

# 北京大学电子学系 2019 年秋《电子线路分析与设计》期中考试 2

学号：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 试卷编号：\_\_\_\_\_

一 (30)	二 (10)	三 (20)	四 (25)	五 (15)	总成绩

## 一. 判断题 (30 分, 每题 1.5 分, 请在题后的括号内画 ✓ 或 ×)

1. 实用的放大电路可以是有源的, 也可以是无源的。	[ × ]
2. 测得某 BJT 电路中 BJT 三端直流电压分别为 1V、2V、3V, 则它肯定不能正常放大。	[ ✓ ]
3. FET 放大器中, 因为 FET 的栅极不需要任何电流, 所以其栅极并不需要偏置电路。	[ × ]
4. 放大器使用交流耦合就不能放大直流信号; 使用直流耦合就不能放大交流信号。	[ × ]
5. 放大器开始稳定工作后, 在线性区内调节静态工作点 Q, 不会改变其 $A_v$ , $R_i$ 和 $R_o$ 。	[ × ]
6. 始终工作于线性区的放大器, 即使正弦信号幅度有变化, 电源平均功耗也几乎不变。	[ ✓ ]
7. 改变某放大器输入信号的幅度, 则线性失真和非线性失真的严重程度都会变化。	[ × ]
8. 改变某放大器输入信号的带宽, 则线性失真和非线性失真的严重程度都会变化。	[ × ]
9. BJT 放大器的 $f_H$ 主要由其某个结电容决定, 受电路中电阻值的影响很小。	[ × ]
10. 为使放大电路的 $f_L$ 较低, 则耦合电容的电容值应尽量大些。	[ ✓ ]
11. 无论放大电路中有多少动态元件, 其通带外的滚降都是 20dB/十倍频程。	[ × ]
12. BJT 共射极放大电路中, 因为密勒效应, 使 $C_{B'C}$ 产生等效变大很多倍的效果。	[ ✓ ]
13. BJT 的 CE 放大器带宽增益积为 10MHz, 则可将[9.95M~10.05MHz]的信号放大 100 倍。	[ × ]
14. 只要是低通放大器, 就可以利用其阶跃响应的上升时间来推算其截止频率 $f_H$ 。	[ × ]
15. 差分放大器一般设计为: $A_{vc} \ll A_{vd}$ , 且 $R_{ic} \ll R_{id}$ 。	[ × ]
16. 差分放大器的设计原则是: 输入端应完全对称, 输出端也应完全对称。	[ × ]
17. 在 BJT 差分放大器中以恒流源提供发射极偏置电流, 可提高其共模抑制比 $K_{CMR}$ 。	[ ✓ ]
18. 推挽放大器的效率与信号的波形和幅度都有关。输入最大幅度方波时, 效率最高。	[ ✓ ]
19. 实际运放电路中, 若运放两输入端电压都精确为零, 则其输出电压一定为零。	[ × ]
20. 镜像电流源正常工作时, 其两个 BJT 的 $I_c$ 近似相等, 而 $V_{CE}$ 也近似相等。	[ × ]

## 二. 单项选择题 (10 分, 每题 2 分)

- 下列电路中, 一般情况下, 哪种电路输出阻抗最小? ( B )
  - 共源极放大电路
  - 共集电极放大电路
  - 共基极放大电路
  - 镜像电流源
- 下面四种失真中, 属于线性失真的是: ( D )
  - 输入正弦波时, 输出信号为顶部削平了的正弦波;
  - 输入正弦波时, 输出信号在过零点出现了交越失真;
  - 输入正弦波时, 输出信号近似为同周期的三角形波
  - 输入对称方波时, 输出信号为同周期的正弦波

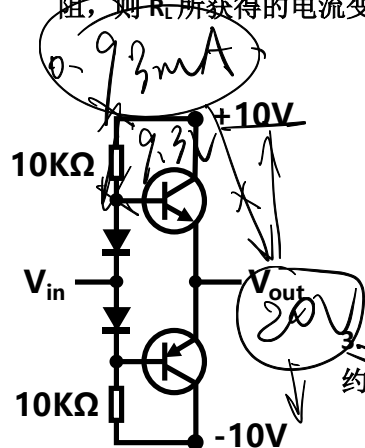
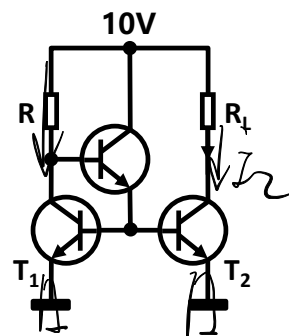
3. 当威尔逊电流源和串接电流源（均由 4 个 BJT 构成）正常工作时，它们各有几个 BJT 工作于“线性区和饱和区的分界线上”？（ D ）
- A. 2 个，2 个                      B. 2 个，3 个  
C. 3 个，2 个                      D. 3 个，3 个
4. 关于放大器电路中的温漂，下面的阐述正确的是：（ B ）
- A. 分析温漂时，主要是考虑放大电路中偏置电阻的温度特性  
B. 温漂可能影响放大电路的动态范围、也可能影响电路的功耗。  
C. 温漂对直流耦合和交流耦合的放大器有相同的影响  
D. 温漂对级联放大器的前级和后级有相同的影响
5. 下列电路均由两个 BJT 组成。哪组电路里，并不需要两个 BJT 的参数指标尽量一致（ A ）
- A. 达林顿电路                      B. 差分电路                      C. 推挽电路                      D. 镜像电流源

### 三、填空（20 分，每空 2 分）

1. 若某放大器的频响如右式所示，则是，则它的中频增益为 32 dB，带宽为 10K Hz。  
[前空填 40 的给 1 分] [后空填 9999.8 也行]

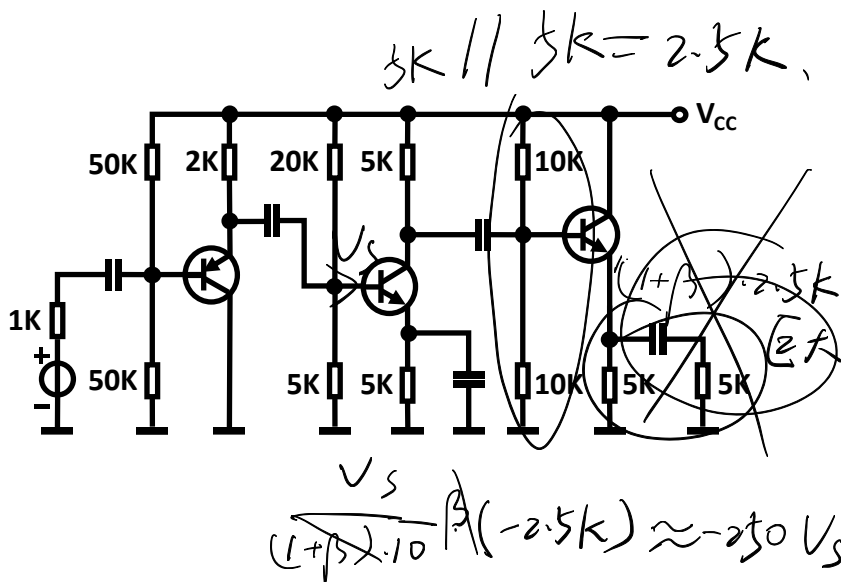
$$A(f) = \frac{10^{20} f^2}{(1 + j5f)^2 (10^7 + jf)(10^4 + jf)(10^6 + jf)}$$

2. 电流源电路如右图所示，已知三个 BJT 参数一致，且  $\beta=100$ ，为使得  $R_L$  所获得电流为 1mA，应取  $R$  为 8.6K $\Omega$ ；在这种情况下，若  $T_1$  发射极和地线之间改为 10K $\Omega$  电阻， $T_2$  发射极和地线之间改为 20K $\Omega$  电阻，则  $R_L$  所获得的电流变为 0.23mA。

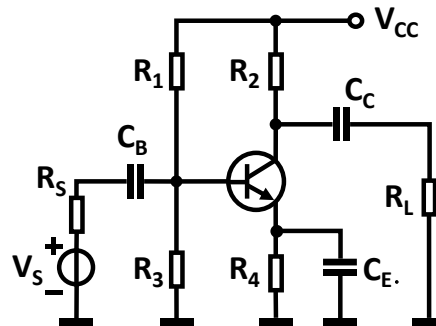
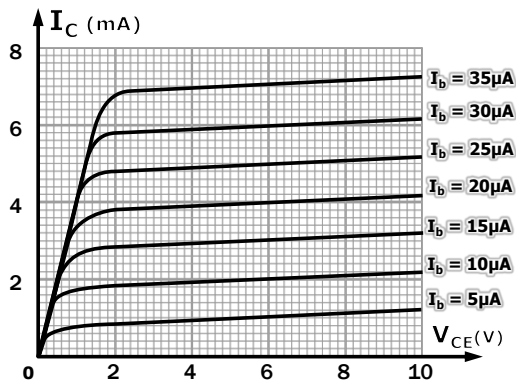


推挽电路如左图所示，已知 BJT 的  $\beta=100$ ，则整个电路的静态功耗约 18.6mW；输出信号  $V_{out}$  的最大线性动态范围是 [-9.3, +9.3V]。

4. 级联电路如右图所示。其三级放大器的组态从左至右分别为：CC, CE, CC；若可以认为 BJT 的  $r_b$  足够小， $r_e \approx 10\Omega$ ， $r_c$  足够大， $\beta=100$ ，则估算此电路的输入电阻约为 17.5K $\Omega$ ；其输出电阻约为 35 $\Omega$ ；其总电压放大倍数  $V_{RL} / V_S$  约为 -250。[填 250 的给 1 分]



四、(25 分) 已知 BJT 的输出特性曲线族如下面左图所示。其工作电路如下面右图，其中  $V_{CC}=10V$ ， $R_1=73K\Omega$ ， $R_2=1.5K\Omega$ ， $R_3=27K\Omega$ ， $R_4=1K\Omega$ ， $R_5=1K\Omega$ ， $R_L=3K\Omega$ ， $C_B=C_C=10\mu F$ ， $C_E=100\mu F$ 。BJT 的两个结电容均为  $10pF$ 。



- 请在上面图中画出：直流负载线和交流负载线
- 请根据电路图和输出特性曲线族估计 BJT 的参数： $\beta$ 、 $r_c$ 、 $r_e$
- 请估算放大器输入电阻  $R_i$  和 输出电阻  $R_o$ 。（估算时可认为  $r_b$  足够小， $r_c$  足够大）
- 请估算放大器增益： $A_V = V_{RL} / V_S$ （估算时可认为  $r_b$  足够小， $r_c$  足够大）
- 请估计正弦波输入时的最大不失真输出电压
- 请估算放大器低半功率点  $f_L$  和高半功率点  $f_H$ （估算时可认为  $r_b$  足够小， $r_c$  足够大）
- 有哪些办法可以提升此放大器的通频带宽？

- 直流负载线： $I_{CQ} * R_2 + I_{EQ} * R_4 + V_{CE} = V_{CC}$  (右图蓝线)  
由  $V_{BQ} \approx 2.7V \rightarrow V_{EQ} \approx 2V \rightarrow I_{CQ} \approx I_{EQ} = 2V/R_4 = 2mA$   
二者交点为  $Q$   
交流负载线： $\Delta I_C * (R_2 // R_L) = \Delta V_{CE}$  (右图红线)

- $\beta \approx 2mA/10\mu A = 200$   
 $r_c \approx \text{斜率倒数} = 8V / 0.4mA = 20K\Omega$   
 $r_e \approx 26mV/2mA = 13 \Omega$

- $R_i = R_1 // R_3 // r_{be} = 73K // 27K // (13 * 200) \approx 2.3K$   
 $R_o \approx R_2 = 1.5K$

- $A_V = V_{RL} / V_S = - R_i / (R_i + R_5) * \beta * (R_2 // R_L) / (1 + \beta) r_e \approx - 2.3 / (2.3 + 1) * (1.5K // 3K) / 13 \approx -53.6$

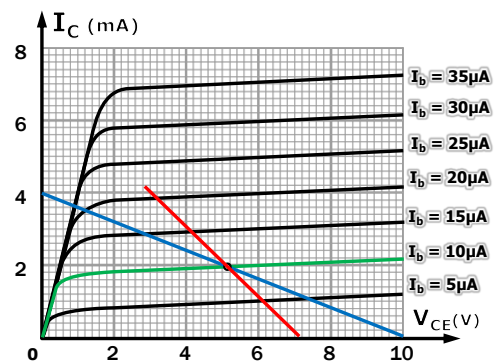
- 从图中动态负载线上看，到截止前大约动态电压为  $2V$   
可以从图上可以判断，也可以根据  $V_{CC} - V_{BQ} \approx 4.3V$ ，判断先发生截止失真，而非饱和失真  
最大不失真输出电压为  $2V$

- $f_L$ : 比较三个大电容对应的的时间常数:

CB:  $C_B * (R_S + R_i) = 10\mu F * 2.3K$

CE:  $C_E * (R_4 // (r_e + (R_1 // R_3 // R_5) / (1 + \beta))) = 100\mu F * 17.7$

CC:  $C_C * (R_2 + R_L) = 10\mu F * 4.5K$



取最小的时间常数，即可得  $f_L$  估计值： $1/(2*\pi*100u*17.7) \approx 90.0Hz$

$f_H$ ：比较两个结电容对应的时间常数：

$$C_{B'E} : C_{B'E} * (R_1 // R_3 // R_5 // r_{be})$$

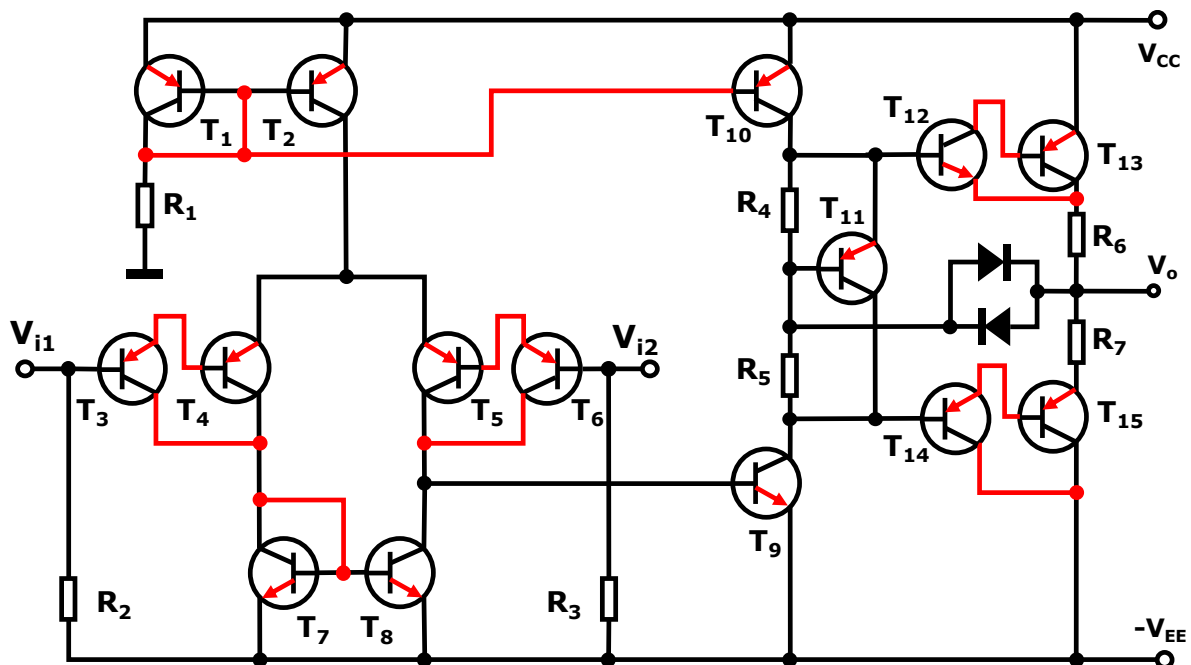
$$C_{B'C} : \text{密勒等效后: } C_{B'C} * (1+77) * (R_1 // R_3 // R_5 // r_{be}) =$$

取最大的时间常数，即可得  $f_H$  估计值： $1/(2*\pi*10p*78*0.7k) \approx 292KHz$

【因密勒等效后，二者的外部电阻是相同的，所以直接忽略  $C_{B'E}$  也可以】

g) 普遍减低电路中的偏置电阻；更换更好的 BJT；减小负载电阻（将降低增益）；发射极外部串接电阻（将降低增益）；【答案开放，回答出 3 点以上的给满分】

五、(15 分) 下图是一个未画完的运算放大器电路。它具有复合管构成的差分输入级和推挽输出级，且通过  $V_{BE}$  增强电路刚好消除交越失真。假设其中所有 BJT 的参数(的绝对值)均相同， $R_4 = 100\Omega$ ， $R_5 = 200\Omega$ ； $R_6 = R_7 = 2\Omega$ 。



a) 请根据题设判断各 BJT 的类型，在上图中补充画完各 BJT，并按题设连接完成整个电路；

b) 当两个输入端电压均为 0 时，请按  $I_c$  从大到小的顺序，对  $T_1 \sim T_{15}$  进行排列。

$$T_1 \approx T_2 \approx T_{10} \approx T_9 > T_{11} > T_7 \approx T_8 \approx T_4 \approx T_5 > T_3 \approx T_6 > T_{13} \approx T_{15} \approx T_{12} \approx T_{14}$$

c) 请简要说明图中两个二极管的作用，以及它们发挥作用所需要满足的条件。

二极管起保护作用。

发挥保护作用需要  $R_6$  或  $R_7$  上产生  $0.7V$  的压降，即输出给负载的电流达到  $350mA$ 。

d) 写出放大器的差模增益的近似表达式： $A_{VD} = (V_{RL} / V_{id}) |_{V_{i1} = +V_{id}/2; V_{i2} = -V_{id}/2}$ ;

$T_4$ 、 $T_5$  公共发射极处为动态地  $\rightarrow$

$$A_{VD} = -(V_{id}/2) / (r_{be6} + r_{be5} * (1 + \beta)) * \beta^2 * 2 * \beta * \beta^2 * R_L / V_{id} \approx -\beta^5 * R_L / (r_{be6} + r_{be5} * (1 + \beta))$$

e) 写出放大器的共模增益的表达式： $A_{VC} = (V_{RL} / V_{ic}) |_{V_{id} = 0}$  和 共模抑制比  $K_{CMR}$

差分放大器不能输出共模信号，故  $A_{VC} \approx 0$ ； $K_{CMR} \approx \infty$