东南大学模拟电子电路实验

实 验 报 告

学号 04016339

姓名 范瑞元

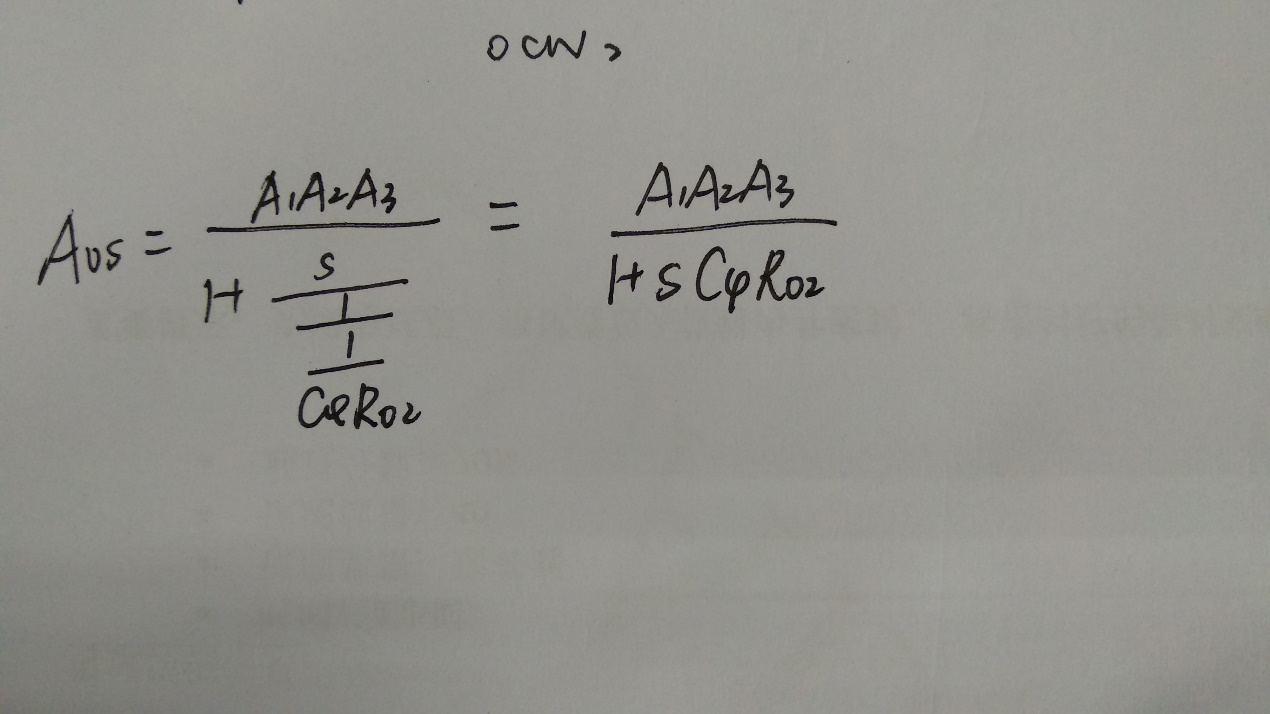
2018年 5月 19 日

实验名称 多级放大器的频率补偿和反馈

成 绩

**【背景知识小考察】**

多级放大器由三级反相放大器组成，三级放大器的增益分别为*A*1，*A*2和*A*3，输出阻抗分别为*R*o1，*R*o2和*R*o3，输入阻抗无穷大，若在第二级放大器的输入端和输出端跨接一只电容*C*ϕ，不考虑三级反相放大器自身的极零点，将多级放大器近似为单极点系统，试写出该多级放大器的传递函数。



**【一起做仿真】**

1. **多级放大器的基本结构及直流工作点设计**

基本的多级放大器如图3-7-7所示。

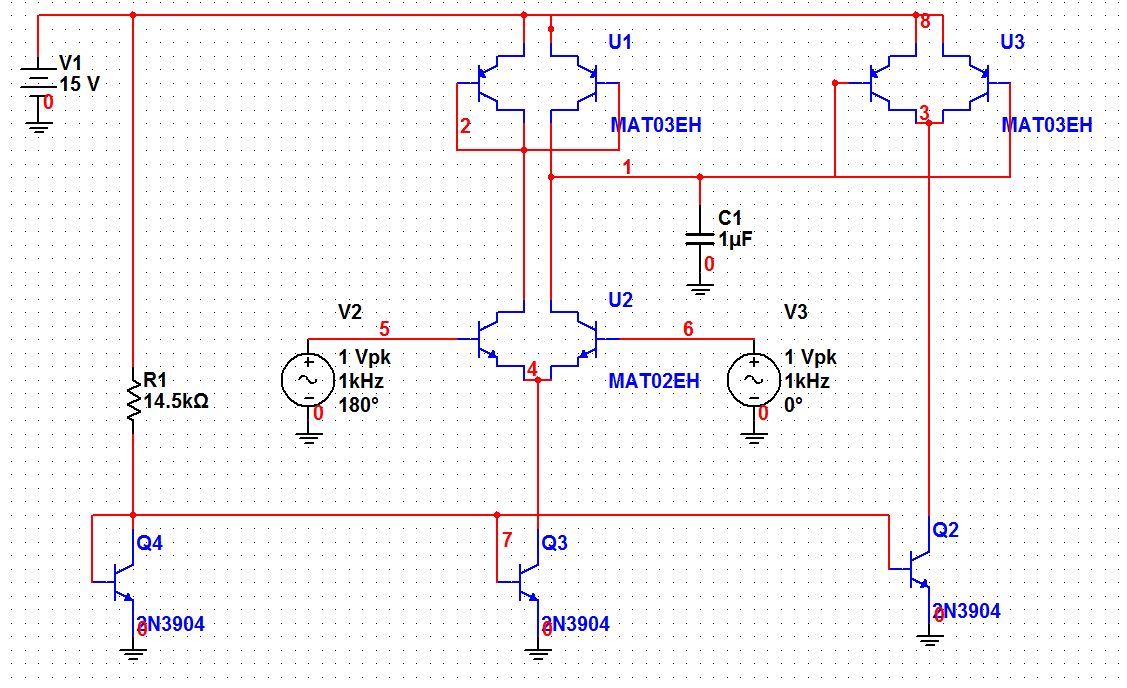


图3-7-7基本的多级放大器

**实验任务：**

若输入信号的直流电压为2V，通过仿真得到图3-7-7中节点1，节点2和节点3的直流工作点电压；



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| V3（V）节点1 | V2（V）节点2 | V4（V）节点4 |
| 14.42956 | 14.42958 | 8.38849 |

若输出级的NPN管Q2采两只管子并联，则放大器的输出直流电压为多少？结合仿真结果总结多级放大器各级的静态电流配置原则。

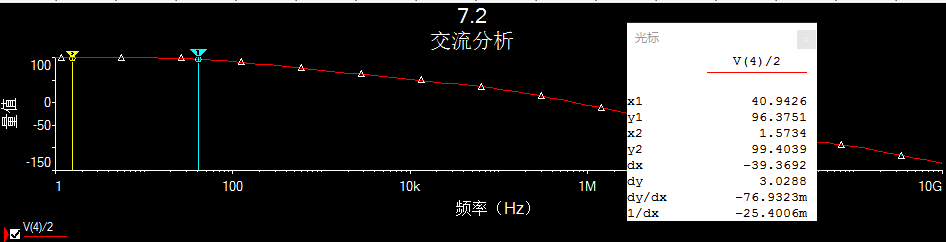
将①和②对比后可以发现，V3的数值产生明显的变化。U3之所以采用两只管子，是因为这样可以增大输出电压，是工作点更稳定，提高直流工作点

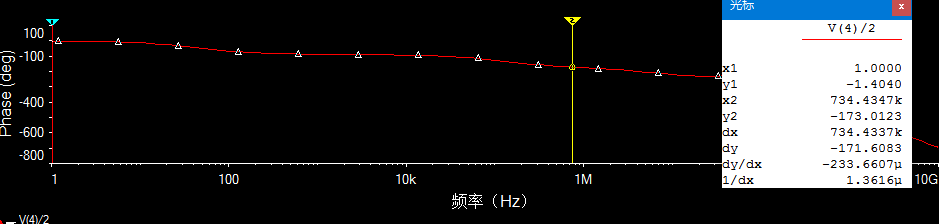
1. **多级放大器的基本电参数仿真**

**实验任务：**采用图3-7-7所示电路进行多级放大器基本参数仿真。

差模增益及放大器带宽

低频差模增益AvdI=99.4039dB；





由仿真图：

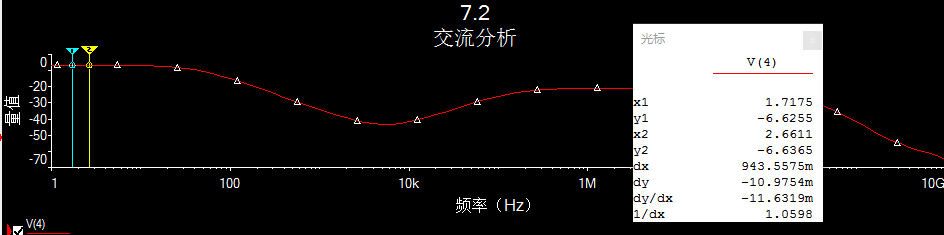
上限频率fH=40.9426Hz；

0dB处的相位=173。

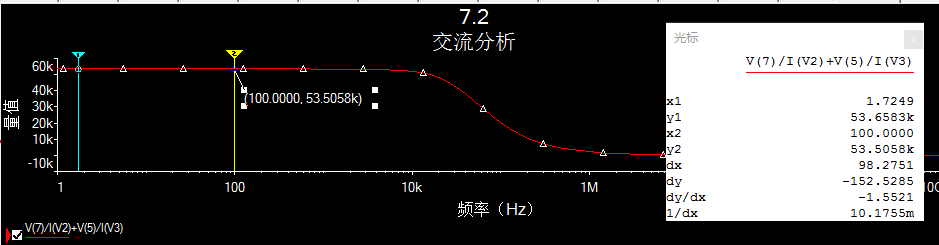
共模增益

低频共模增益AVC=-6.6255dB；共模抑制比KCMR=200202.7322。

幅频特性仿真结果图：

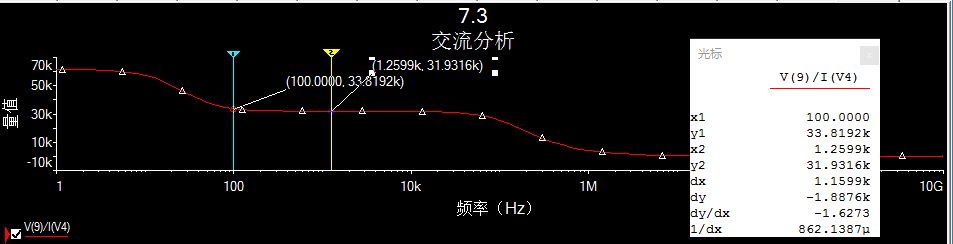


差模输入阻抗



Rid=53.5058KΩ

输出阻抗



Ro=31.9316kΩ

100Hz处Ro=33.8132kΩ。

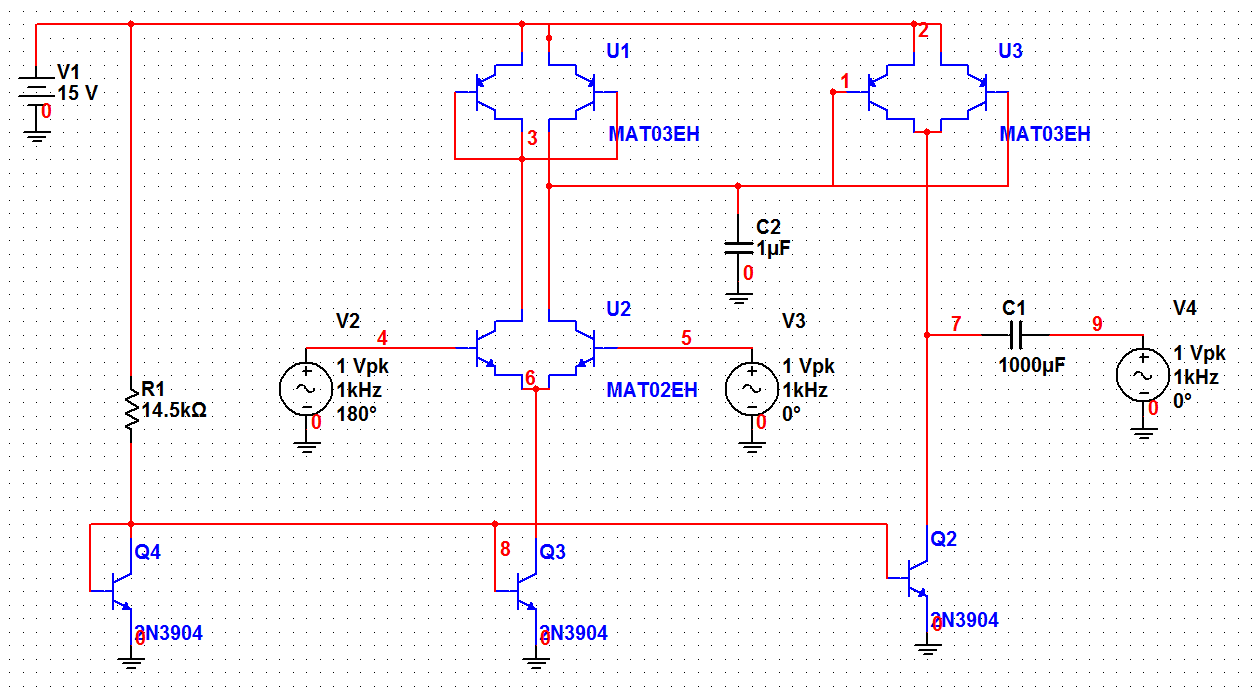


图3-7-8 多级放大器输出阻抗仿真电路

**思考：**若放大器输出电压信号激励后级放大器，根据仿真得到的结果，后级放大器的输入阻抗至少为多少才能忽略负载的影响？ 若后级放大器输入阻抗较低，采取什么措施可以提高放大器的驱动能力？

**答：1.后级放大器的输入阻抗至少为326.8kΩ（10倍）时，才能忽略负载的影响。**

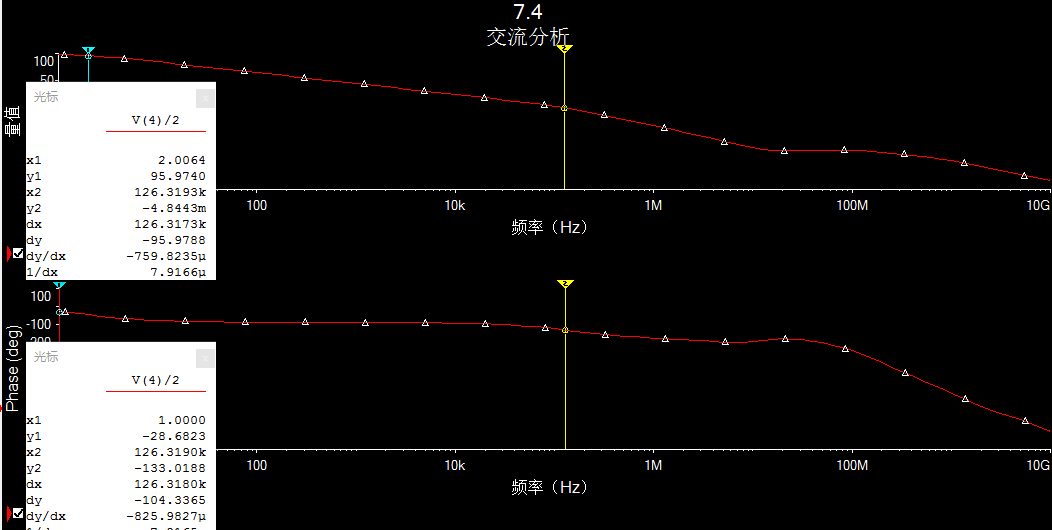
**在放大器输出端负载并联一个小电阻，以减小输出阻抗**

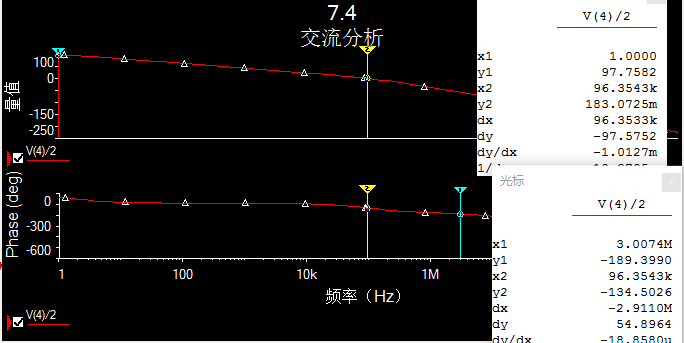
1. **多级放大器的频率补偿**

**实验任务：**

简单电容补偿

按照图3-7-7所示电路，将输入信号V2和V3的直流电压设置为2V，AC输入幅度都设置为0.5V，相位相差180°，根据电路分析并结合AC仿真结果找出电路主极点位置，并采用简单电容补偿方法进行频率补偿，通过仿真得到最小补偿电容值，使得单位增益处相位不低于-135°，提交补偿后V(3)的幅频特性曲线和相频特性曲线，并标注出上限频率*f*H和增益为0dB时的相位。





最小补偿电容 fH=2.0251Hz 0dB时相位-134.5026°

密勒电容补偿

按照图3-7-9所示电路，对电路进行密勒电容补偿，其中Q1和Q5构成补偿支路的电压跟随器。将输入信号V2和V3的直流电压设置为2V，AC输入幅度都设置为0.5V，相位相差180°，进行AC仿真分析，通过仿真得到最小补偿电容值，使得输出电压V(3)在单位增益处相位不低于-135°，提交补偿后V(3)的幅频特性曲线和相频特性曲线，并标注出上限频率*f*H和增益为0dB时的相位。

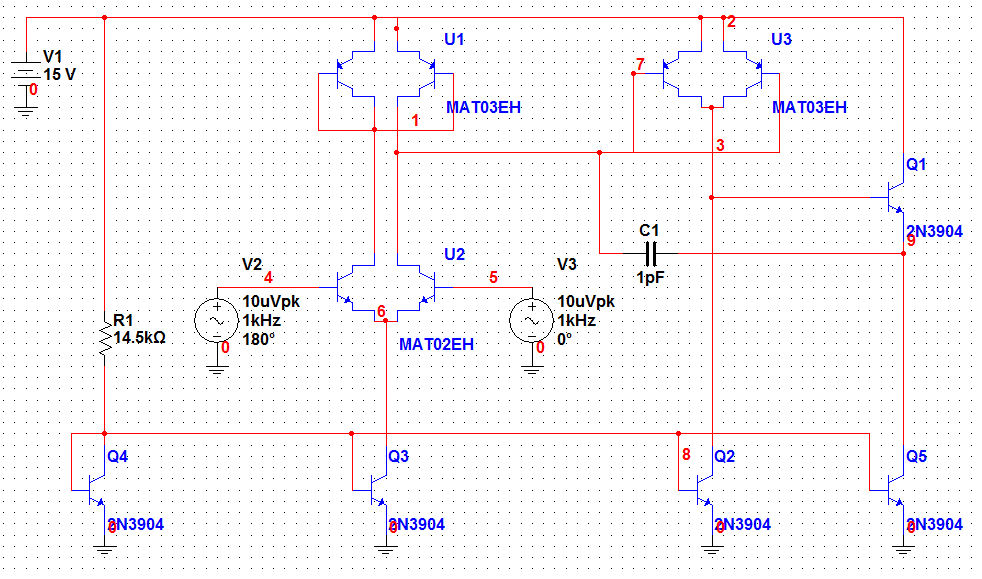
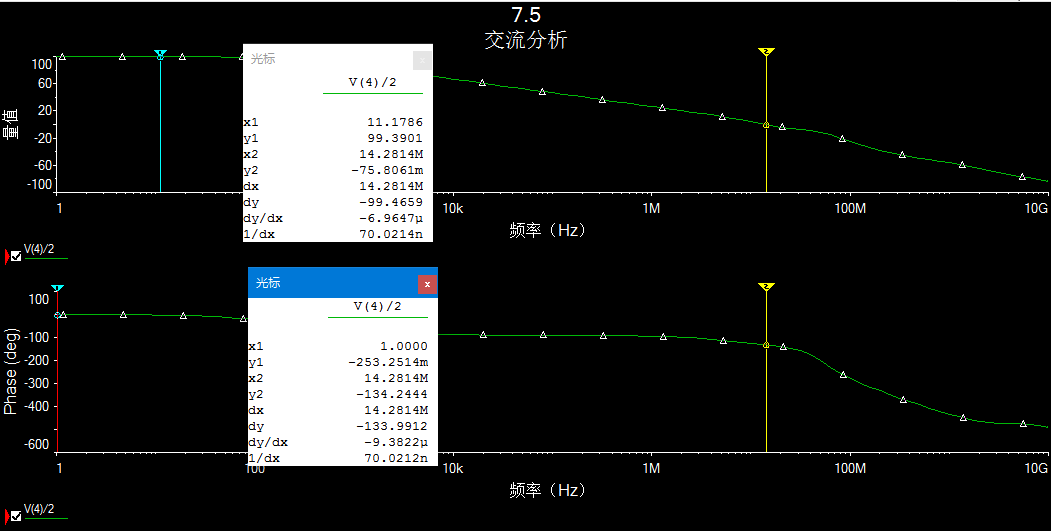


图3-7-9 多级放大器的密勒电容补偿



上限频率：223.2494Hz，0db处的相位: -134.2444

输出电压为V(3)时，最小补偿电容值为115pF

1. **反馈放大器**

图3-7-9所示多级放大器引入电压串联负反馈，同时改为正负电源供电，如图3-7-10所示（密勒补偿电容C1的值请采用实验任务3中得到的结果）。

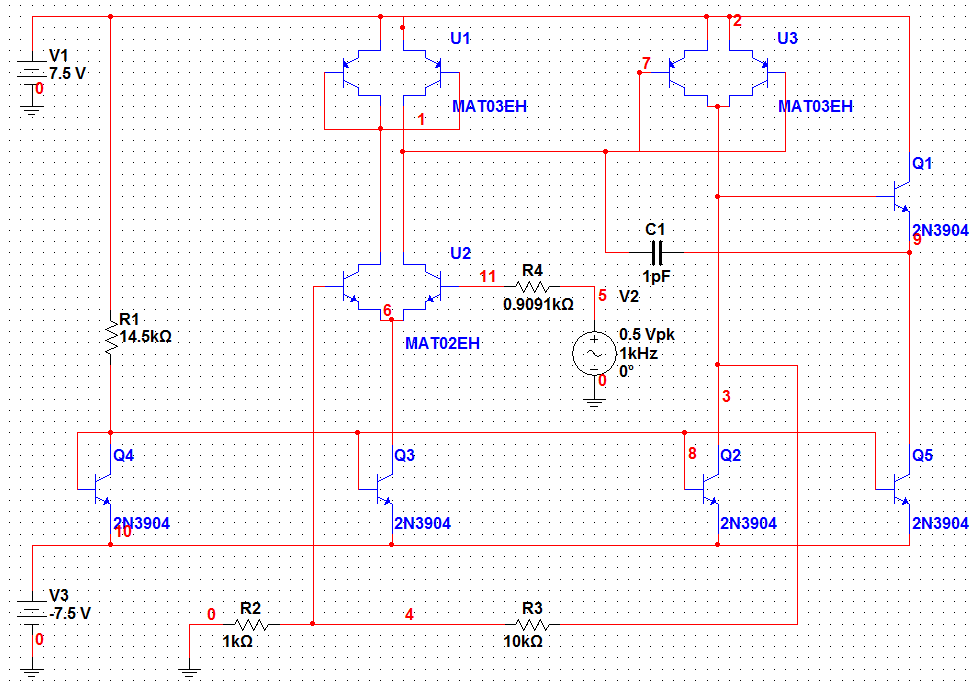
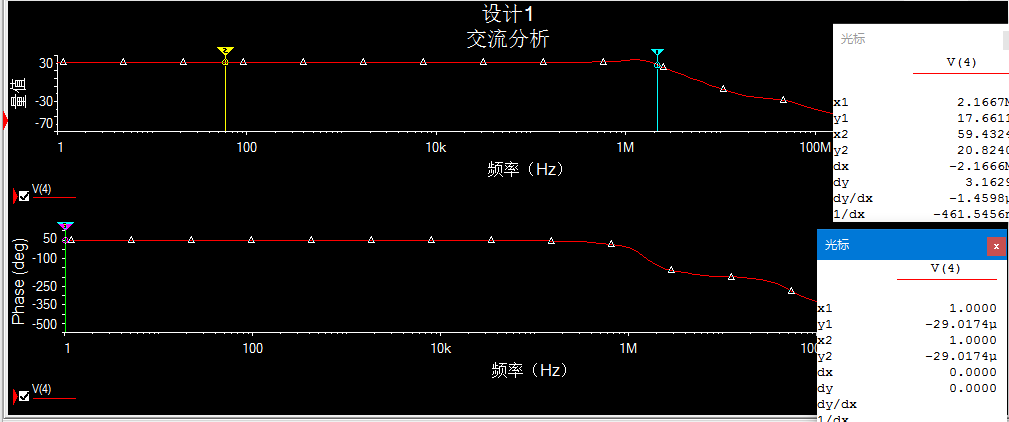


图3-7-10 电压串联负反馈放大器

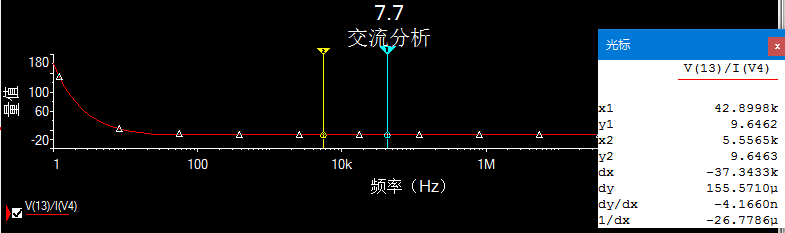
**实验任务：**

将输入信号 V2的直流电压设置为0V，AC输入幅度都设置为1V，进行AC仿真分析，得到输出电压V(3)的幅频特性曲线和相频特性曲线，并在图中标注上限频率*f*H。



fH=2.1667MHz

按照实验任务2中的分析方法，通过AC仿真得到电路的输出阻抗随频率的变化曲线，并标注100Hz处的值，并与没有施加负反馈的输出阻抗进行对照，结合理论分析解释阻抗的变化。

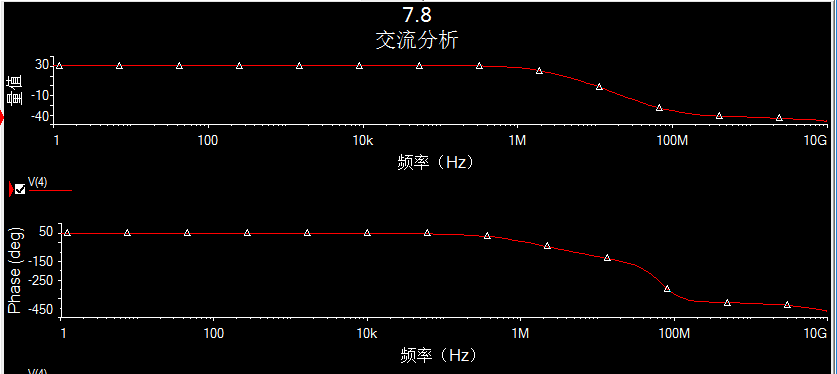


100Hz时的输出阻抗值为9.6462Ω；

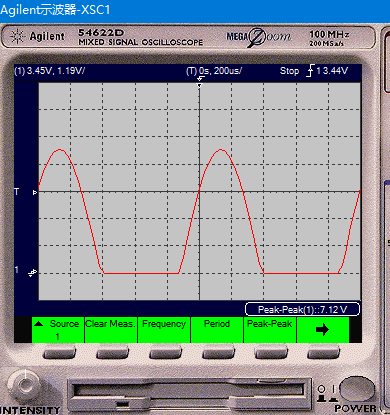
没有施加负反馈的输出阻抗值为：32.6843kΩ；

**分析**：负反馈会使放大器指标趋于理想化，对于电压串联负反馈，输出阻抗会减小。

反馈电阻R2和R3的值分别改为10Ω和100Ω，R4的值改为10Ω//100Ω，重复的仿真，得到V(3)的幅频特性曲线和相频特性曲线；同时按照图3-7-10中V2的设置条件进行瞬态仿真，得到输出电压V(3)的波形，观察波形是否失真，并给出合理的解释。



可见V(3)的幅频相频特性曲线和R2、R3、R4修改前是一样的。这是因为它们的比例都相同，分压也相同。



波形失真，可能是因为输入电压过大。这可能是因为R2、R3减小，导致差分对管基极电流过大，使三极管击穿，出现了截止失真。

**【设计挑战】**

若系统中只能提供单路+5V电源，输入信号的直流电压为2V，图3-7-10所示电路需要做怎样的改进才能设计出增益为100的反馈放大器？请给出改进后的电路图和器件参数（密勒补偿电容C1的值请采用仿真实验任务3中得到的结果），给出输出端（节点3）的静态工作电压和AC仿真结果。