

一、选择题

1、两 NMOS 管构成的基本线性电流镜，既可以传输直流静态电流，也能传输交流小信号变化电流，同一电流镜中这两种电流传输比的关系为：

A、直流传输比相对较大； B、交流传输比相对较大； C、交直流传输比相同

2、差分运放构成的单位负反馈电压跟随器，其负载驱动能力增强，从阻抗的观点看，该闭环系统的输出阻抗相对原开环运放输出阻抗的变化关系为：

A、闭环输出阻抗变大； B、闭环输出阻抗变小； C、闭环输出阻抗不变

3、工作在饱和恒流区的 MOS Diode 二极管，可以看作

A、近似恒压源； B、近似恒流源； C、线性直流导通电阻

4、对于电压模带隙基准电路，其输出(无缓冲驱动)提供的基准电压近似为 1.2V，如在电路同一输出支路的不同电阻位置处输出的 0.9V 电压，则该电压的温度系数为

A. 近似零温度系数； B. 正温度系数； C 负温度系数。

5、设NMOS管的栅源电压从 V_{DD} 下降到GND，则MOS管依次经历的工作区域为

A. 强反型区、截止区、亚阈区； B 弱反型区、强反型区、截止区域

C. 强反型区、弱反型区、截止区

以上 5 题的选择分别为：

1、 C 2、 B 3、 A 4、 C 5、 C

二、简答题

1、简要说明 MOS Diode 的结构与功能特点。（3 分）

答：MOS Diode 的结构为 MOS 管得栅极和漏极短路。 1 分

MOS Diode 功能：交流电阻小，为近似恒压源。 1 分

V_{GS} 电压近似箝位，电平移位 1 分

2、两路自偏置电路中的电阻起何作用，产生的偏置电流有何特点？（3 分）

答：自偏置电路中的电阻起电路电流定义的作用，具有构造非线性电流镜的作用。 2 分

产生偏置电流的特点：近似与电流电压无关，但与温度有关。 1 分

3、采用非差分输入（单端输入）的电路结构能否实现迟滞比较功能，说明理由。（3 分）

答：能够实现。 1 分

迟滞比较器有两种工作方式：外部反馈方式和内部反馈方式。

在内部反馈方式中，用 CMOS 迟滞比较器可实现迟滞比较功能。其电路在普通倒相

器的基础上加上 PMOS、NMOS 和选择导通管，从而根据输出状态改变普通倒相器两端的电压，实现迟滞比较功能。 2 分

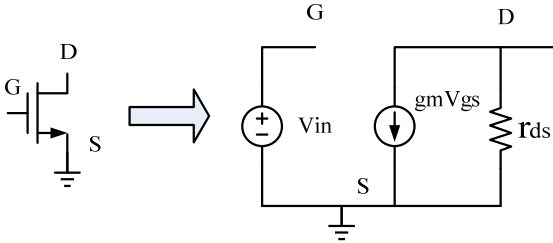
4、什么是 Miller 电容，说明两级 CS 放大器中 Miller 电容补偿的基本原理。（3 分）

答：在反相放大电路中，跨接输入与输出之间的电容（含寄生电容）为米勒电容 1 分
由于放大器的作用，其等效到输入端电容值扩大 $1+A$ 倍，输出端电容值为 $1+1/A$ 倍。

在两级 CS 放大器中，两个极点在相近的位置，使电路的相位裕度变差。加上 Miller 电容补偿后，前一级的极点变小（电容变大），后级极点变大（阻抗小），两极点分离，从而改善相位裕度。 2 分

三、作图分析题

1、画出 MOS 管低频交流小信号的等效电路，说明 MOS 放大管与 MOS 负载管交流等效电路的区别。

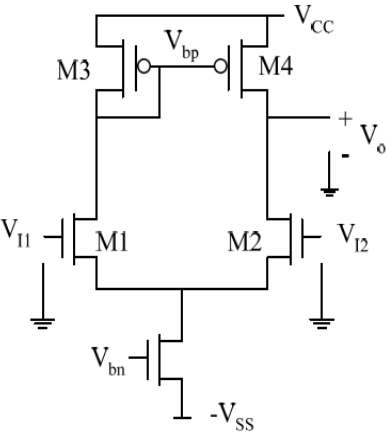


2 分

区别：放大管中， V_{in} 不为零，为三端口网络，主体电压控制电流源； 1 分

MOS 负载管 V_{in} 为零，则 MOS 管等效为一个交流电阻 1 分

2、画出 5 管差分对电路结构（单端输出），说明尾电流管对共模和差模信号的作用。



电路图 2 分

尾电流对差模信号虚接地；对共模信号相当于在 M1、M2 源端加一个大电阻，从而使共模放大倍数减小，以提高电路的共模抑制比。 1 分

输入共模范围变化时，源电位跟随栅共模电平， V_{GS} 恒定，静态点不变，共模范围变宽或扩展。 1 分

四、证明题

- 1、采用时域或频域分析方法，证明奇数级环振的最小延迟单元级数为 3 级，并且随着奇数级环振延迟单元级数的增加（延迟单元相同），振荡频率下降。

证明：对于环振结构，每一个倒相器的移位最多为 90 度。对于奇数的环振，总的相位移为 $(2k+1)\pi$ 是才能够震荡。所以最小的延迟单元数为 3 级。

若每个相移角度相等，每一级的相移角为 $180/k$ 度，所以随着奇数级环振延迟单元级数的增加，振荡频率下降。

2-3 步骤，酌情扣分

- 2、对于电压模带隙基准，若输出支路中串联两个 PN 结，则基准电压近似为 2.5V。

证明：对于电压模带隙基准，一个 PN 结时：

$$\begin{aligned} V_{\text{ref}} &= V_{\text{BE}} + kV_T \approx V_{\text{BE}}(T_0) + kV_{T0} \\ V_{\text{ref}}(T_0) &= 600\text{mV} + 23 \times 26\text{mV} \approx 1.2\text{V} \end{aligned} \quad (\text{要说明 23 的由来，但本科不扣分})$$

两个 PN 结时： $V_{\text{ref}} = 2V_{\text{BE}} + 2kV_T \approx 2.5\text{V}$ 3-4 步，酌情扣分

五、计算题（总计 12 分）

- 1、宽长比分别为 $(W/L)_{M1} = 5\mu\text{m}/0.5\mu\text{m}$, $(W/L)_{M2} = 10\mu\text{m}/5\mu\text{m}$ 的两个同类型 MOS 管，相互串联构成一个等效复合管，求复合管的等效宽长比，与原来的两个单管相比，等效复合管的交流输出阻抗有何变化。（3 分）

解：等效的宽长比为
$$\frac{(W/L)_{M1} \times (W/L)_{M2}}{(W/L)_{M1} + (W/L)_{M2}} = \frac{20}{12} \quad 2 \text{ 分}$$

等效复合管的交流输出阻抗变大， $r = r_1 + r_2 + r_1 g_{m2} r_2 > r_1 + r_2$ 1 分

2、已知某 $0.5\mu\text{m}$ CMOS 工艺中的工艺因子 $k_n' = 100\mu\text{A}/\text{V}^2$ 、单位沟长下的厄利电压为 $V_{\text{an}} = 10\text{V}/\mu\text{m}$ ，对于 N 型 CD 电压跟随器（采用有源负载），电路静态电流为 $10\mu\text{A}$ ，电路在静态及动态条件下均保持在饱和恒流的工作模式，忽略衬偏效应，求：

- 1)、若放大管和负载管的过驱动电压均为 $\Delta = 0.2\text{V}$ ，两管的 W/L 为多少；（3 分）
- 2)、若电路在空载或容性负载驱动下，达到 0.99 以上的跟随效果，两管的沟道长度应为多少（取相同沟长）；（3 分）
- 3)、若以上工作条件和参数设置保持不变，要求电路保持 0.90 以上的跟随特性，则

该电路能够驱动的最小负载电阻是多少。

(3 分)

解: 1)
$$I = \frac{1}{2} k_n' \cdot \frac{W}{L} \Delta^2 \rightarrow \frac{W}{L} = \frac{I}{\frac{1}{2} k_n' \cdot \Delta^2} = \frac{10\mu}{\frac{1}{2} \times 100\mu \times (0.2)^2} = 5$$

2) CD 电压跟随器中,
$$A_v = \frac{g_m}{2g_d + g_m}$$

$$g_m = \sqrt{2kI} = \sqrt{2 \times 100\mu \times 5 \times 10\mu} = 10^{-4} \Omega^{-1}$$

$$\therefore A_v = \frac{g_m}{2g_d + g_m} \geq 0.99$$

$$\therefore R_s = \frac{V_{an} \cdot L}{I} \geq 2 \times 10^6 \Omega \rightarrow L = 2\mu m$$

3) 因要求电路保持 0.90 以上的跟随特性,
$$A_v = \frac{g_m}{g_m + 2g_d + \frac{1}{R_L}} \geq 0.9$$

所以最小的负载电阻为:
$$R_L = \frac{1}{10^{-5}} \Omega = 10^5 \Omega$$