

本试卷共八道题

9.5 (10分) 判断下列说法的正误, 在括号内画√表示正确, 画×表示错误。

1. PN 结反向偏置时的电流是少数载流子在内电场作用下形成的 (X) ✓
2. 在杂质半导体中, 少数载流子的浓度主要取决于掺杂浓度 (X) ✓
3. 温度升高时, NPN 型晶体管的输入特性左移 (✓) ✓
4. 放大电路输出信号的功率来自于输入信号 (X) ✓
5. PN 结的电容效应主要在高频时影响其导电性能 (✓) ✓
6. 直接耦合放大电路只能放大直流和低频信号 (X) ✓; 阻容耦合多级放大电路不能放大高频信号 (X) ✓; 光电耦合放大电路能放大低频信号 (✓) ✓; 变压器耦合放大电路不能放大直流和很低频的信号 (✓) ✓
7. 采用互补电路作为输出级电路主要是因为其带负载能力强 (✓) ✓; 互补电路由于有交越失真, 因此无法使用 (X) ✓
8. 采用差分放大电路作为运放第一级电路是为了抑制温漂, 因此可改用稳 Q 电路代替 (X) ✓; 采用恒流源代替长尾式差分放大电路的射极电阻  $R_e$  主要是为了增强抑制共模能力 (✓) ✓
10. 由于双端输出的差分放大电路对共模信号的放大倍数为零, 因此输入端可以任意输入共模信号 (X) ✓
11. 仿真测量集成运放的转换速率  $SR$  时, 应加入大幅值的阶跃信号 (✓) ✓
12. 测量放大电路带宽时, 应选用幅值固定、频率变化的输入信号 (✓) ✓
13. 当信号源为内阻不为零的电流源时, 应选用输入电阻大的放大电路 (✓) ✓
14. 一个 NPN 型晶体管和一个 PNP 型晶体管可以组成复合管以提高电流放大倍数 (✓) ✓; 一个 JFET 和一个 MOS 管可以组成复合管以改变管型 (X) ✓
15. 放大交流小信号, 应选用输入失调电压大的运放 (X) ✓

二、(23分) 选择填空 (可为单选或多选)

- 21 1. 设图 1 中各二极管的正向导通压降均为  $0.7V$ , 反向电流忽略不计, 则  $U_O$  为 B ✓

A.  $1.4V$       B.  $0V$       C.  $-2.3V$

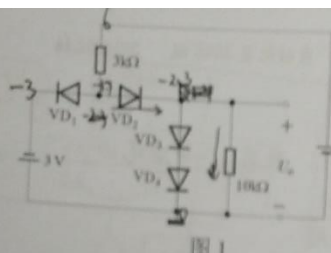


图 1

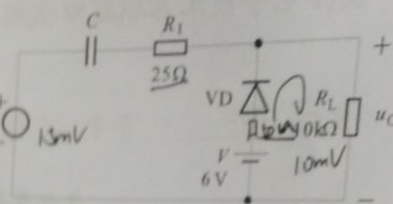


图 2

2. 电路如图 2 所示, 电容  $C$  对交流信号可视为短路,  $u_i$  有效值为  $15\text{mV}$ , 二极管导通电压  $U_D = 0.7\text{V}$ , 则二极管微变等效电阻  $r_d$  约为  $49.6\Omega$ , 输出电压交流分量有效值  $U_o$  约为  $5\text{mV}$ 。

A. 5

B. 10

C. 25

D. 49

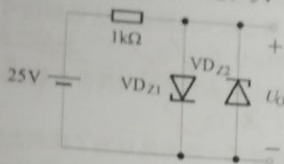
3. 设下图电路中稳压管  $VD_{Z1}$  和  $VD_{Z2}$  的稳定电压分别为  $5\text{V}$  和  $10\text{V}$ , 正向压降均为  $0.7\text{V}$ , 则输出电压  $U_o$  为  $0\text{V}$ 。

A.  $0\text{V}$

B.  $0.7\text{V}$

C.  $5\text{V}$

D.  $10\text{V}$

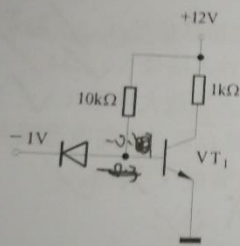


4. 设下图中的二极管和晶体管均为硅管, 晶体管的  $\beta$  均为  $100$ , 则判断各晶体管状态分别为: 图 (a) 为 截止, 图 (b) 为 饱和, 图 (c) 为 放大。

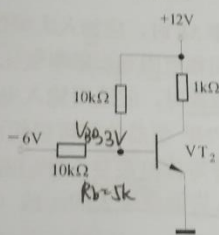
A. 饱和

B. 截止

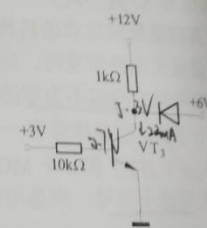
C. 放大



(a)



(b)



(c)

5. 下图电路不能正常放大输入信号的有图 (1) (2) (3), 并选择不能正常放大的原因 (A、B、C、D 或 E) 填入以下空中。

若图 (1) 不能正常放大, 则原因是 X;

若图 (2) 不能正常放大, 则原因是 B;

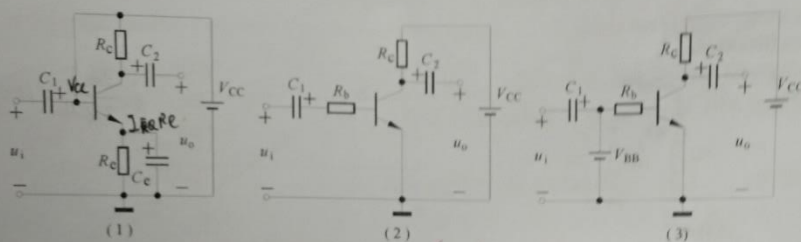
若图 (3) 不能正常放大, 则原因是 C。

A.  $V_{CC}$  极性不正确;

B. 输入回路偏置不正确;

C. 输入信号被短路;

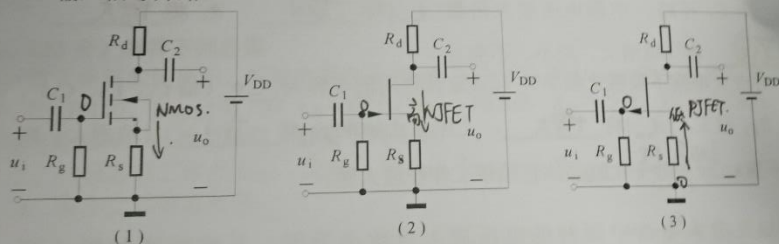
- D. 输入信号开路;  
E. 通电后, 晶体管将因过流而损坏。



6. 下图电路不能正常放大输入信号的有图 (1) (3), 并选择不能正常放大的原因 (A、B、C、D 或 E) 填入以下空中。

- 若图 (1) 不能正常放大, 则原因是 B;  
若图 (2) 不能正常放大, 则原因是   ;  
若图 (3) 不能正常放大, 则原因是 A。

- A.  $V_{DD}$  极性不正确;  
B. 栅、源间缺少必要的正向静态电压;;  
C. 栅、源间缺少必要的负向静态电压;;  
D. 输入信号被短路;  
E. 输入信号开路。



7. 组成两级放大电路, 若要求  $R_i \geq 1M\Omega$  且  $|A_u| \geq 300$ , 最好应选用 D 和 A 放大电路;  
若要求  $R_i \geq 2k\Omega$ ,  $R_o \leq 100\Omega$  且  $|A_u| \geq 150$ , 最好应选用 A 和 B 放大电路。

- A. 共射 B. 共集 C. 共基 D. 共源 E. 共漏

### 三、填空 (20 分)

1. 放大电路和使用晶体管的输出特性如图所示, 设晶体管的  $U_{BEQ} = 0.7V$ , 电容的容量足够大, 对交流信号可视为短路, 并已知静态电流  $I_{CQ} = 3mA$ 。回答下列问题:

$$\frac{R_{b1}}{R_{b1}+R_{b2}}V_{CC} = U_{BEQ} + I_{BQ} \frac{R_{b1}R_{b2}}{R_{b1}+R_{b2}} + I_{EQ}R_e$$

$$R_{b1}V_{CC} = (R_{b1}+R_{b2})U_{BEQ} + R_{b1}I_{BQ}R_{b2} + (R_{b1}+R_{b2})I_{EQ}R_e$$

$$R_{b1}(V_{CC} - U_{BEQ} - I_{EQ}R_e) = I_{BQ}R_{b1}R_{b2}$$

$$= R_{b1}I_{BQ}R_{b2}$$

$$V_{BB} = \frac{R_{b1}}{R_{b1}+R_{b2}}V_{CC}$$

$$R_b = R_{b1} // R_{b2}$$

(1) 估算电路静态工作点及相关电阻值 (先填符号表达式, 再填数值计算结果)

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c - \frac{1+\beta}{\beta}I_{CQ}R_e \approx 3V$$

$$R_{b1} \approx \frac{R_{b2}U_{BEQ} + I_{EQ}R_e R_{b2}}{V_{CC} - U_{BEQ} - I_{EQ}R_e} \approx 32.43k\Omega$$

(2) 估算最大不失真输出电压有效值 (先填符号表达式, 再填数值计算结果)

$$U_{om} = \frac{1}{\sqrt{2}} \min \{ U_{CEQ} - U_{BEQ}, I_{CQ}(R_c + R_e) \} = 1.626V$$

(3) 为获得尽可能大的不失真输出电压,  $R_{b2}$  应 增大 (填增大、减小);

(4) 若  $C_e$  开路, 中频电压放大倍数  $|A_{um}|$  将 减小,  $R_1$  将 增大,

$R_o$  不变 将 (填增大、减小、不变);

(5) 对放大电路下限截止频率  $f_L$  起决定性作用的电容为  $C_e$  (填  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_e$ );

(6)  $R_{b1}$  增大,  $|A_{um}|$  将 增大, 上限截止频率  $f_H$  将 减小 (填增大、减小、不变)。设参数变化时晶体管始终工作在放大区。

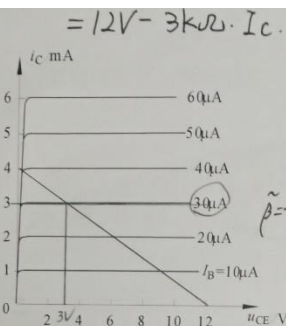
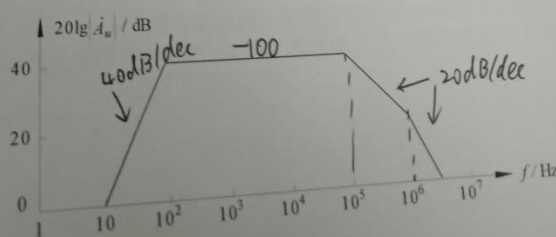
2. 已知某放大电路中频时的电压放大倍数小于零, 其波特图如图 5 所示, 填空:

(1) 电路的下限截止频率  $f_L \approx 156$  Hz。上限截止频率  $f_H \approx 1 \times 10^5$  Hz。

(2) 当  $f=100$ Hz 时,  $A_u$  相对于中频时的相移为 +90 度。

(3) 电路的电压放大倍数的表达式为

$$A_u = \frac{-100}{(1 + \frac{jf}{156})(1 + j\frac{f}{10^5})(1 + j\frac{f}{10^6})}$$



$$\beta = \frac{3mA}{30\mu A} = 100$$



#### 四、(8分) 解答下列各题

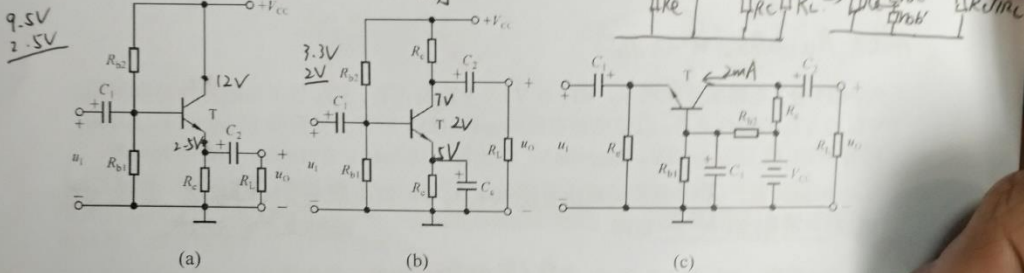
$$C_{\pi}' = \frac{g_m}{2\pi f_T} = \frac{122.42\mu F}{2\pi \cdot 100\text{MHz}} = 1.26\text{k}$$

下图所示各电路中, 已知  $V_{CC}=12\text{V}$ ,  $R_c=R_e=R_L=2.5\text{k}\Omega$ ,  $R_{b1}=10\text{k}\Omega$ , 静态时  $I_{CQ}=2\text{mA}$ 。  
所有晶体管的  $\beta=200$ ,  $r_{bb}=100\Omega$ ,  $C_{\mu}=0$ ,  $f_T=100\text{MHz}$ 。

1. 中频时, 电压放大倍数最小的电路是 (a); 输入电阻最大的电路是 (a);  
输入电阻最小的电路是 (c); 输出电阻最小的电路是 (a); 最大不失真输出  
电压幅度最大的电路是 (a)。

2. 电流放大倍数  $A_i = i_o / i_i$  的上限截止频率  $f_H$  最大的电路是 (c) (其中  $i_i$ 、 $i_o$  为晶体管的输入、输出电流), 该上限截止频率为 (先填表达式再填计算结果)

$$f_H \approx \frac{1}{2\pi C_{\pi}' (r_{be} // (R_{b1} + R_e))} = 1.000\text{MHz}$$



#### 五、(12分) 解答下列各题

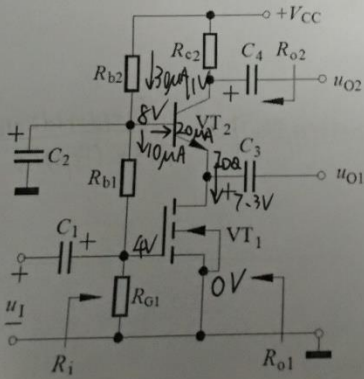
放大电路如图所示, 已知电源电压  $V_{CC}=15\text{V}$ ,  $VT_1$  的  $U_{GS(th)}=2\text{V}$ ,  $I_{DQ}=I_{D0}=2\text{mA}$ ,  $VT_2$  的  $\beta=100$ ,  $U_{BEQ}=0.7\text{V}$ ,  $r_{bb}=300\Omega$ ,  $R_{b1}=400\text{k}\Omega$ ,  $R_{c2}=2\text{k}\Omega$ ,  $R_{G1}=400\text{k}\Omega$ , 各电容对交流信号均可视为短路。解答下列各题。

1. 估算静态工作点  $I_{CQ2}$ 、 $U_{CEQ2}$ 、 $U_{GSQ1}$ 、 $U_{DSQ1}$ :  $I_{CQ2} = \frac{\beta}{1+\beta} I_{EQ2}$

2. 画出交流等效电路;

3. 计算电压放大倍数  $A_{u1} = \frac{\dot{U}_{o1}}{\dot{U}_i}$ ,  $A_{u2} = \frac{\dot{U}_{o2}}{\dot{U}_i}$ ;

4. 计算输入电阻  $R_i$ , 输出电阻  $R_{o2}$ 。



$$= \frac{\beta}{1+\beta} I_{DQ1} = 1.98\text{mA} \approx 2\text{mA}$$

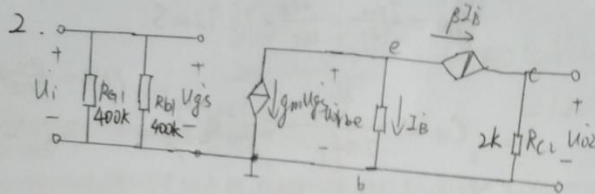
$$I_{BQ2} = \frac{I_{CQ2}}{\beta} = 20\mu\text{A}$$

$$U_{CEQ2} = V_{CC} - I_{CQ2} R_{c2} = 11\text{V}$$

$$I_{DQ1} = I_{D0} \left( \frac{U_{GSQ1}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2 \Rightarrow U_{GSQ1} = 4\text{V}$$

$$\begin{cases} V_{BB} = U_{BEQ} + I_{BQ2} R_b \\ R_b = \frac{R_{b1} // R_{b2}}{(R_{b1} + R_{b2})} \\ V_{BB} = \frac{R_{b1} + R_{G1}}{R_{b1} + R_{G1} + R_{b2}} V_{CC} = 10\mu\text{A} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow U_{DSQ1} &= \Rightarrow U_{BQ2} = 8\text{V} \\ \Rightarrow R_{b2} &= \frac{V_{CC} - R_{b2}}{I_{BQ1} + I_{BQ2}} = 13\text{k}\Omega \end{aligned}$$



$$3. g_m = \frac{2}{U_{GS(th)}} \sqrt{I_{DSS} I_{DQ}} = 2 \text{ mS}$$

$$r_{be} = r_{bb'} + (1+\beta) \frac{U_T}{I_{EQ}} = 1.6 \text{ k}\Omega$$

$$R_{i2} = \frac{r_{be}}{1+\beta} = 15.84 \Omega$$

$$A_{u1} = -g_m R_{i2} = -3.168 \times 10^{-2}$$

$$A_{u2}' = \frac{\beta R_{C2}}{r_{be}} = 125$$

$$A_{u2} = A_{u1} \cdot A_{u2}' = -3.96$$

$$4. R_i = R_{G1} // R_{G2} = 200 \text{ k}\Omega$$

$$R_o = R_{C2} = 2 \text{ k}\Omega$$

六、(17分) 电路如下图所示,  $VT_1$  与  $VT_2$ 、 $VT_3$  与  $VT_7$ 、 $VT_8$  与  $VT_9$  的特性分别相同,  $VT_4$  与  $VT_6$  的特性互补。已知电源电压  $\pm V_{CC} = \pm 18 \text{ V}$ , 所有晶体管的  $U_{BEQ} = 0.7 \text{ V}$ 、 $\beta = 100$ , 所有 JFET 的  $U_{GS(off)} = -3 \text{ V}$ 、 $I_{DSS} = 4 \text{ mA}$ 。恒流源  $I_1 = 0.5 \text{ mA}$ 、 $I_2 = 1 \text{ mA}$ 。回答下列问题:

1. 电路由 3 级放大电路组成。  $VT_1$  与  $VT_2$  组成 单输入单输出 电路,  $VT_3$  组成 共射放大 电路。

2. 填空:  $VT_8$  与  $VT_9$  组成 镜像电流源 电路, 其作用是

作为差分放大电路有源负载, 提高放大能力

$VD_1$ 、 $VD_2$  与  $R_6$  的作用是 为互补输出级设置静态, 消除交越失真

恒流源  $I_1$  的作用是 为差分放大电路设置静态发射极电流, 抑制共模信号

恒流源  $I_2$  的作用是 为  $VT_3$  共射放大电路设置集电极静态电流, 并作为有源负载提高放大能力

3. 已知所有晶体管的发射结动态电阻  $r_{be}$  和输出电阻  $r_{ce}$ ,  $VT_1$  与  $VT_2$  的输出电阻  $r_{ds1}$ ,  $VD_1$  与  $VD_2$  的微变等效电阻  $r_{di}$ , 其中  $i$  为管子序号。设恒流源  $I_1$  和  $I_2$  的动态电阻无穷大。写出  $u_i$  为正半周时的差模电压放大倍数  $A_{ud}$  的表达式 (仅填各级放大电路的电压放大倍数的乘积的符号表达式, 不要化简) 和输入电阻表达式。

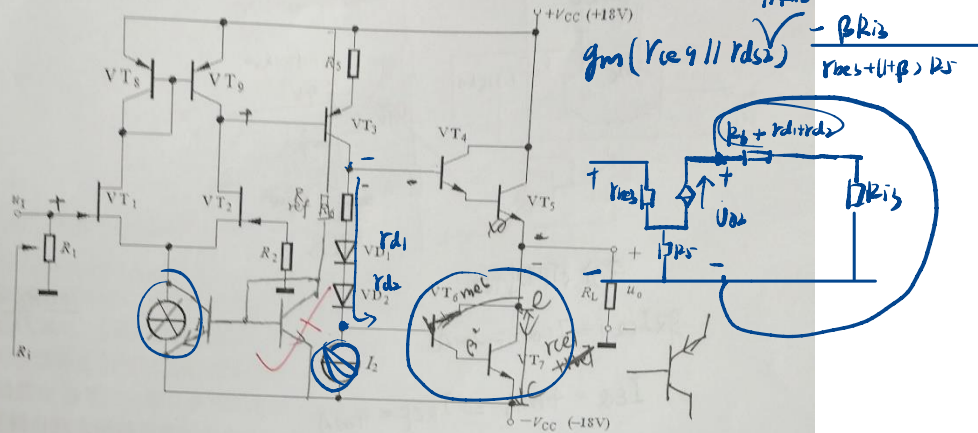
$$A_{ud} = \left( \frac{1}{2} g_m \right) \left( r_{ce1} // r_{ds2} // (r_{be3} + (1+\beta) R_{C1}) \right) \times \left( \frac{\beta R_{C2} + r_{ds6} + r_{ds7} + (1+\beta) U_T / I_{EQ}}{r_{be3} + (1+\beta) R_{C1}} \right)$$

$$\times \frac{(1+\beta^2) (R_{C2} // R_L)}{r_{be6} + (1+\beta^2) (R_{C2} // R_L)}$$

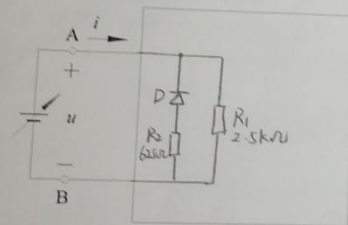
$$R_i = R_{G1} // R_{G2}$$

A

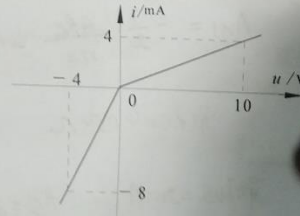
4. 请设计一个电路代替恒流源  $I_1$ ，画出图来，要求增加的元器件的数量和种类都尽可能少。不要求计算。



七、(4分) 下图(a)方框中是一个由理想二极管和电阻组成的电路，它的外部电压、电流符合图(b)所示的伏安特性。请画出方框中的电路(电阻值要标明)，并进行分析计算，要求电路所用元件数量最少。



(a)



(b)

$$\begin{aligned} u > 0 \quad R &= 2500\Omega & \frac{1}{500} \\ u < 0 \quad R &= 500\Omega & \frac{1}{2500} \end{aligned}$$

八、(6分) 已知脉搏信号为幅值为 10mV、频率为 50Hz~150Hz 的信号，为了放大该信号，请设计一个单电源供电的放大电路将脉搏信号不失真地放大为幅值大于等于 1V 的信号，并滤除干扰信号。可选择的元件为 NPN 晶体管 ( $\beta=200$ ,  $U_{BE}=0.7V$ ,  $r_{be}=100\Omega$ )、N 沟道 JFET ( $U_{GS(off)}=-4V$ ,  $I_{DSS}=9mA$ )、电阻、电容、+12V 电源，电阻和电容值可选。

1. 请画出具体电路，标明元件参数；
2. 计算必要的静态和动态参数，并说明电路如何实现所需功能。