

实验 1（硬件实验）——放大器设计与硬件搭建及测试

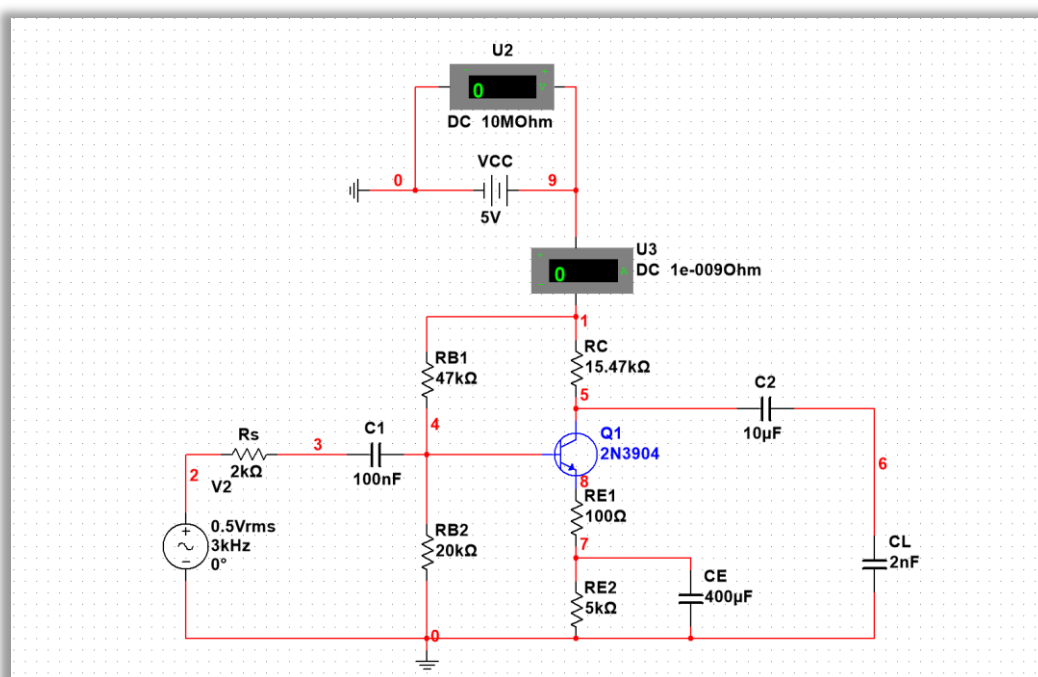
姓名：钟源 学号：04022212 得分：_____

设计要求：采用晶体管 2N3904、电阻、电容等器件设计单端放大器，负载电容 2nF，电源电压 5V，放大器上限频率 $3\text{kHz} < f_H < 6\text{kHz}$ ，下限频率 $f_L < 1\text{kHz}$ ，带宽内电压增益 $A_v > 32\text{dB}$ ，功耗 $< 3\text{mW}$ 。

一、设计过程

给放大器设计合适的偏置电路和输入输出网络，写出设计过程。

电路图：



理论分析过程：

由技术文档知三极管 2N3904 NP 参数— $V_{BE(ON)} = 0.65\text{V}$ ， $V_{CE(sat)} = 0.25\text{V}$ ， $\beta = 100$ 。

对于上限频率，有：

$$f_H = \frac{1}{2\pi R_C C_L}$$

，其中 $C_L = 2\text{nF}$ 。要使 $3\text{kHz} < f_H < 6\text{kHz}$ ，取 $f_H = 5\text{kHz}$ ，则 $R_C = \frac{1}{2\pi f_H C_L} = 15.91\text{k}\Omega$ ，

考虑到实地搭建及仿真结果的调整，最终 R_C 取 $15.47\text{k}\Omega$ 。

直流通路：

设置 $V_E = 0.85\text{V}$ ，为使 V_1 电压浮动范围最大，设置其为 3V ，则 $I_{CQ} = 0.125\text{mA}$ ， $I_{BQ} =$

$1.25\mu A$ 。为提高电路稳定性，采用如图分压式偏置电路，则 $R_{E2} = 5k\Omega$ 。

为减小其对交流信号的影响，再在 R_4 两端并接上大电容 $C_2 = 400\mu F$ ，使其在交流通路中近似短路。为在提高电路稳定性，获得较稳定的频响曲，可在发射极再串联一个小电阻 $R_{E1} = 100\Omega$ 。

在直流通路中，端口 1 与 6 之间等效为一个电压为 $V_{BE(ON)} = 0.65V$ 的电压源，则 $V_{BB} = V_{EE} + V_{BE(ON)} = 1.5V$ 。 R_4 折算进基极分压电路中，等效电阻为 $(\beta + 1)R_{E2} = 505k\Omega$ ，且当 $R_{B1} \ll (\beta + 1)R_{E2}$ 时， $\frac{V_{EE}}{V_{CC}} = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_C}$ ，而电路要求功耗 $P < 3mW$ ，故 $R_{B1} + R_C$ 不宜太小，以防总电流过大，综上考虑，令 $R_{B1} = 47k\Omega, R_{BC} = 20k\Omega$ 。通过电压表对直流工作点的分析，各点电压与各回路电流与预期计算符合得较好。

交流通路：

交流通路中， R_{E2} 近似短路， $r_{b'e} = \frac{V_T}{I_{BQ}} = 20.8k\Omega$ ， $R_i = r_{b'e} + (\beta + 1)R_{E1} = 30.8k\Omega$ ， $R_i' = R_i // R_{B1} // R_{B2} = 9.64k\Omega$ 。

对于下限频率，有：

$$f_L = \frac{1}{2\pi R_i' C_1}$$

其中 $R_i' = 9.64k\Omega$ 。考虑到 $f_L < 1kHz$ ，取 $f_L \approx 165.1Hz$ ，则 $C_1 = 100nF$ 。

$A_v = \frac{-\beta i_b R_{E1}}{i_b R_i} = -62.3$ ， $A_v(dB) = 20 \log_{10} 62.3 = 35.89dB > 32dB$ ，则放大器增益符合要求。

综上，电路各原件参数设计过程分析完毕，经过仿真与实际电路相互验证，符合度较好。

二、仿真实验

进行电路的幅频和相频特性仿真，读出放大器增益、上下限频率和通频带，记入表 1。

采用瞬态仿真，分别输入三个不同频率的相同幅度正弦波信号，观察瞬态波形输出，从示波器上读出其增益，计入表 2。三种频率的具体要求是：低频区： $=0.5f_L$ ；中频区： f_L 与 f_H 之间；高频区： $=2f_H$ 。

表 1：晶体三极管放大器频率特性

	仿真值	实测值
放大器增益 $A_v(dB)$	35.0279	34.62
下限频率 f_L (Hz)	198.3803	212.79
上限频率 f_H (Hz)	5.5103k	4.84k

通频带 BW (Hz)	5.312k	4.627k
-------------	--------	--------

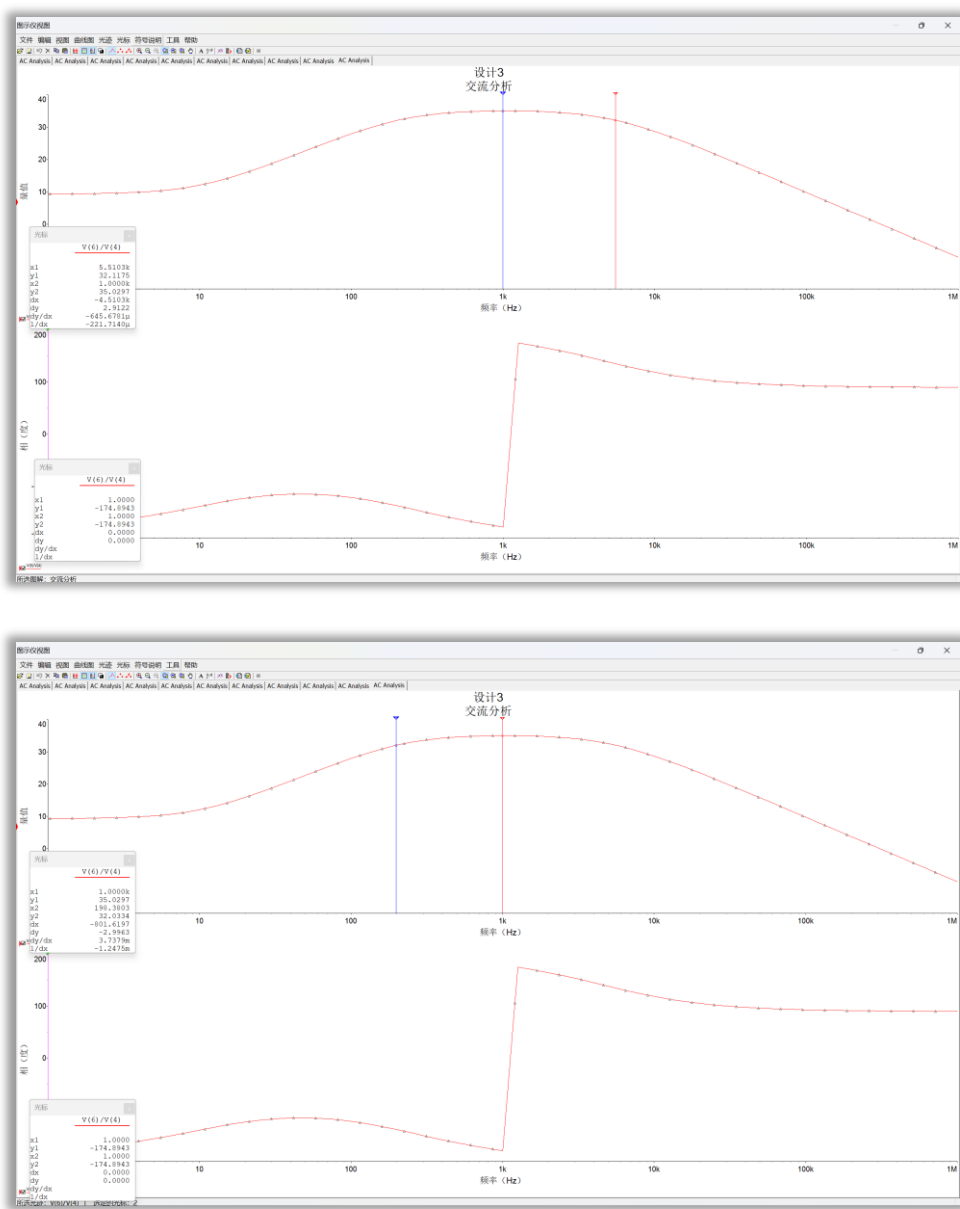
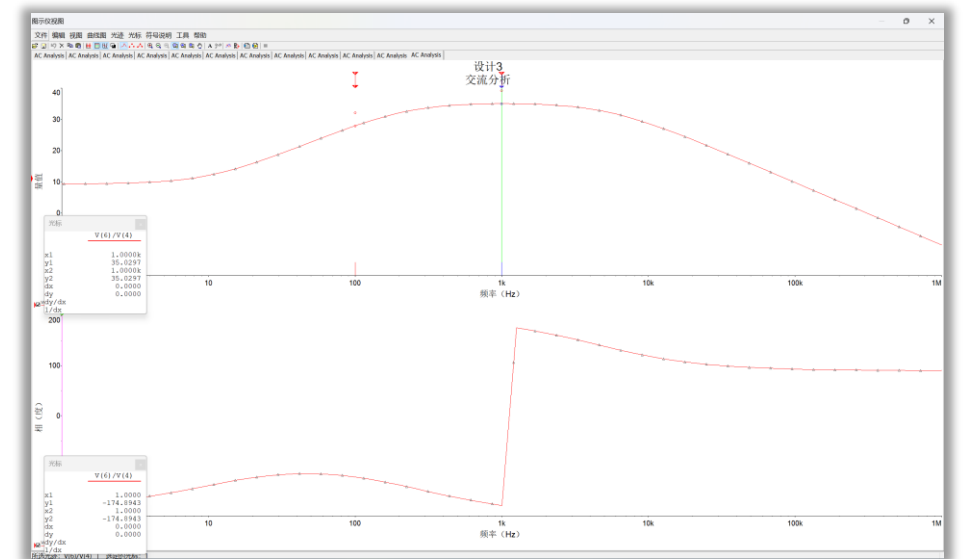
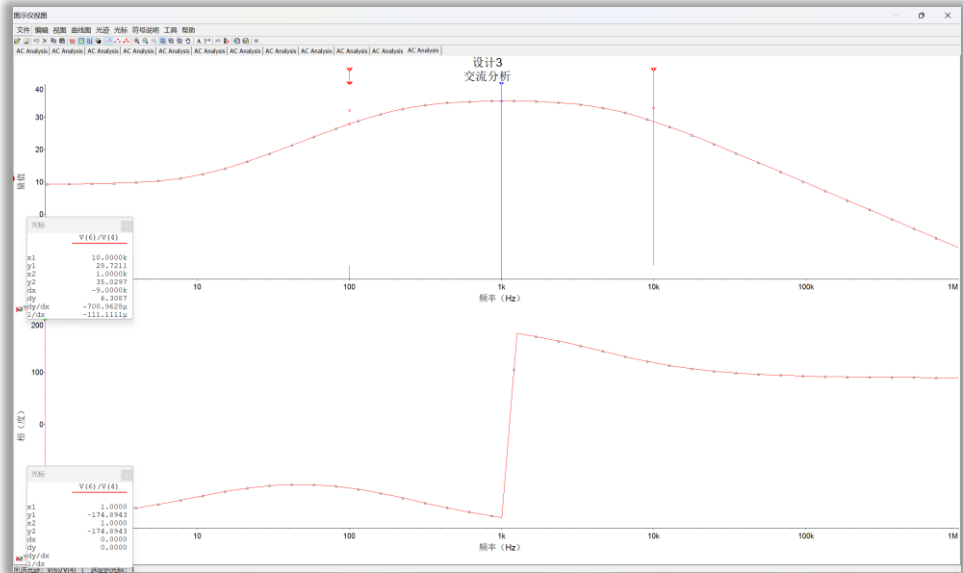
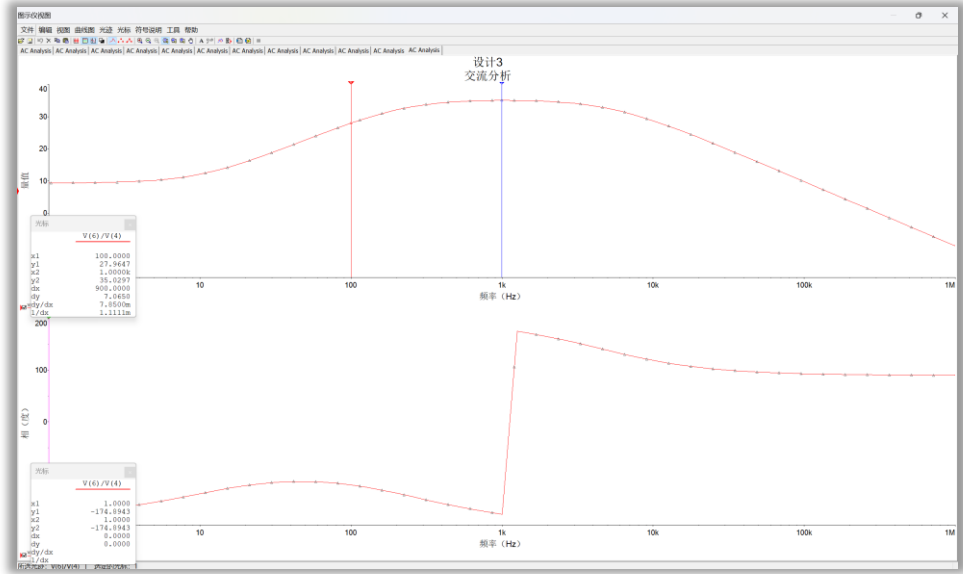


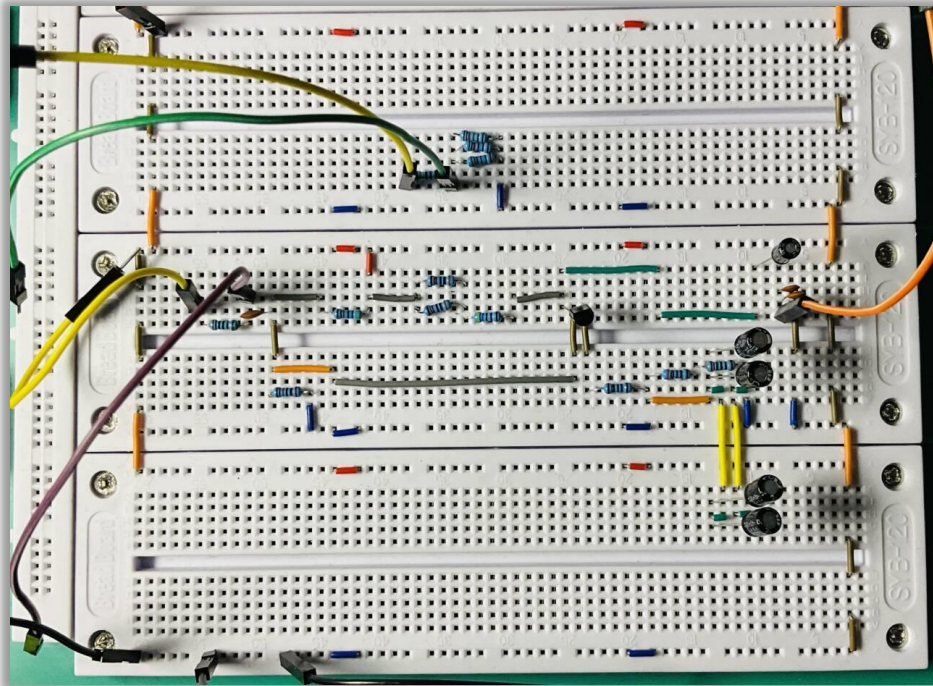
表 2: 晶体三极管不同频率输入信号时放大器增益值

电压增益 A_v	低频区 $f=100Hz$	中频区 $f=1kHz$	高频区 $f=10kHz$
仿真值	27.9647	35.0279	28.7211
测试值	26.646	34.569	27.526

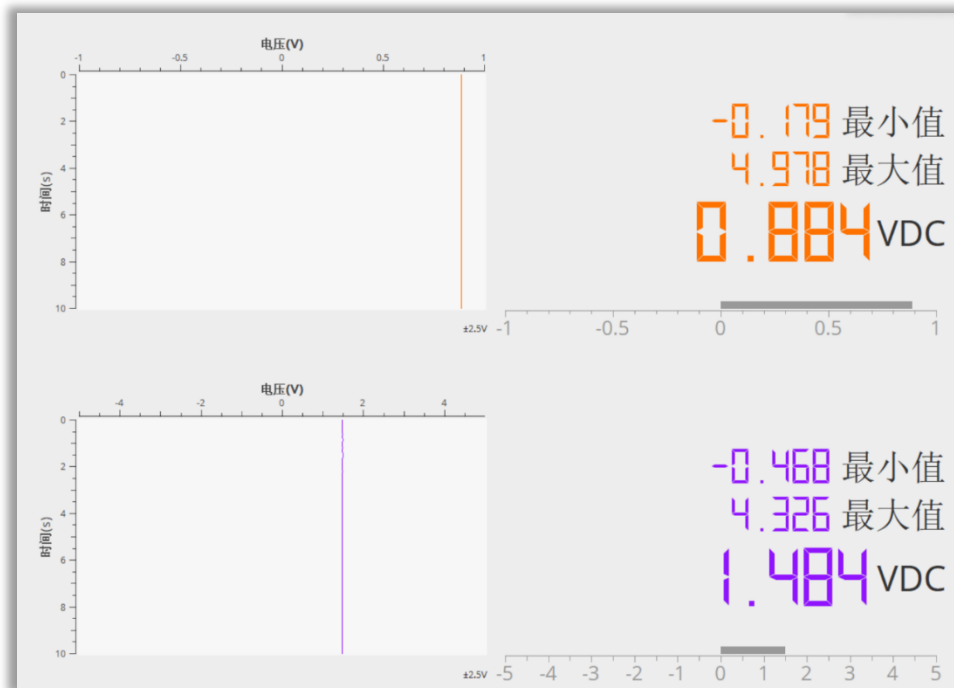


三、硬件实验

1. 搭试电路：首先将设计好的晶体管放大电路在面包板上搭试，与口袋实验室正确连接。



2. 直流测试：使用口袋实验室电压表测试各点直流电压，以确保电路搭试正确。



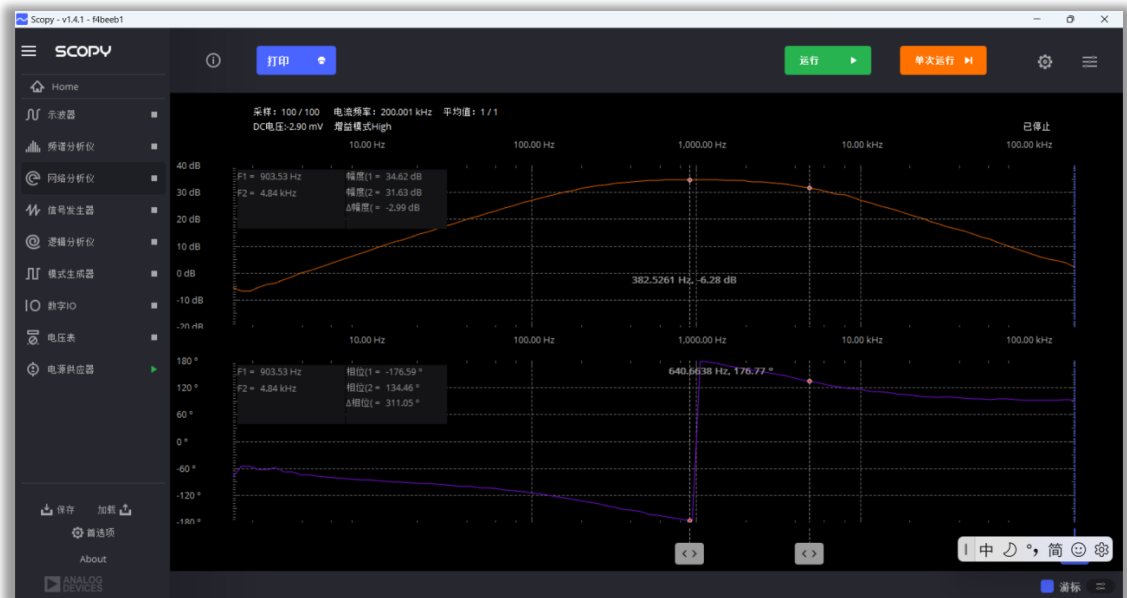
橙色为 V_{EE} ,紫色为 V_{BB}

$$P = V_{EE} / (R_{E1} + R_{E2}) * V_{BB} = 0.725mW < 3mW$$

由上图可知，电路直流工作点正常由上图可知，电路直流工作点正常。

- 波特图测试: 根据放大器硬件实验步骤，在电脑中打开口袋实验室的网络分析仪（波特图分析仪）界面并进行正确的设置。点击 **Run**，扫描获得幅频和相频曲线并截图。
读出放大器增益、上下限频率和通频带，记入表 1。

网络分析仪截图：



4. 瞬态波形测试

选取表 2 中的三个频率，从示波器上读出其增益，填入表 2。



