

模拟集成电路设计实验

——第四次实验

信息科学技术学院

姓名：胡睿 PB17061124

实 验 报 告

评分：

信 院 系 17 级 姓名 胡 睿 日期 2021-01-08 NO. _____

【实验题目】 运算放大器核心电路前端设计

【实验目的】

1. 设计一个实用 CMOS 运算放大器开环核心电路；
2. 培养学生运用理论知识分析、结合 EDA 工具仿真技术，进行高增益运算放大器电路前端设计的能力。

【实验内容】

采用 smic 0.18um CMOS 混合工艺，设计一个差动输入、单端输出的运算放大器核心电路。限定 MOS 管采用 n18 和 p18, 电阻采用 rhrho (高阻 POLY), 电容采用 MIM; 仅仿真 27° 和 tt 工艺角。

完成 3 方面实验设计工作：

1. 实验前，参考给定的电路架构，进行工作点和器件参数初步设计；
2. 进行 Schematic 电路图编辑；
3. 通过采取适当的仿真方法，优化电路工作点设置和器件 W/L 参数设计，验证工作点和器件 W/L 是否可以满足主要的性能设计指标。

【设计指标】

电源电压 VDD: 1.8V;	直流增益 A_o : > 90dB;
单位增益带宽 f_u : ~80MHz;	负载电容 C_L : 2 pF;
输入电容 C_{in} : < 0.2pF;	相位裕量 PM: ~60° ;
转换速率 SR: > 25V/us;	输出摆幅: > CM (共模) 0.3V;
输入共模电压范围: ~ 0.7-- 1.3V;	功耗: <1.6mW;

【初步设计】

实 验 报 告

评分:

信 院 系 17 级 姓名 胡 睿 日期 2021-01-08 NO. _____

$$A_v = 90 \text{ dB} \quad BW = 80 \text{ MHz} \quad \text{Phase Margin } 60^\circ$$

$$V_{DD} = 1.8 \text{ V} \quad \text{摆幅 } \pm 0.3 \text{ V} \rightarrow 31.62278 \text{ k}$$

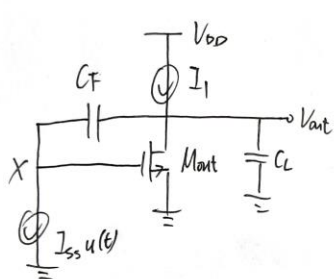
$$\text{共模电压范围 } 0.7 \sim 1.3 \text{ V} \quad \text{功耗 } < 1.6 \text{ mW}$$

$$\text{输入管 NM1 NM2 : } L = 0.8 \mu$$

$$\text{其他 : } L_n = 1 \mu \quad L_p = 0.8 \mu$$

$$\begin{aligned} \text{由实验1可得 } V_{thn} &= 418.445 \text{ mV} & g_{mn} &= 1134.09 \mu & \mu_n C_{ox} &= 324.661 \mu \\ V_{thp} &= 430.261 \text{ mV} & g_{mp} &= 241.425 \mu & \mu_p C_{ox} &= 67.0221 \mu \end{aligned}$$

$$I_D = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{gs} - V_{th})^2 = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} V_{DD}^2$$



$$I_1 = I_{Max} \geq I_{SS} + I_{SS} \frac{C_L}{C_F}$$

$$I_{pp5} \quad I_{DN7}$$

$$W_{p2} = \frac{g_{mn7}}{C_L}$$

$$W_2 \approx \frac{1}{C_L (R_2 - \frac{1}{g_{m7}})}$$

$$R_2 \geq \frac{1}{g_{m7}} \quad \text{取 } R_2 = \frac{2}{g_{m7}} = \frac{2}{1134.09 \mu} = 1.76353 \text{ k} \Omega$$

$$W_{p2} = W_2 \quad \frac{g_{mn7}}{2p} = \frac{g_{mn7}}{C_c} \quad C_c = 2p$$

$$\text{cascode SK: } SK_1 = \frac{dV_{o1}}{dt} = \frac{I_{c, \max}}{C_c} \approx \frac{I_{no}}{C_c} = \frac{I_{SS}}{C_c}$$

$$SK_1 = 25 \text{ V}/\mu\text{s} \quad I_{SS} = 25 \times 10^6 \times 2 \times 10^{-12} = 50 \mu$$

$$\text{即 } I_{DNO} = 50 \mu\text{A}$$

$$\text{最大信号频率 } f_{\max} = 31.62278 \text{ k}$$

$$\begin{aligned} I_{p5} &= 2 \times 31.62278 \text{ k} \times 0.6 \times 4p \\ &= 0.144 \mu\text{A} \end{aligned}$$

$$\text{取最大值, 故 } I_{DNO} = 50 \mu\text{A}$$

实 验 报 告

评分:

信 院 系 17 级 姓名 胡 睿 日期 2021-01-08 NO. _____

由以上计算结果为各个 Mos 管分配漏极电流

$$NM0: 50 \mu A \quad NM1,2: 25 \mu A$$

$$NM8,9: 50 \mu A \quad PM0: 50 \mu A$$

$$PM1,2: 50 \mu A \quad PM3,4: 25 \mu A$$

$$NM3,4,5,6: 25 \mu A$$

输入共模电压范围为 $0.7 \sim 1.3V$ 设为 $1V$

PM 管过驱动电压比 NM 管稍大一点, 电压摆幅 $> 0.6V$

$$\text{设 } V_{ODN} = 0.1V \quad V_{ODP} = 0.15V$$

由于输出的最小和最大电压分别为 $0.2V$ 和 $1.5V$, 因此输出共模电平 $0.8V$

$$NM3,4 \text{ 饱和} \quad V_j > V_m - V_{thn} \quad V_m < V_j + V_{thn}$$

$$NM5,6 \text{ 饱和} \quad V_m - V_j > V_b - V_j - V_{thn} \quad V_m > V_b - V_{thn}$$

$$PM3,4 \text{ 饱和} \quad V_x - V_m > V_x - V_b - V_{thp} \quad V_b > V_m - V_{thp}$$

$$PM1,2 \text{ 饱和} \quad 1.8 - V_x > 1.8 - V_{bp} - V_{thp} \quad V_x < V_{bp} + V_{thp}$$

$$V_m - V_{thp} < V_b < V_m + V_{thn}$$

$$\text{令 } V_m = 0.8V \quad \text{故 } V_b = 0.8V$$

$$\frac{W}{L} = \frac{2I_D}{\mu_n C_{ox} (V_{gs} - V_{th})^2}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{NM0} = \frac{100 \mu}{324.661 \mu \cdot 0.1^2} = 30.0801 = 30$$

$$\text{故 } W_{n0} = W_{n8} = W_{n9} = 30 \mu$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{NM1} = \frac{50 \mu}{324.661 \mu \cdot 0.1^2} = 15.04 = 15$$

$$\text{故 } W_{n1} = W_{n2} = 15 \mu$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{NM3} = \frac{50 \mu}{324.661 \mu \cdot 0.1^2} = 15.04 = 15$$

$$\text{故 } W_{n3} = W_{n4} = W_{n5} = W_{n6} = 15 \mu$$

实 验 报 告

评分:

信 院 系 17 级 姓名 胡 睿 日期 2021-01-08 NO. _____

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{PM0} = \left(\frac{W}{L}\right)_{PM1} = \left(\frac{W}{L}\right)_{PM2} = \frac{100\mu}{67.022\mu \cdot 0.13^2} = 66.31311$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{PM3} = \left(\frac{W}{L}\right)_{PM4} = \frac{50\mu}{67.022\mu \cdot 0.13^2} = 33.156$$

$$\text{故 } W_{p0} = W_{p1} = W_{p2} = 52.8 \mu = 50 \mu$$

$$W_{p3} = W_{p4} = 26.4 \mu = 30 \mu$$

在 schematic 电路图窗口中按照计算值修改各个参数并仿真

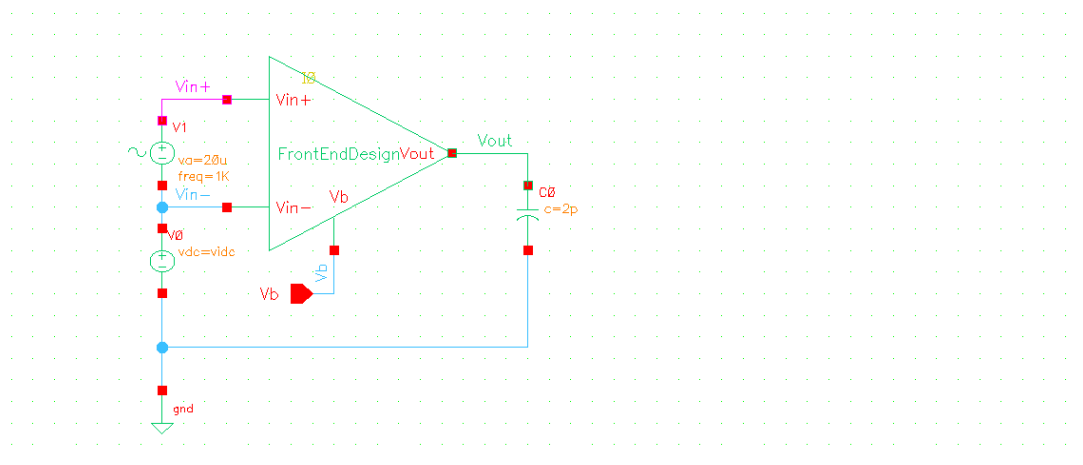
实 验 报 告

评分：

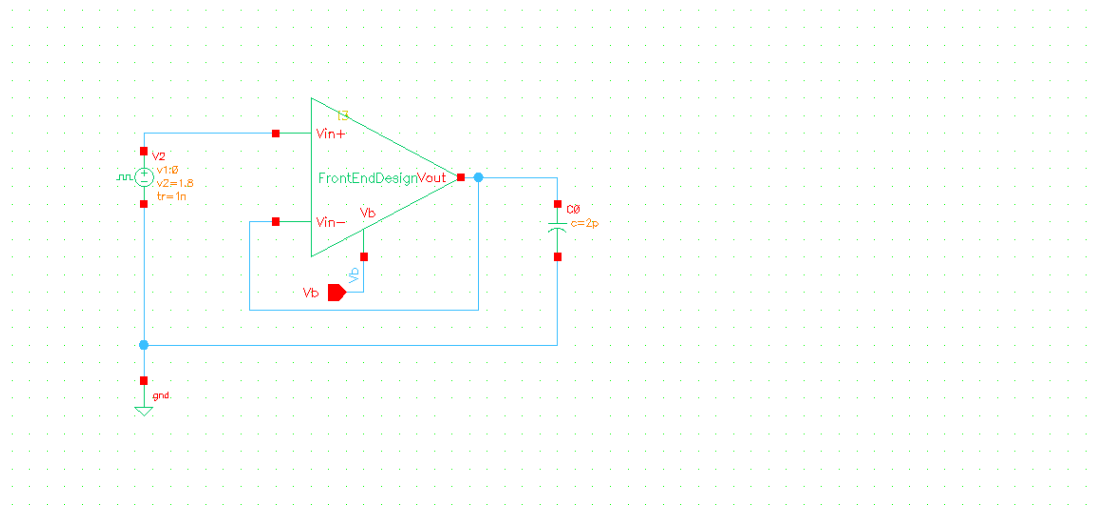
信 院 系 17 级 姓名 胡 睿 日期 2021-01-08 NO. _____

置在输出端口。

仿真增益和带宽的电路如下图所示：



仿真转换速率的电路如下图所示：

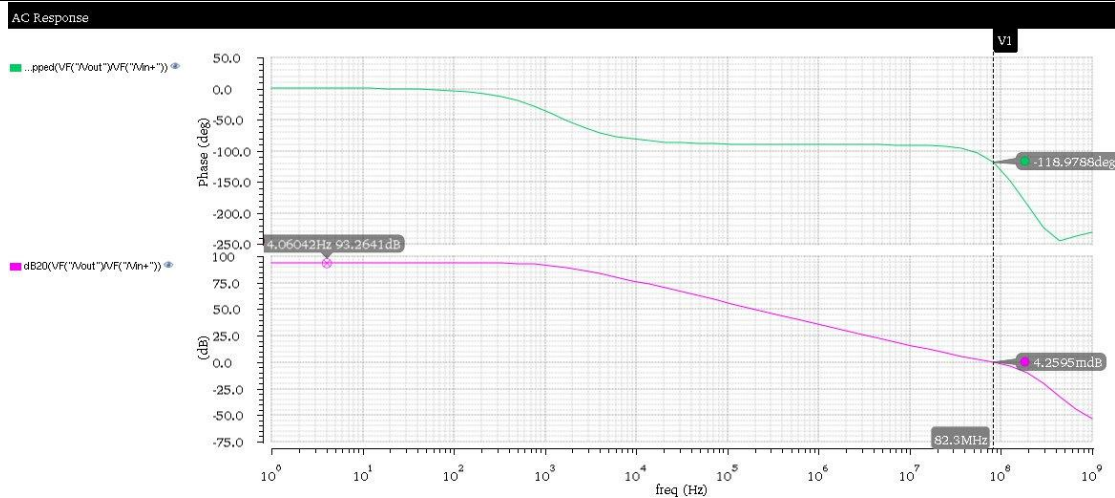


仿真得到直流增益、单位增益带宽和相位裕度如下图所示：

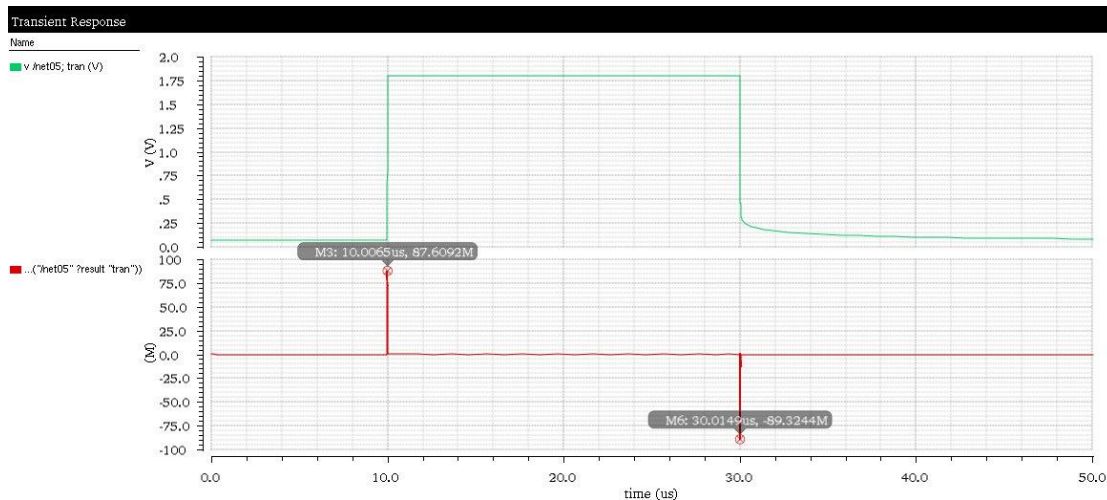
实 验 报 告

评分:

信 院 系 17 级 姓名 胡 睿 日期 2021-01-08 NO. _____



仿真得到电路转换速率如下图所示:



整理指标和仿真结果如下表所示:

指标		指标要求	仿真结果
直流增益		>90dB	93.2641dB
单位增益带宽		80MHz	82.3MHz
相位裕度		60°	61.0212°
转换速率	上升	>25V/us	87.6092M
	下降		89.3244M
输出摆幅		0.6V	1.166481V
电源电压		1.8V	
负载电容		2pF	
功耗		<1.6mW	0.36mW

实 验 报 告

评分：

信 院系 17 级 姓名 胡 睿 日期 2021-01-08 NO.

【实验收获】

- 1、复习了模拟集成电路设计的知识；
- 2、熟悉了模拟集成电路设计的流程；
- 3、设计了一个实用 CMOS 运算放大器开环核心电路；
- 4、锻炼了学生运用理论知识分析、结合 EDA 工具仿真技术进行高增益运算放大器电路前端设计的能力。
- 5、掌握使用 Calculator 工具进行电路频率特性分析、相位裕度以及噪声特性分析等模拟电路设计基本方法。