

浙江大学实验报告

专业： 电气工程及其自动化
姓名： 严旭铨
学号： 3220101731
日期： 2023 年 11 月 27 日
地点： 东 三 206 教室

课程名称： 电路与电子技术实验 I 指导老师： 姚纓英 成绩： _____
实验名称： 三极管共射放大电路的设计 实验类型： 电学实验

实验 5 三极管共射放大电路的设计

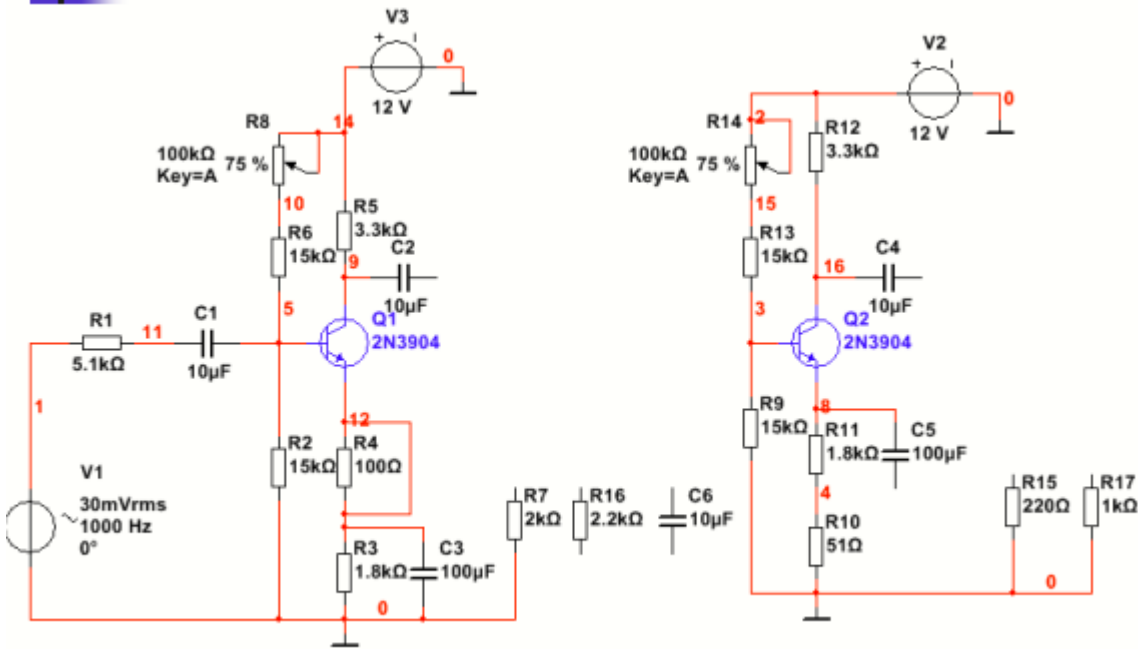
实验目的

- 1. 复习共射放大电路的分析与设计
- 2. 掌握放大电路静态工作点的测试
- 3. 学习放大电路动态指标的测量方法
- 4. 进一步熟悉常用电子仪器的使用

实验任务

任务一：调整和测量静态工作点

要求：调节 Wb，使 Q 点满足要求 $I_{CQ} = 1.5\text{mA}$ ，测量各点的静态电压值。



实验步骤：

- 1. 在实验箱上按左图连接电路，其中 12V 电源由实验箱直接提供。经万用表测量得，实际提供的 $V_{CC} = 12.25\text{V}$ 。
- 2. 由 $I_C = V_{RC} / R_C$, $R_C = 3.3\text{k}\Omega$ ，可以求出当 $V_{RC} = 4.95\text{V}$ 时， $I_C = 1.5\text{mA}$ ，因此，直接用万用表直流

电压 60V 档测量 R_C 两端电压，调节 W_b ，当示数小于 6V 时切换 6V 档位，当示数为 4.95V 时，就达到了需要的静态工作点。

3. 将万用表黑表笔接在 GND，用红表笔分别插入所需的电位点测量各点电位，记录并计算所需量。

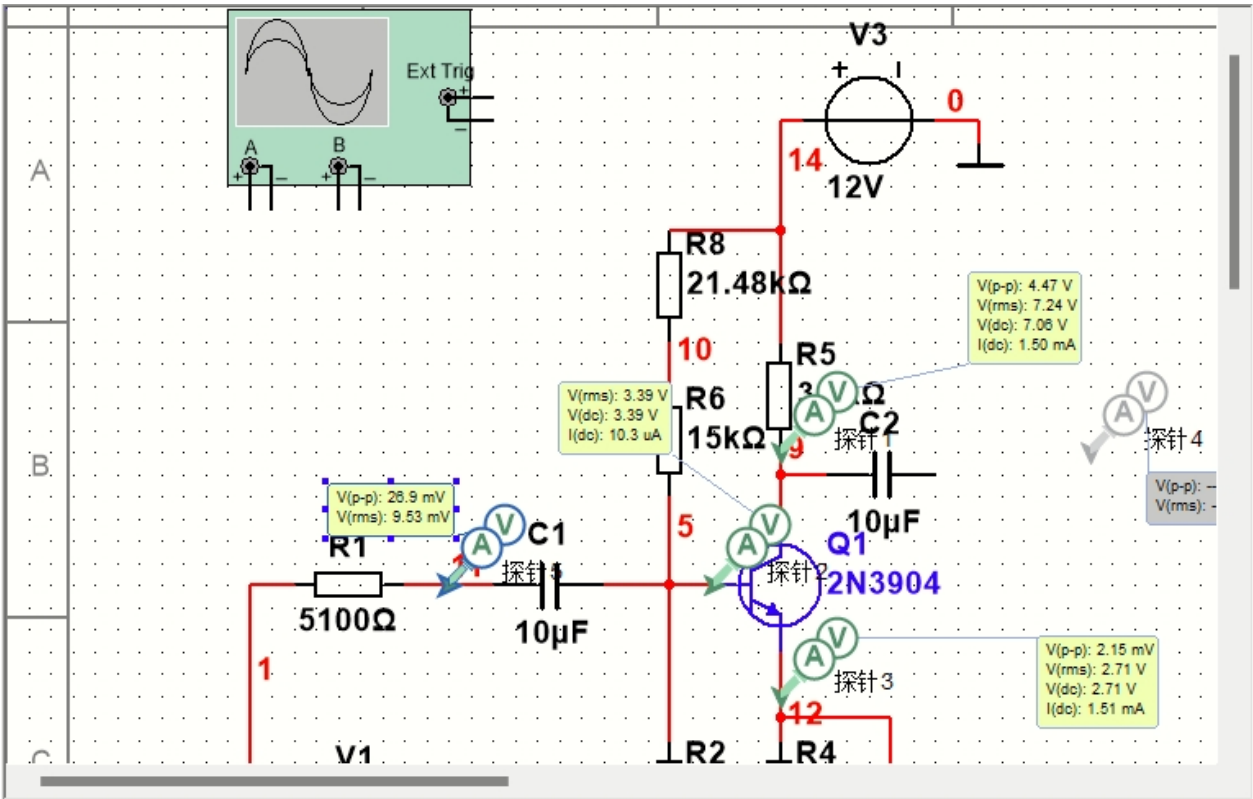
实验数据：

这里我用的实验箱的电源，实际输出不是 12V，而是 12.25V，与 12V 估计的值有偏差，但是与 12.25V 的估计值能较好地吻合。

表 1 静态工作点

	V_{BQ}/V	V_{BEQ}/V	V_{CEQ}/V	I_{CQ}/mA	V_{RC}/V
理论估算值	3.4	0.6	4.35	1.5	4.95
测量值	3.34	0.64	4.6	1.5	4.95

12V 仿真：



任务二：测量电路的电压放大倍数 A_v

实验步骤：

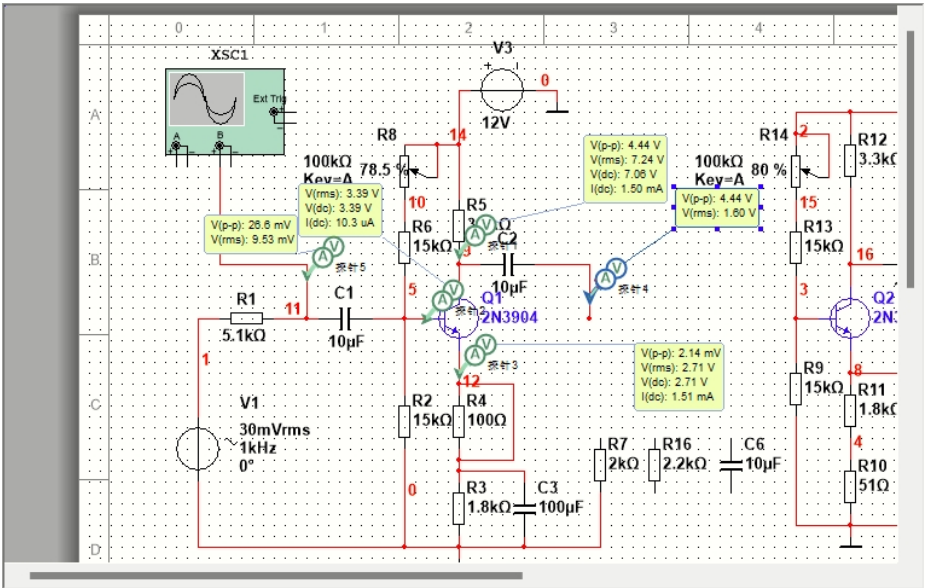
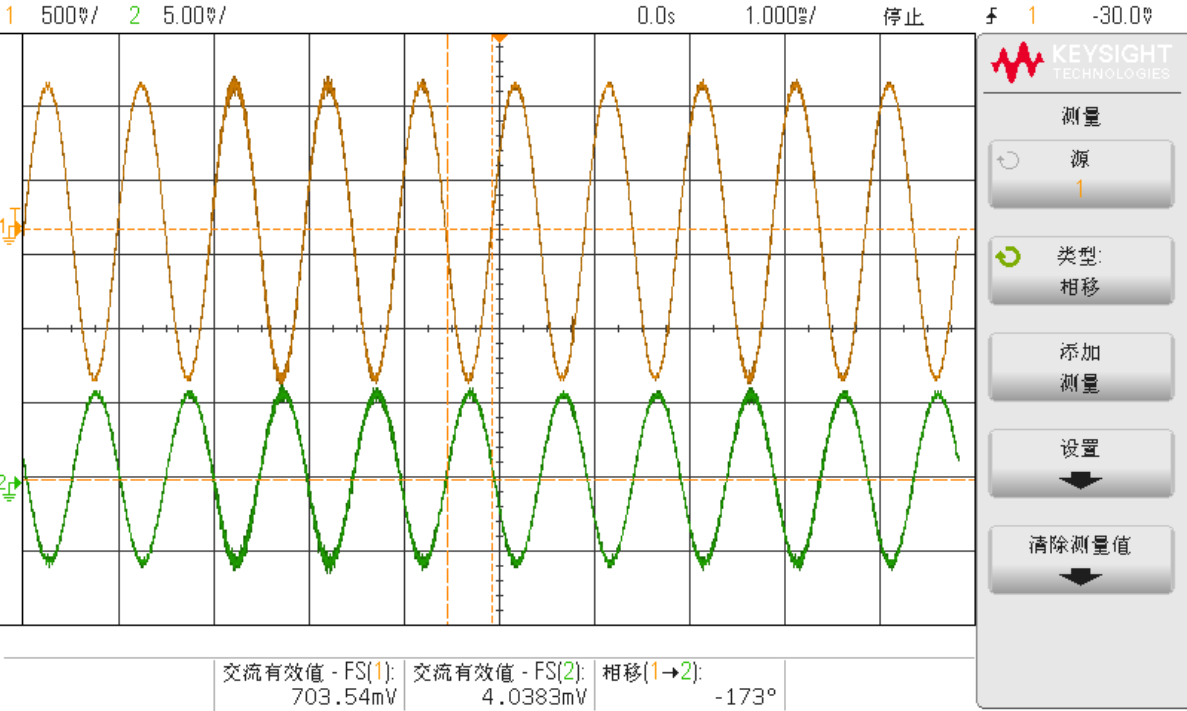
1. 保持静态工作点不变，放大电路 US 端输入频率约为 1kHz、幅度约为 30mV 的正弦波信号 V_s 。
2. R_L 开路，输出端接示波器，监视 V_o 波形，当波形无失真现象时，用示波器分别测量 V_s 、 V_i 、 V_o 电压值，并计算电压放大倍数 A_v 。
3. 接入 $R_L=2k$ ，采用上述方法分别测量 V_s 、 V_i 、 V_o 电压值，将其值记录在表中，并计算 $R_L=2k$ 时的电压放大倍数 A_v 。
4. 用示波器双踪观察 V_o 和 V_i 的波形，测出它们的大小和相位。并将波形画在同一坐标纸上

实验数据：

表 2 放大电路电压放大倍数

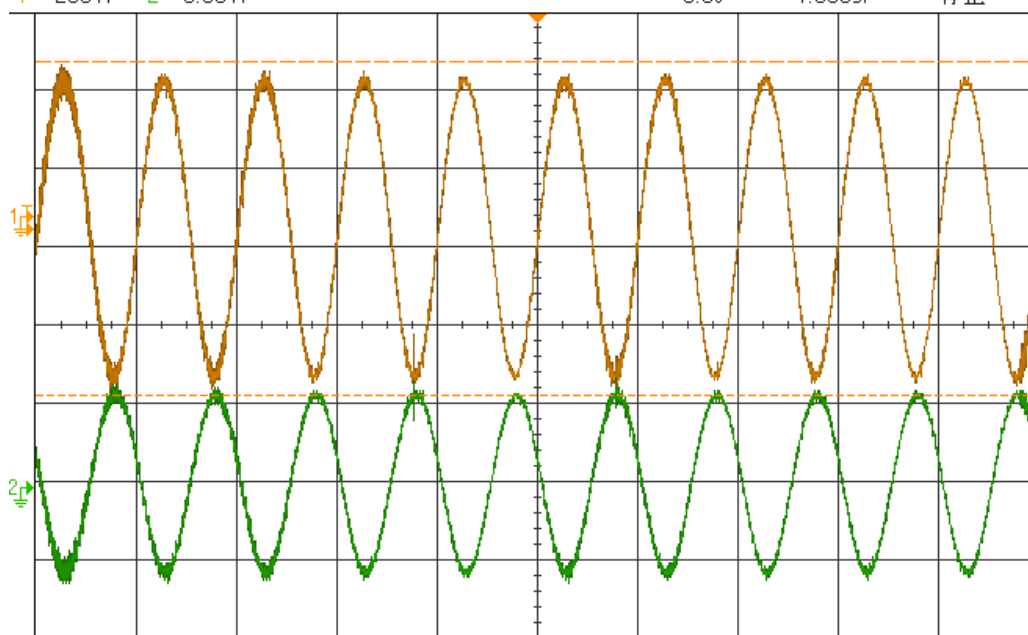
测试条件	Vspp/mV	实测有效值				理论值	仿真值
		Vi/mV	Vo'/mV	Vomax/V	Av	Av	
$R_L = \infty$	30	4.03	704	2.487	-174.7	-187	
$R_L = 2k\Omega$	30	4.03	268	1.545	-66.5	-70.8	

DSO-X 11026, CN58526312: Sun Dec 24 15:52:41 2023



DSO-X 1102G, CN58526312: Sun Dec 24 15:48:03 2023

1 200V/ 2 5.00V/ 0.0s 1.000ns/ 停止 f 1 -30.0V



交流有效值 - FS(1): 268.64mV 交流有效值 - FS(2): 4.0325mV 峰-峰值(2): 13.03mV 峰-峰值(1): 851mV

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

采集

时基模式
标准

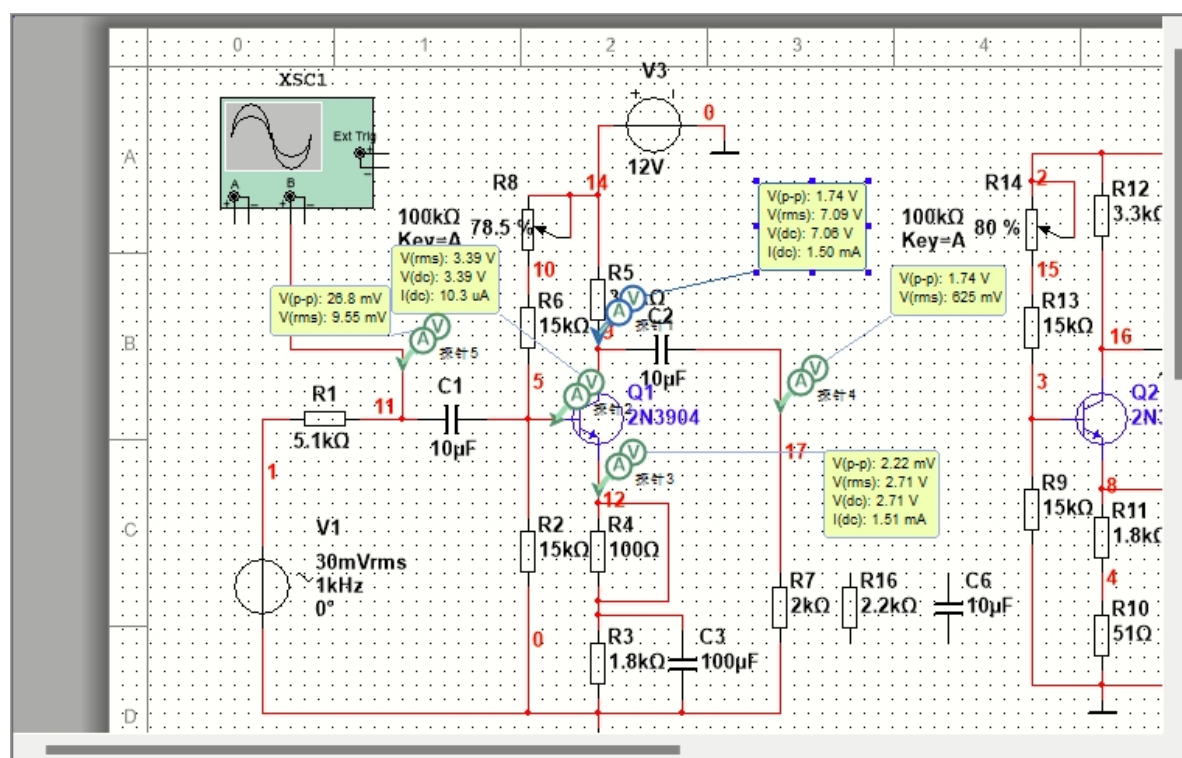
缩放

时间参考
居中

采集模式
平均模式

平均
2

分段采集

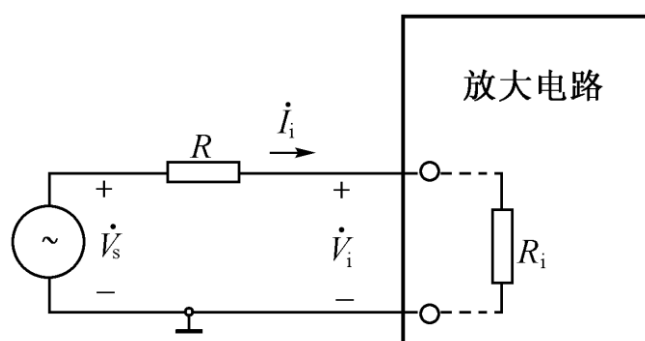


任务三：输入电阻和输出电阻的测量

实验步骤：

1. 输入电阻的测量

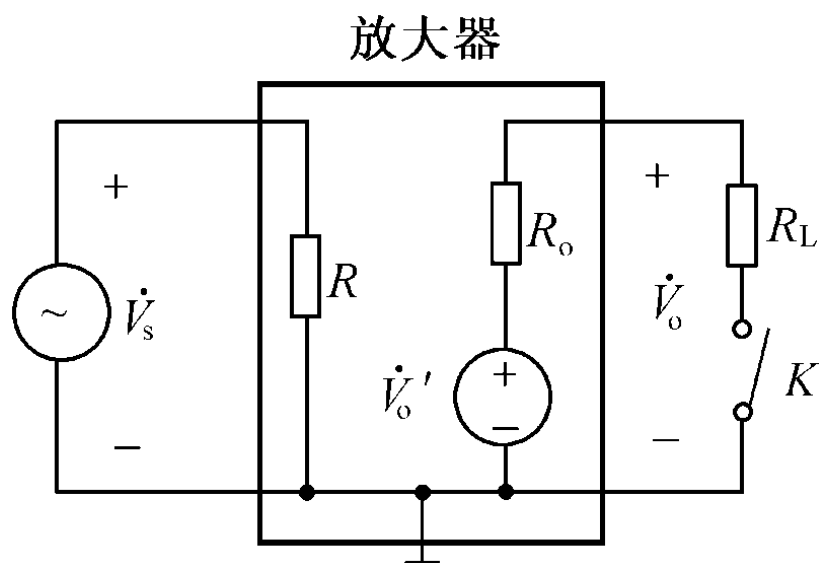
利用伏安法，外接已知阻值的电阻 R ，测量 V_s 和 V_i 。



$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{(V_s - V_i)/R} = \frac{V_i}{V_s - V_i} R$$

2. 放大电路的输出电阻 R_o 的测量

利用二次测量法，分别测出负载开路时的输出电压 V_o' 和接入负载 R_L 后的输出电压 V_o ，则有：



$$V_o = \frac{R_L}{R_o + R_L} V_o' \quad R_o = \left(\frac{V_o'}{V_o} - 1 \right) R_L$$

实验数据：

表 3

有效值		
Vs/mV	Vi/mV	Ri/ Ω
1750	569	963
Vo'/mV	Vo/mV	Ro/ Ω
1816	697	802

$R_i = 963\Omega$

$R_o = 802\Omega$

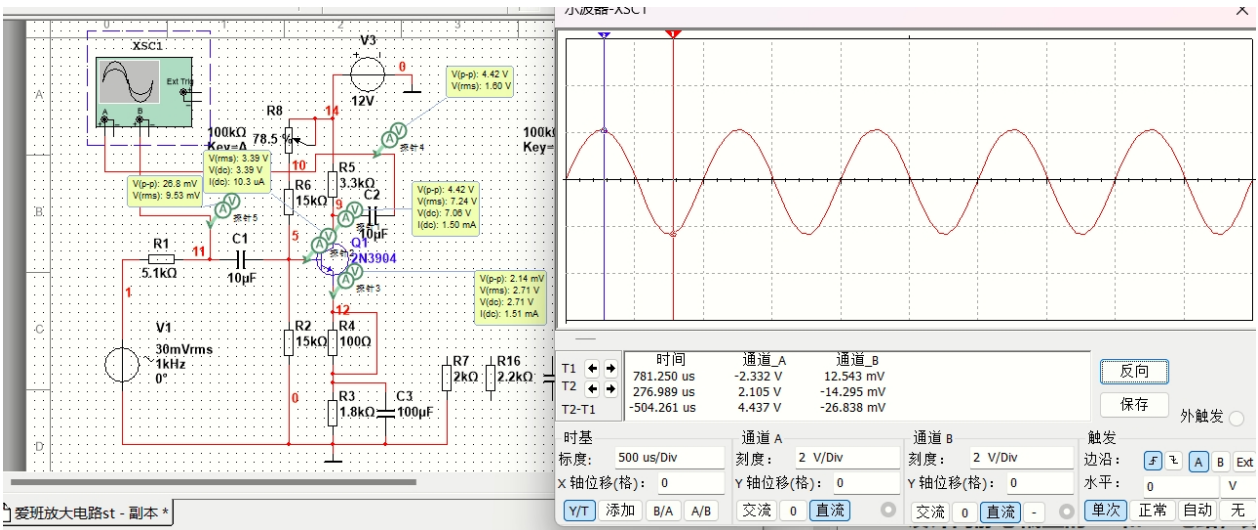
但是理论值求出 $R_i = 7.75k\Omega$ ， $R_o = 3.3k\Omega$

不懂为什么相差这样大。

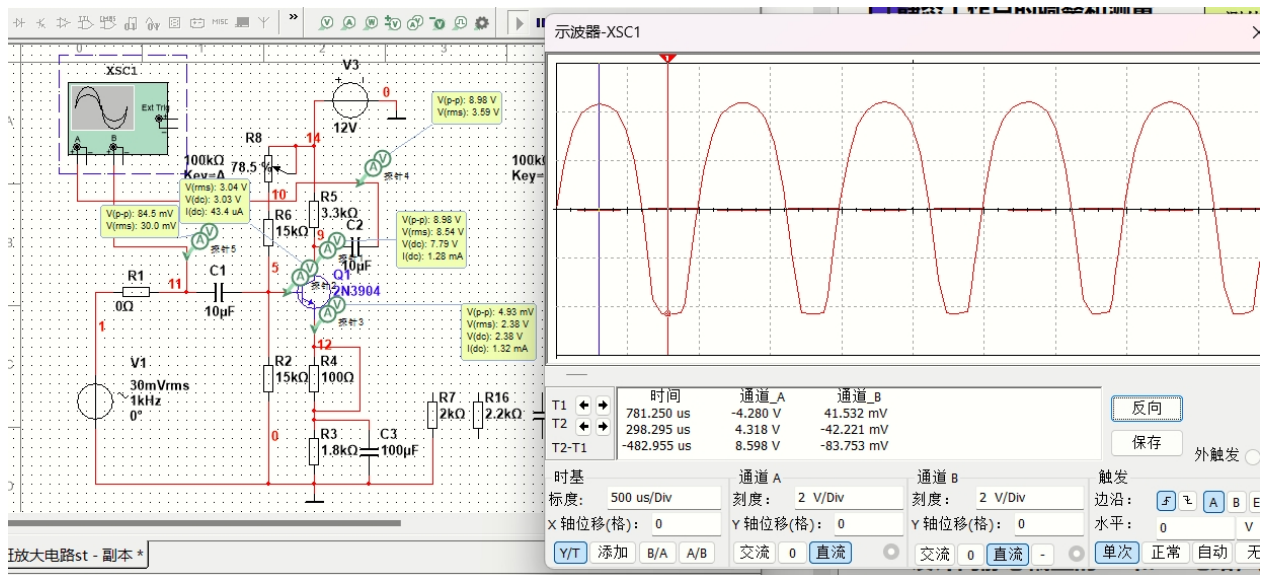
仿真：

$R_L = \infty$ ：

输入

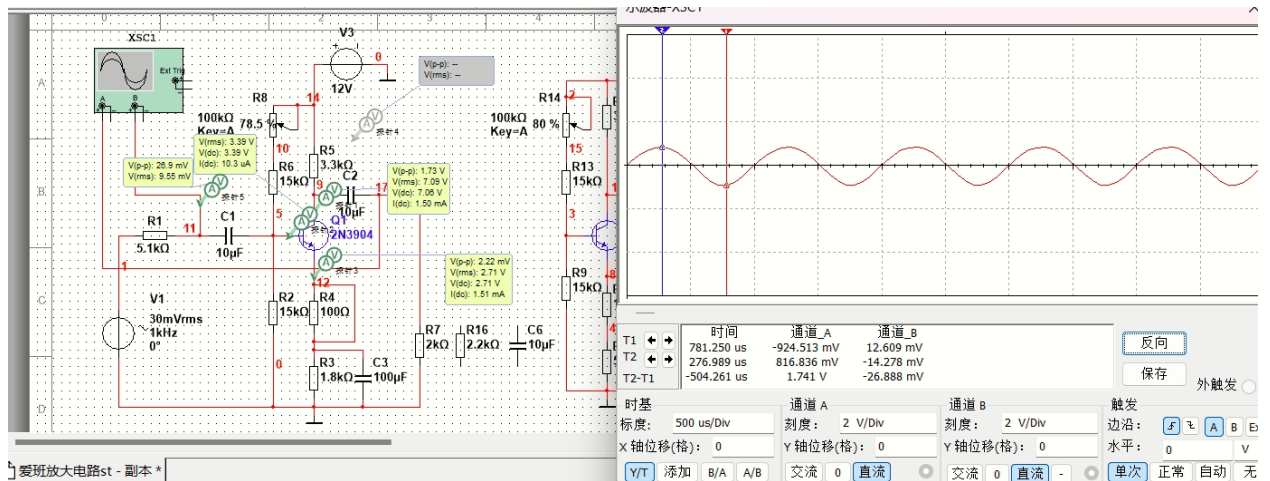


输出

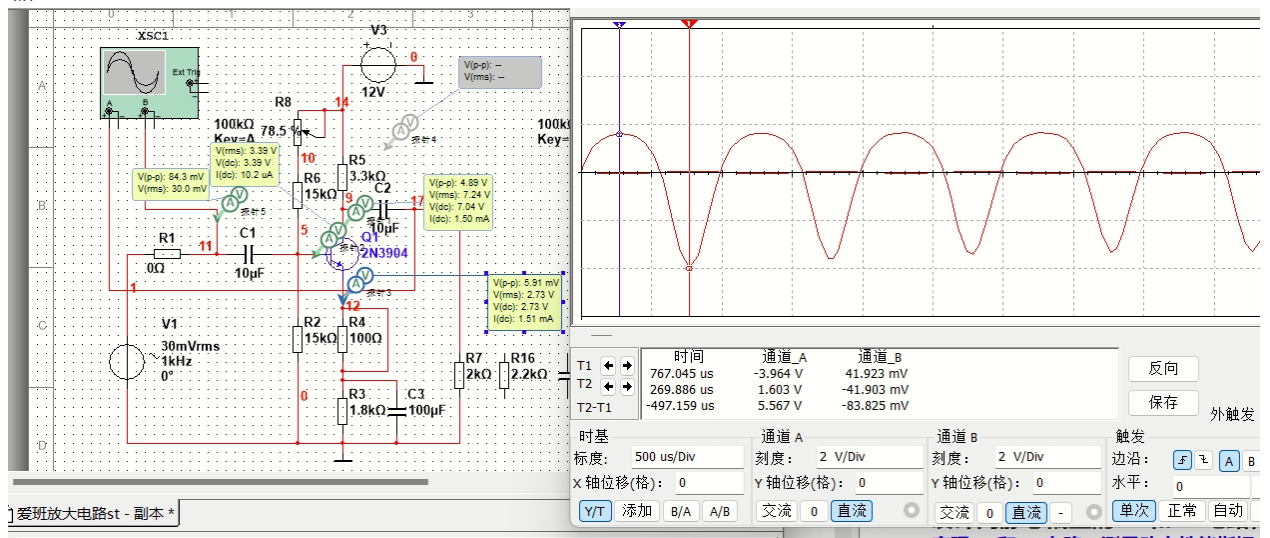


RL = 2kΩ

输入



输出



任务四：放大电路上限频率 f_H 、下限频率 f_L 的测量

实验步骤：

- 1. 在 $R_L=\infty$ 条件下，放大器输入端接入中频段正弦波，增大输入信号幅度，监视输出电压 V_o 保持不失真。测出此时输出电压值 V_o ；
- 2. 保持信号源输出信号幅度不变，改变信号源输出频率(增加或减小)，当输出电压值达到 $V_o\times 0.707$ 值时，此时信号源所对应的输出频率即为上限频率 f_H 或下限频率 f_L 。

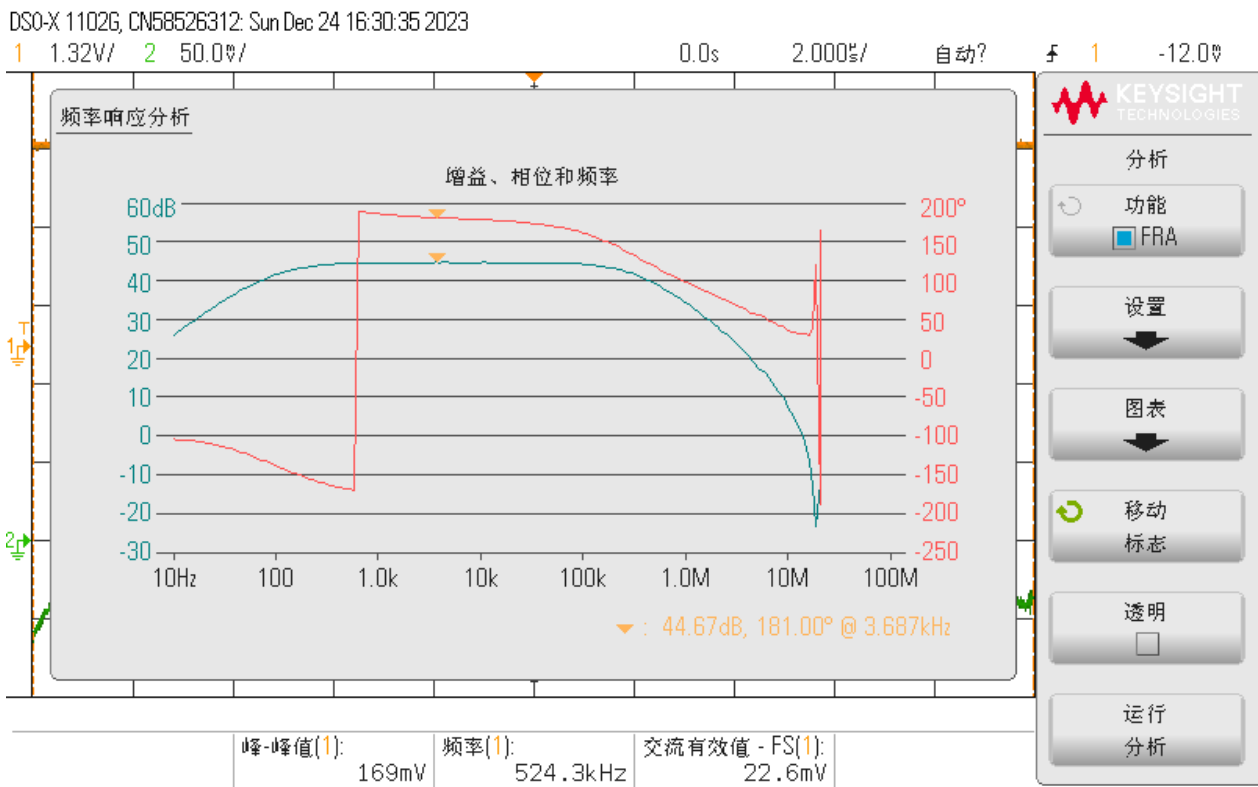
实验数据：

表 4 上下限频率的测量

Vs/V	Vrms/V	Vopp/V	f_L /Hz	f_H /Hz
45	2.64	7.44	109	260k

利用内置频响分析仪得到波特图

中频段：



下限频率：

DSO-X 1102G, CN58526312, Sun Dec 24 16:31:27 2023

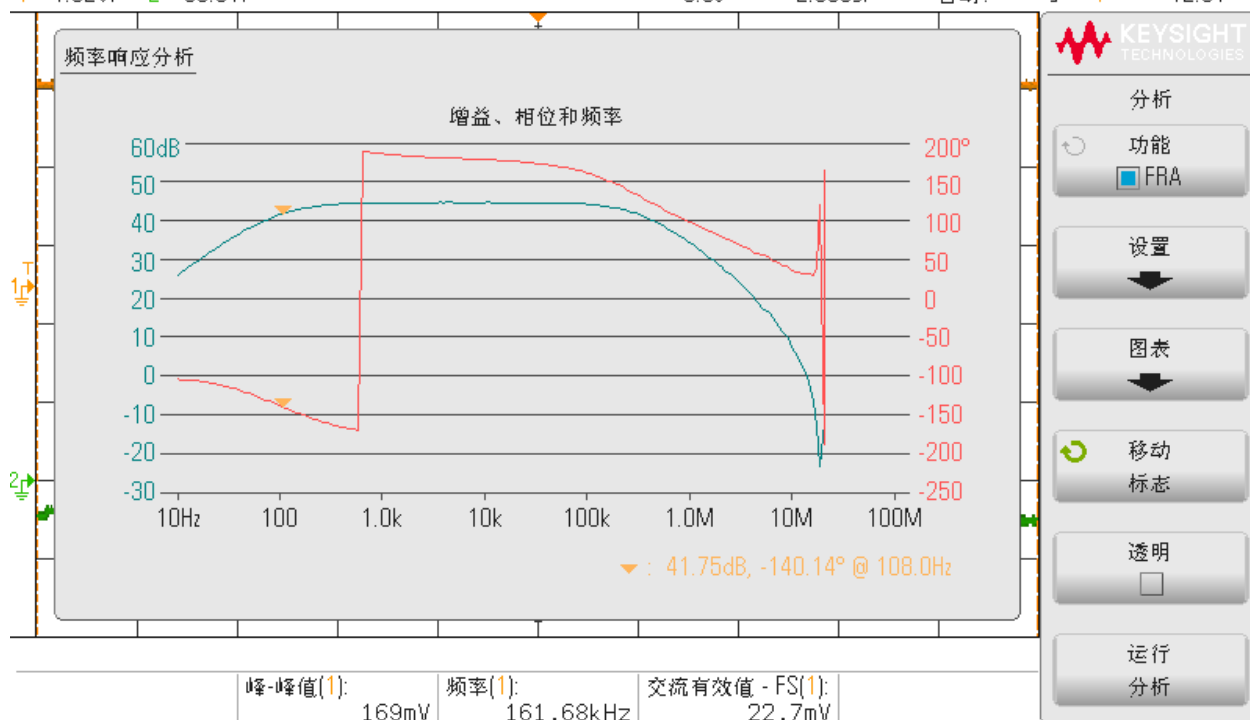
1 1.32V/ 2 50.0V/

0.0s

2.000%/

自动?

f 1 -12.0V



上限频率:

DSO-X 1102G, CN58526312, Sun Dec 24 16:31:38 2023

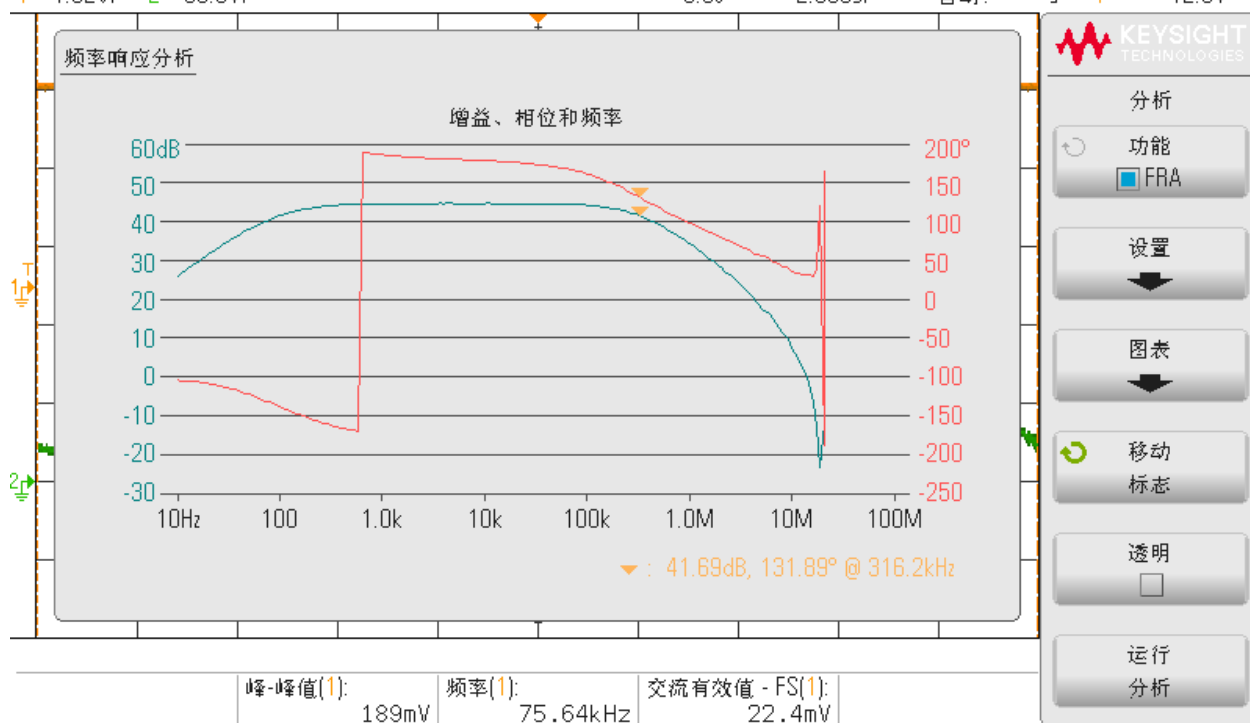
1 1.32V/ 2 50.0V/

0.0s

2.000%/

自动?

f 1 -12.0V



中频段增益为 44.67dB，找两边-3dB 的点找到对应的横坐标就得到上下限的频率。

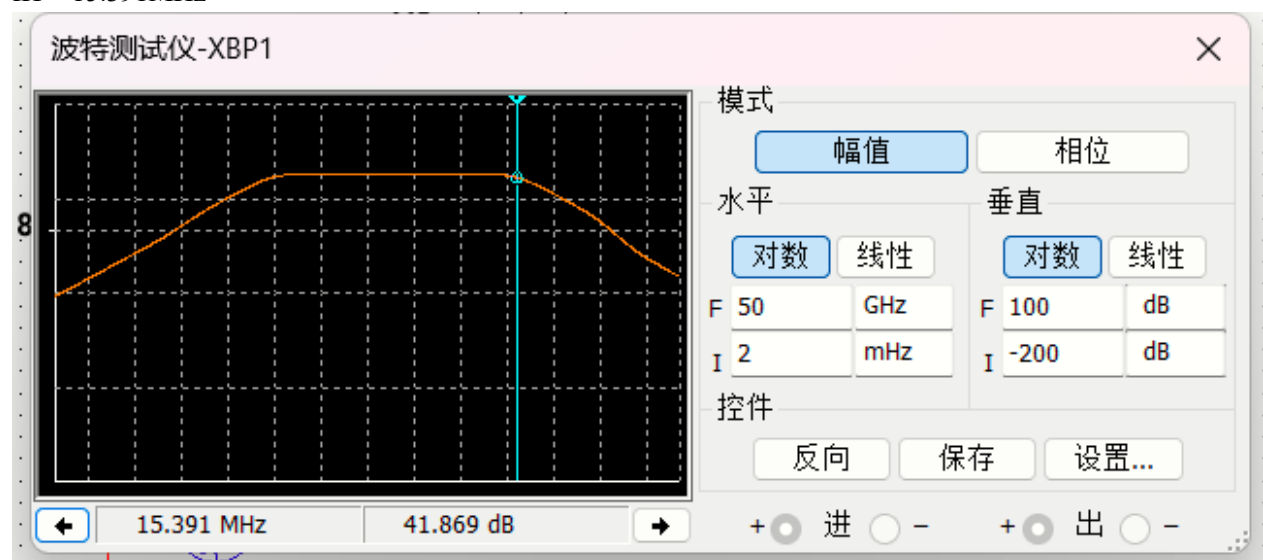
$f_L = 108\text{Hz}$, $f_H = 316.2\text{kHz}$

与用示波器读波形找到的上下限频率较为接近

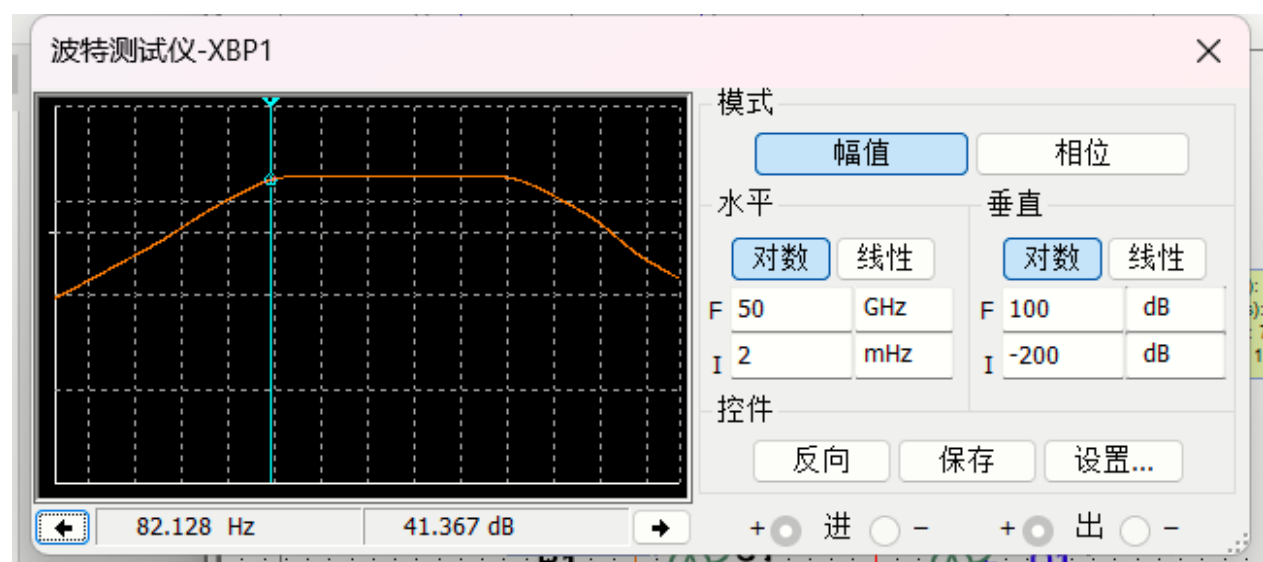
仿真：

$R_L = \infty$

$f_H = 15.391\text{MHz}$

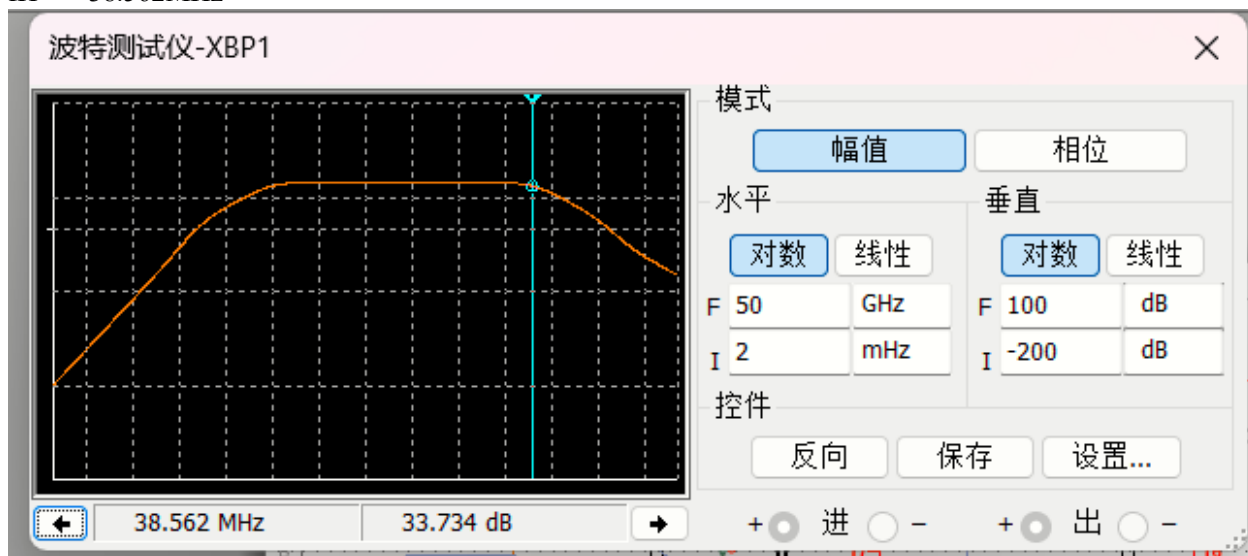


$f_L = 82.128\text{Hz}$

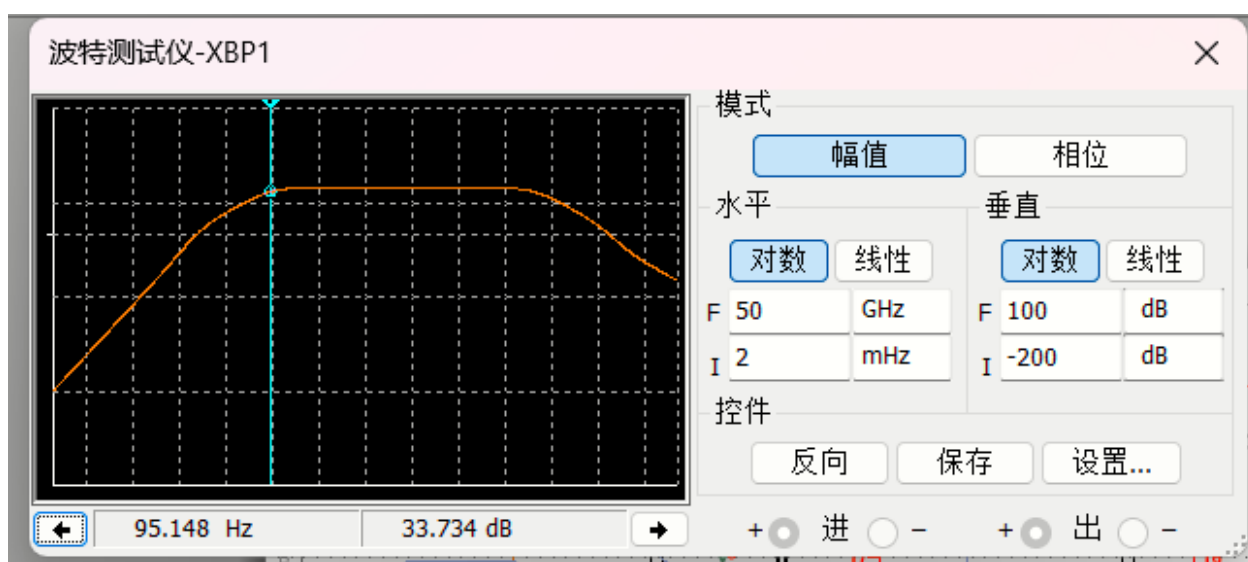


$R_L = 2k\Omega$

$f_H = 38.562\text{MHz}$



$f_L = 95.148\text{Hz}$



上限频率相差很大, 怀疑是三极管极间电容等参数的设置有问题, 但是暂时无法解决。

任务五: 测量最大不失真输出电压 V_{omax}

实验步骤:

1. $R_L = \infty$ 时, 增大输入信号幅度, 用示波器监视输出波形、测出该工作点下的最大不失真输出电压 V_{omax} 。
2. 连上负载电阻 $R_L = 2k\Omega$, 与 1 进行同样操作得到 V_{omax} 。

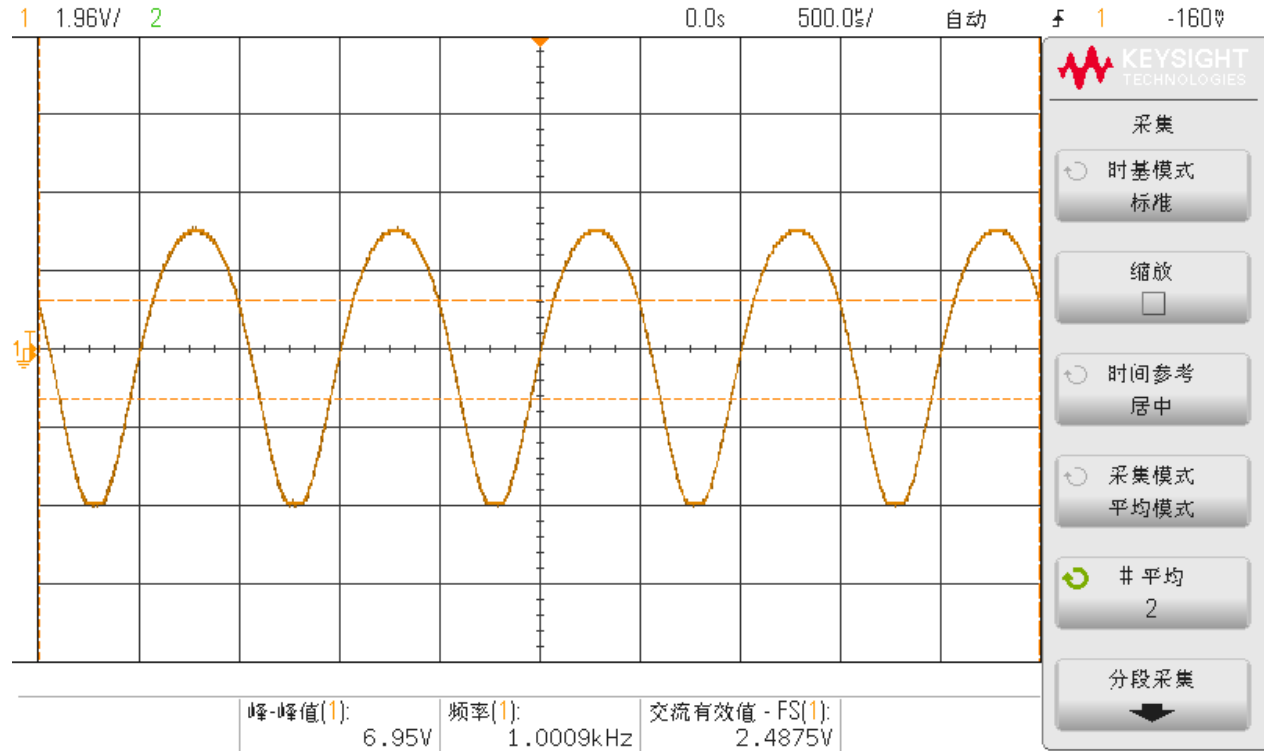
实验数据:

表 5 最大不失真输出电压

信号源 mVpp	mVpp	mVrms
40	6950	2487
70	4459	1545

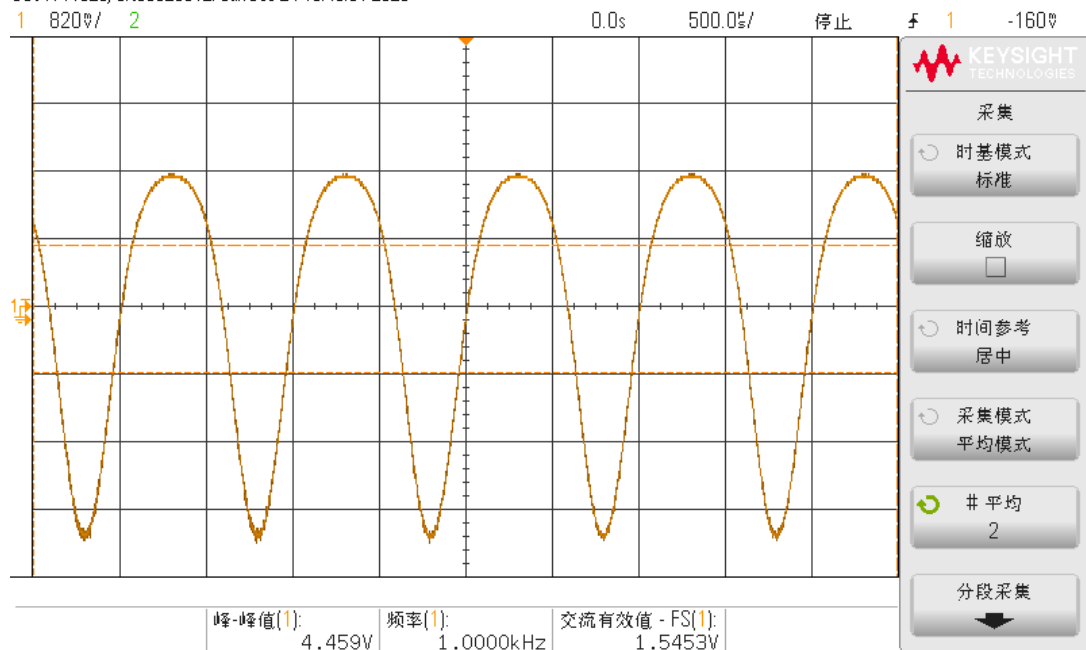
$R_L = \infty$:

DSO-X 1102G, CN58526312: Sun Dec 24 16:47:40 2023



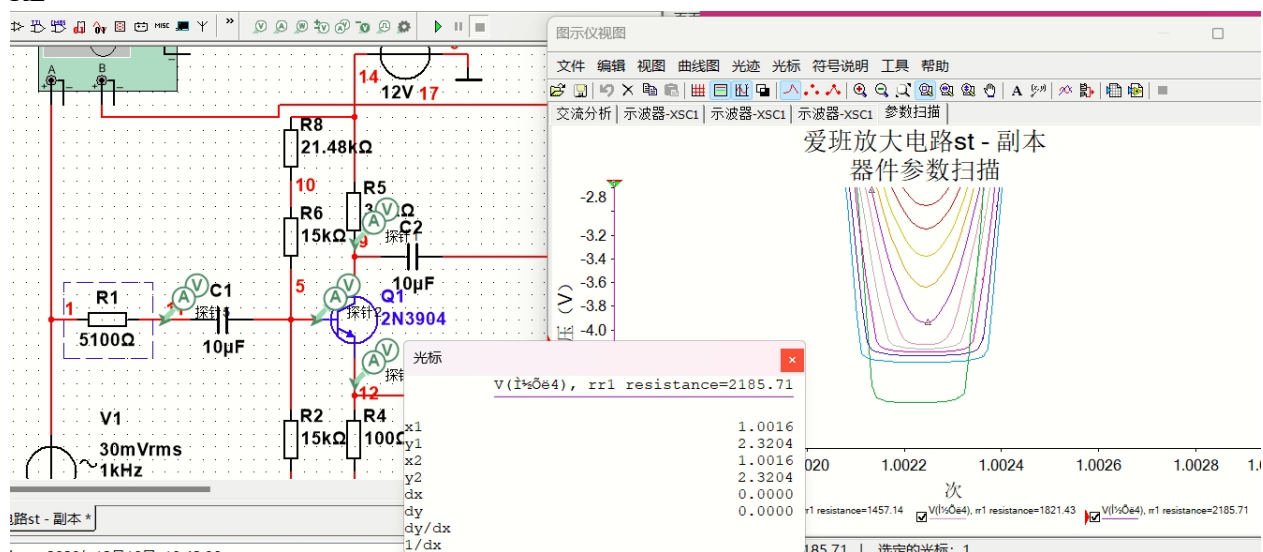
$R_L = 2k\Omega$

DSO-X 1102G, CN58526312: Sun Dec 24 16:49:01 2023

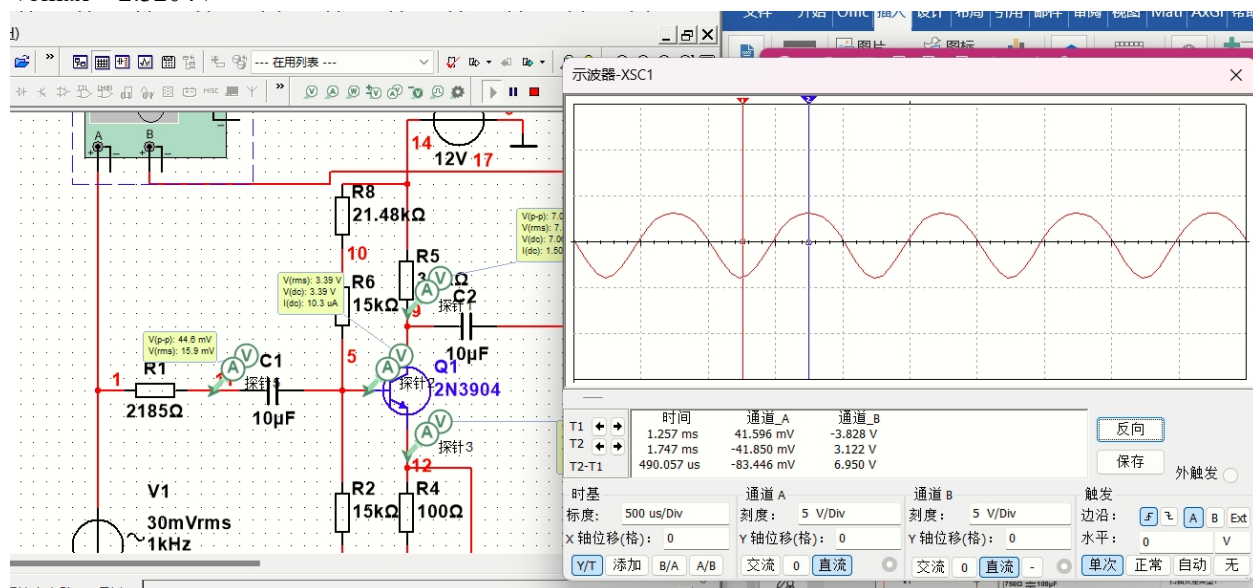


仿真：

$R_L = \infty$

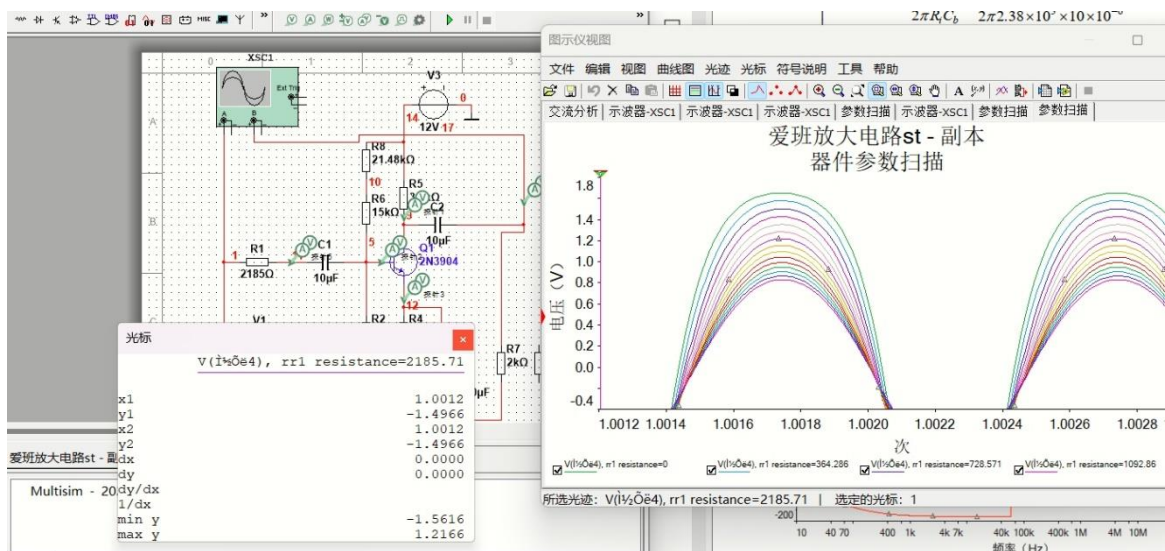


$V_{omax} = 2.3204V$

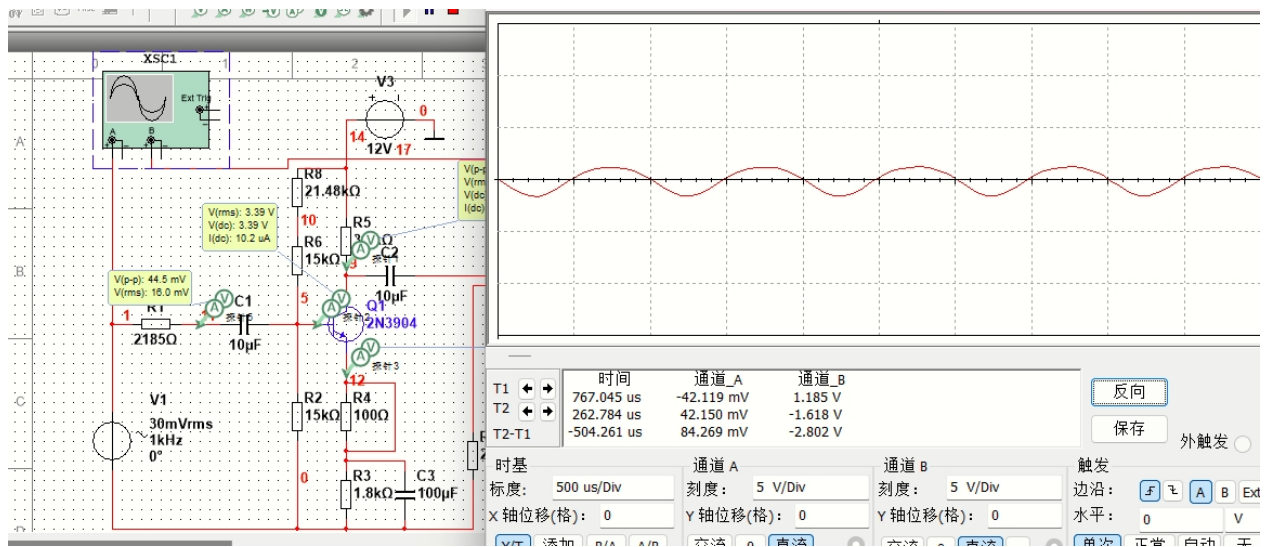


$V_{pp} = 6.950V$

$R_L = 2k\Omega$



Vomax = 2.7778V



Vpp = 2.802V

$R_L = \infty$ 时与实际实验得到的结果较吻合, $R_L = 2k\Omega$ 时有所差距。这与实际实验中示波器上判断失真时的误差也有很大关系。

任务六: 观察 $R_L = \infty$ 和 $R_L = 2k$ 时静态工作点对输出波形的影响

调节 W_b 和输入信号幅度, 使饱和失真和截止失真同时出现, 记录输出值和静态工作点。

实验数据:

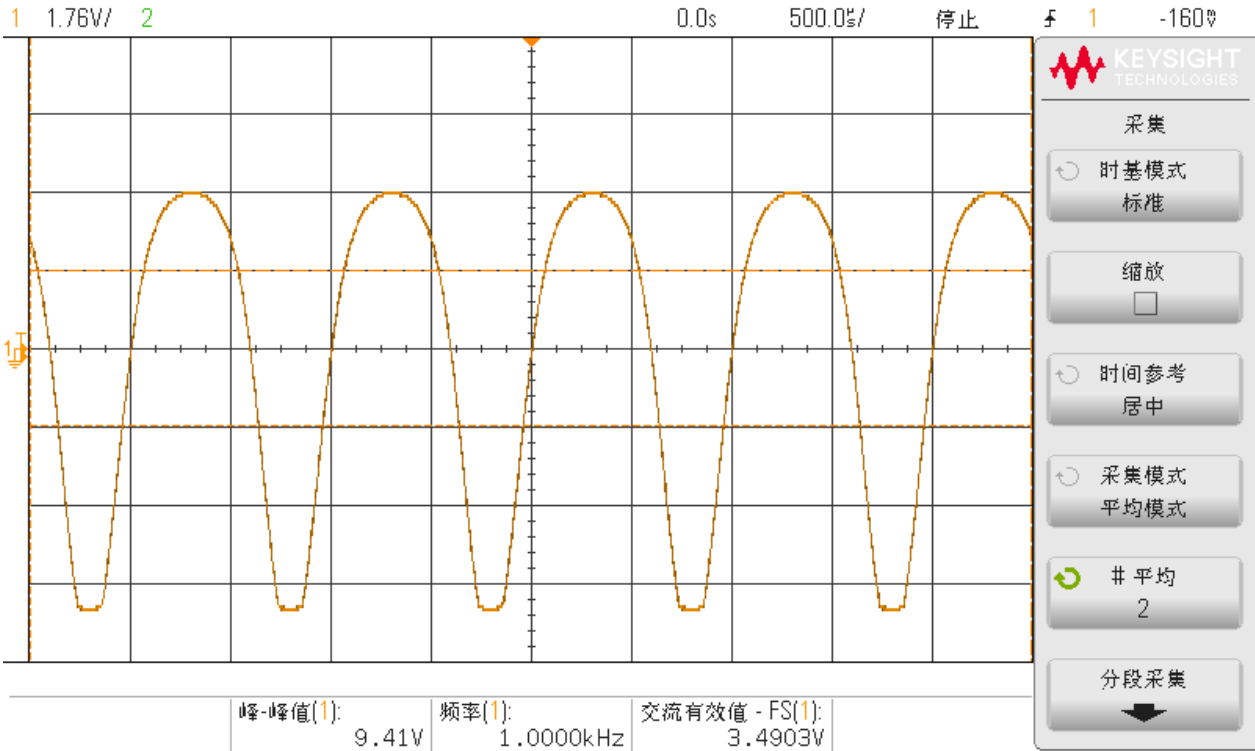
表 6

R_L	V_{opp}	V_{rms}	V_{BQ}	V_{BEQ}	V_{CEQ}	I_{CQ}/mA
∞	9.41	3.49	2.85	0.62	5.92	1.24

2kΩ	4.65	1.70	3.93	0.63	2.90	1.83
-----	------	------	------	------	------	------

$R_L = \infty$

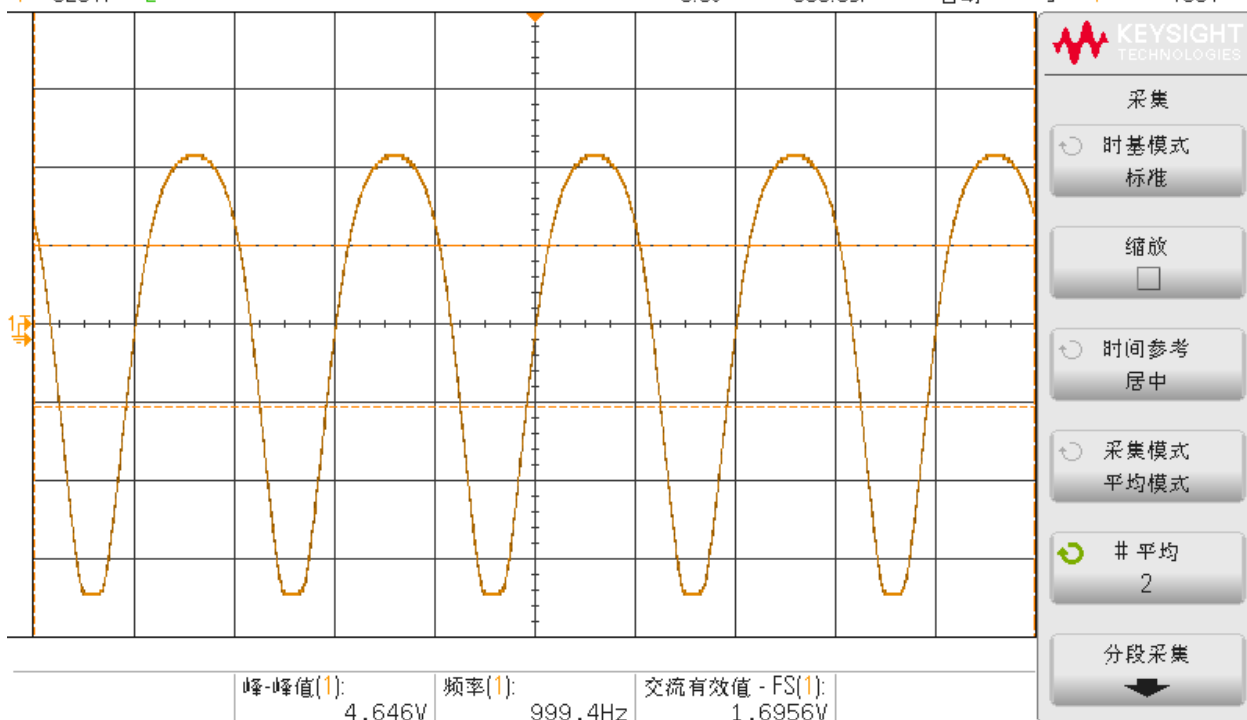
DSO-X 1102G, CN58526312, Sun Dec 24 16:57:12 2023



$R_L = 2k\Omega$

DSO-X 1102G, CN58526312, Sun Dec 24 16:50:09 2023

1 820V/ 2 0.0s 500.0V/ 自动 f 1 -160V



实验问题讨论：

1. 在测放大器的各项参数时，为何要用示波器监视输出波形不失真？

要让放大器正常工作在线性放大区。

2. 在测试 A_u 、 R_i 和 R_o 时，怎样选择输入信号 V_s 的大小和频率？

频率要在中频段，防止失真，大小不能太小，太小输入端很难用示波器准确读数，太大的话输出端经过放大之后可能电压和电流都太大了，容易损坏元件。

3. 测试中，为什么不能将信号源、毫伏表、示波器中的任一仪器的二个测试端上接线换位，即各仪器的接地端不再连在一起？

需要共地连接才能测准各点的电位，如果浮地连接，有多个参考地，测出的电位就不能用于计算元件两端的电压。

4. 用示波器观察放大电路输入与输出波形相位时，示波器上有关按钮应置什么位置？

Measure 找出测量量“相移”，下方就会显示相位差。

5. 在调试静态工作电流 I_{CQ} 时，能否用万用表测集电极对地电位 V_C 来间接地得到 I_{CQ} 呢？

我觉得可以，只要是 R_c 已知且保证共地的测量的话没有问题。 $I_{CQ} = (V_{CC} - V_C) / R_c$

6. 在共射放大电路的静态工作点测量时，测得 $V_{CEQ} < 0.5V$ ，说明三极管已处于饱和状态；若 $V_{CEQ} \approx +V_{CC}$ （电源电压），则说明三极管已处于截止状态；若 $V_{BEQ} > 2V$ ，估计该晶体管已被击穿。

7. R_e 起稳定静态工作点的作用。

8. 如何判断放大器的截止和饱和失真？出现失真时应如何调整静态工作点？

削顶（下面平）是饱和失真，缩顶（上面平）是截止失真。

如果出现截止失真，可以尝试增大偏置电压或者偏置电流，使得放大器在更高的工作范围内工作。

如果出现饱和失真，可以尝试减小偏置电压或者偏置电流，使得放大器在更低的工作范围内工作。

反复调整偏置电压或者偏置电流，并观察输出波形，直到截止和饱和失真被消除，获得较好的输出信号。

9. D882 晶体管是 NPN 型的。

10. 做静态工作点仿真时，应采用的分析方法是 Interactive Simulation（交互式仿真）；频率特性仿真，应采用 交流扫描；求取 A_v 、 R_i 、 R_o 时，应采用的分析方法是 参数扫描。

实验心得

在实验时，我的模电知识掌握的并不那么熟练，这给我在预习和实验中都带来了许多麻烦。这个实验对我来说难度有些过于大了，我在计算理想情况下的放大电路参数时仍有一些吃力，在分析实际情况时会有更大的阻碍。

我觉得这一次实验让我感觉很不好。实验仪器的精度存在问题，课前预习的仿真涉及到三极管参数的调节以及极间电容等参数的考虑，但是仿真结果和我的实验结果很难对上。在实验过程中，比较混乱的课程 PPT 给我的实验展开以及后续的报告撰写都带来了一些麻烦。姚老师要求高，但是这门课也就 2 学分，当实验结果和仿真以及理论分析很难吻合，并且这种不相符是多种因素作用的结果时，会非常消磨我对这门课的热情和兴趣。如果连按照实验步骤要求逐步进行实验得到预期结果都做不到，谈什么设计实验？爱班的其他同学的能力很强，我能够理解老师对我们的高要求，老师上课时以及 PPT 中所呈现的我觉得更多的是一些指导性的东西，就像一位老师傅对另一位经验稍欠的师傅的指导，思维有些跳跃，但对我来说这真的很难受，因为我并不能理解这些想要表达什么。如果连基本的实验内容都不能很好地完成，正确地分析，那那些拓展的也没有多大意义，都是一笔糊涂账。在这次的实验中这一点更明显。在课上我周围好几位同学都在实验时遇到了问题，有些是仪器问题，有些是对 PPT 想要表达意思的不理解，在写实验报告时有对理论值计算的不理解。我有这样的感觉，好像我们刚学会打螺丝，就要我们去造火箭了。连螺丝都没打明白怎么造火箭？我不理解。

当然，不可否认，我在仿真和后续的实验进行中学到了一些东西。对示波器的使用，示波器波特图的注意事项（用示波器自带的信号源才能得到理想的波特图），平均采样的使用来稳定波形去毛刺等方法。仿真时的参数扫描和波特图的使用，以及光标的使用来获取更精确的值。

但是这些后面花费的时间，甚至可以说是浪费的时间，真的和它 2 学分的学分值相匹配吗？我不知道，可能是我水平太差了吧。我真的很希望老师能把 PPT 做更清晰一点，不要那么混乱，能把步骤和要求讲清楚，不然我每次都是要到实验课快下课了甚至是下课后才大概清楚这个实验该怎么做。