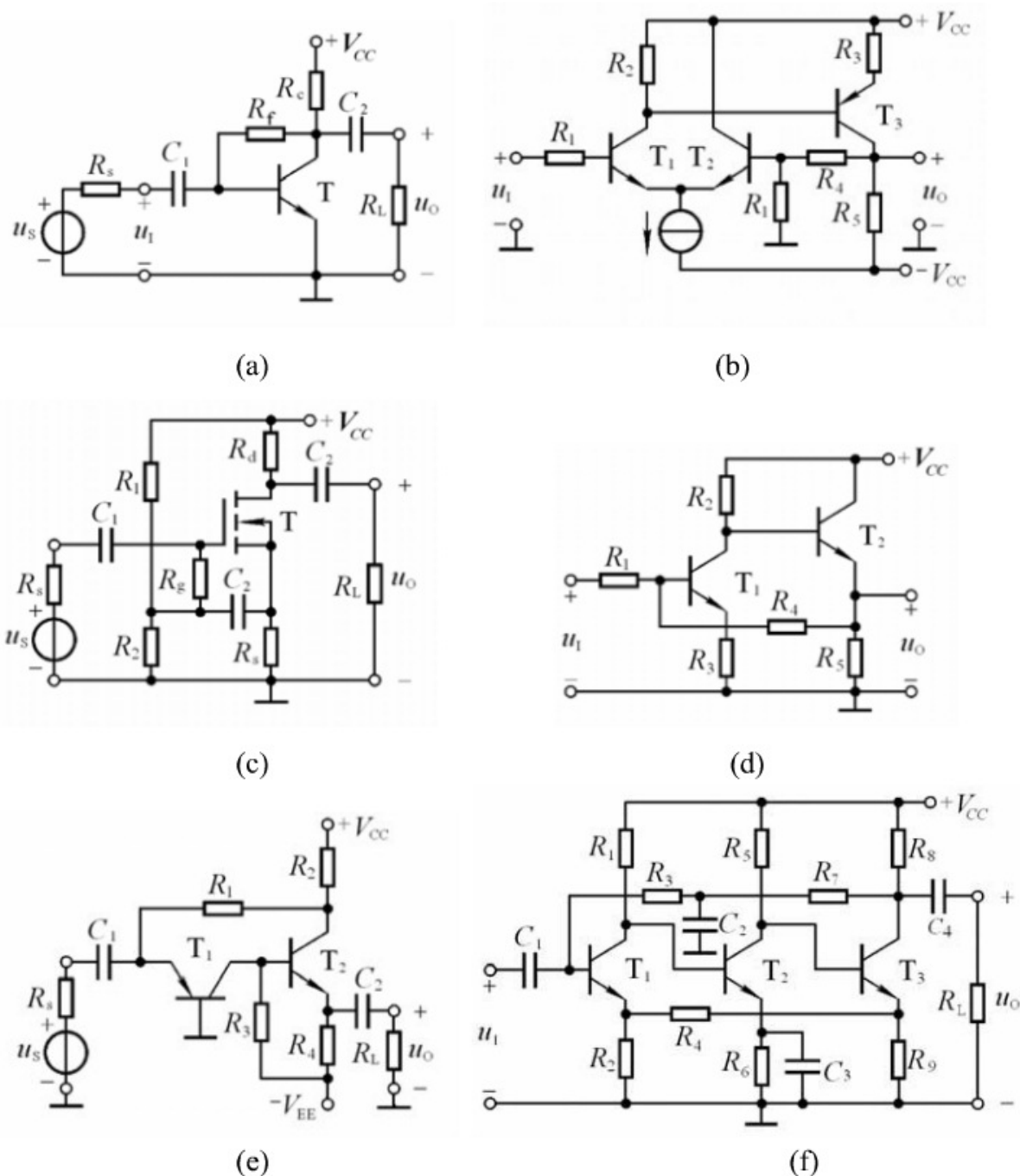


图 P6.5

解：图(a)引入了交、直流负反馈

图(b) 引入了交、直流负反馈。

图(c) 所示电路中通过 R_f 引入直流负反馈；通过 R_s 、 C_2 和 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(d) 引入了交、直流负反馈。

图(e) 引入了交、直流负反馈。

图(f) 所示电路中通过 R_3 和 R_7 引入直流负反馈, 通过 R_4 引入交、直流负反馈。

6.6 分别判断图 6.4 (d)~(h)所示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:

(d) 电流并联负反馈: $F_{ii} = i_F / i_O = 1$

(e) 电压串联负反馈: $F_{uu} = u_F / u_O = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

(f) 电压串联负反馈: $F_{uu} = u_F / u_O = 1$

(g) 电压串联负反馈: $F_{uu} = u_F / u_O = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

(h) 电压串联负反馈: $F_{uu} = u_F / u_O = \frac{R_1}{R_1 + R_3}$

6.7 分别判断图 P6.5 (a)、(b)、(e)、(f) 所示各电路中引入了哪种组态的交流负反馈。

解: (a)电压并联负反馈; (b) 电压串联负反馈; (e)电流并联负反馈; (f)电流串联负反馈。

6.8 分别估算图 6.4 (d)~(h)所示各电路在理想运放条件下的电压放大倍数。

解: 各电路在理想运放条件下的电压放大倍数如下:

(d) 电流并联负反馈: $\dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\dot{I}_o R_L}{\dot{I}_i R_1} \approx \frac{\dot{I}_o R_L}{\dot{I}_f R_1} = \frac{R_L}{R_1}$

(e) 电压串联负反馈: $\dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_f} = 1 + \frac{R_3}{R_1}$

(f) 电压串联负反馈: $\dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_f} = 1$

(g) 电压串联负反馈: $\dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_f} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

(h) 电压串联负反馈: $\dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_f} = 1 + \frac{R_3}{R_1}$

6.9 分别估算图 6.5 (a)、(b)、(e)、(f)所示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:

(a) 电压并联负反馈: $\dot{A}_{usf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = \frac{-\dot{I}_f R_f}{\dot{I}_i R_s} \approx -\frac{R_f}{R_s}$

(b) 电压串联负反馈: $\dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_f} = (1 + \frac{R_4}{R_1})$

(e) 电流并联负反馈: $\dot{A}_{usf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} \approx \frac{\dot{I}_o (R_4 // R_L)}{\dot{I}_f R_s} = (1 + \frac{R_1}{R_2}) \cdot \frac{R_4 // R_L}{R_s}$

(f) 电流串联负反馈: $\because \dot{U}_f = R_2 \cdot \dot{I}_{R_2} = R_2 \cdot \frac{R_9}{R_2 + R_4 + R_9} \cdot \dot{I}_0 = \frac{R_2 R_9}{R_2 + R_4 + R_9} \cdot \dot{I}_0$

$$\therefore \dot{A}_{uf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\dot{I}_0 (R_7 // R_8 // R_L)}{\dot{U}_f} = -\frac{(R_2 + R_4 + R_9)(R_7 // R_8 // R_L)}{R_2 R_9}$$

6.10 电路如图 P6.10 所示, 已知集成运放为理想运放, 最大输出电压幅值为 $\pm 14V$ 。

填空:

电路引入了**电压串联** (填入反馈组态)

交流负反馈, 电路的输入电阻趋近于**无穷大**,

电压放大倍数 $A_{uf} = \Delta u_o / \Delta u_i \approx$ **11**。

设 $u_i = 1V$, 则 $u_o =$ **11V**; 若 R_1 开路,

则 u_o 变为 **1V**; 若 R_1 短路, 则 u_o 变为 **14V**;

若 R_2 开路, 则 u_o 变为 **14V**; 若 R_2 短路,

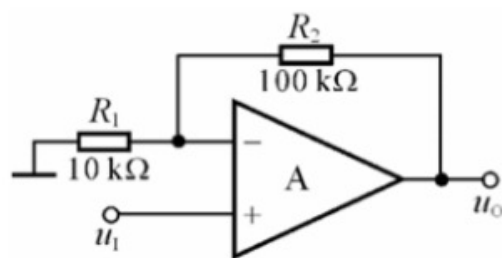


图 P6.10

则 u_o 变为 1 V。

已知一个负反馈放大电路 $A=10^5, F=2 \times 10^{-3}$ 。试问：

(1) $A_f = ?$ ；(2)若 A 的相对变化率为 20%，则 A_f 的相对变化率为多少？

解：(1)因为 $AF=200 \gg 1$ ，所以： $A_f \approx \frac{1}{F} = 500$

(2)根据题目所给数据，可知：

$$\frac{dA_f}{A_f} = \frac{1}{1+AF} \cdot \frac{dA}{A} = \frac{1}{1+10^5 \times 2 \times 10^{-3}} \cdot 20\% \approx 0.1\%$$