

# 电子科技大学

## 《Multisim 与电路仿真设计》实验报告

实验 6: 电路频率特性分析

学生姓名: 李聪 学号: 2019010398114

教师姓名: 张彪 日期: 2021-10-9

### 一、实验目的与任务

#### 1、实验目的

仿真分析动态电路的频率特性，理解电路参数对放大电路频率特性的影响。

#### 2、实验内容

##### • 1、RLC电路频率特性测量

(1).RLC串联电路如图1，用AC分析方法测试电阻输出（节点3、0之间）时的幅频特性和相频特性曲线。根据幅频特性曲线，求出谐振频率 $f_0$ 、3dB带宽 $\Delta f$ 和 $Q$ 值，完成表1。与理论值比较。

(2).设置信号频率为谐振频率 $f_0$ ，电压有效值1V。分别测试电容、电感和电阻上的电压有效值，完成表2。与理论值比较。

(3).用波特图测试仪测试电容电感电压之和作为输出电压（节点1、3为输出端）时的幅频特性，得到陷波频率。

$f_L$	$f_H$	$\Delta f$	$f_0$	$Q$
9.7kHz	25.7kHz	16kHz	16kHz	1.02

表1 RLC电路频率特性实验数据

$V_C$	$V_L$	$V_R$	$V_i$
0.98V	1.02V	1.00V	1V

表2 RLC电路谐振特性实验数据

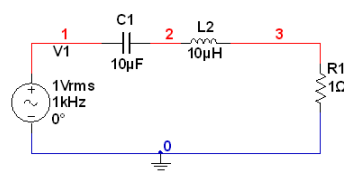
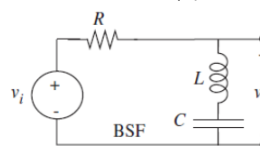


图1



## 2、耦合电容对放大电路频率特性的影响

电路如图2所示，根据表3电容的不同参数，用AC分析法分别测试电路的幅频特性，得到 $C_1$ 、 $C_2$ 和 $C_E$ 各自确定的转折频率，完成表3。

问题1：结合实验数据，分析耦合电容 $C_1$ 、 $C_2$ 和旁路电容 $C_E$ 对频率特性的影响哪个更大，为什么？

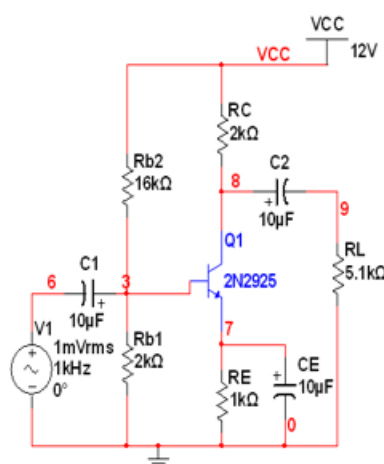


图2

$C_1$ ( $\mu\text{F}$ )	$C_2$ ( $\mu\text{F}$ )	$C_E$ ( $\mu\text{F}$ )	$f_L$ (Hz)	$f_H$ (MHz)	$\Delta f$ (MHz)	中频电压增益 $A_v$ (dB)
10	10	10	396.9	34.7	34.7	31.5
10	1000	1000	11.5	34.7	34.7	
1000	10	1000	5.1	35.3	35.3	
1000	1000	10	432	34.7	34.7	

表3 耦合电容影响频率特性实验数据

## • 3、极间电容对频率特性的影响

- 电路如图3，耦合电容和旁路电容都是10uF，负载电阻 $R_L=5.1\text{ k}\Omega$ ，在BJT的B、C间接电容 $C_3$ ，用来模拟极间电容。改变 $C_3$ 的参数，用AC分析测试电路的幅频特性曲线，完成表4，并估算极间电容的大小。

问题2:结合表4的实验数据，分析极间电容对频率特性的影响。

$C_3$ (pF)	$f_L$ (Hz)	$f_H$ (MHz)	$\Delta f$ (MHz)
1	433.4	26.0	26.0
5	433.4	13.8	13.8
10	433.4	8.6	8.6

表4 极间电容影响频率特性实验数据

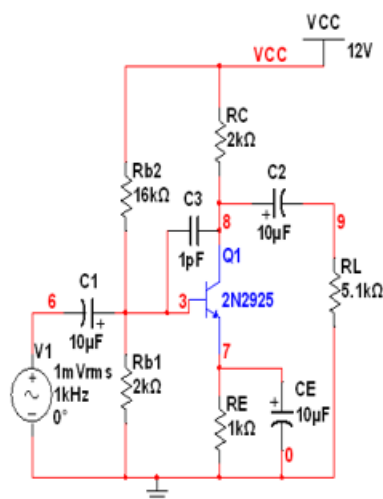


图3

University Of Electronic Science and Technology Of China

$$f_{\beta} = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi r_{be}(C + 10pF)} = 26MHz$$

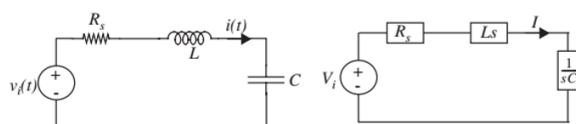
$$f_{\beta} = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi r_{be}(C + 10pF)} = 8.2MHz$$

$$2\pi r_{be}(C + 10pF) \cdot 26MHz = 2\pi r_{be}(C + 10pF) \cdot 8.2MHz$$

$$C \approx 3.5pF$$

## 二、实验原理

### 1、RLC电路的频率特性

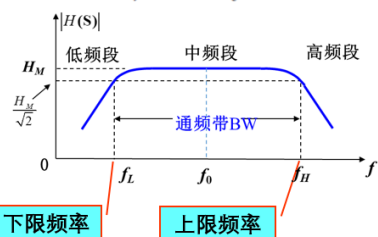


$$Y(j\omega) = \frac{1}{R + j(\omega L - 1/\omega C)}$$

驱动频率等于谐振频率时

$$H(s) = \frac{I}{V_i} = \frac{(s/L)}{s^2 + sR_s/L + 1/LC}$$

$$|V_r| = V_i, |V_c| = |V_L| = QV_i$$



$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \omega = 2\pi f$$

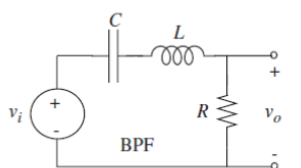
$$\Delta\omega = \omega_H - \omega_L = 2\alpha = \frac{R_s}{L}$$

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{\omega_0 L}{R_s} = \frac{1}{\omega_0 R_s C}$$

下限频率

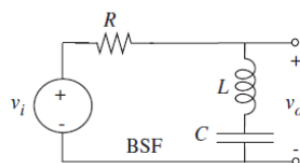
上限频率

### 1、RLC电路的频率特性



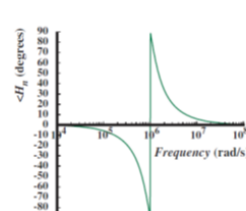
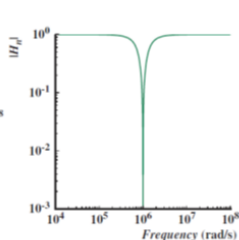
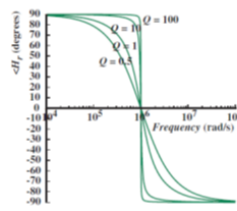
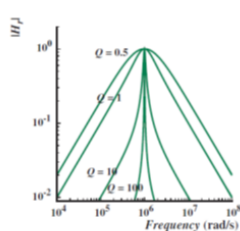
$$H_r(j\omega) = \frac{R}{R + j(\omega L - 1/\omega C)}$$

电阻输出，带通滤波

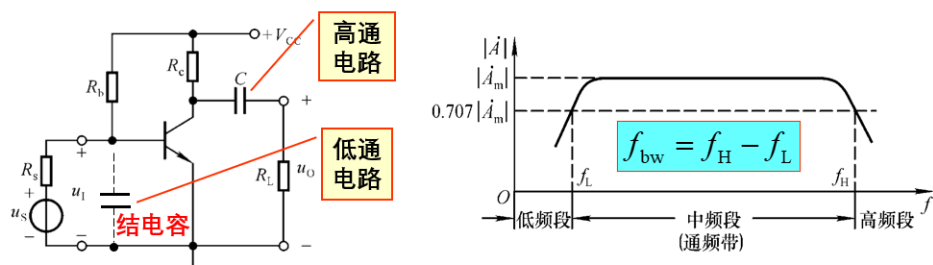


$$H_l(j\omega) = \frac{j(\omega L - 1/\omega C)}{R + j(\omega L - 1/\omega C)} = \frac{1}{1 + \frac{j\omega RC}{1 - \omega^2 LC}}$$

电容电感输出，带阻滤波



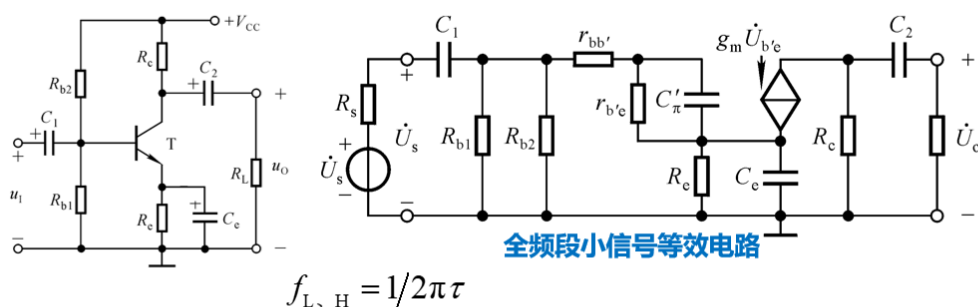
## 2. 放大电路的频率特性



□ 在**低频段**，随着信号频率逐渐降低，**耦合电容、旁路电容**等的容抗由很小逐渐增大到不可忽略，使动态信号损失，放大能力下降。

□ 在**高频段**，随着信号频率逐渐升高，晶体管**极间电容和分布电容、寄生电容**等杂散电容的容抗由很大逐渐减小到不可忽略，使动态信号损失，放大能力下降。

## 3. 单管共射放大电路的频率响应



$$C_1, C_2, C_e \text{ 短路, 求出 } \tau_{C'_\pi} = [r_{be} // (r_{bb'} + R_s // R_{b1} // R_{b2})] C'_\pi$$

$$C_2, C_e \text{ 短路, } C'_\pi \text{ 开路, 求出 } \tau_1 = (R_s + R_{b1} // R_{b2} // r_{be}) C_1$$

$$C_1, C_e \text{ 短路, } C'_\pi \text{ 开路, 求出 } \tau_2 = (R_c + R_L) C_2$$

$$C_1, C_2 \text{ 短路, } C'_\pi \text{ 开路, 求出 } \tau_e = (R_e // \frac{r_{be} + R_s // R_{b1} // R_{b2}}{1 + \beta}) C_e$$

## 4. 截止频率的估算

对于 $n$ 级放大电路，若各级的下、上限频率分别为 $f_{L1} \sim f_{Ln}$ 、 $f_{H1} \sim f_{Hn}$ ，整个电路的下、上限频率分别为 $f_L$ 、 $f_H$ ，则

$$f_L \approx \sqrt{\sum_{k=1}^n f_{Lk}^2} \quad \frac{1}{f_H} \approx \sqrt{\sum_{k=1}^n \frac{1}{f_{Hk}^2}}$$
$$\text{或} \approx 1.1 \sqrt{\sum_{k=1}^n f_{Lk}^2} \quad \text{或} \approx 1.1 \sqrt{\sum_{k=1}^n \frac{1}{f_{Hk}^2}}$$

若某级下限频率远远大于其它各级的下限频率，则可认为该电路的下限频率就是该级的下限频率。

某级上限频率远远小于其它各级的上限频率，则可认为该电路的上限频率就是该级的上限频率。

## 三、实验步骤

根据实验内容，搭建 RLC 电路，根据实验内容测试幅频特性曲线，完成表 1. 表 2. 然后搭建共射放大电路测量耦合电容对放大电路频率特性的影响。

在放大电路上添加一个等效结电容根据表 4 测量结电容对频率特性的影响。

## 四、实验数据和数据分析

RLC 串联电路幅频相频曲线测量结果如图 1 所示，符合理论值。

输入信号频率为谐振频率时，电容、电阻、电感电压测试结果如图 2 所示，电阻电容两端电压幅值近似相等，符号相反，电阻电压近似等于输入电压

陷波频率测试结果如图 3 所示，当输入频率为 16kHz 时，L 与 C 的电压和为 0。

根据表 3 欧和电容影响频率特性实验数据测试结果如图 4、图 5、图 6、图 7 所示

极间电容对频率特性实验数据测试结果如图 8、图 9、图 10 所示，结电容抑制放大电路增益。

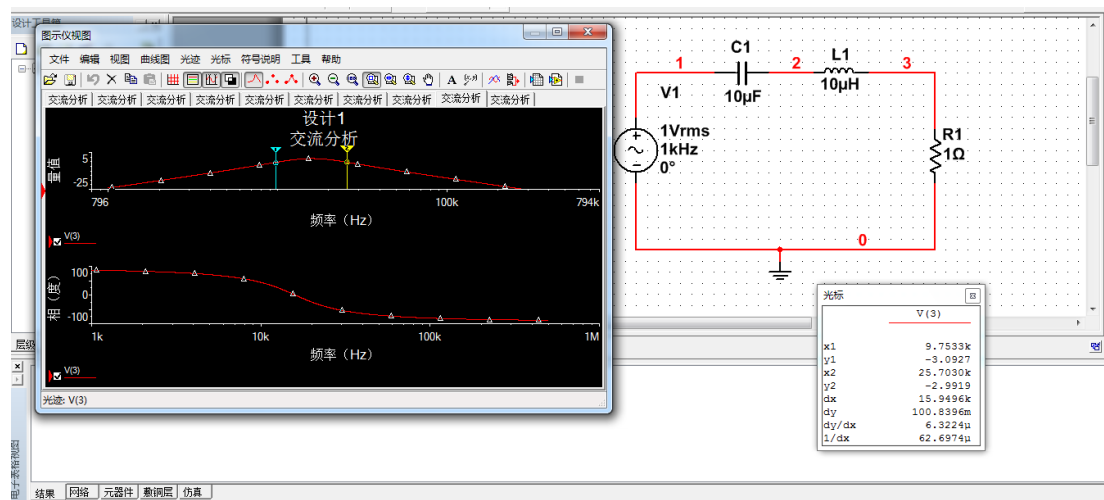


图 1

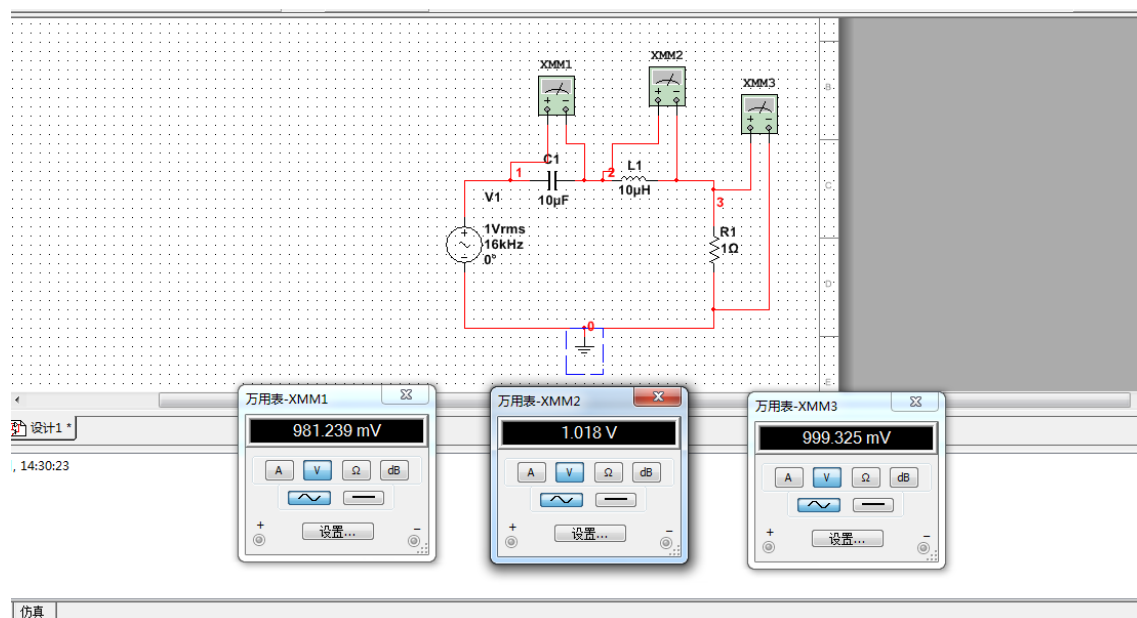


图 2

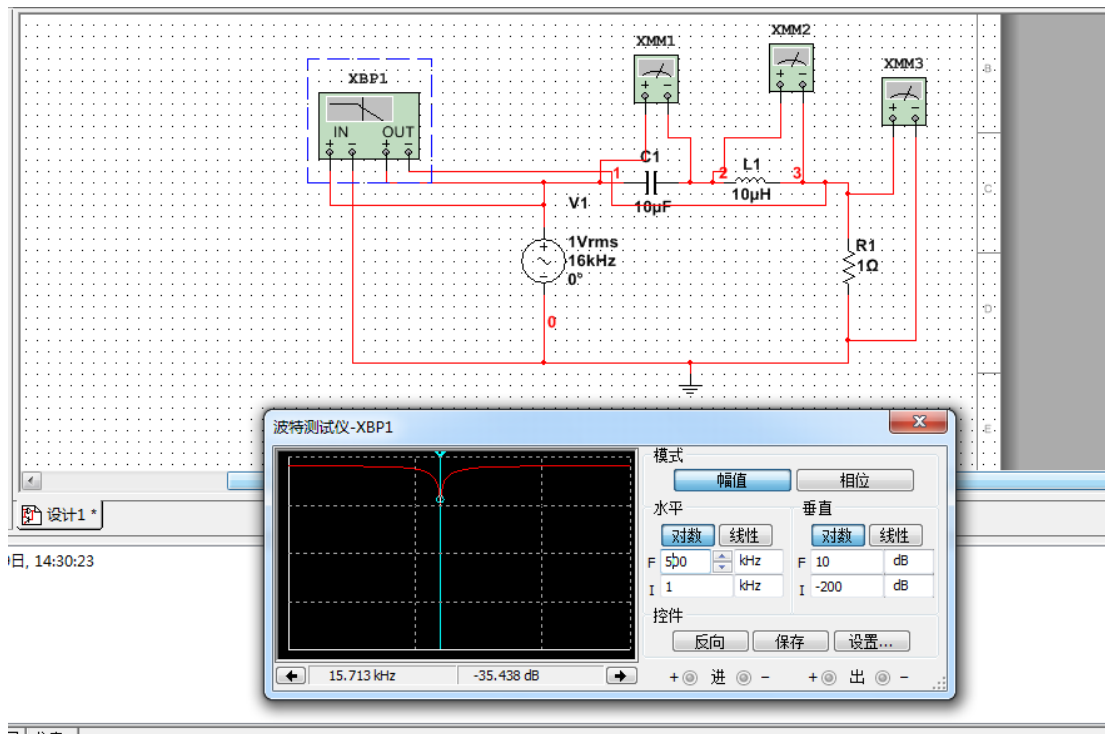


图 3

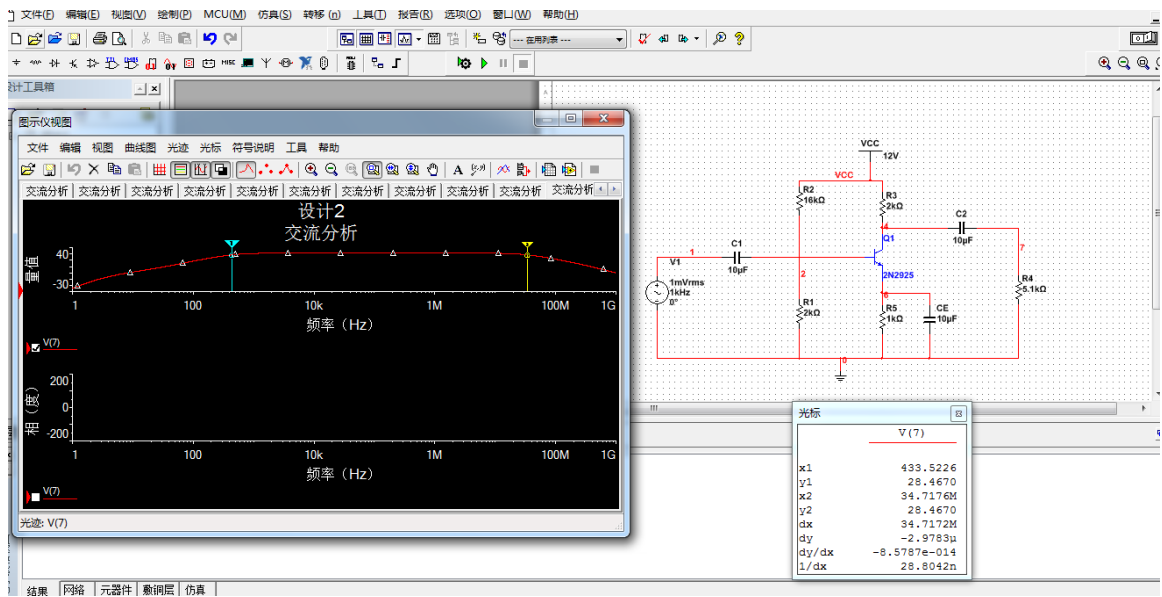


图 4

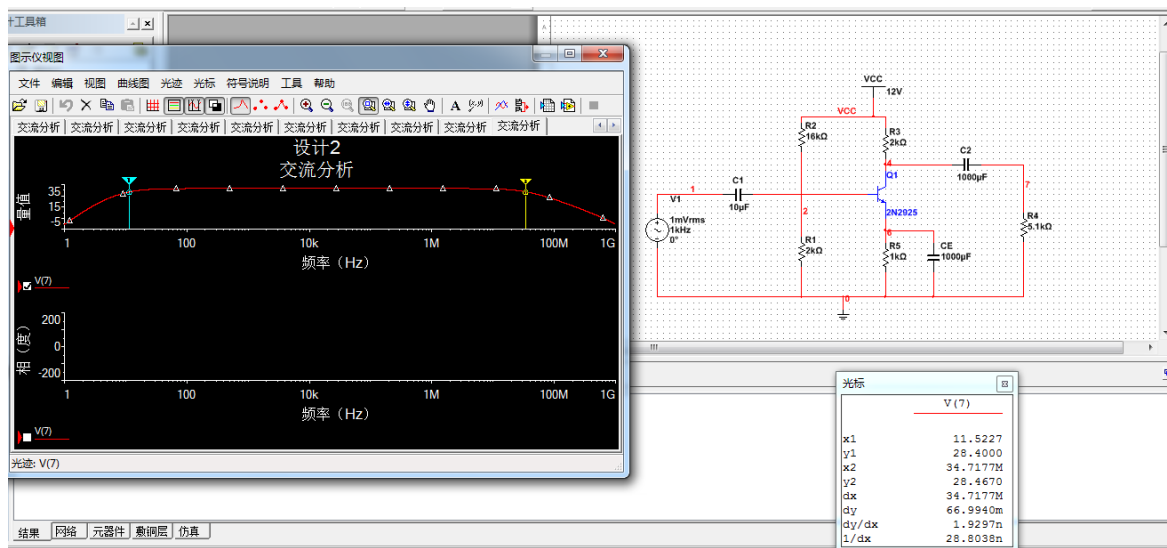


图 5

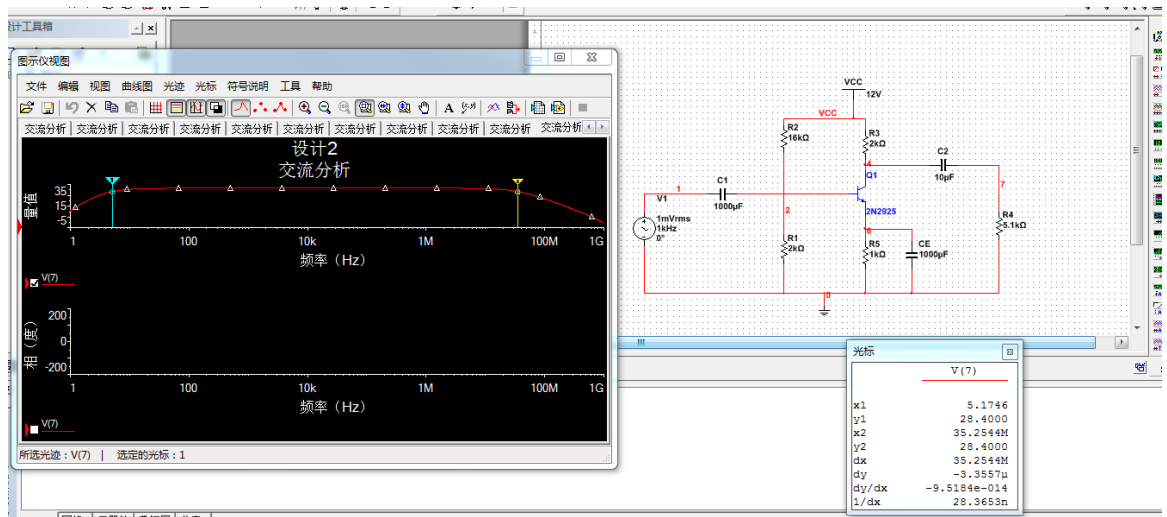


图 6

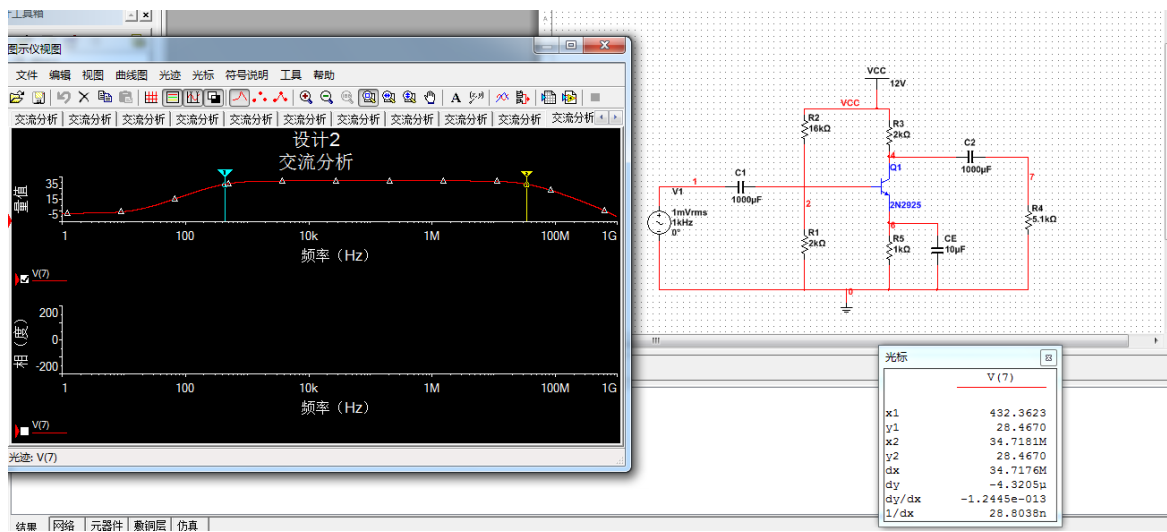




图 7

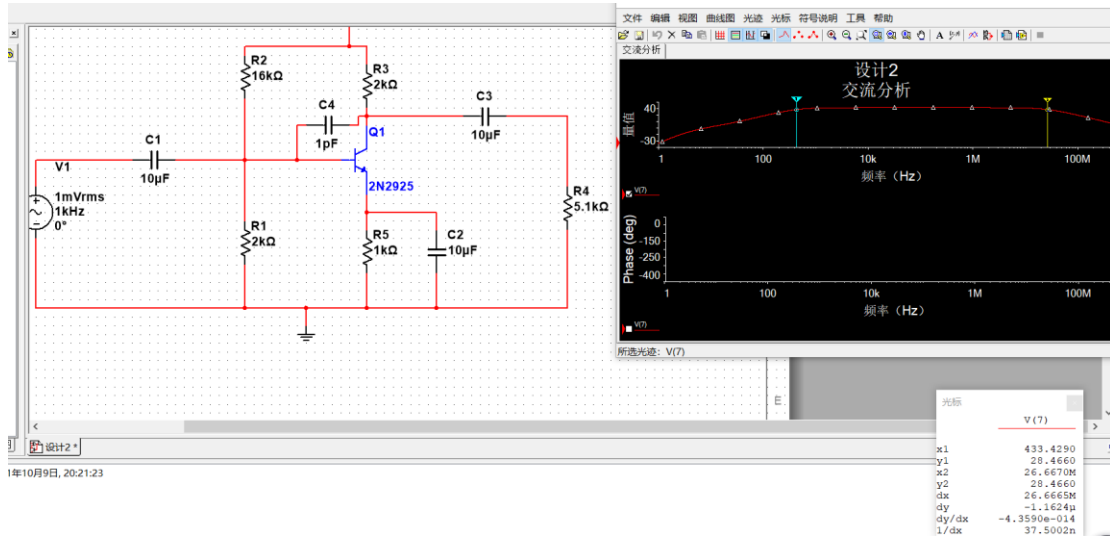


图 8

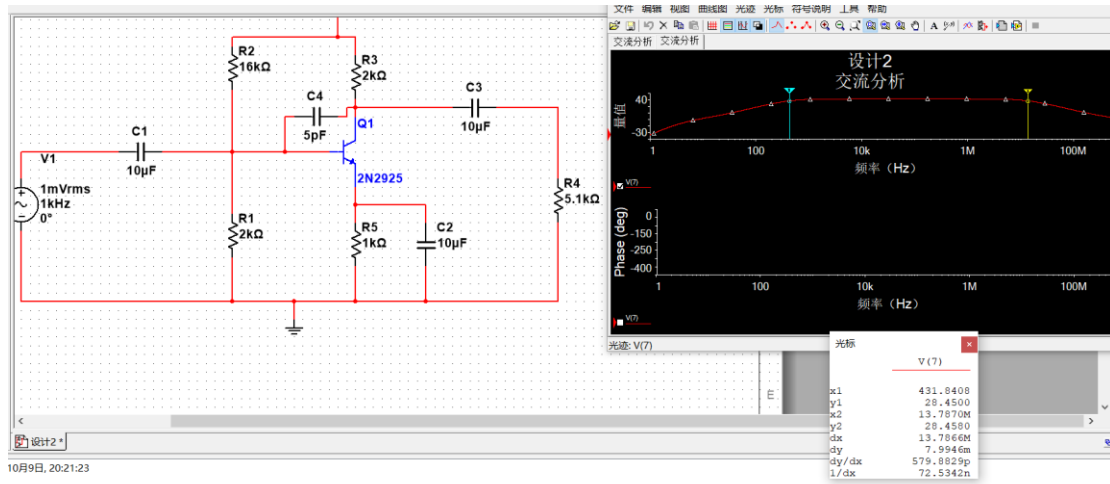


图 9

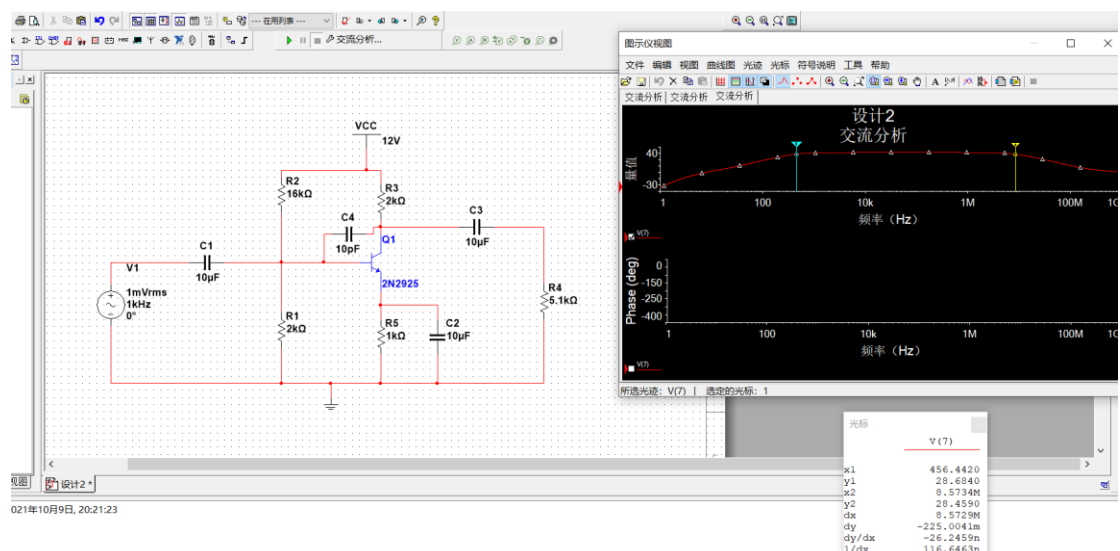


图 10

## 五、回答问题

问题 1: 结合实验数据, 分析耦合电容  $C_1$ 、 $C_2$  和旁路电容  $C_E$  对频率特性的影响哪个更大, 为什么?

耦合电容在电路中相当于一个滤波器,  $C_1$  处于电路的输入端,  $C_2$  处于输出端, 都是起到一个滤波的作用, 所以当  $C_1$  和  $C_2$  为  $10\mu\text{F}$  时, 他们的带宽与  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_E$  为  $10\mu\text{F}$  时相差小于  $1\text{M}\Omega$ , 这不是影响电路频率特性的主要因素。当  $C_E$  为  $10\mu\text{F}$  时对电路的影响更大, 因为当电路的频率大于  $C_E$  的截止频率时,  $C_E$  和  $R_E$  与地构成的回路会抑制高频电流信号的通过, 对于高频信号, 电容的等效阻抗增加, 导致反馈电压  $V_E$  增加从而减小  $V_{CE}$  达到降低增益的效果。

问题 2: 结合表 4 的实验数据, 分析极间电容对频率特性的影响。

结电容越大, 电路高频特性增益就越差。因为当高频小信号通过  $R_b$  时, 结电容的阻抗小于  $r_{be}$  的阻抗, 此时信号的高频分量就会走结电容与地的回路,  $12\text{V}$  的  $V_{CC}$  对于交流信号等效为地, 而减小通过  $R_{be}$  的电流分量, 结电容越大, 这种效果越明显, 从而导致放大电路的增益减小。

## 六、总结

通过本次实验, 我仿真分析动态电路的频率特性, 理解电路参数对放大频率特性的影响, 在实验的过程中, 我比较顺利的完成了本次实验, 加强了我对交流小信号的认识, 为我以后对高频电路的学习打下了基础。