

《电子电路与系统基础 II-非线性电路》期末考试 2021.1.2

班号：

学号：

姓名：

- 一、填空题 (52 分, 答案写在答题纸上。如果是选择填空, 可选项在 () 后的 <> 中挑选):
- 1、器件和元件的关系可以描述为: 一定条件下, 实际 (❶) 可以用多个 (❷) 的网络连接关系描述其实际电特性。
 - 2、分段折线模型中, PN 结的 (❶) 特性被建模为 (❷), (❸) 特性被建模为 (❹), (❺) 特性被建模为 (❻)。
 - 3、某单端口非线性电阻具有如下伏安特性关系,
$$i = \begin{cases} 0 & v < V_{TH} \\ \beta(v - V_{TH})^2 & v \geq V_{TH} \end{cases},$$
 其中 i 和 v 是该单端口电阻的端口电流和端口电压, β 和 V_{TH} 则是工艺参量 (均为大于 0 的常数)。显然 β 的单位为 (❶)。已知加载在该电阻上的直流电压 $V_0 = 3V_{TH}$, 那么该直流工作位置的微分电阻为 (❷)。
 - 4、MOS 晶体管的沟道是受控的非线性电阻, 可以和其他电阻形成电阻分压电路, 利用晶体管的受控非线性电阻特性, 使得输出的电阻分压随输入信号的变化而变化, 则会形成输入电压到输出电压的转移特性关系。现用戴维南电压源 (v_s, R_s) 驱动三种组态的理想晶体管 (不考虑厄利效应, 不考虑寄生效应), 以 R_L 为其负载电阻: 对于 CS (共源) 组态, 输入输出电压转移特性曲线斜率为 (❶) <正/负>, 变化最为陡峭的区域位于晶体管的 (❷) 区, 在此工作区实现的交流小信号放大器为 (❸) <同相/反相> 放大器, 其微分电压增益为 $A_{v,CS} =$ (❹); CD (共漏) 组态的转移特性曲线斜率为 (❺), 实现的交流小信号放大器为 (❻) 放大器, 其微分电压增益为 $A_{v,CD} =$ (❼); CG 组态的转移特性曲线斜率为 (❽), 实现的交流小信号放大器为 (❾) 放大器, 其微分电压增益为 $A_{v,CG} =$ (❿), 式中的 g_m 为晶体管的微分跨导增益。
 - 5、负反馈放大器的电路分析流程如下: a、判断负反馈连接关系, 确定受控源类型。例如当判定为并串负反馈连接方式时, 则判定负反馈放大器将形成接近理想的 (❶); b、求反馈系数。对并串负反馈连接方式, 反馈网络端口 2 接 (❷) 激励, 端口 1 测 (❸), 获得 (❹) 反馈系数; c、求开环放大器参量。放大网络画一遍, 反馈网络画两遍, 对并串负反馈连接方式: 画在端口 1 位置的反馈网络, 和放大网络在端口 1 (❺) 连接, 其端口 2 (❻); 画在端口 2 位置的反馈网络, 和放大网络在端口 2 (❼) 连接, 其端口 1 (❽)。其后, 对此开环放大器, 求其输入电阻、输出电阻、及本征 (❾) 增益为其开环增益; d、求闭环放大器参量。首先获得环路增益 T 等于开环增益和反馈系数之积, 对并串负反馈连接方式, 闭环放大器的输入电阻是开环放大器输入电阻的 (❿) 倍, 输出电阻是开环输出电阻的 (⓫) 倍, 闭环增益是开环增益的 (⓬) 倍, 在深度负反馈条件 $T \gg 1$ 满足前提下, 闭环增益可直接取反馈系数的倒数即可。
 - 6、差分放大器工作原理可以用平衡电桥原理进行阐释如下: 当输入信号为同上同下同升同降的 (❶) 信号时, 理想差分放大器两条支路对应电阻完全对称相同, 属 (❷) 电桥, 故而桥中看不到任何信号, 这就是差分放大器的 (❸) 特性; 而当输入信号为一上一下一升一降的 (❹) 信号时, 差分放大器两条支路的晶体管 (受控电阻) 由于控制信号不同而阻值不同,

属 (5) 电桥, 故而桥中看得到信号, 最终将形成差分放大器的 (6) 特性。

7、对于图 1a 所示负阻特性的 S 型负阻对接电容 C, 请在 (7) 处画出如图 1b 所示格式的电容 C 上的状态变量 $v_C(t)$ 的张弛振荡波形图, 显然该张弛振荡的振荡频率为 (8)。

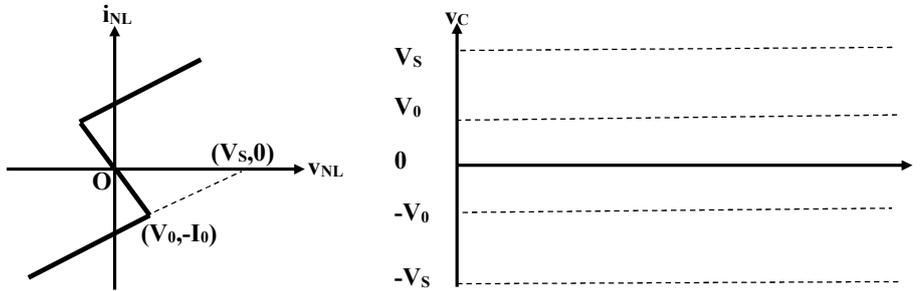


图 1(a) S 型负阻伏安特性曲线

(b) 电容电压张弛振荡波形图

8、对于图 2 所示的晶体管放大器, 为了简化分析, 假设晶体管是理想晶体管, 即其电流增益 β 和厄利电压 V_A 均为无穷大。在此假设条件下, 画出该电路的交流小信号分析电路模型如图 (9), 其中大的耦合电容和旁路电容均做了高频短路处理。根据该模型, 如果期望该放大器的交流小信号电压增益为 $A_v = \frac{v_L}{v_S} = -100$, 则晶体管跨导增益 g_m 应大体如是取值 $g_m \approx$

(10) = (11) (连等空时, 第一空填符号公式, 第二空填数值结果), 该跨导增益对应的直流电流要求为 $I_{C0} = (12) = (13)$; 为获得该直流电流, 要求晶体管基极电压为 $V_{B0} = (14) = (15)$; 故而电阻 R_{B2} 的取值为 $R_{B2} = (16) = (17)$ 。如果确知图中三个耦合电容和旁路电容都是 $1\mu\text{F}$ 电容, 那么该放大器增益的低频端 3dB 频点为 $f_{13dB} = (18) = (19)$ Hz。

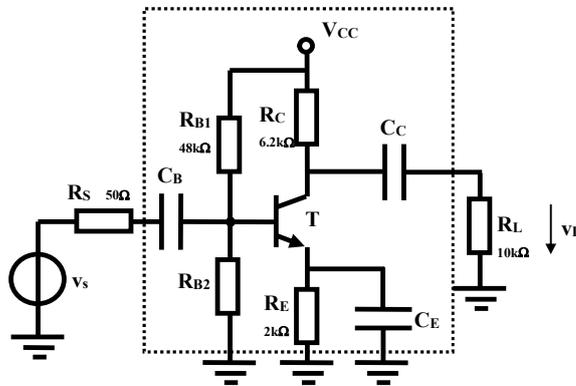


图 2 BJT 晶体管放大器

9、某 BJT 晶体管因考虑寄生电容效应, 其交流小信号电路模型用 h 参量在相量域描述时是复数矩阵, 由于在某频点上该放大器具有高于 1 的功率增益, 说明该模型是有源网络, 那么该模型的复数 h 参量矩阵必有如下特性: (20)

10、如图 3 所示为两级级联 CMOS 放大电路。第一级差分对管 M_1 、 M_2 提供差分跨导放大, M_3 、 M_4 电流镜实现双端转单端输出; 第二级输出级放大管 M_6 提供 CS 组态的跨导放大。电流镜电路 M_8 - M_7 为第一级差分对管提供直流偏置, 电流镜电路 M_8 - M_5 为输出级放大管 M_6 提供直流偏置。已知图中晶体管的阈值电压 $V_{THp} = 0.6\text{V}$, $V_{THn} = 0.5\text{V}$, 工艺参量 $\mu_p C_{ox} = 200\mu\text{A}/\text{V}^2$, $\mu_n C_{ox} = 500\mu\text{A}/\text{V}^2$, 电源电压 $V_{DD} = 5\text{V}$ 。已知晶体管的宽长比为

$\left(\frac{W}{L}\right)_{8,7,1,2,3,4} = 10$ 和 $\left(\frac{W}{L}\right)_{5,6} = 40$, 设计要求输出级直流偏置电流 $I_{5,0} = 1\text{mA}$, 那么应设置 M_8 晶体管的控制电压 $V_{SG8} = (\text{①}) = (\text{②})\text{V}$ (连等式第一空填符号公式, 第二空填具体数值), 即要求偏置电阻 $R = (\text{③}) = (\text{④})\text{k}\Omega$ 。经分析, 输入共模电压必须低于 $(\text{⑤}) = (\text{⑥})\text{V}$ 时才能确保 M_7 晶体管工作于恒流区以提供恒流偏置。前述直流分析不考虑厄利效应以快速获得分析结果, 但下面的交流小信号分析时则需考虑厄利效应, 并取厄利电压分别为 $V_{Ap} = 50\text{V}$, $V_{An} = 60\text{V}$ 以获得跨导放大器的电压增益。首先记过驱动电压 $V_{odk} = V_{SGk} - V_{THk}$ (PMOS) 或 $V_{odk} = V_{GSk} - V_{THk}$ (NMOS), $k = 1, 2, \dots, 8$, 下面连等式第一空填写符号公式时, 均应以适当的 V_{odk} 为中间变量表述电压放大倍数。现假设输入共模电压使得所有晶体管均工作于恒流导通区, 那么第一级放大器电压放大倍数为 $A_{v1} = (\text{⑦}) = (\text{⑧})$, 第二级电压放大倍数为 $A_{v2} = (\text{⑨}) = (\text{⑩})$ 。

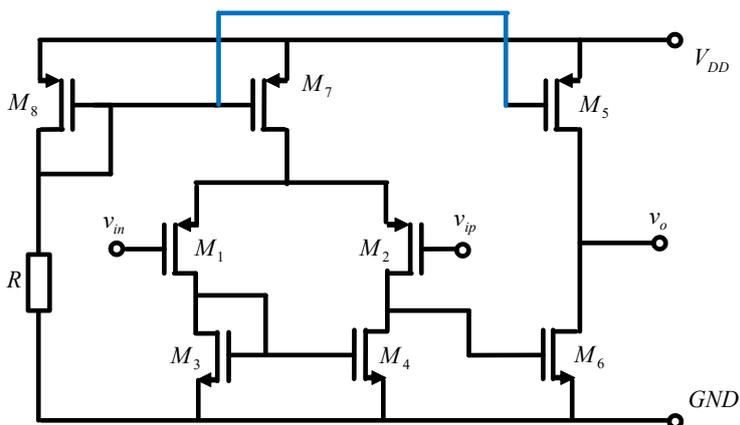


图3 CMOS 级联放大器

二、(14分) 一个最高位1检测逻辑电路检查3bit输入 $D_2D_1D_0$, 如果 $D_2 = 1$, 则输出 $V_1V_0 = 11$, 表明输入为1的最高位位于输入的最高位; 如果 $D_2 = 0, D_1 = 1$, 则输出 $V_1V_0 = 10$, 表明输入为1的最高位位于输入的次高位; 如果 $D_2D_1D_0 = 001$, 则输出 $V_1V_0 = 01$, 表明输入为1的最高位位于输入的最末位; 如果 $D_2D_1D_0 = 000$, 则输出 $V_1V_0 = 00$, 表明输入全0没有1存在。请给出该最高位检测1检测逻辑电路的设计:

- 画出真值表
- 画出卡诺图, 并给出逻辑表达式
- 画出用二输入与非门实现的门级逻辑电路
- 画出标准CMOS晶体管级逻辑电路

三、(17分) 如图4所示的负反馈放大电路, 假设两个晶体管都正常偏置在恒流导通区, 它们的微分跨导增益分别为 g_{m1} 和 g_{m2} , 晶体管为理想晶体管(不考虑厄利效应)。

- 请找到完整的闭合环路, 说明这是一个负反馈环路。
- 判断负反馈连接类型及形成的受控源类型。
- 分析反馈系数。
- 分析开环放大器输入电阻, 输出电阻, 开环增益。

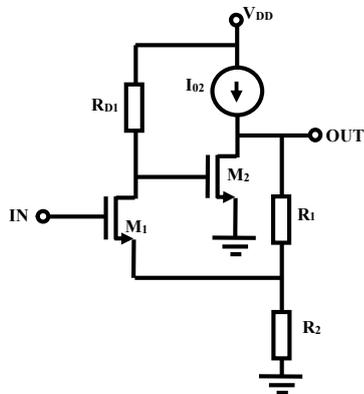


图4 负反馈放大电路

- e) 分析闭环放大器输入电阻，输出电阻，闭环增益，并给出环路增益 $T \rightarrow \infty$ 时的极端抽象结果。

四、（14分）对于图5所示电路，已知运放饱和区饱和电压为 $\pm V_{sat}$ ，输入阻抗无穷大，而线性区的电压增益无穷大。

- a) 左侧虚框以 v_1 （该点对地电压）为输入，以 v_2 （该点对地电压）为输出，分析获得输入电压输出电压转移关系方程。如果可以画出输入输出转移关系图，需画图进一步说明。
- b) 右侧虚框以 v_2 （该点对地电压）为输入，以 v_1 （该点对地电压）为输出，分析获得输入电压输出电压转移关系方程。如果可以画出输入输出转移关系图，需画图进一步说明。
- c) 左侧虚框电路和右侧虚框电路两个端口如图所示进行对接（每个端口的地端点默认连在一起），请画出 $v_1(t)$ 和 $v_2(t)$ 波形图，标记清楚波形图上的关键参量，如转折点对应幅度和时间等。

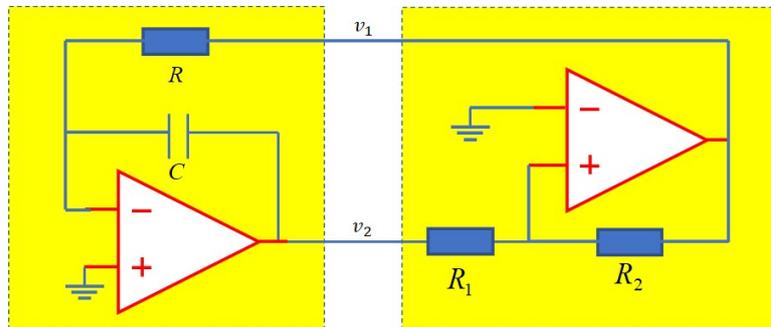


图5 某电路

五、（11分）图6所示为某哈特莱振荡器的简化分析模型，其中两个电感 L_1 和 L_2 之间的互感为 M ，振荡电路中除了负载 R_L 之外的所有能量损耗全部折合为并联在 L_2 电感两端的等效电阻 R_p 。请分析给出该振荡器模型的起振条件、振荡频率、以及对负载电阻 R_L 的限制条件。（注：本题分析时可以不考虑互感 M 以简化分析，无互感结果正确得满分11分，如果考虑互感 M 影响且分析正确则额外另加2分。）

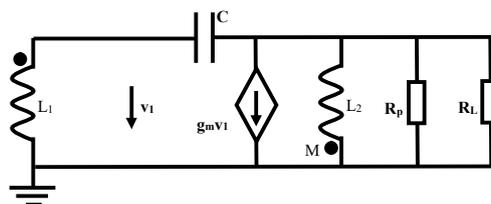


图6 哈特莱振荡器