

模电实验1-2 晶体管单级放大器的分析

一、实验原理 (双极型晶体管的共射放大器)
(采用分压式电流负反馈偏置式)

$$V_T \approx 26mV$$

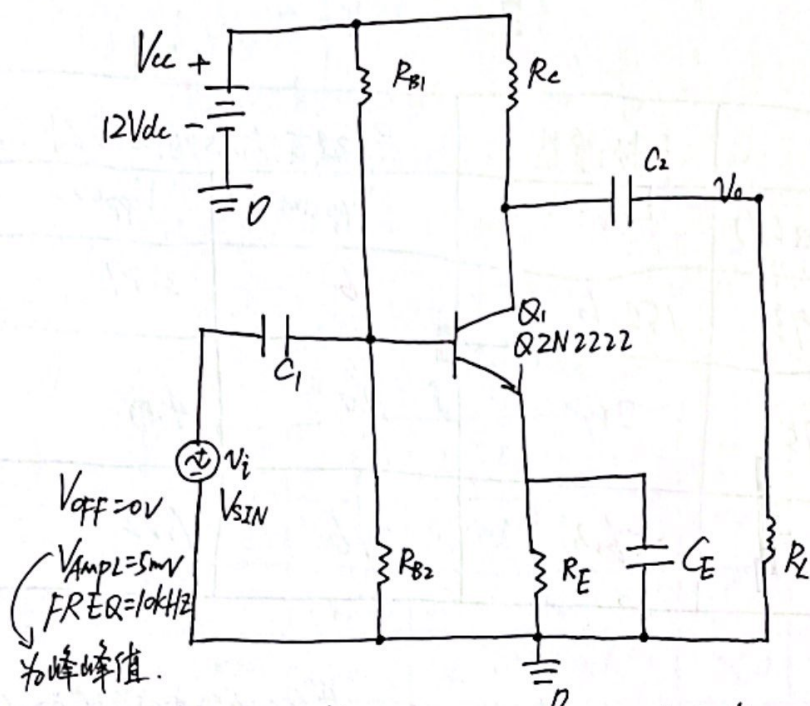
确定各元器件的参数:

$$\begin{aligned} \textcircled{1} R_C &= 2k\Omega & V_{CC} &= 12V \\ R_E &= 430\Omega & R_L &= 20k\Omega \\ R_{B1} &= 12k\Omega & R_{B2} &= 2.4k\Omega \\ C_E &= 180\mu F & C_1 &= C_2 = 33\mu F \end{aligned}$$

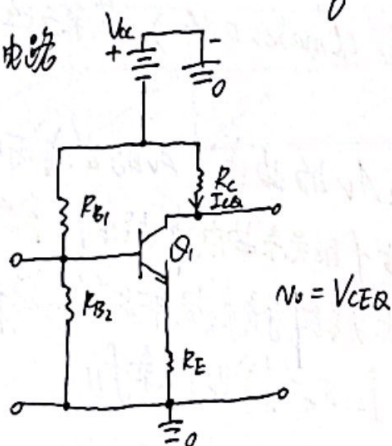
$$\textcircled{2} R_C = 7k\Omega$$

$$\textcircled{3} R_C = 3.3k\Omega$$

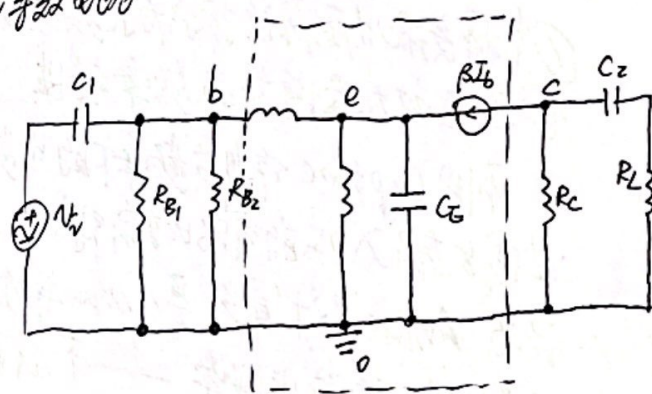
(R_C 可有多种取值, 使实验有不同长处)



直流等效电路



交流等效电路



分析静态工作点 I_{CQ} 、 V_{CEQ}

分析中频电压增益 A_v

二、实验内容与实验过程与数据的记录

- 瞬态分析: ① 利用 Capture 的静态(直流)电压与电流的电路参数分析的工具, 得到放大器的集电极静态电流 I_{CQ} 与晶体管的输出电压(静态) V_{CEQ} .
($V_{CEQ} = V_C - V_E$)
② 利用 Capture 对电路进行仿真, 得到交流输入、输出电压的波形图, 分别为 V_{ip} 与 V_{op} (取为峰峰值) 所对应的 V_i 与 V_o . 然后通过不断调节 V_i 的输入已经信号幅度, 从初始的 $1mV$ 逐渐加大, 直至 V_o 的波形图不再是上下波峰波谷的绝对值相差不好看的, 上下形状类似的一般正弦波时, 表明此时放大器放大作用失真. 得到此时所取的 V_{ip} 与 V_{op} 的峰峰值

即为最大不失真的输入输出范围。

③ 由于 V_{ipp} & V_{opp} 依然在放大器不失真的正常工作状态下, 于是利用此交流信号的输出输出的电压关系可以得到放大器的中频电压增益 A_v ($A_v = \frac{V_{opp}}{V_{ipp}}$)

④ 改变发射极偏置电阻 R_E 的值, 多次进行上述步骤, 分析放大器的工作特性。

数据记录和计算如下表:

射极电阻 $R_E(k\Omega)$	静态工作点		中频增益 A_v	最大不失真输入与输出范围	
	$I_{CQ}(mA)$	$V_{CEQ}(V)$		$V_{ipp}(mV)$	$V_{opp}(V)$
0.43	3.66	4.93	150.6	16	2.41
0.30	5.13	2.75	204	20	4.08
0.91	1.79	7.69	76.3	16	1.22

2. 交流扫描分析

先将交流电压源更换为扫频正弦电压源 V_{ac} (5mV, 0Vdc), 其余元件参数维持初始。

① 探究放大器增益的频率特性

利用 Capture 作出各频率下的中频增益 A_v 的曲线, A_v 的曲线可以由输出的电压曲线与输入电压曲线的比值得到, 在 A_v 与 f 的关系曲线中找到增益到达最大的峰值记为 A_{vmax} , 计算出 A_{vmax} 并在曲线上找到较小频率与较大频率各一个对应点, 分别对应两个截止频率——下截止频率 f_L 与上截止频率 f_H 。

② 放大器输入阻抗的频率特性

利用 Capture 作出输入阻抗与频率的关系曲线, 可用输入电压 V_i 的对频率的曲线与输入电流 I_i 对频率的曲线的比值即为输入阻抗, 在曲线上找出平台峰值(稳定直区域)即可确定为输入阻抗。(中频处)

③ 输出阻抗的频率特性

将放大器输入端的正弦交流电压源用导线短路, 而将负载 R_L 替换为 VAC 的电压源, 利用戴维南等效原理, 测量输出端(负载或者该外加 VAC 电源)的电流与电压对频率的关系曲线后, 作出电压/电流的比值即为输出阻抗的频率曲线, 找出曲线中的稳

二、实验内容与数据记录

1. 瞬态分析：① 测量 NMOS 放大器的静态工作点，利用 Capture 测出直流静态工作点的工具，得到漏极电流 I_{DQ} 和栅极电压 V_{GSQ} ，以及漏源电压 V_{DSQ} 的值。

② 固定其它电路元件的参数不变，将交流小信号电压源的幅值不断逐步调大，随时观察由 Capture 软件仿真出来的 v_o 的瞬时交流波形曲线，当曲线不再是一般的正弦曲线时或者观察到波形与波峰的绝对值相对差值大于 20% 时表明放大器放大作用失真，取此时的临界最大输入与输出的交流电压 V_{ipp} 与 V_{opp} 为最大不失真输入输出范围。

③ 利用 Capture 测出的输出电压 v_o 与输入电压 v_i 的比值即为中频电压增益 A_v 。

④ 改变源极偏置电阻 R_s 为不同值，再重复上述三项步骤，测得不同 R_s 下的不失真范围、静态工作点、 A_v 等情况。

源极电阻 $R_s(k\Omega)$	静态工作点			中频增益 A_v	最大不失真输入/范围	
	$V_{GSQ}(V)$	$I_{DQ}(mA)$	$V_{DSQ}(V)$		$V_{ipp}(mV)$	$V_{opp}(V)$
0.220	2.0061	3.545	4.8391	48.4	100	4.86
1.000	2.0061	3.545	4.8391	24.0	50	1.20
0.100	2.0061	3.545	4.8391	0.5	20	0.01

2. 交流扫描分析

① 利用 Capture 作出输出电压 v_o 与输入电压 v_i 对频率的关系曲线，同时将 v_o/v_i 作比的比值即为中频电压增益对频率 f 的关系曲线，取中频段增益取值为极大值 A_{vmax} ，在曲线上用为 $\frac{1}{2}A_{vmax}$ 的水平直线与 A_v-f 曲线相交得到一大一小两个频率的交点，即为上截止频率与下截止频率。

② 利用 Capture 作出输入电压与输入电流的比值关于频率的关系曲线，取中频处的取值即为输入阻抗。

③ 利用 Capture 作出输出电压与输出电流的比值对频率的关系曲线（此处是应用戴维南等效定理之后，将原有的正弦交流输入电压源短路，将负载替换为外加电压源，测量的是这个新外加电压源的两端电压与通过的电流），取中频段的比值即为输出阻抗。

④ 改变耦合电容、源极旁路电容的大小，发现截止频率与 C_1 、 C_2 的大小无绝对关系但与 C_2 的比值有关， C_2 的比值越小，截止频率越大；另外截止频率与 C_1 基本呈反比例关系。

主区域峰值即为放大器的输出阻抗(中频处)

④ 电容元件参数对放大器增益频率特性影响。

改变各电容的大小, 分别用 Capture 仿真计算出放大器的增益频率特性, 并利用与①中相同的方法找出下截止频率 f_L 。发现耦合隔直电容 C_1 、 C_2 的各自大小与截止频率无绝对关系, 与 f_L 有关的是 $\frac{C_1}{C_2}$ 的比值, 比值一定时, 放大器的增益频率特性不变, 而 $\frac{C_1}{C_2}$ 比值越大, f_L 越小, 反之则越大; 发现发射极旁路电容 C_E 越大, f_L 越小, C_E 越小, f_L 越大, 而且大致 C_E 与 f_L 呈反比例关系。

下面是有关交流扫描分析的实验数据记录 and 计算。

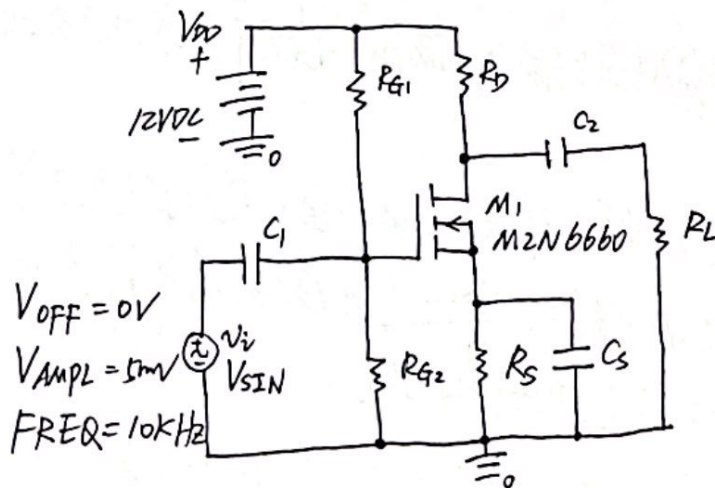
旁路与耦合电容			中频增益 A_v	截止频率		输入与输出阻抗	
$C_E(\mu F)$	$C_1(\mu F)$	$C_2(\mu F)$		$f_L(Hz)$	$f_H(MHz)$	$r_i(k\Omega)$	$r_o(k\Omega)$
220	47	47	152.5	99.53	15.033	0.920	1.4017
220	4.7	47		125.60			
220	47	4.7		100.35			
22	47	47		977.31			

三、实验结论

通过对双极型晶体管共射放大器的分析, 探究得到了如何调整合适的电容元件的参数使放大器工作在适合的稳定状态, 分析计算了放大器工作在放大区工作状态以及静态工作点。同时分析了放大器中中频增益的大小与射极电阻的关系, 以及不同射极电阻下不同的在保记放大器不失真的条件下最大能接受的交流小信号的幅值; 然后进行了交流扫描分析得到了中频增益的频率特性, 同时计算得到了放大器的输入以及输出阻抗参数, 发现了各电容大小对增益的截止频率的影响。加强了对放大器工作特性与原理的理解与把握。

选做实验 (绝缘栅型场效应管共源放大器分析) NMOS - 增强型

一、电路原理图



元件参数:

$V_{DD} = 12V$
 $R_{G1} = 430k\Omega$
 $R_D = 1.8k\Omega$
 $R_{G2} = 130k\Omega$
 $R_S = 220\Omega$
 $C_S = 62\mu F$
 $R_L = 10k\Omega$
 $C_1 = C_2 = 10\mu F$

旁路与耦合电容			中频增益	截止频率		输入/输出阻抗	
$C_S(\mu F)$	$C_K(\mu F)$	$C_2(\mu F)$	A_v	$f_L(Hz)$	$f_H(Hz)$	$r_i(k\Omega)$	$r_o(k\Omega)$
62	10	10	52.510	98.487	1.6144	100.975	1.7995
62	1	10		98.527			
62	10	1		100.287			
62	10	10		984.222			

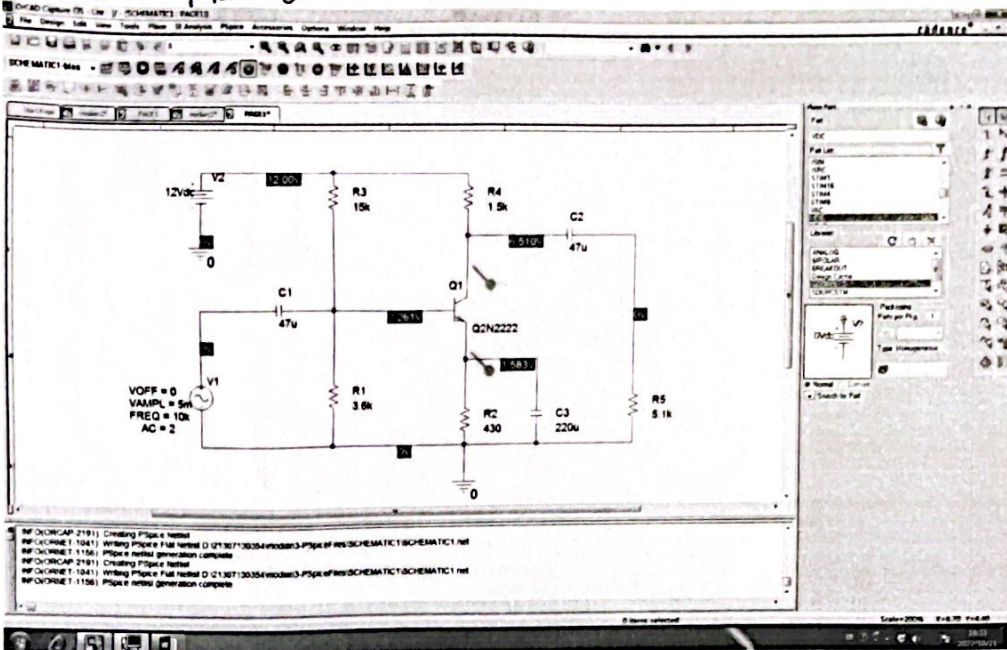
三、实验结论

分析验证了共源场效应管的放大器工作原理与特性, 进一步掌握与加深了理解对于NMOS管增强型共源放大器的直流静态工作点, 交流电压增益及其截止频率, 失真范围分析等。对放大器各类的相同与不同有了新的认识。

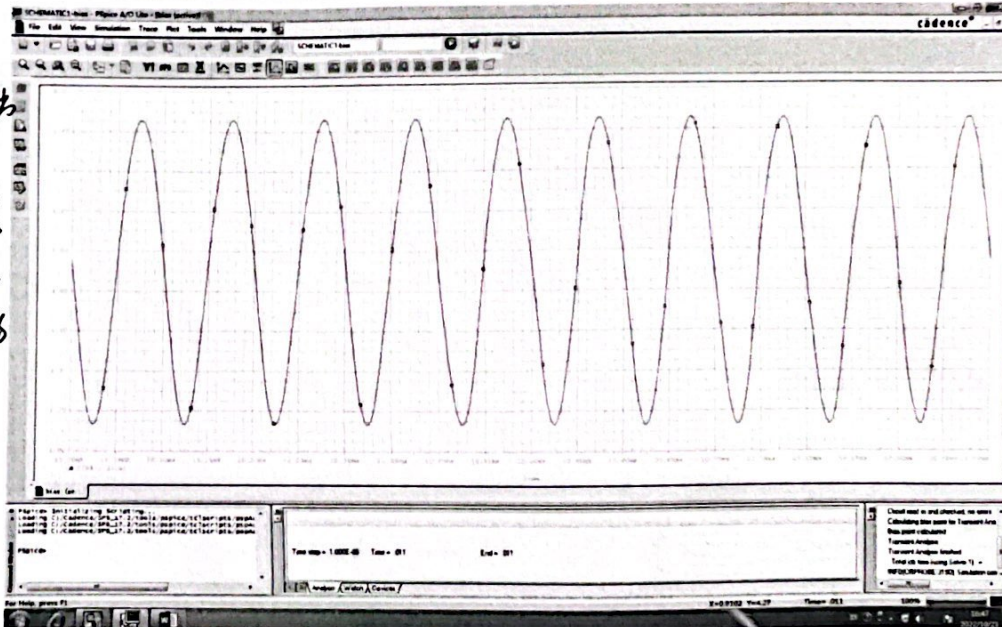
姓名: 张超越

学号: 21307130238

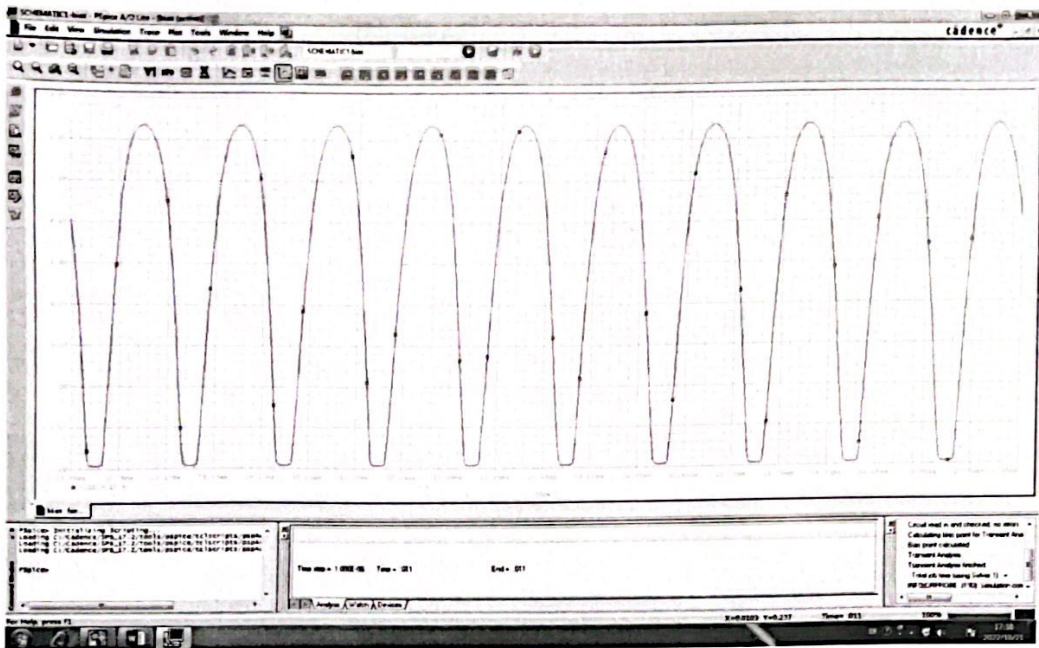
① 静态工作点的求算与分析
(以 $R_E = 0.43k\Omega$ 为例)



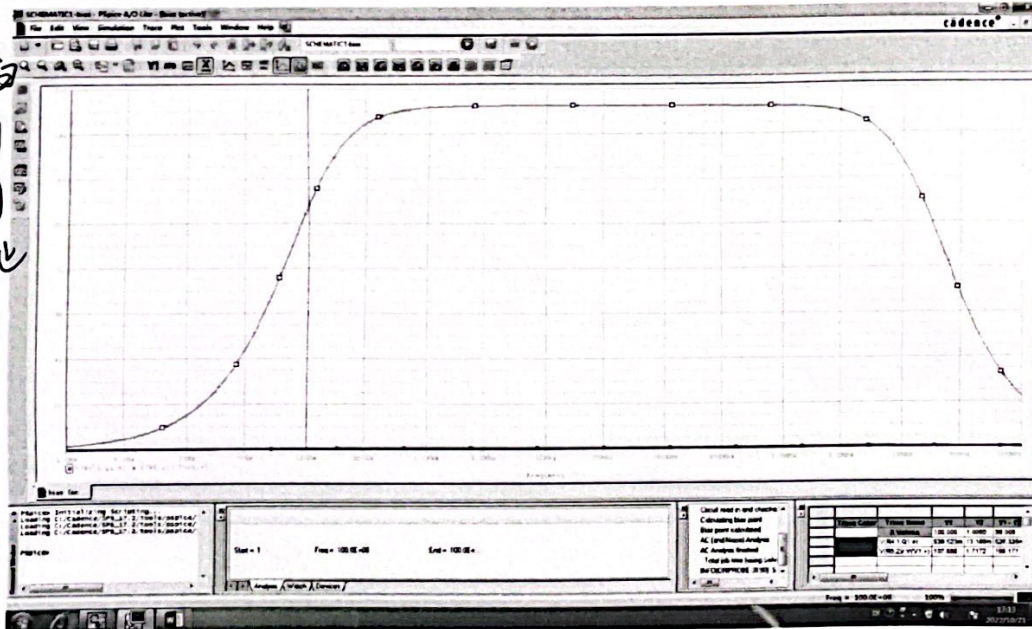
② $R_E = 430\Omega$ 时，最大不失真输入输出时的 u_o 波形图，由此计算出最大的临界峰峰值 V_{opp} ，以及对应的 V_{ipp} 。



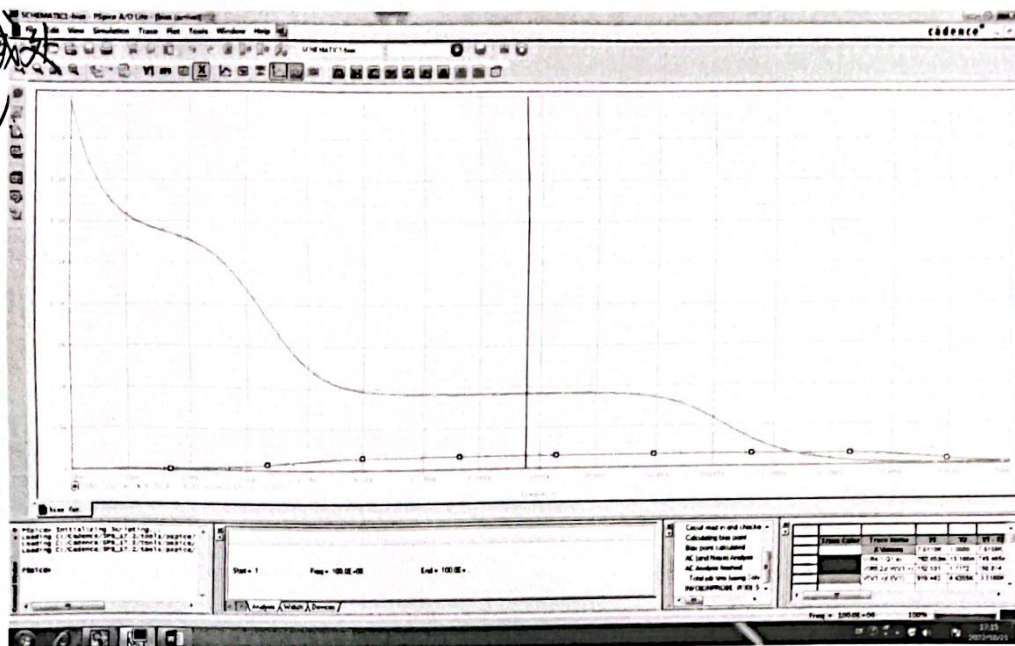
③ $R_E = 43\Omega$ 时，
此时输入的交流信号幅值过大，导致放大失真，
刚超过临界点。



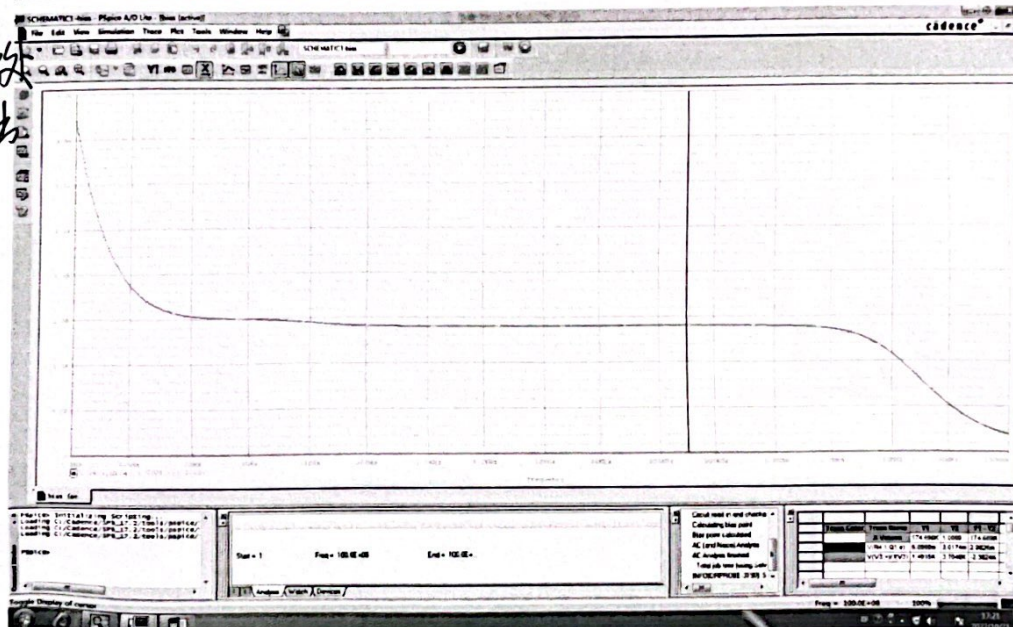
④ 计算交流中频增益，用
描述中的
中频增益，同
时得到截止
频率 (f_L 和 f_H)



⑤ 计算中频放大器的输入阻抗

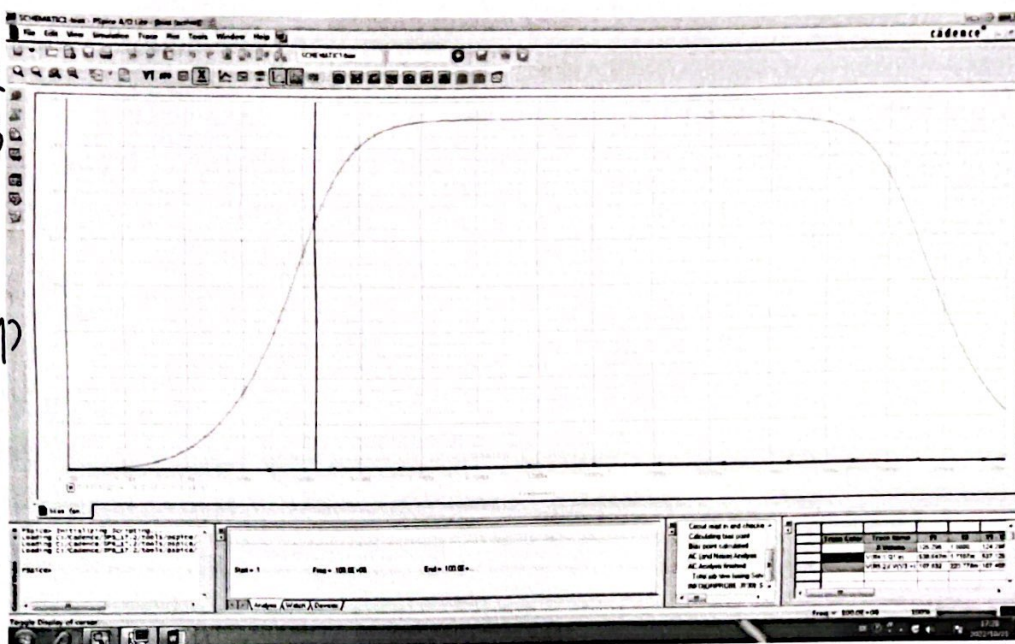


⑥ 计算中频放大器的输出阻抗



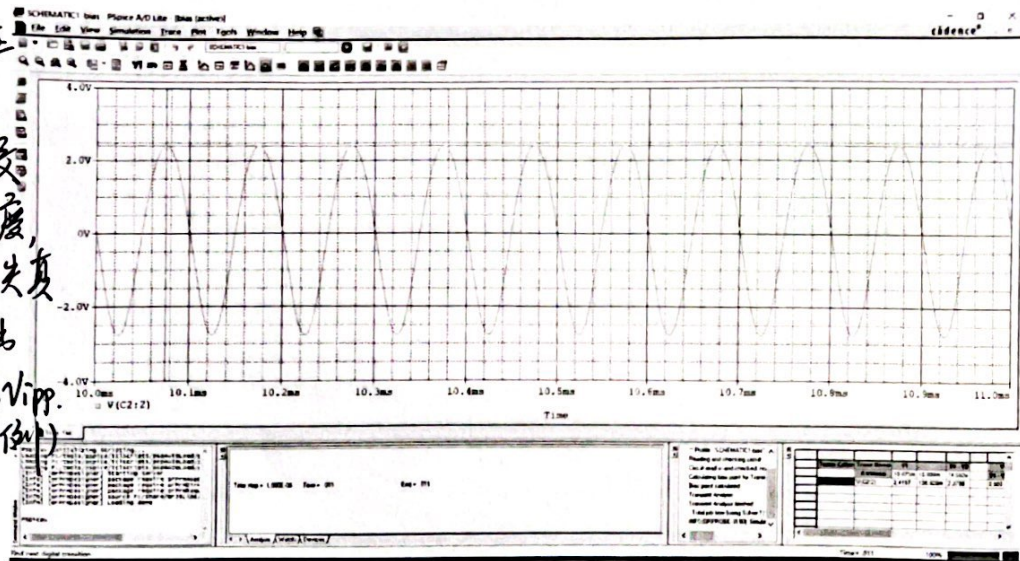
⑦ 改变电容
计算不同参数下
的中频增益的
截止频率。

(以改变 $C_1 = 4.7\mu F$
和 $C_2 = 47\mu F$ 为例)

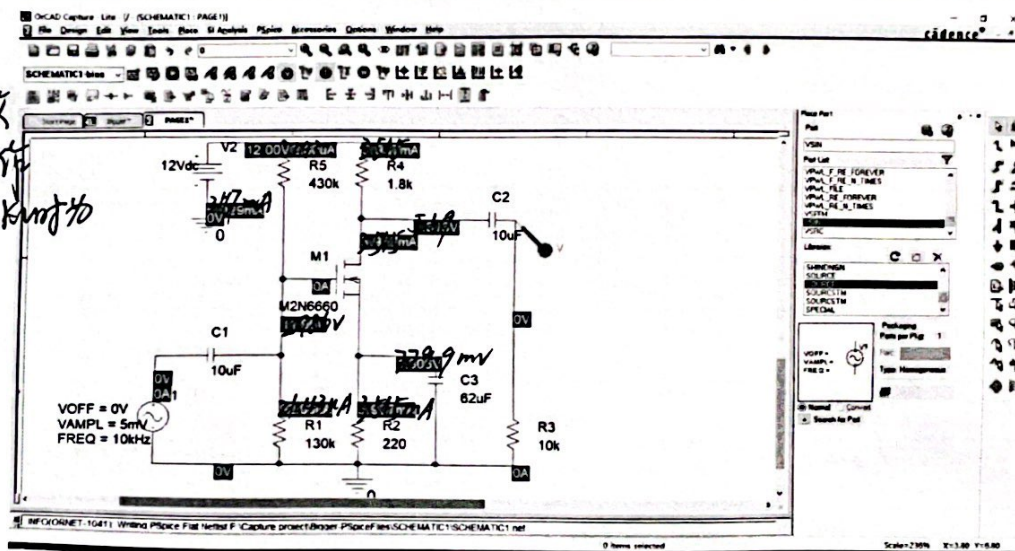


2. NMOS增强型-共源场效应管放大器

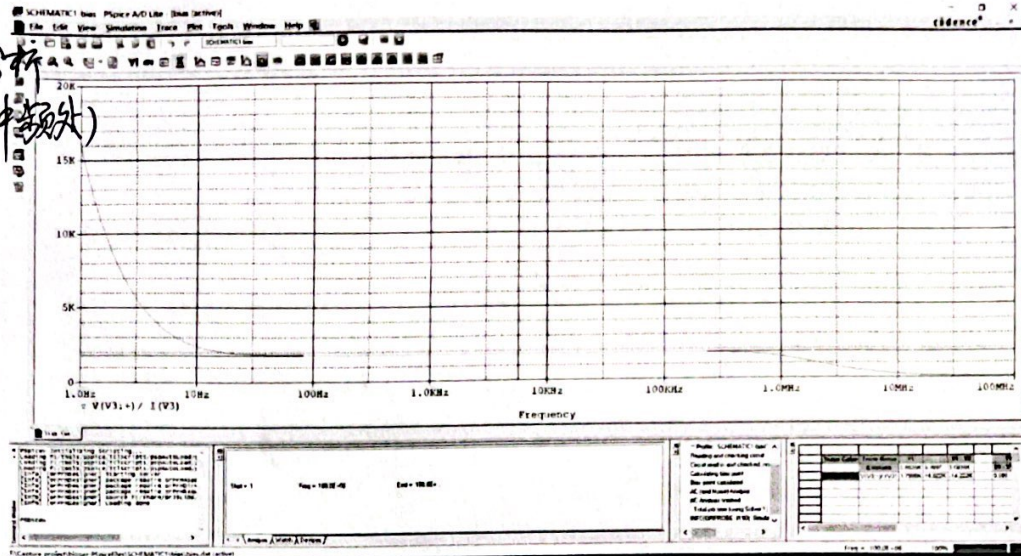
① 计算放大器在不失真范围内能够承受的最大交流信号的幅度，作为 V_o 波形不失真临界情况，计算出 V_{opp} 以及对应的 V_{ipp} 。(以 $R_s=0.22k\Omega$ 为例)



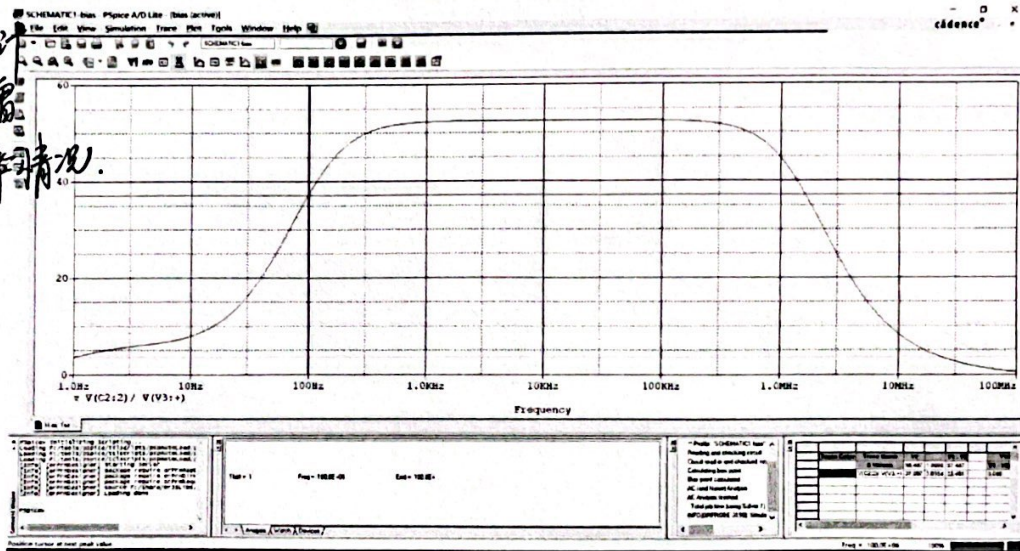
② 分析计算放大器的静态工作点 (以 $R_s=0.22k\Omega$ 为例)。



③ 交流扫描分析
计算输入阻抗中频处)



④ 交流扫描分析
算中频增益
及截止频率情况。



姓名: 张越

学号: 21307130238