

## 实验 2（仿真实验）——多级放大器与负反馈

姓名：钟 源 学号：04022212 得分：

**预习：**在图 1 所示电路中，双极型晶体管 2N3904 的  $\beta \approx 120$ ， $V_{BE(on)} = 0.7V$ 。计算该单级共射放大器的电压增益  $A_v$ ，填入表 1（电容交流均可视为短路电容）。如果将这样的两级放大器直接级联，如图 2 所示，是否可以实现  $A_{v总} = A_v \times A_v = A_v^2$  的两级放大器呢？请仔细思考后写下你的想法。

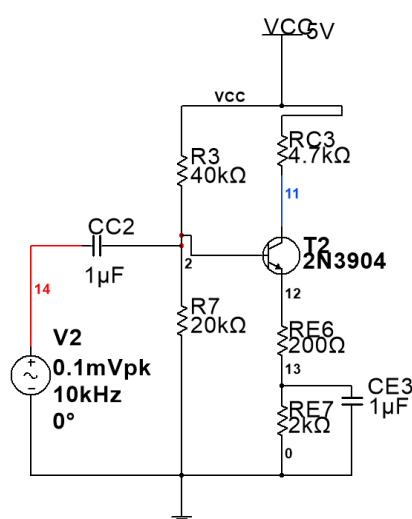


图 1 单级共射放大器

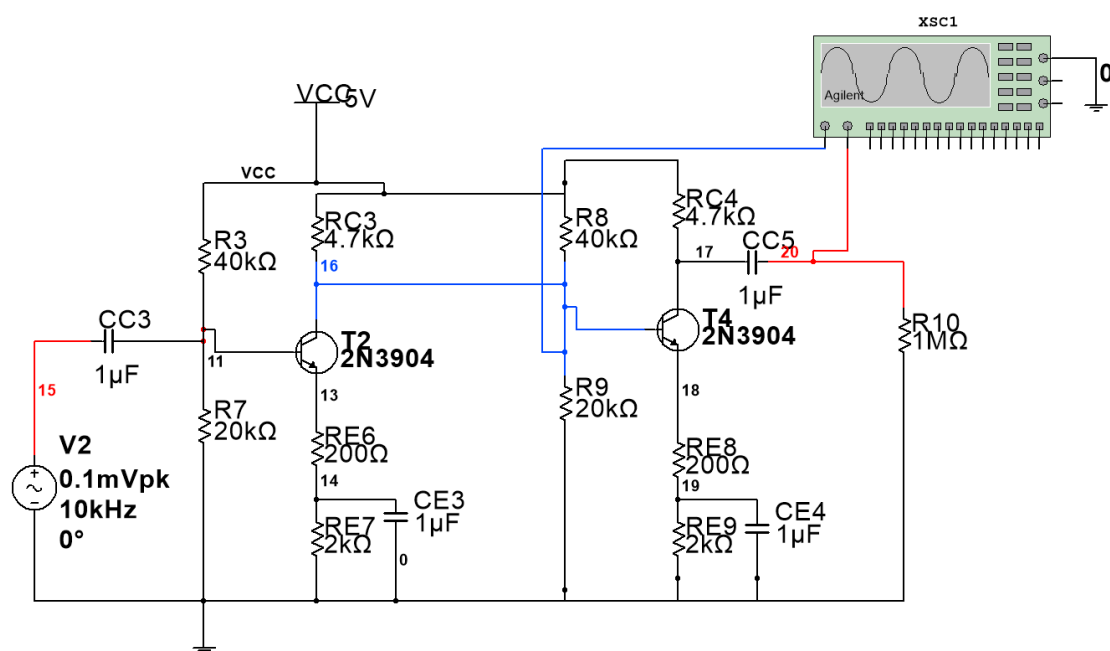


图 2. 两级直接级联放大器

思考：

无法实现  $A_{v总} = A_v \times A_v = A_v^2$  的两级放大器。

原因：

1. 两级之间用导线连接，直流工作点互相影响，无法保证两个单级放大器均处于放大区，所以两级放大增益与单级放大器会有区别。

2. 第一级放大器负载为原来负载和第二级放大器输入电阻并联，导致电阻阻值减小，增益减小；第二级无影响，增益几乎不变。所以没有实现  $A_{v总} = A_v \times A_v = A_v^2$ ，仿真结果也验证减小。

多级放大器仿真：

1. 根据图 1 所示，在 Multisim 中搭建单级放大电路。

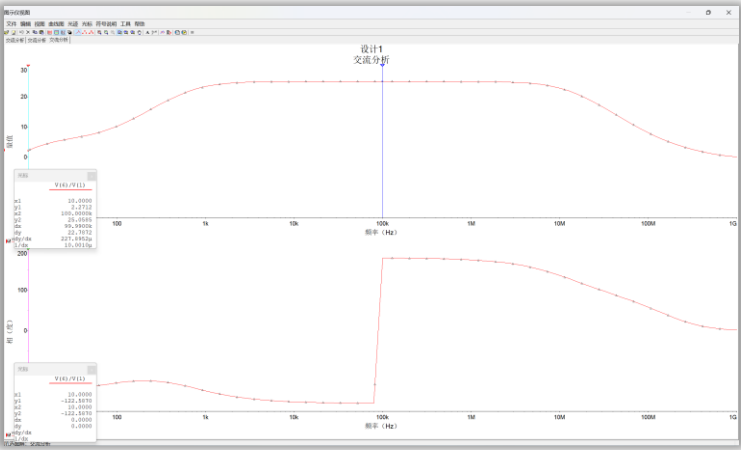
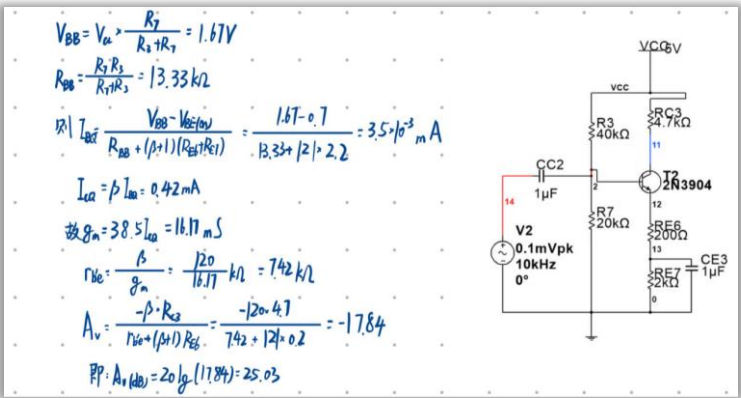
仿真设置：Simulate → Analysis → AC Analysis...

结果查看：在弹出的波形窗口中，读出该放大器中频增益值，填入表 1。

表 1：单级放大器增益

	计算值	仿真值
放大器增益 $A_v$	25.03	25.0585

理论计算：



2. 根据图 2 所示电路，在 Multisim 中采取直接级联的方式搭建两级放大电路。

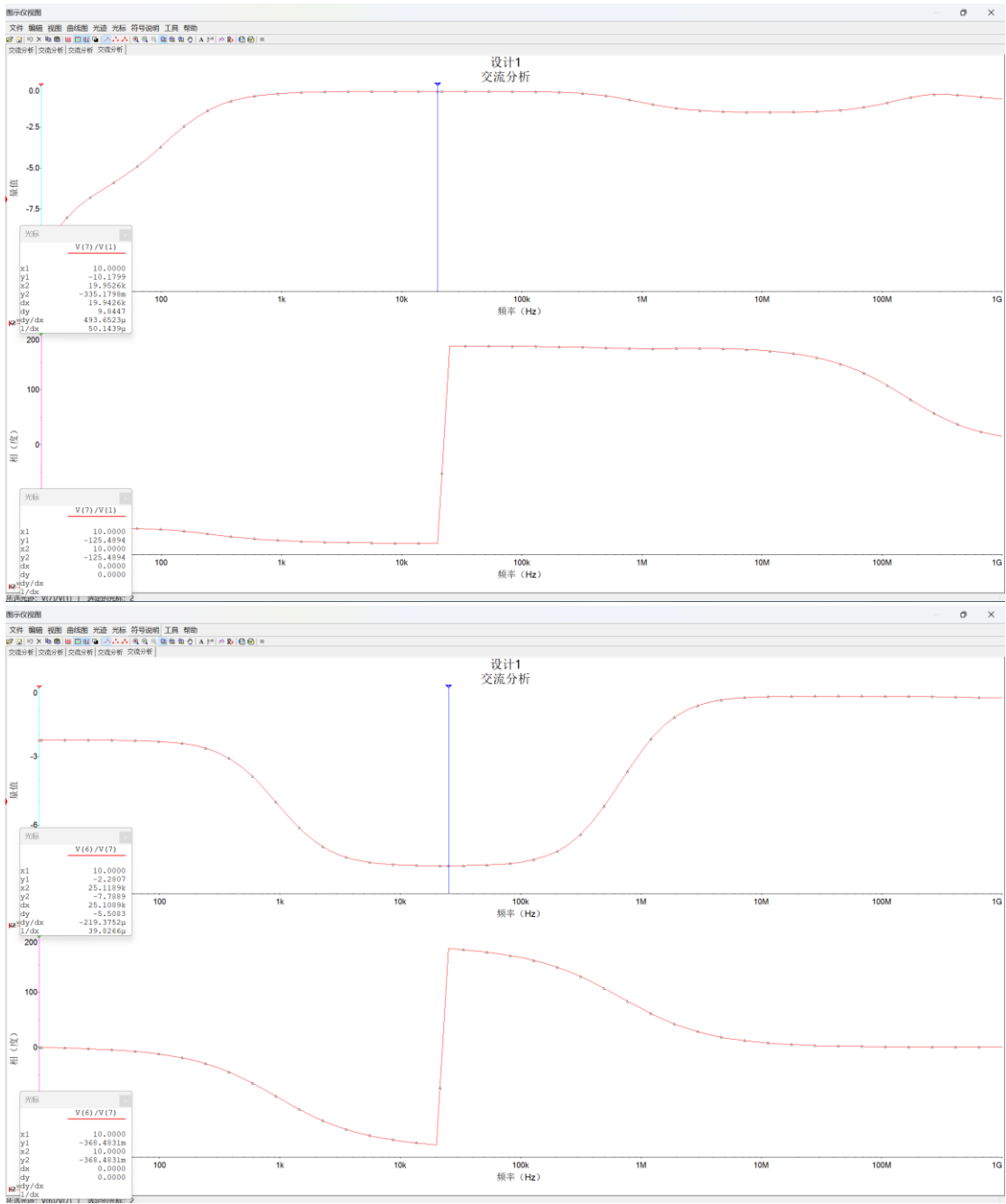
**仿真设置：** Simulate → Analysis → AC Analysis...

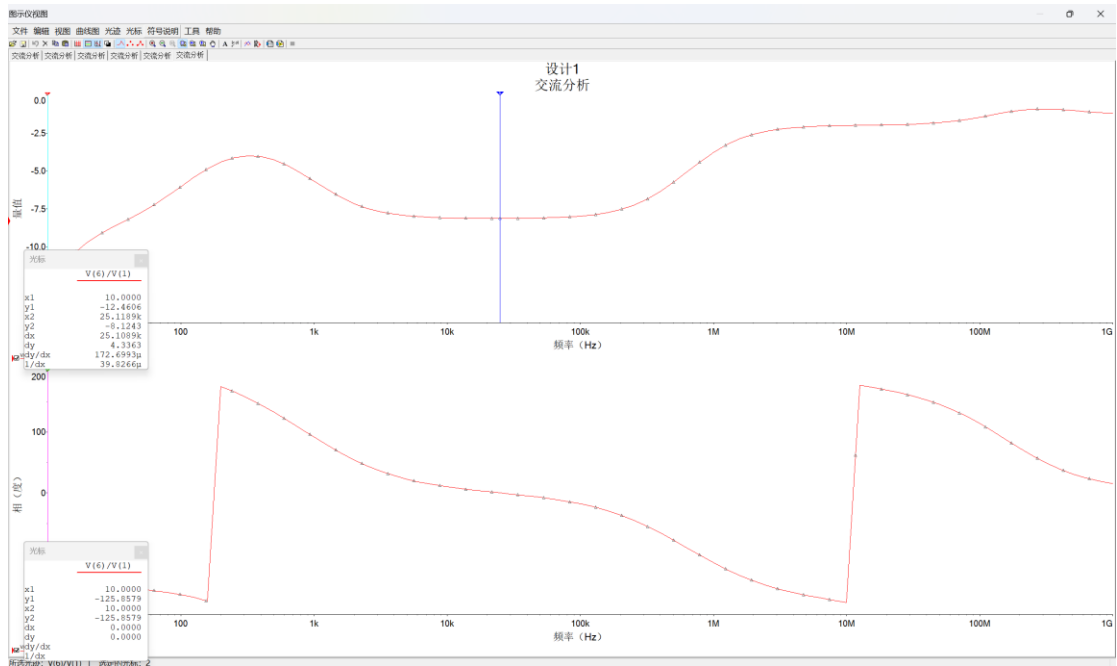
**结果查看：** 在弹出的波形窗口中，读出第一级、第二级和总电压增益  $A_{v1}$ 、 $A_{v2}$ 、 $A_v$ ，填入表格 2。

表 2：直接级联两级放大器增益仿真值

	$A_{v1}$	$A_{v2}$	$A_v$
放大器增益 $A_v$	-335.18m	-7.789	-8.1243

根据仿真结果分析，两级放大器直接级联后是否实现  $A_{v总}=A_{v1} \times A_{v2}=A_v^2$ ？与预习中的思考是否吻合？请思考后用理论分析与仿真相结合的方法来说明两级放大器直接级联后的工作情况。

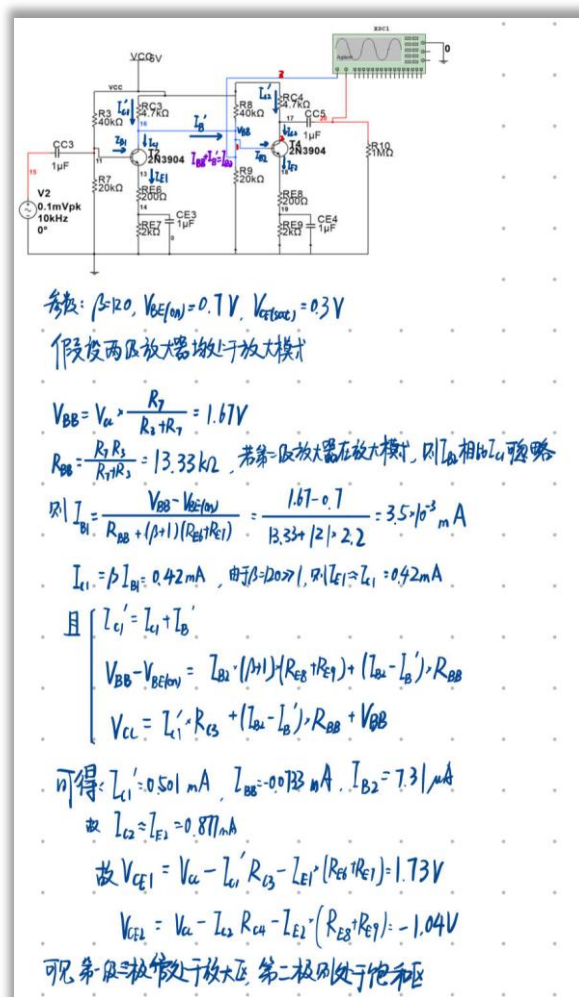




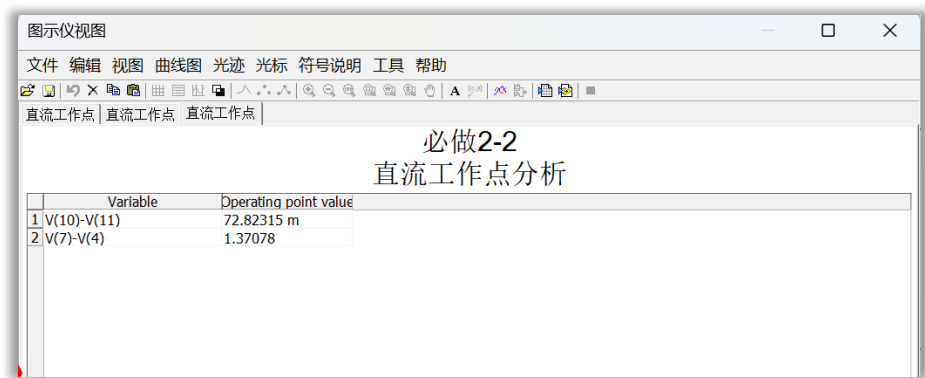
说明:

没有实现  $A_{v总} = A_v \times A_v = A_v^2$ , 与预习中的思考吻合。

理论分析:



仿真结果：



由仿真可知，一级放大器工作在放大区，二级放大器工作在饱和区，与理论计算一致。

3. 根据图 3 所示电路，将两级放大器采用电容耦合，在 Multisim 中搭建耦合后的两级放大电路。

**仿真设置：** Simulate → Analysis → AC Analysis...

**结果查看：** 在弹出的波形窗口中，读出第一级、第二级和总电压增益  $A_{v1}$ 、 $A_{v2}$ 、 $A_v$ ，填入表格 3。

表 3：电容耦合级联两级放大器增益仿真值

	$A_{v1}$	$A_{v2}$	$A_v$
放大器增益 $A_v$	21.6491	25.0185	46.6649

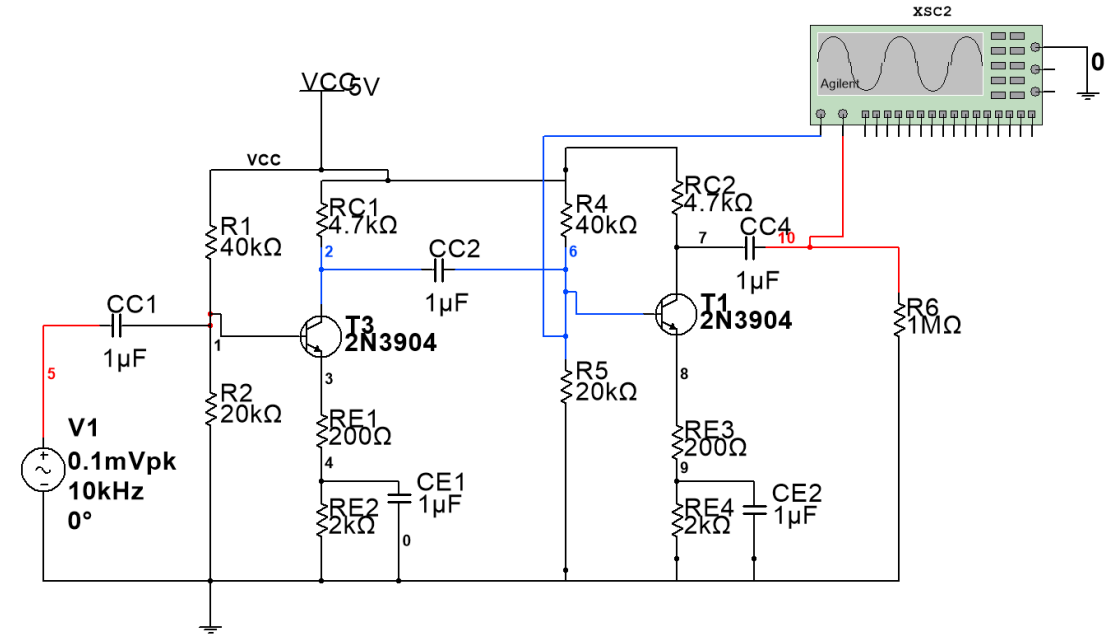
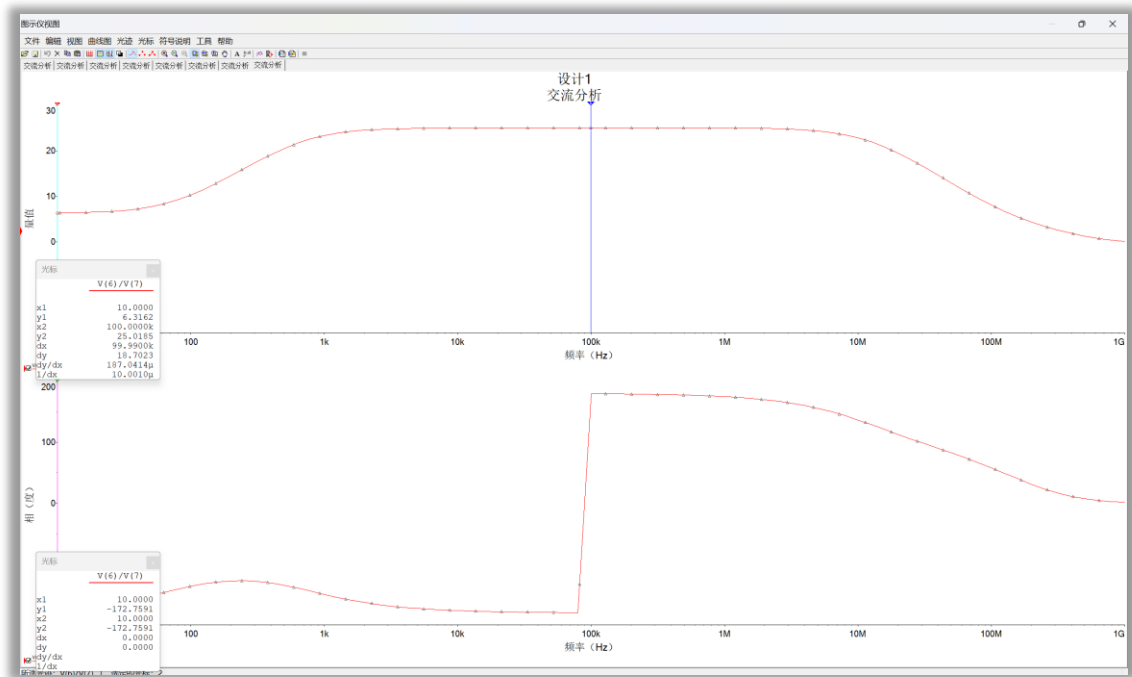
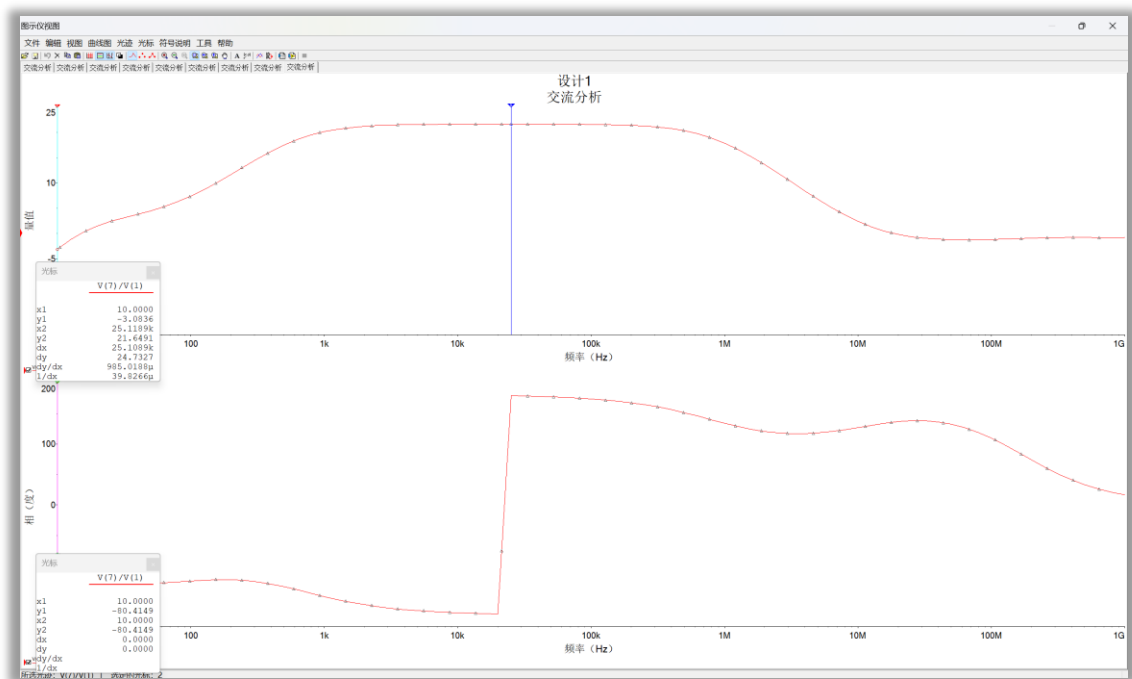
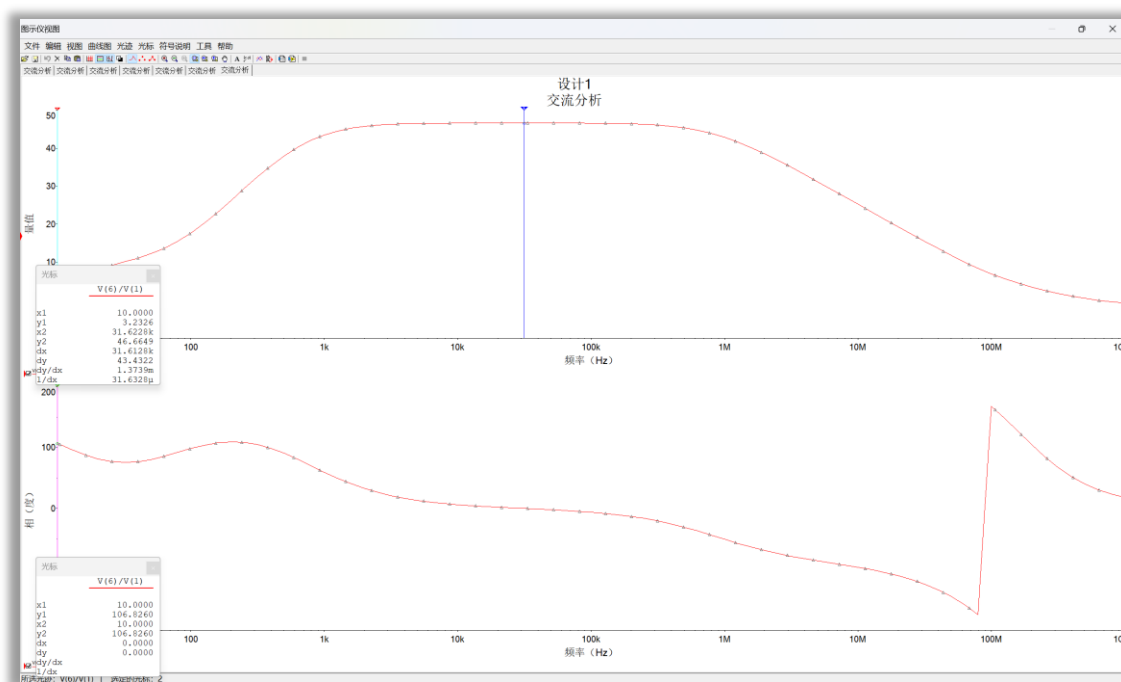


图 3 电容耦合级联两级放大器

根据仿真结果分析，采用电容耦合级联后，各级放大器的增益与单级放大器相比有何变化？两级放大器电容耦合级联后是否实现  $A_{v总} = A_{v1} \times A_{v2} = A_v^2$ ？为什么？请思考后用理论分析验证仿真结果。





说明：

一级放大器负载为原来负载和第二级放大器输入电阻并联，电阻阻值减小，导致增益减小；第二级无影响，增益几乎不变。所以没有实现  $A_{v总} = A_v \times A_v = A_v^2$ ，仿真结果也验证减小。

理论计算：

两级放大器直流工作点相同

$$V_{BB} = V_{cc} \times \frac{R_7}{R_3 + R_7} = 1.67V, \quad R_{BB} = \frac{R_7 R_3}{R_7 + R_3} = 13.33k\Omega$$

$$I_{BQ} = 3.5\mu A, \quad I_{CQ} = 0.42mA$$

$$g_m = 38.5 I_{CQ} = 16.17mS, \quad r_{be} = \frac{\beta}{g_m} = 7.42k\Omega$$

$$\text{则 } A_{v1} = \frac{-\beta (R_C // R_{BB} // (1+\beta) R_{E6})}{r_{be} + (1+\beta) R_{E6}} = -11.88$$

$$A_{v2} = \frac{-\beta R_{C4}}{r_{be} + (1+\beta) R_{E9}} = -17.95$$

$$\text{故 } A_{v1} = 21.50dB, A_{v2} = 25.08dB, A_v = A_{v1} \cdot A_{v2} = 46.58dB$$

设计任务：

需要进一步扩展带宽，同时要获得稳定的电压增益，利用学过的负反馈知识，给放大器添加合适的反馈，保证电压增益>20dB，并完成仿真测试。请给出添加负反馈后的电路图，并进行仿真对比测试，填入表 4。

电路图：

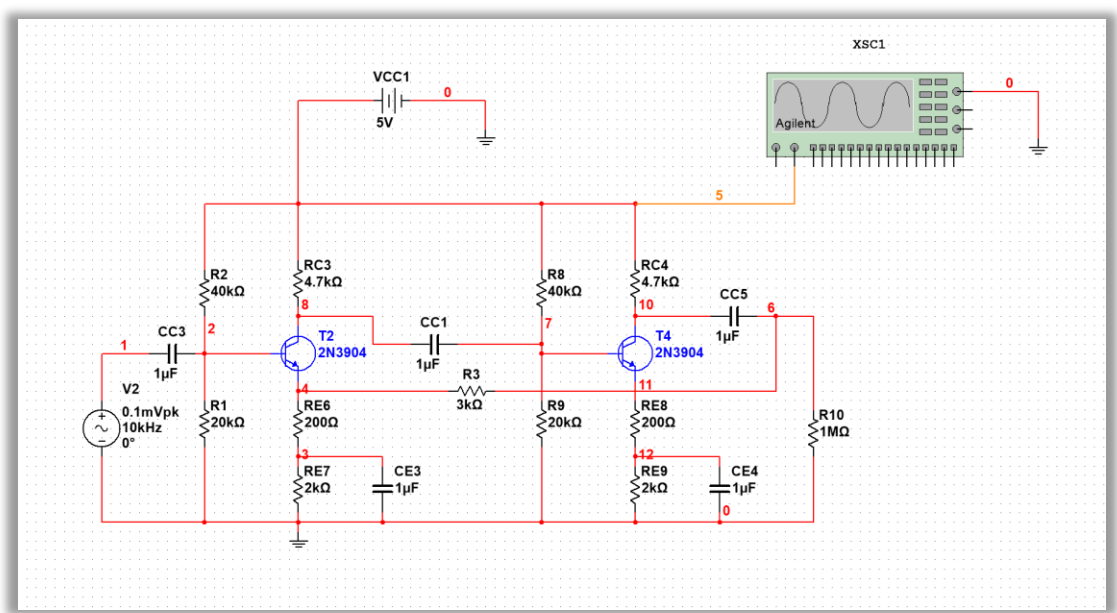
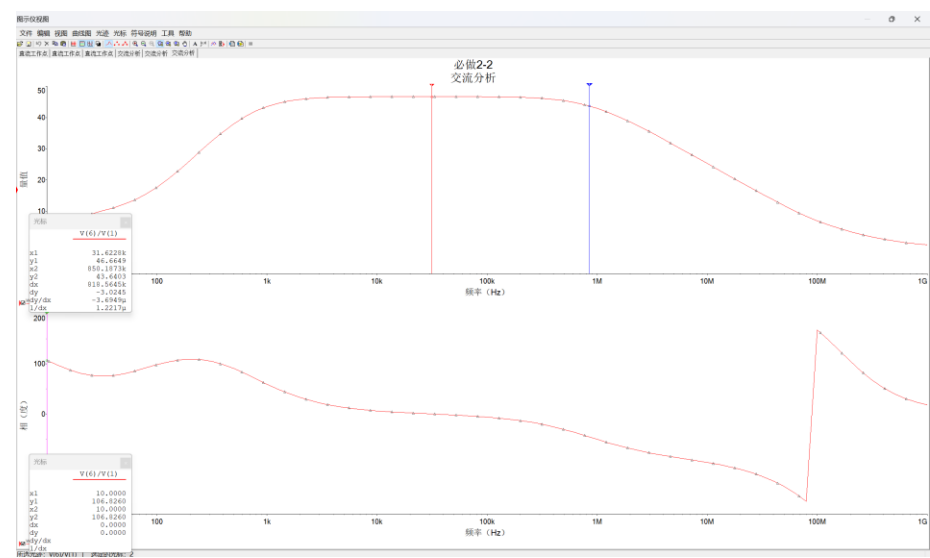


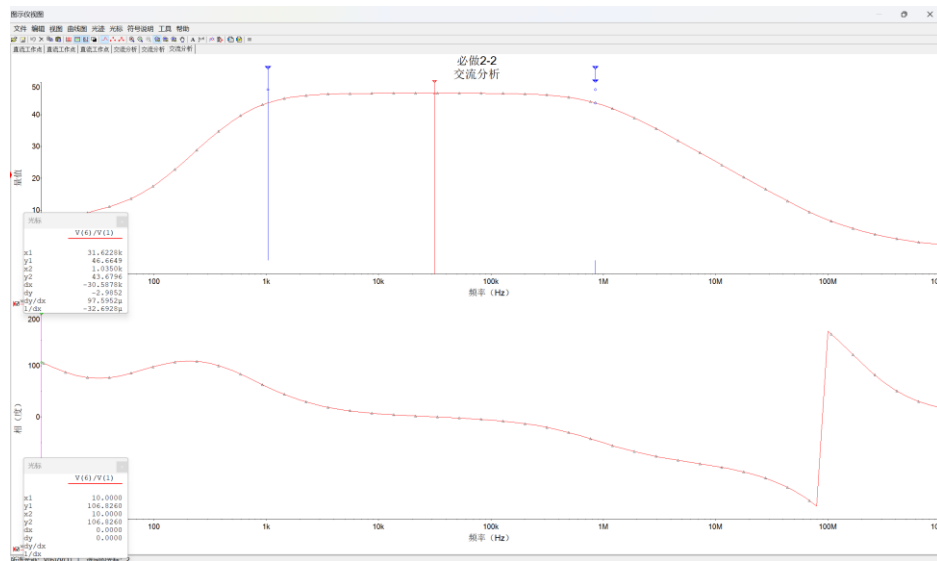
表 4:

	放大器中频增益 $A_v$	上限频率 $f_H$	下限频率 $f_L$
无反馈电路	46.6649	850.1873k	1.0350k
反馈电路	22.6995	14.0617M	878.0713

无反馈电路：







反馈电路:

