

## 第五章 放大电路的频率响应

### 自 测 题

一、选择正确答案填入空内。

(1) 测试放大电路输出电压幅值与相位的变化, 可以得到它的频率响应, 条件是\_\_\_\_\_。

- A. 输入电压幅值不变, 改变频率
- B. 输入电压频率不变, 改变幅值
- C. 输入电压的幅值与频率同时变化

(2) 放大电路在高频信号作用时放大倍数数值下降的原因是\_\_\_\_\_, 而低频信号作用时放大倍数数值下降的原因是\_\_\_\_\_。

- A. 耦合电容和旁路电容的存在
- B. 半导体管极间电容和分布电容的存在。
- C. 半导体管的非线性特性
- D. 放大电路的静态工作点不合适

(3) 当信号频率等于放大电路的 $f_L$  或 $f_H$ 时, 放大倍数的值约下降到中频时的\_\_\_\_\_。

- A. 0.5倍
- B. 0.7倍
- C. 0.9倍

即增益下降\_\_\_\_\_。

- A. 3dB
- B. 4dB
- C. 5dB

(4) 对于单管共射放大电路, 当 $f = f_L$ 时,  $U_o$ 与 $U_i$ 相位关系是\_\_\_\_\_。

- A. +45
- B. -90
- C. -135

当 $f = f_H$ 时,  $U_o$ 与 $U_i$ 的相位关系是\_\_\_\_\_。

- A. -45
- B. -135
- C. -225

解: (1) A (2) B, A (3) B A (4) C C

二、电路如图T5.2所示。已知： $V_{CC} = 12V$ ；晶体管的 $C_{\mu} = 4pF$ ， $f_T = 50MHz$ ， $r_{bb'} = 100\Omega$ ， $\beta_0 = 80$ 。试求解：

- (1) 中频电压放大倍数  $A_{usm}$ ；
- (2)  $C_{\pi}'$ ；
- (3)  $f_H$  和  $f_L$ ；
- (4) 画出波特图。

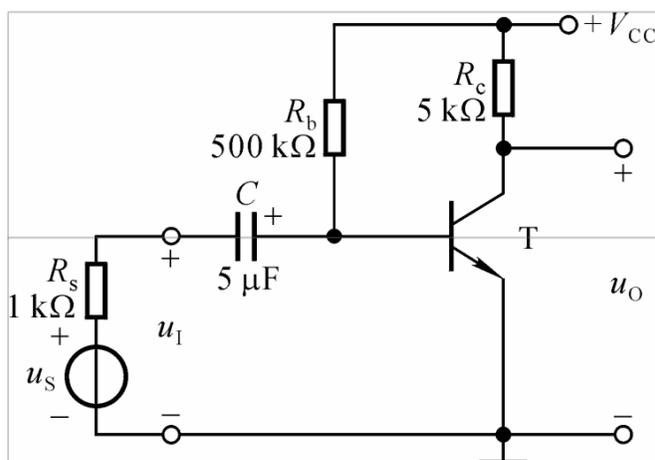


图 T5.2

解：(1) 静态及动态的分析估算：

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b} \approx 22.6 \mu A$$

$$I_{EQ} = (1 + \beta) I_{BQ} \approx 1.8 mA$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c \approx 3V$$

$$r_{be} = (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{EQ}} \approx 1.17k\Omega$$

$$r_{be} = r_{bb'} + r_{be} \approx 1.27k\Omega$$

$$R_i = r_{be} // R_b \approx 1.27k\Omega$$

$$g_m = \frac{I_{EQ}}{U_T} \approx 69.2mA/V$$

$$A_{usm} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \frac{r_{be}}{r_{be}} (g_m R_c) \approx 178$$

(2) 估算  $C_{\pi}'$ ：

$$f_T \approx \frac{\beta_0}{2\pi r_{b'e} (C_\pi + C_\mu)}$$

$$C_\pi \approx \frac{\beta_0}{2\pi r_{b'e} f_T} \quad C_\mu \approx 214\text{pF}$$

$$C'_\pi = C_\pi + (1 + g_m R_c) C_\mu \approx 1602\text{pF}$$

(3) 求解上限、下限截止频率：

$$R = r_{b'e} // (r_{b'b} + R_s // R_b) \approx r_{b'e} // (r_{b'b} + R_s) \approx 567 \Omega$$

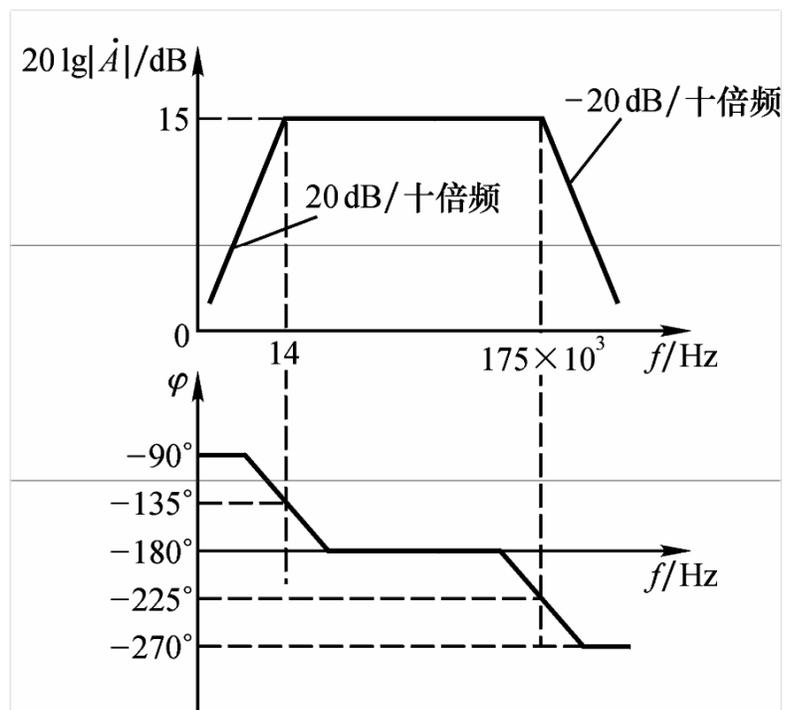
$$f_H = \frac{1}{2\pi RC'_\pi} \approx 175\text{kHz}$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi (R_s + R_i)C} \approx 14\text{Hz}$$

(4) 在中频段的增益为

$$20 \lg \left| \frac{A_{usm}}{A} \right| \approx 45\text{dB}$$

频率特性曲线如解图 T5.2 所示。



解图 T5.2

三、 已知某放大电路的波特图如图 T5.3 所示，填空：

- (1) 电路的中频电压增益  $20\lg|\dot{A}_{um}| = \underline{\hspace{2cm}} \text{ dB}$ ,  $\dot{A}_{um} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
- (2) 电路的下限频率  $f_L \approx \underline{\hspace{2cm}} \text{ Hz}$ , 上限频率  $f_H \approx \underline{\hspace{2cm}} \text{ kHz}$ 。
- (3) 电路的电压放大倍数的表达式  $\dot{A}_u = \underline{\hspace{4cm}}$ 。

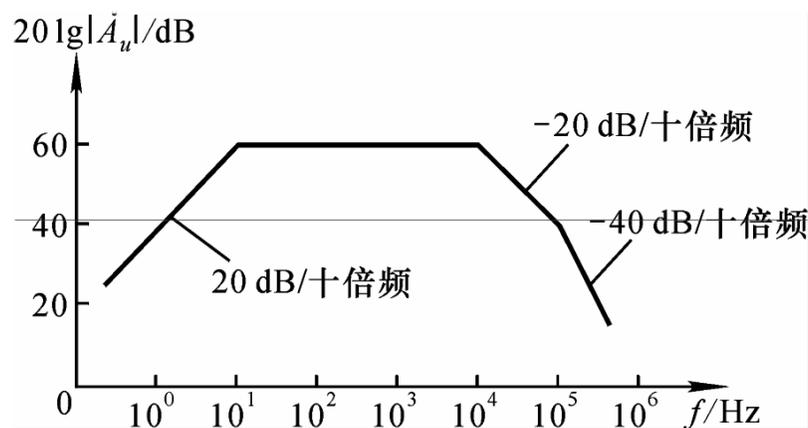


图 T5.3

解：(1) 60       $10^4$

(2) 10      10

(3)

$$\frac{\pm 10^3}{\left(1 + \frac{10}{jf}\right) \left(1 + j\frac{f}{10^4}\right) \left(1 + j\frac{f}{10^5}\right)} \quad \text{或} \quad \frac{\pm 100jf}{\left(1 + j\frac{f}{10}\right) \left(1 + j\frac{f}{10^4}\right) \left(1 + j\frac{f}{10^5}\right)}$$

说明：该放大电路的中频放大倍数可能为“+”，也可能为“-”。

## 习 题

5.1 在图P5.1所示电路中，已知晶体管的  $r_{bb'}$ 、 $C_{\mu}$ 、 $C_{\pi}$ ， $R_i \approx r_{be}$ 。

填空：除要求填写表达式的之外，其余各空填入①增大、②基本不变、③减小。

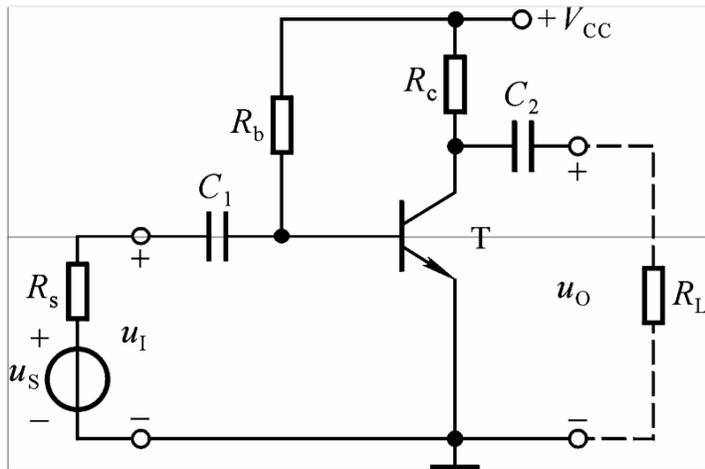


图 P5.1

(1) 在空载情况下，下限频率的表达式  $f_L =$  \_\_\_\_\_。当  $R_s$  减小时， $f_L$  将 \_\_\_\_\_；当带上负载电阻后， $f_L$  将 \_\_\_\_\_。

(2) 在空载情况下，若 b-e 间等效电容为  $C_{\pi}'$ ，\_\_\_\_\_ 则上限频率的表达式  $f_H =$  \_\_\_\_\_；当  $R_s$  为零时， $f_H$  将 \_\_\_\_\_；当  $R_b$  减小时， $f_H$  将 \_\_\_\_\_， $C_{\pi}'$  将 \_\_\_\_\_， $f_H$  将 \_\_\_\_\_。

解：(1)  $\frac{1}{2\pi(R_s + R_b // r_{be})C_1}$ 。①；①。

(2)  $\frac{1}{2\pi[r_{be} // (r_{bb'} + R_b // R_s)]C_{\pi}'}$ ；①；①，①，③。

5.2 已知某电路的波特图如图 P5.2 所示，试写出  $\dot{A}_u$  的表达式。

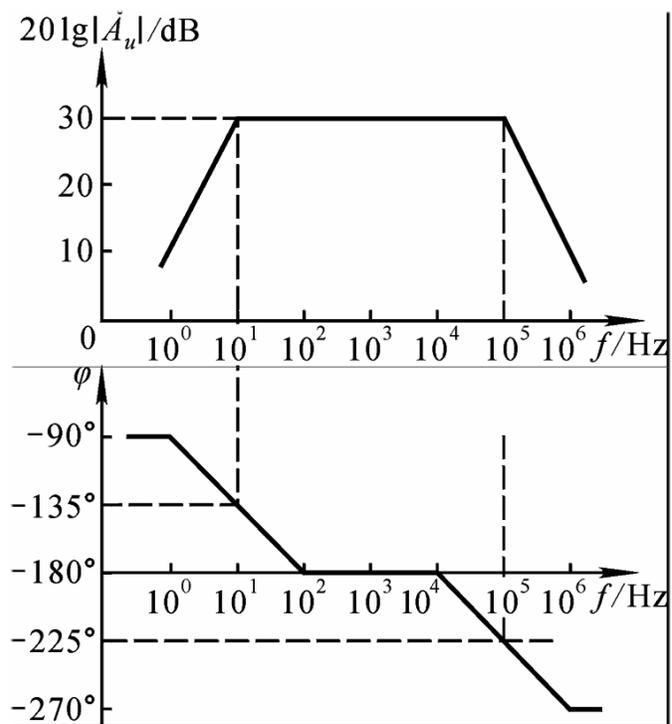


图 P5.2

解：设电路为基本共射放大电路或基本共源放大电路。

$$\dot{A}_u \approx \frac{32}{(1 + \frac{10}{jf})(1 + j\frac{f}{10^5})} \quad \text{或} \quad \dot{A}_u \approx \frac{3.2j}{(1 + j\frac{f}{10})(1 + j\frac{f}{10^5})}$$

5.3 已知某共射放大电路的波特图如图 P5.3 所示，试写出  $\dot{A}_u$  的表达式。

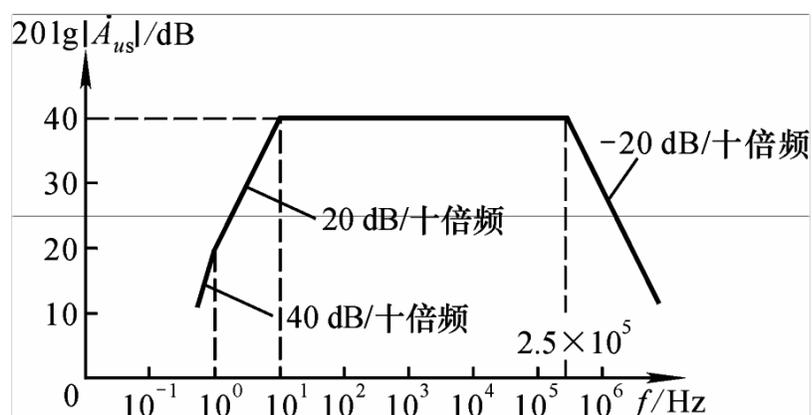


图 P5.3

解：观察波特图可知，中频电压增益为 40dB，即中频放大倍数为  $-100$ ；下限截止频率为 1Hz 和 10Hz，上限截止频率为 250kHz。故电路  $\dot{A}_u$  的表达式为

$$\dot{A}_u = \frac{100}{\left(1 + \frac{1}{jf}\right) \left(1 + \frac{10}{jf}\right) \left(1 + j\frac{f}{2.5 \times 10^5}\right)}$$

或

$$\dot{A}_u = \frac{+10 f^2}{(1 + jf) \left(1 + j\frac{f}{10}\right) \left(1 + j\frac{f}{2.5 \times 10^5}\right)}$$

5.4 已知某电路的幅频特性如图 P5.4 所示，试问：

- (1) 该电路的耦合方式；
- (2) 该电路由几级放大电路组成；
- (3) 当  $f = 10^4 \text{Hz}$  时，附加相移为多少？当  $f = 10^5$  时，附加相移又约为多少？

解：(1) 因为下限截止频率为 0，所以电路为直接耦合电路；

(2) 因为在高频段幅频特性为  $-60 \text{dB/十倍频}$ ，所以电路为三级放大电路；

(3) 当  $f = 10^4 \text{Hz}$  时， $\phi' = -135^\circ$ ；当  $f = 10^5 \text{Hz}$  时， $\phi' \approx -270^\circ$ 。

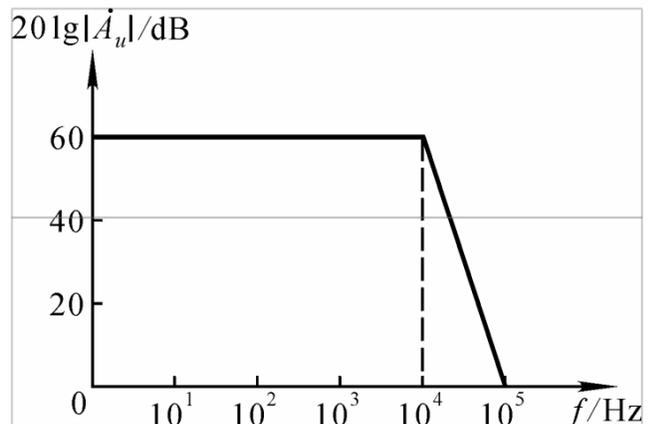


图 P5.4

5.5 若某电路的幅频特性如图 P5.4 所示，试写出  $\dot{A}_u$  的表达式，并近似估算该电路的上限频率  $f_H$ 。

解： $\dot{A}_u$  的表达式和上限频率分别为

$$\dot{A}_u = \frac{+10^3}{\left(1 + j\frac{f}{10^4}\right)^3} \quad f_H \approx \frac{f'_H}{1.1\sqrt{3}} \approx 5.2 \text{kHz}$$

5.6 已知某电路电压放大倍数

$$\dot{A}_u = \frac{10jf}{(1 + j\frac{f}{10})(1 + j\frac{f}{10^5})}$$

试求解：

(1)  $\dot{A}_{um} = ?$   $f_L = ?$   $f_H = ?$

(2) 画出波特图。

解：(1) 变换电压放大倍数的表达式，求出  $\dot{A}_{um}$ 、 $f_L$ 、 $f_H$ 。

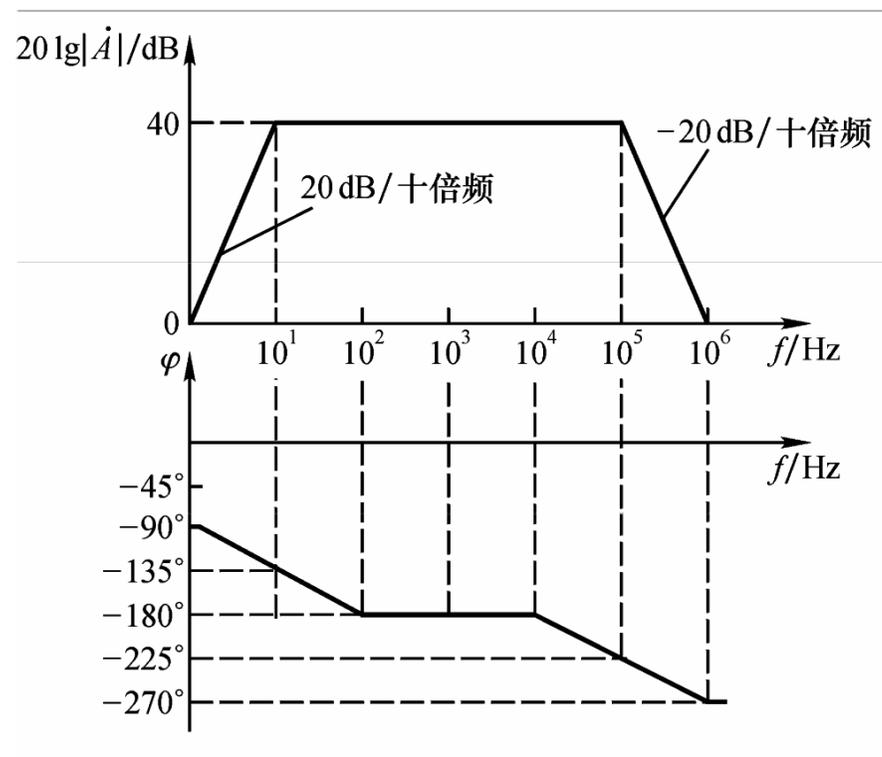
$$\dot{A}_u = \frac{100 j\frac{f}{10}}{(1 + j\frac{f}{10})(1 + j\frac{f}{10^5})}$$

$$\dot{A}_{um} = 100$$

$$f_L = 10\text{Hz}$$

$$f_H = 10^5\text{Hz}$$

(2) 波特图如解图 P5.6 所示。



解图 P5.6

5.7 已知两级共射放大电路的电压放大倍数

$$\dot{A}_u = \frac{200 jf}{1 + j\frac{f}{5} \quad 1 + j\frac{f}{10^4} \quad 1 + j\frac{f}{2.5 \times 10^5}}$$

(1)  $\dot{A}_{um} = ?$   $f_L = ?$   $f_H = ?$

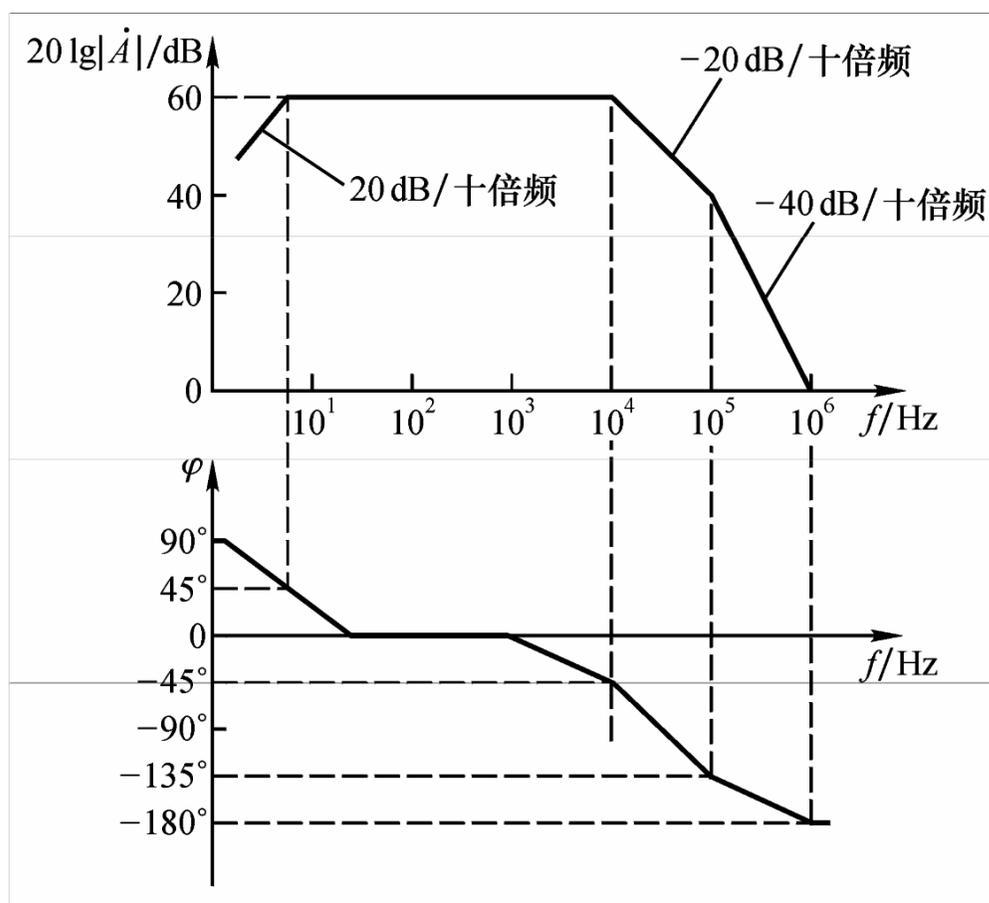
(2) 画出波特图。

解：(1) 变换电压放大倍数的表达式，求出  $\dot{A}_{um}$ 、 $f_L$ 、 $f_H$ 。

$$\dot{A}_u = \frac{10^3 j\frac{f}{5}}{(1 + j\frac{f}{5})(1 + j\frac{f}{10^4})(1 + j\frac{f}{2.5 \times 10^5})}$$

$$\begin{aligned} \dot{A}_{um} &= 10^3 \\ f_L &= 5\text{Hz} \\ f_H &\approx 10^4\text{Hz} \end{aligned}$$

(2) 波特图如解图 P5.7 所示。



解图 P5.7

5.8 电路如图P5.8所示。已知：晶体管的 $\beta$ 、 $r_{bb'}$ 、 $C_{\mu}$ 均相等，所有电容的容量均相等，静态时所有电路中晶体管的发射极电流 $I_{EQ}$ 均相等。定性分析各电路，将结论填入空内。

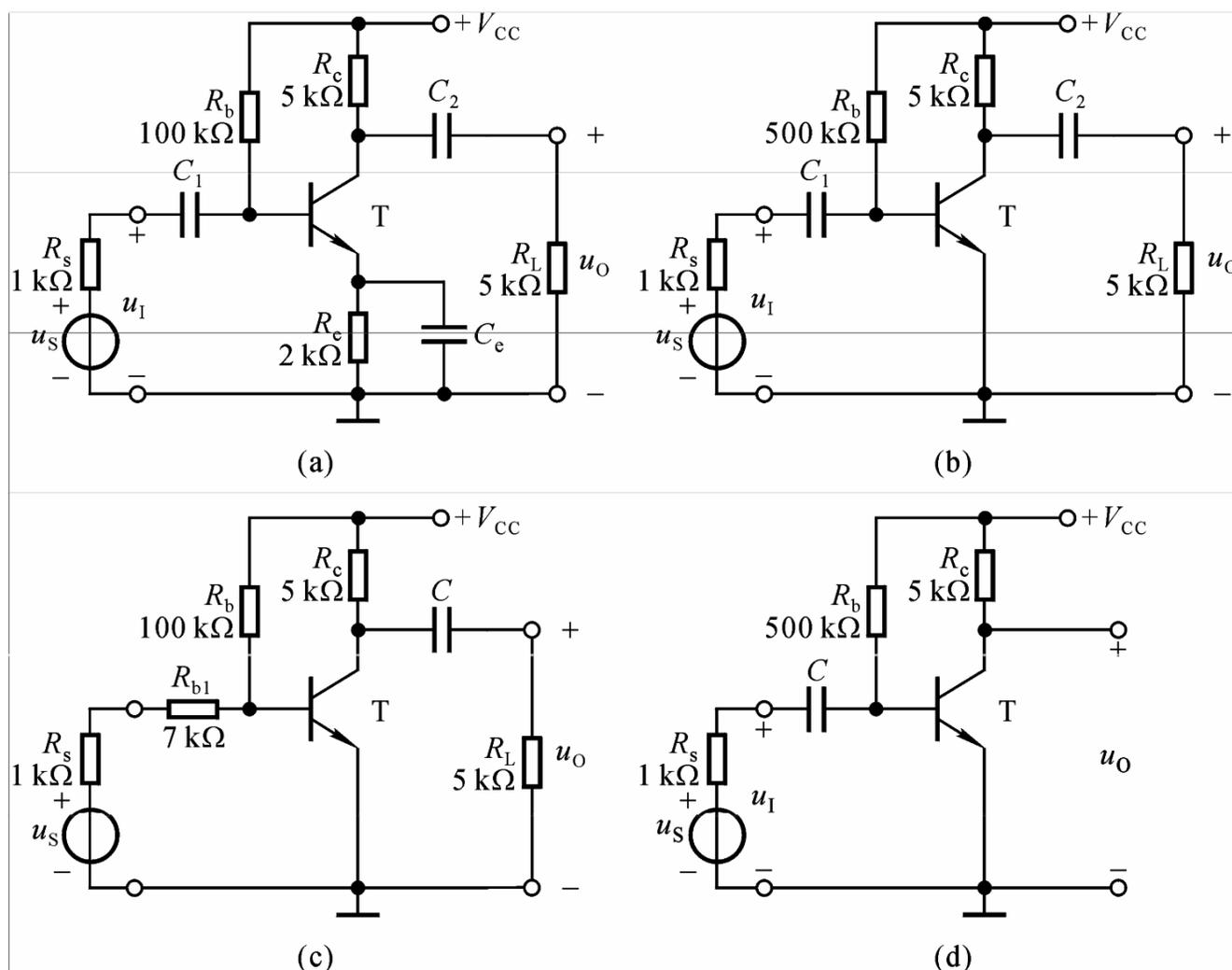


图 P5.8

- (1) 低频特性最差即下限频率最高的电路是\_\_\_\_\_；
- (2) 低频特性最好即下限频率最低的电路是\_\_\_\_\_；
- (3) 高频特性最差即上限频率最低的电路是\_\_\_\_\_；

解：(1) (a)      (2) (c)      (3) (c)

5.9 在图P5.8(a)所示电路中，若 $\beta = 100$ ， $r_{be} = 1\text{k}\Omega$ ， $C_1 = C_2 = C_e = 100\mu\text{F}$ ，则下限频率 $f_L \approx ?$

解：由于所有电容容量相同，而 $C_e$ 所在回路等效电阻最小，所以下限频率决定于 $C_e$ 所在回路的时间常数。

$$R = R_e // \frac{r_{be} + R_s // R_b}{1 + \beta} \approx \frac{r_{be} + R_s}{1 + \beta} \approx 20\Omega$$

$$f_L \approx \frac{1}{2\pi RC_e} \approx 80\text{Hz}$$

5.10 在图P5.8(b)所示电路中,若要求 $C_1$ 与 $C_2$ 所在回路的时间常数相等,且已知 $r_{be}=1k\Omega$ ,则 $C_1:C_2=?$ 若 $C_1$ 与 $C_2$ 所在回路的时间常数均为 $25ms$ ,则 $C_1$ 、 $C_2$ 各为多少?下限频率 $f_L\approx?$

解:(1)求解 $C_1:C_2$

因为  $C_1(R_s+R_i)=C_2(R_c+R_L)$

将电阻值代入上式,求出

$$C_1:C_2=5:1$$

(2)求解 $C_1$ 、 $C_2$ 的容量和下限频率

$$C_1 = \frac{\tau}{R_s + R_i} \approx 12.5\mu F$$

$$C_2 = \frac{\tau}{R_c + R_L} \approx 2.5\mu F$$

$$f_{L1} = f_{L2} = \frac{1}{2\pi\tau} \approx 6.4\text{Hz}$$

$$f_L \approx 1.1\sqrt{2}f_{L1} \approx 10\text{Hz}$$

5.11 在图P5.8(a)所示电路中,若 $C_e$ 突然开路,则中频电压放大倍数 $A_{usm}$ 、 $f_H$ 和 $f_L$ 各产生什么变化(是增大、减小、还是基本不变)?为什么?

解:  $|A_{usm}|$ 将减小,因为在同样幅值的 $U_i$ 作用下,  $|U_b|$ 将减小,  $|U_c|$ 随之减小,  $|U_o|$ 必然减小。

$f_L$ 减小,因为少了一个影响低频特性的电容。

$f_H$ 增大。因为 $C_\pi$ 会因电压放大倍数数值的减小而大大减小,所以虽然 $C_\pi$ 所在回路的等效电阻有所增大,但时间常数仍会减小很多,故 $f_H$ 增大。

5.12 在图P5.8(a)所示电路中,若 $C_1 > C_e$ ,  $C_2 > C_e$ ,  $\beta = 100$ ,  $r_{be} = 1k\Omega$ ,欲使 $f_L = 60\text{Hz}$ ,则 $C_e$ 应选多少微法?

解:下限频率决定于 $C_e$ 所在回路的时间常数,  $f_L \approx \frac{1}{2\pi RC_e}$ 。R为 $C_e$ 所在回路的等效电阻。

R和 $C_e$ 的值分别为:

$$R = R_e // \frac{r_{be} + R_s // R_b}{1 + \beta} \approx \frac{r_{be} + R_s}{1 + \beta} \approx 20\Omega$$

$$C_e \approx \frac{1}{2\pi R f_L} \approx 133 \mu F$$

5.13 在图P5.8(d)所示电路中, 已知晶体管的  $r_{bb'} = 100 \Omega$ ,  $r_{be} = 1k\Omega$ , 静态电流  $I_{EQ} = 2mA$ ,  $C_{\pi}' = 800pF$ ;  $R_s = 2k\Omega$ ,  $R_b = 500k\Omega$ ,  $R_c = 3.3k\Omega$ ,  $C = 10\mu F$ 。

试分别求出电路的  $f_H$ 、 $f_L$ , 并画出波特图。

解: (1) 求解  $f_L$

$$f_L = \frac{1}{2\pi(R_s + R_i)} \approx \frac{1}{2\pi(R_s + r_{be})} \approx 5.3Hz$$

(2) 求解  $f_H$  和中频电压放大倍数

$$r_{b'e} = r_{be} - r_{bb'} = 0.9k\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi[r_{b'e} // (r_{bb'} + R_b // R_s)] C_{\pi}'} \approx \frac{1}{2\pi[r_{b'e} // (r_{bb'} + R_s)] C_{\pi}'} \approx 316kHz$$

$$g_m \approx \frac{I_{EQ}}{U_T} \approx 77mA/V$$

$$A_{usm} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \frac{r_{b'e}}{r_{be}} (g_m R_L') \approx \frac{r_{b'e}}{R_s + r_{be}} (g_m R_L') \approx 76$$

$$20 \lg |A_{usm}| \approx 37.6dB$$

其波特图参考解图 P5.6。

5.14 电路如图P5.14所示, 已知  $C_{gs} = C_{gd} = 5pF$ ,  $g_m = 5mS$ ,  $C_1 = C_2 = C_s = 10\mu F$ 。

试求  $f_H$ 、 $f_L$  各约为多少, 并写出  $A_{us}$  的表达式。

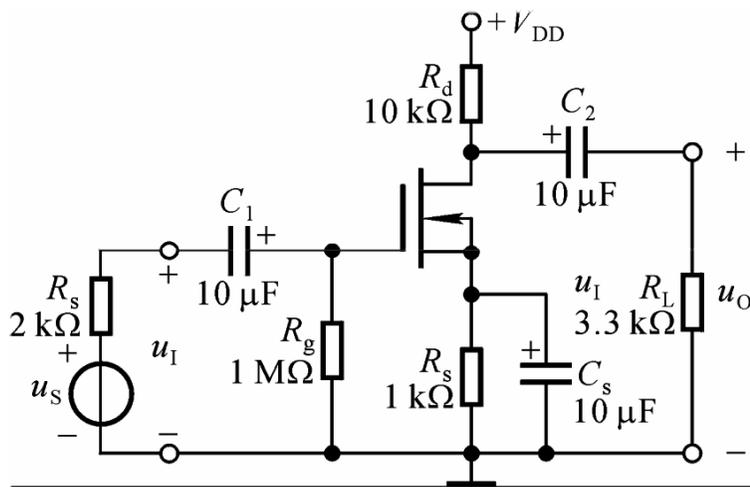


图 P5.14

解：  $f_H$ 、 $f_L$ 、 $A_{us}$  的表达式分析如下：

$$A_{usm} = \frac{R_i}{R_s + R_i} (g_m R'_L) \approx g_m R'_L \approx 12.4$$

$$f_L \approx \frac{1}{2\pi R C} \approx 16\text{Hz}$$

$$C'_{gs} = C_{gs} + (1 + g_m R'_L) C_{gd} \approx 72\text{pF}$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi (R_s // R_g) C'_{gs}} \approx \frac{1}{2\pi R_s C'_{gs}} \approx 1.1\text{MHz}$$

$$A_{us} \approx \frac{12.4 (j \frac{f}{16})}{(1 + j \frac{f}{16}) (1 + j \frac{f}{1.1 \times 10^6})}$$

5.15 在图 5.4.7(a) 所示电路中，已知  $R_g = 2\text{M}\Omega$ ， $R_d = R_L = 10\text{k}\Omega$ ， $C = 10\mu\text{F}$ ；场效应管的  $C_{gs} = C_{gd} = 4\text{pF}$ ， $g_m = 4\text{mS}$ 。试画出电路的波特图，并标出有关数据。

解：

$$A_{um} = g_m R'_L = 20,201 \text{ } |A_{um}| \approx 26\text{dB}$$

$$C'_{gs} = C_{gs} + (1 + g_m R'_L) C_{gd} = 88\text{pF}$$

$$f_L \approx \frac{1}{2\pi (R_d + R_L) C} \approx 0.796\text{Hz}$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi R_g C'_{gs}} \approx 904\text{Hz}$$

其波特图参考解图 P5.6。

5.16 已知一个两级放大电路各级电压放大倍数分别为

$$A_{u1} = \frac{U_{o1}}{U_i} = \frac{25jf}{1 + j\frac{f}{4} \quad 1 + j\frac{f}{10^5}}$$

$$A_{u2} = \frac{U_o}{U_{i2}} = \frac{2jf}{1 + j\frac{f}{50} \quad 1 + j\frac{f}{10^5}}$$

- (1) 写出该放大电路的表达式；
- (2) 求出该电路的  $f_L$  和  $f_H$  各约为多少；
- (3) 画出该电路的波特图。

解：(1) 电压放大电路的表达式

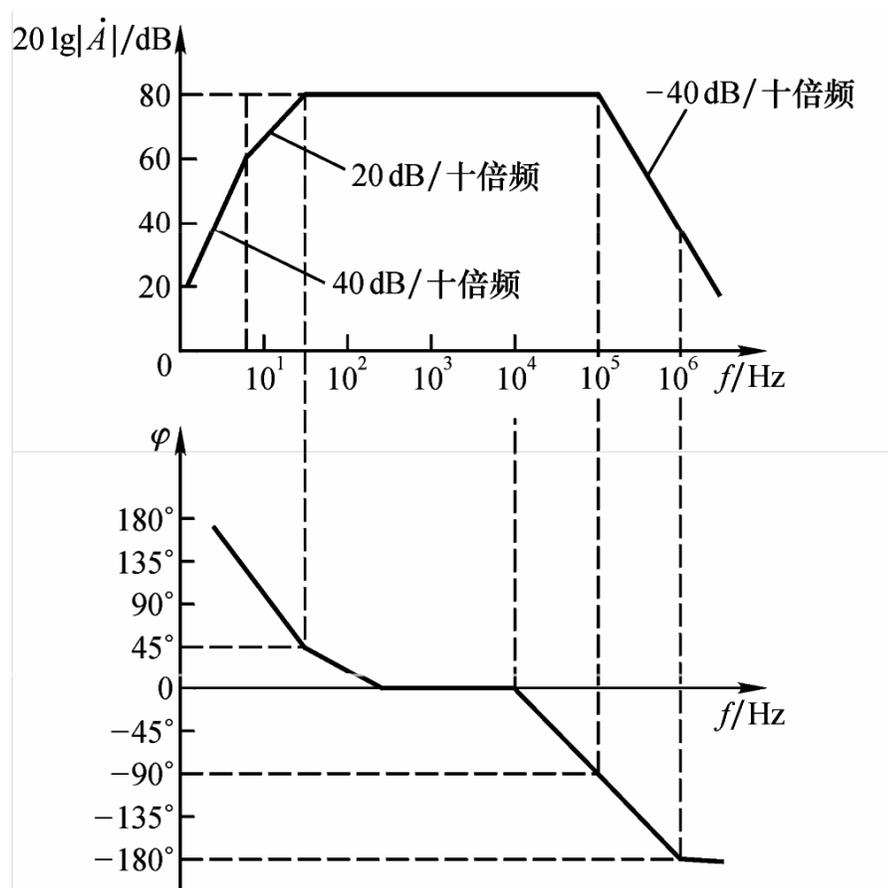
$$A_u = A_{u1} A_{u2} = \frac{50f^2}{(1 + j\frac{f}{4})(1 + j\frac{f}{50})(1 + j\frac{f}{10^5})^2}$$

(2)  $f_L$  和  $f_H$  分别为：

$$f_L \approx 50\text{Hz}$$

$$\frac{1}{f_H} \approx \frac{1}{1.1\sqrt{2}10^5}, \quad f_H \approx 64.3\text{kHz}$$

(3) 根据电压放大倍数的表达式可知，中频电压放大倍数为  $10^4$ ，增益为 80dB。波特图如解图 P5.16 所示。



解图 P5.16

5.17 电路如图 P5.17 所示。试定性分析下列问题，并简述理由。

(1) 哪一个电容决定电路的下限频率；

(2) 若  $T_1$  和  $T_2$  静态时发射极电流相等，且  $r_{bb}$  和  $C_{\pi}$  相等，则哪一级的上限频率低。

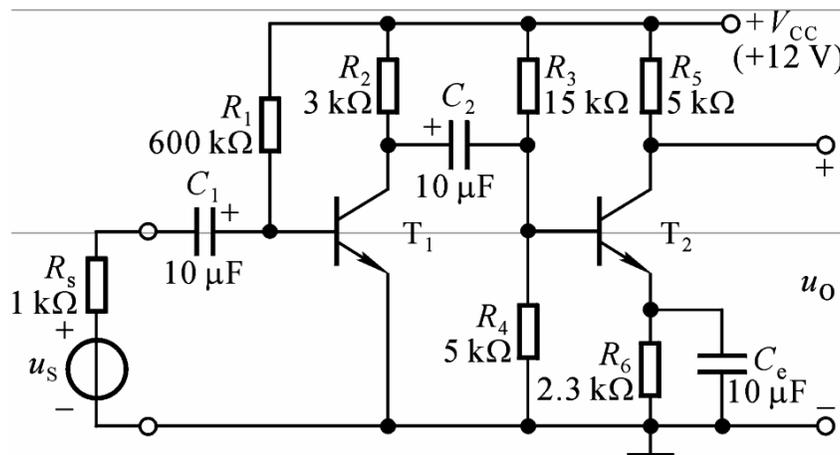


图 P5.17

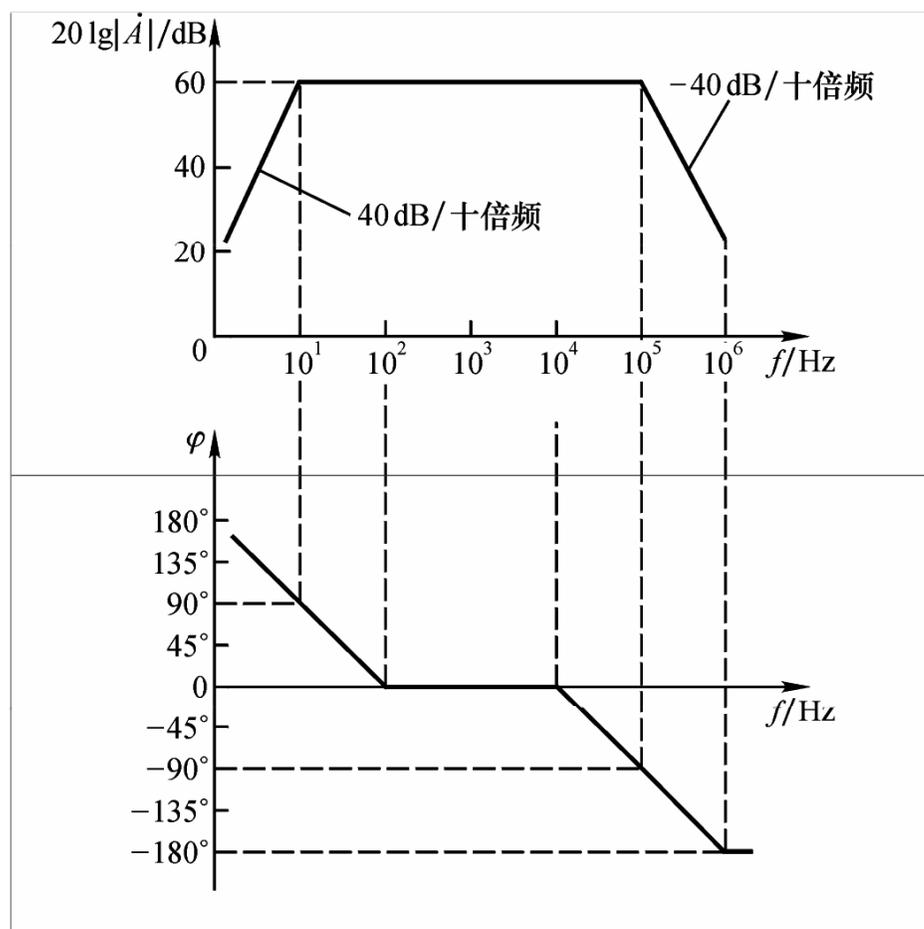
解：(1) 决定电路下限频率的是  $C_e$ ，因为它所在回路的等效电阻最小。

(2) 因为  $R_2 // R_3 // R_4 > R_1 // R_s$ ， $C_{\pi 2}$  所在回路的时间常数大于  $C_{\pi 1}$  所在回路的时间常数，所以第二级的上限频率低。

5.18 若两级放大电路各级的波特图均如图 P5.2 所示，试画出整个电路的波特图。

解：  $20 \lg \frac{A}{A_{um}} = 60 \text{dB}$ 。在折线化幅频特性中，频率小于  $10 \text{Hz}$  时斜率为  $+40 \text{dB/十倍频}$ ，频率大于  $10^5 \text{Hz}$  时斜率为  $-40 \text{dB/十倍频}$ 。在折线化相频特性中， $f = 10 \text{Hz}$  时相移为  $+90^\circ$ ， $f = 10^5 \text{Hz}$  时相移为  $-90^\circ$ 。波特图如解图 P5.18 所示。

解图 P5.18



## 第六章 放大电路中的反馈

### 自测题

一、在括号内填入“√”或“×”，表明下列说法是否正确。

- (1) 若放大电路的放大倍数为负，则引入的反馈一定是负反馈。( )
- (2) 负反馈放大电路的放大倍数与组成它的基本放大电路的放大倍数量纲相同。( )
- (3) 若放大电路引入负反馈，则负载电阻变化时，输出电压基本不变。( )
- (4) 阻容耦合放大电路的耦合电容、旁路电容越多，引入负反馈后，越容易产生低频振荡。( )

解：(1) ×      (2) √      (3) ×      (4) √

二、已知交流负反馈有四种组态：

- 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

三、判断图 T6.3 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  $A_{uf}$  或  $A_{usf}$ 。设图中所有电容对交流信号均可视为短路。

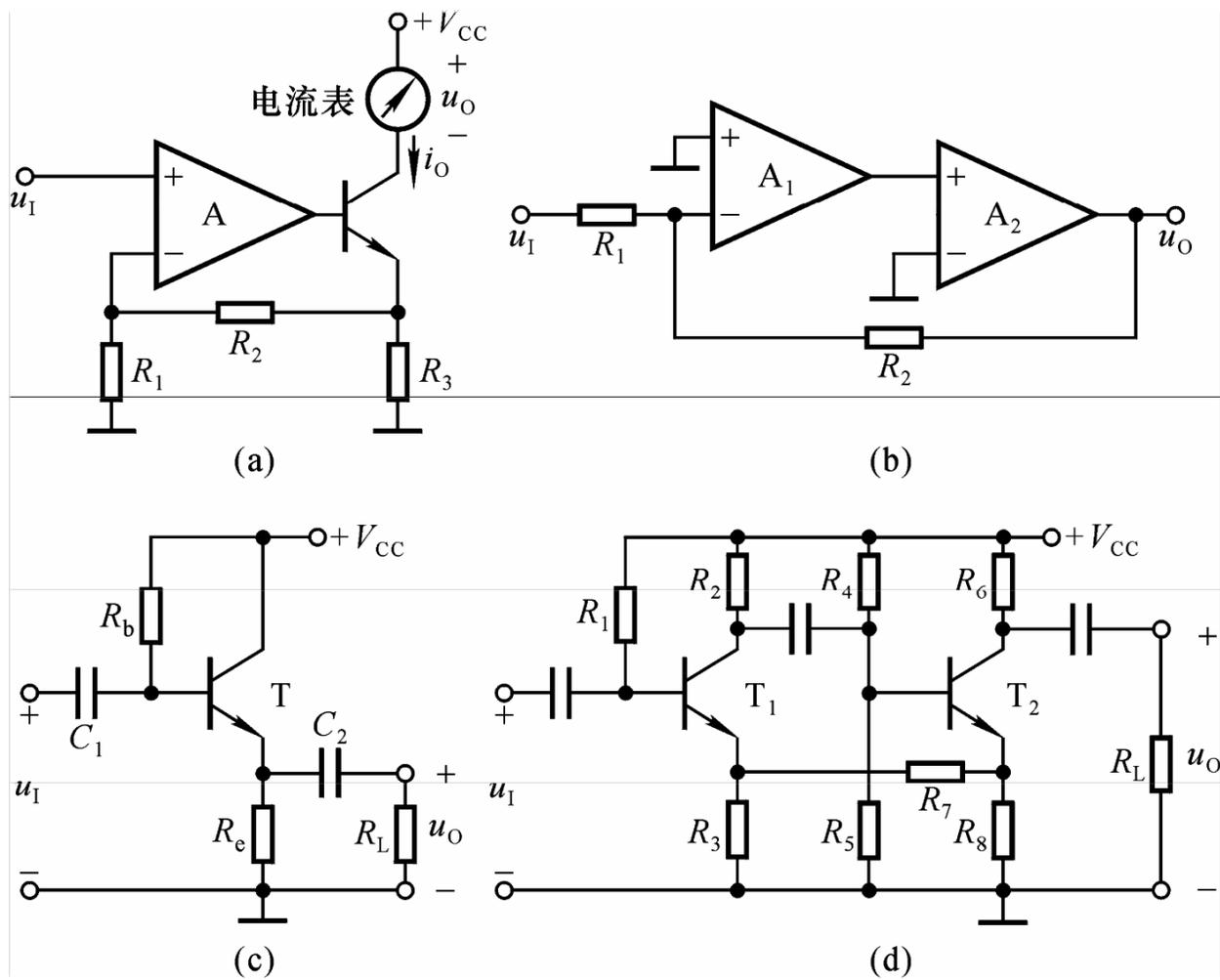


图 T6.3

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  $\dot{A}_{uf}$  分别为

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

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  $\dot{A}_{uf}$  分别为

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

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  $\dot{A}_{uf}$  分别为

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

图（d）所示电路中引入了正反馈。

四、电路如图 T6.4 所示。

(1) 合理连线，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？

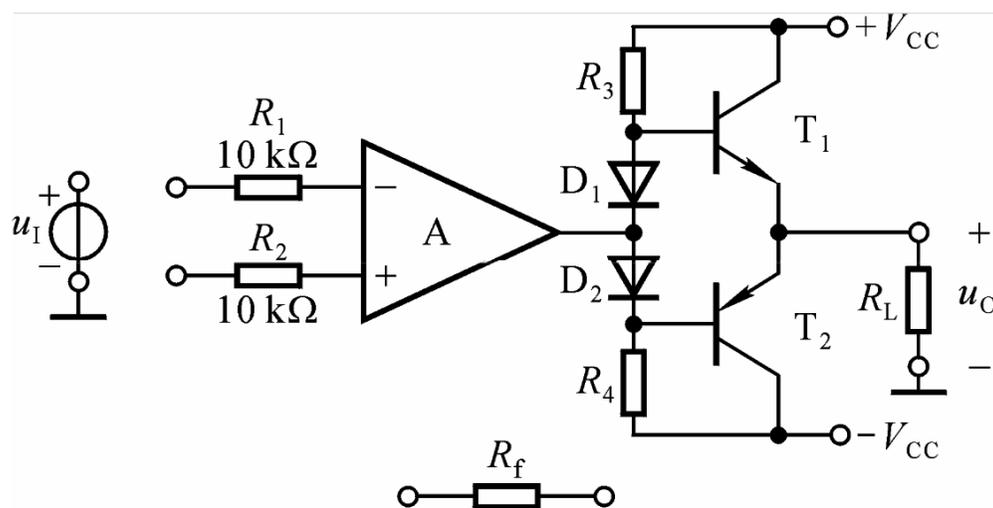
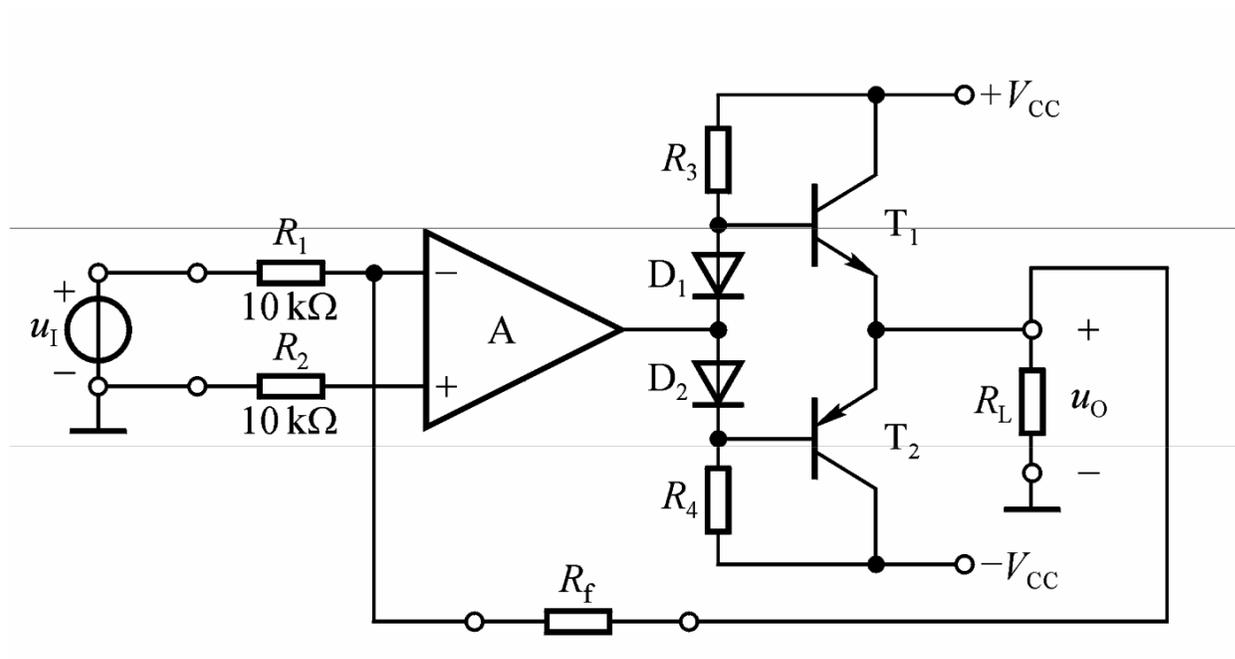


图 T6.4

解：(1) 应引入电压串联负反馈，如解图 T6.4 所示。



解图 T6.4

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

五、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 T6.5

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/845122141143012002>