

浙江大学 实验报告

专业：自动化
姓名：浅野 枫
学号：322010****
日期：2023.12.6
地点：东 3-209

课程名称：电路与模拟电子技术实验 指导老师：张治沁 成绩：
实验名称：晶体管共射放大电路设计 实验类型：基础规范型实验

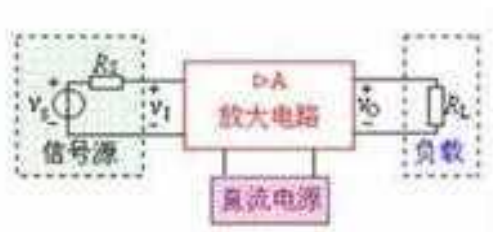
- | | |
|---------------|---------------|
| 一、实验目的和要求（必填） | 二、实验内容和原理（必填） |
| 三、主要仪器设备（必填） | 四、操作方法和实验步骤 |
| 五、实验数据记录和处理 | 六、实验结果与分析（必填） |
| 七、讨论、心得 | |

一、实验目的和要求

1. 学习共射放大电路的设计方法与调试技术；
2. 掌握放大器静态工作点的测量与调整方法，了解在不同偏置条件下静态工作点对放大器性能的影响；
3. 学习放大电路的电压放大倍数、输入电阻、输出电阻及频率特性等性能指标的测试方法；
4. 了解静态工作点与输出波形失真的关系，掌握最大不失真输出电压的测量方法；
5. 进一步熟悉示波器、函数信号发生器的使用。

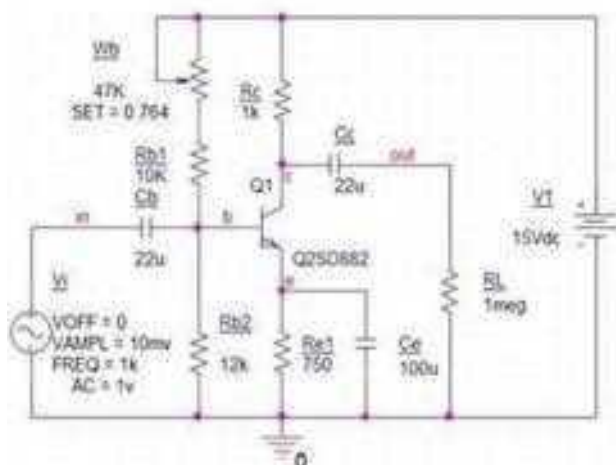
二、实验内容和原理

1. 放大电路概念：基本放大电路一般是指由一个三极管不相应元件组成的三种基本组态放大电路。
 - a. 放大电路主要用于放大微弱信号，输出电压或电流在幅度上得到了放大，输出信号的能量得到了加强。
 - b. 输出信号的能量实际上是由直流电源提供的，经过三极管的控制，使之转换成信号能量，提供给负载。



2. 晶体管静态工作点的计算方法

实验名称：晶体管共射放大电路设计 姓名：汤坤逸 学号：3220103865



$$A_v = -\frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be}}$$

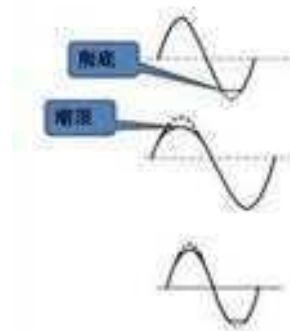
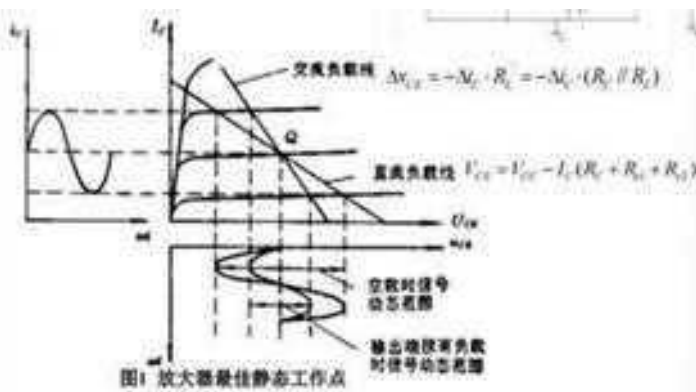
$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // r_{be}$$

$$r_{be} = r_{be} + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{EQ}} = 200 + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{EQ}}$$

$$R_o = R_c // r_{ce} \approx R_c$$

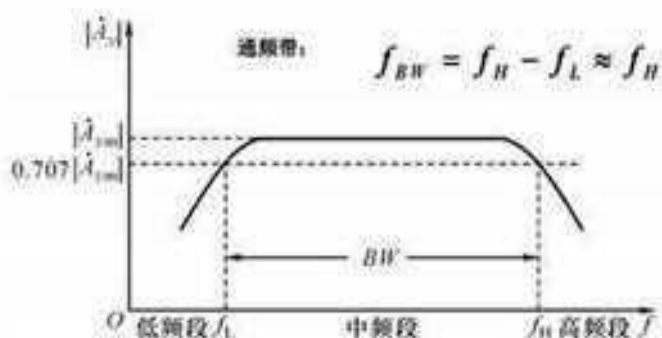
3. 最佳静态工作点确定

要使放大器不失真地放大，工作点必须选择合适。初选静态工作点时，可以选取直流负载线的中点，即 $V_{CE} = 1/2 \times V_{CC}$ 或 $I_{CQ} = 1/2 \times V_{CC}/R_C$ 。这样便可获得较大输出动态范围。当放大器输出端接有负载 R_L 时，因交流负载线比直流负载线要陡，所以放大器动态范围要变小，如图 1 所示。当发射极接有电阻时，也会使信号动态范围变小。要得到最佳静态工作点，还要通过调试来确定，一般用调节偏置电阻 R_{Wb} 的方法来调整静态工作点。



4. 静态工作点对输出电压波形的影响

- (1) $I_{CQ} \uparrow$ ， v_o 出现饱和失真，形状为“削底”失真。
 - (2) $I_{CQ} \downarrow$ ， v_o 出现截止失真，形状为“削顶”失真。
 - (3) I_{CQ} 正常，当加大输入信号时， v_o 同时出现饱和与截止失真。
5. 频率特性（上下限频率）



实验名称：晶体管共射放大电路设计 姓名：汤坤逸 学号：3220103865

放大电路的放大倍数下降到中频段的 0.707 倍(即-3dB)所对应的频率，分别称为上限频率 f_H 和下限频率 f_L 。

三、主要仪器设备

1. 数字万用表；
2. 示波器；
3. 信号发生器；
4. 共射电路实验板（D882）；
5. DP832A 电源；
6. DG4000 函数发生器；

四、操作方法和实验步骤

1. 静态工作点的测量和调试

- (1) 按所设计的放大器的元件连接电路，根据电路原理图仔细检查电路的完整性。
- (2) 开启直流稳压电源，用万用表检测 15V 工作电压，确认后，关闭电源。
- (3) 将放大器电路板的工作电源端不 15V 直流稳压电源接通。然后，开启电源。此时，放大器处于工作状态。
- (4) 调节偏置电位器，使放大电路的静态工作点满足设计要求 $I_{CQ}=6\text{mA}$ 。为方便起见，测量 I_{CQ} 时，一般采用测量电阻 R_c 两端的压降 V_{Rc} ，然后根据 $I_{CQ} = V_{Rc} / R_c$ 计算出 I_{CQ} 。
- (5) 测量晶体管共射极放大电路的静态工作点，并将测量值、仿真值、理论估算值记录在下表中进行比较。

2. 测量电压放大倍数 ($R_L=\infty$ 、 $R_L=1\text{k}\Omega$)

- (1) 从函数信号发生器输出 1kHz 的正弦波，加到电路板上的 U_s 端。
- (2) 用示波器检查放大电路输出端是否有放大的正弦波且无失真。
- (3) 用示波器测量输入 U_i 电压，调节函数信号发生器幅度，使电路输入 $U_i=10\text{mV}$ (有效值)。
- (4) 负载开路，用示波器测出输出电压 U_o 有效值，求出开路放大倍数。
- (5) 负载接上 $1\text{k}\Omega$ ，再次测 U_o ，求出带载放大倍数。

3. 测量最大不失真输出电压 ($R_L=\infty$ 、 $R_L=1\text{k}\Omega$)

- (1) 负载开路，逐渐增大输入信号幅度，直至输出刚出现失真。
- (2) 用示波器测出此时的输出电压有效值，即为最大不失真输出电压 V_{omax} 。
- (3) 负载接上 $1\text{k}\Omega$ ，再次测 V_{omax} 。

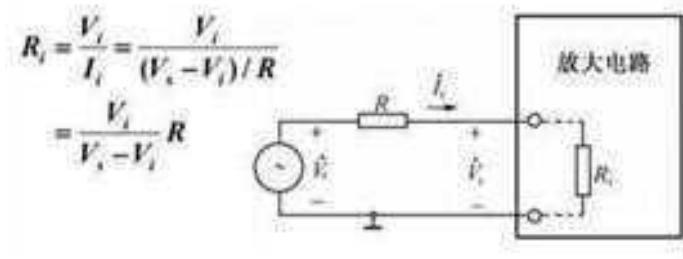
4. 测量输入电阻 R_i ($R_L=1\text{k}\Omega$)

- (1) 从函数信号发生器输出正弦波（幅度和频率），加到电路板上的 U_s 端。
- (2) 用示波器测出 U_s 和 U_i 电压。
- (3) 求出输入电阻。

测量原理：

放大电路的输入电阻可用电阻分压法来测量，图中 R 为已知阻值的外接电阻，分别测出 V_s 和 V_i ，则

实验名称： 晶体管共射放大电路设计 姓名： 汤坤逸 学号： 3220103865

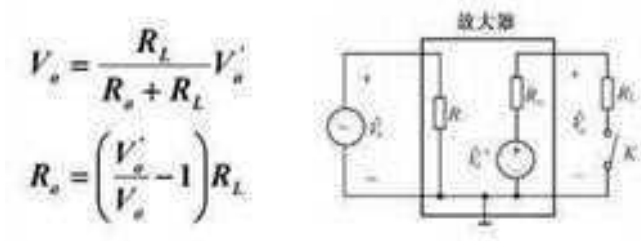


5. 测量输出电阻 R_o

- (1) 从函数信号发生器输出正弦波（幅度和频率），加到共射放大电路的输入端。
- (2) 断开负载，用示波器测出输出电压 V_o' 。
- (3) 接上负载，用示波器测出输出电压 V_o 。
- (4) 计算输出电阻 R_o 。

测量原理：

放大电路的输出电阻可用增益改变法来测量，保持信号源幅度不变，分别测出负载开路时的输出电压 V_o' 和带上负载 R_L 后的输出电压 V_o ，则



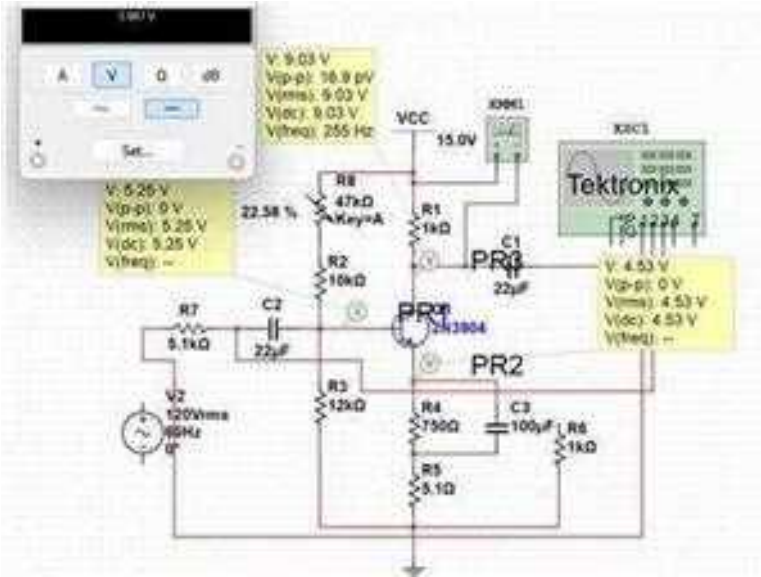
五、实验数据记录和处理

1. 静态工作点的测量和调试

	U_B (V)	U_C (V)	U_E (V)	U_{CE} (V)	U_{RC} (V)	I_C (mA)
理论值	5.2460	9.0000	4.5610	4.439	6.0000	6.0000
仿真值	5.2500	9.0300	4.5300	4.470	5.9670	5.9670
实测值	5.1701	9.1300	4.5414	4.5886	5.9934	5.9934

理论上，由原理公式可知 $I_B=40\mu A$ ， $I_C=6.000mA$ ， $I_E=6.040mA$ ， $U_C=V_{CC}-I_C R_C=9V$ ， $U_E= I_E (R_{e1}+R_{e2})=4.561V$ ， $U_{CE}= U_C-U_E=4.439V$ ， $U_B=5.246V$ 。仿真值和实测值与理论值基本相符。
实测时采用电源电压为 15.1234V。

实验名称：晶体管共射放大电路设计 姓名：汤坤逸 学号：3220103865



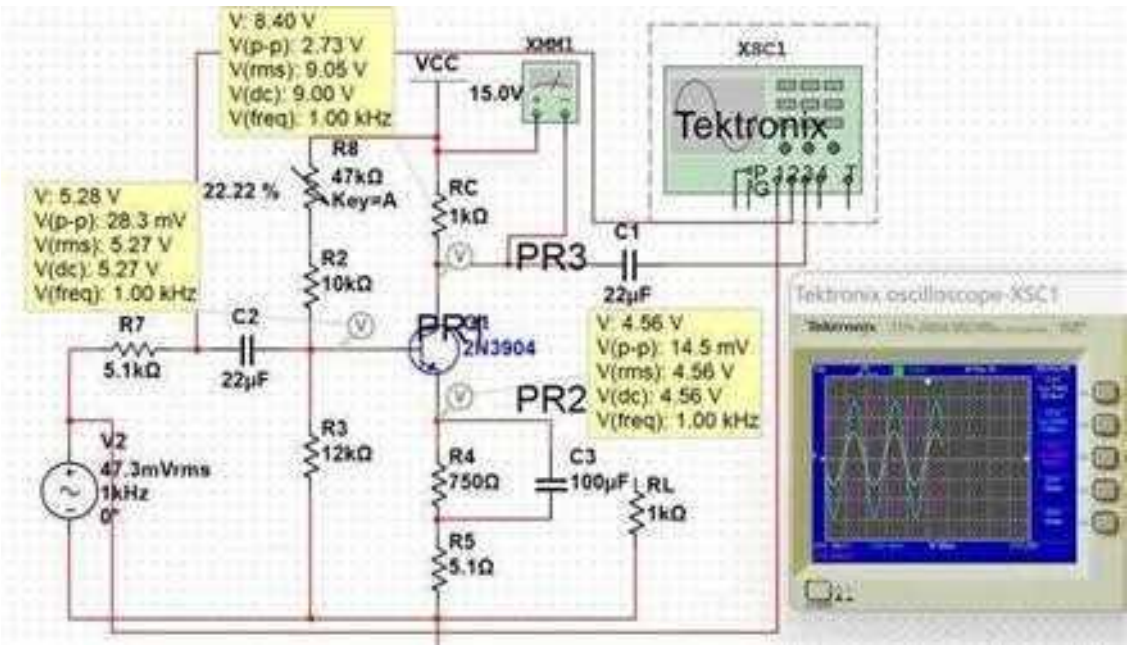
2、电压放大倍数测量

测试条件	实测值（有效值）				理论值	仿真值
	Us（mV）	Ui（mV）	Uo（V）	Av	Av	Av
RL=∞	9.987	39.27	981.8	-98.2	-92.3	-96.4
RL=1K Ω	10.02	39.28	495.5	-49.6	-46.2	-49.7

空载时输入电压有效值 10.0mV，用以下公式计算，得 $A_v = -92.3$ ，取 $r_{bb} = 200\Omega$ ， β 取 150

$$A_u = -\frac{\beta(R_L \parallel R_C)}{r_{be} + (1 + \beta)R_{e2}} \quad r_{be} = r_{bb} + (1 + \beta)\frac{V_T}{I_{EQ}}$$

如图，仿真的输出电压为 964mV， $A_v = -96.4$

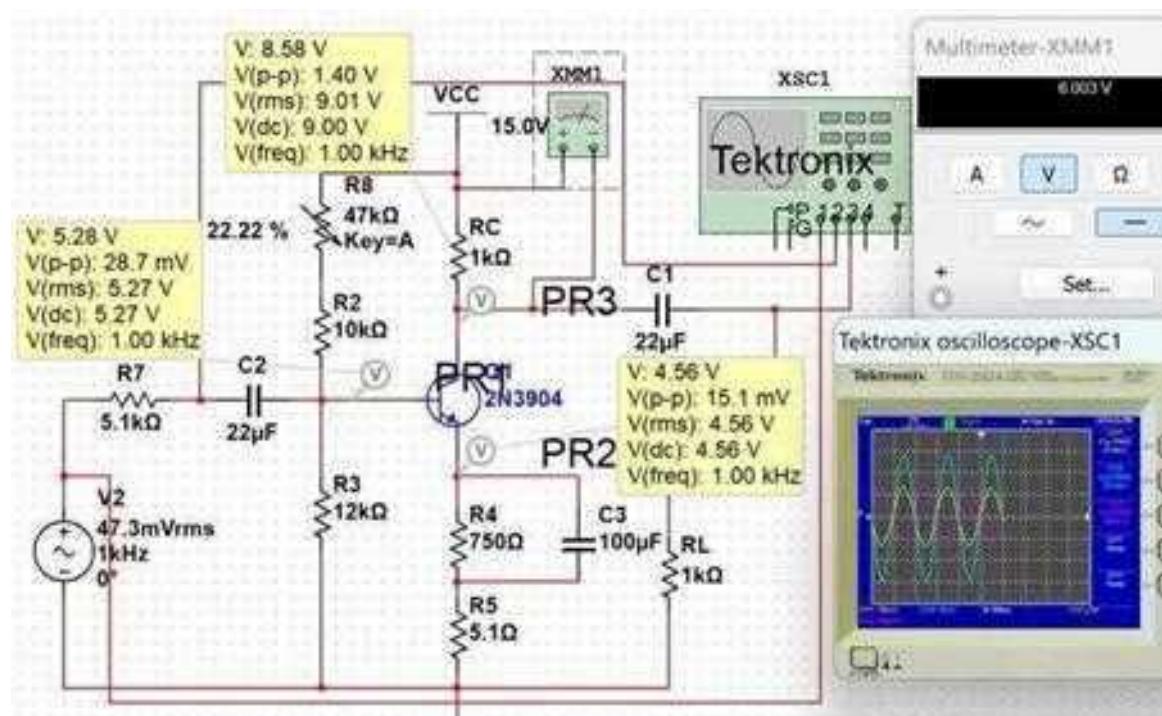


实验名称：晶体管共射放大电路设计 姓名：汤坤逸 学号：3220103865



带载时输入电压有效值 10.0mV，用公式计算，得 $A_v = -46.2$

如图，仿真的输出电压为 497mV， $A_v = -49.7$



实验名称：晶体管共射放大电路设计 姓名：汤坤逸 学号：3220103865



装
订
线

3、测量输入电阻 R_i
理论上， $R_i=(R_{wb}+R_{b1})//R_{b2}/[r_{be}+(1+\beta)R_{e2}]=1337\Omega$ 。

$$R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} = \frac{\dot{U}_i}{(\dot{U}_s - \dot{U}_i)R} R$$

测试条件	实测值			理论值	仿真值
	Vs (mV)	Vi (mV)	Ri (Ω)	Ri (Ω)	Ri (Ω)
RL=∞	39.27	9.987	1739	1337	1378
RL=1kΩ	39.28	10.02	1746	1337	1378

4、测量输出电阻 R_o
理论上， $R_o=R_c=1000\Omega$ 。

$$R_o = (\frac{\dot{U}_o'}{\dot{U}_o} - 1)R_L$$

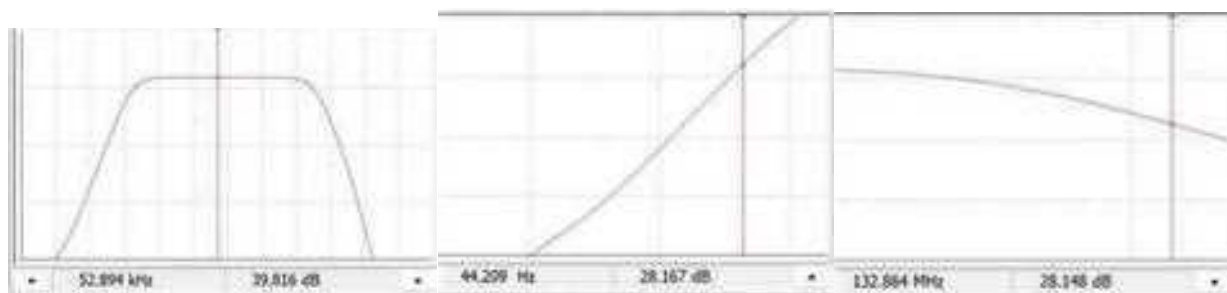
输出电阻（实测值）			理论值	仿真值
Vo' (mV)	Vo(mV)	Ro	Ro	Ro
981.6	495.5	981Ω	1000Ω	940

5、测量上限频率和下限频率

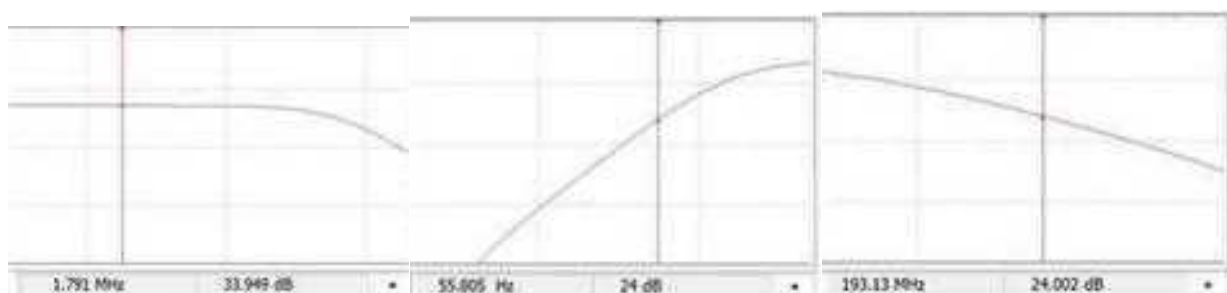
测试条件	实测值		理论值		仿真值	
	fL (Hz)	fH (KHz)	fL	fH	fL (Hz)	fH (MHz)
RL=∞	80.8	48.0	/	/	44.209	132.864
RL=1kΩ	78.0	98.7	/	/	55.805	193.13

实验名称：晶体管共射放大电路设计 姓名：汤坤逸 学号：3220103865

RL=∞时的仿真结果：



RL=1kΩ时的仿真结果：

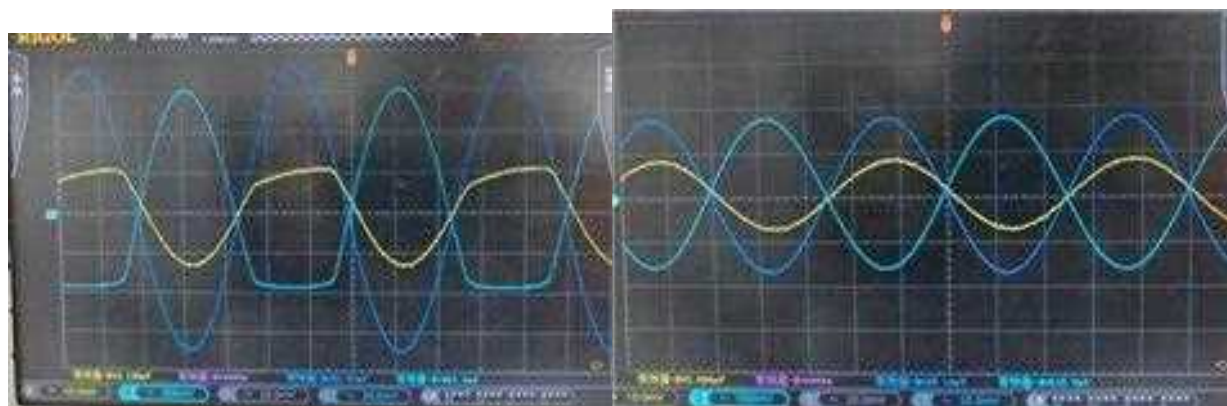
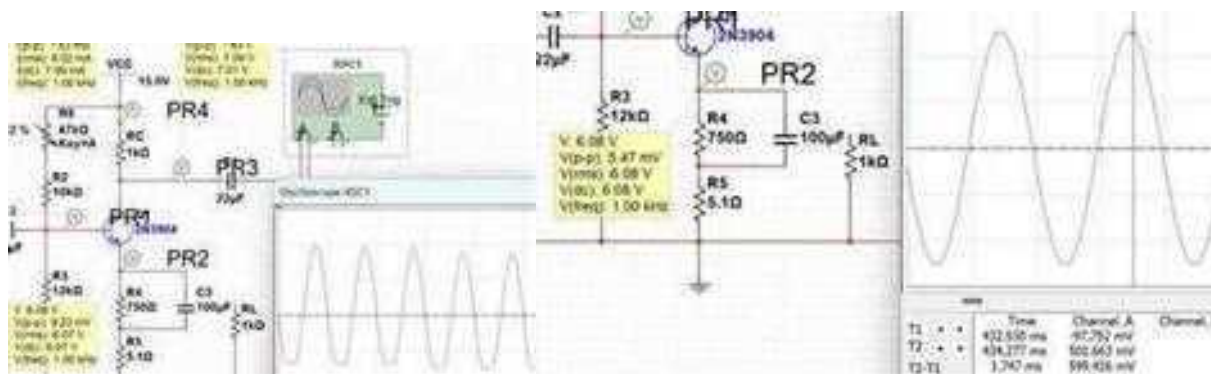


6、研究静态工作点对输出波形的影响

ICQ (mA)	先出现	Vomax	正/负半周	形状
8.0	饱和失真	615.8mV (有效值)	负半周	削底失真
4.0	截止失真	1.455V (有效值)	正半周	缩顶失真

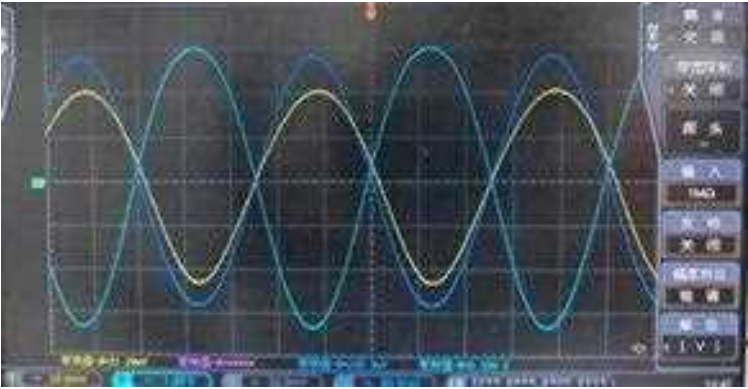
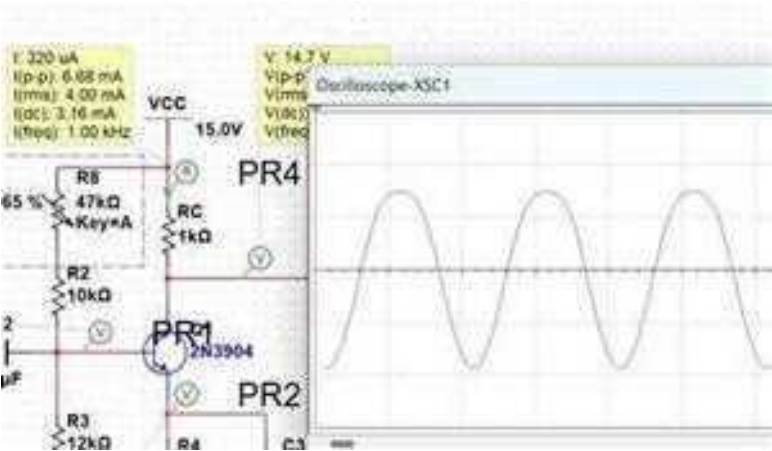
饱和失真：

最大不失真：



实验名称：晶体管共射放大电路设计 姓名：汤坤逸 学号：3220103865

截止失真：



最大不失真：

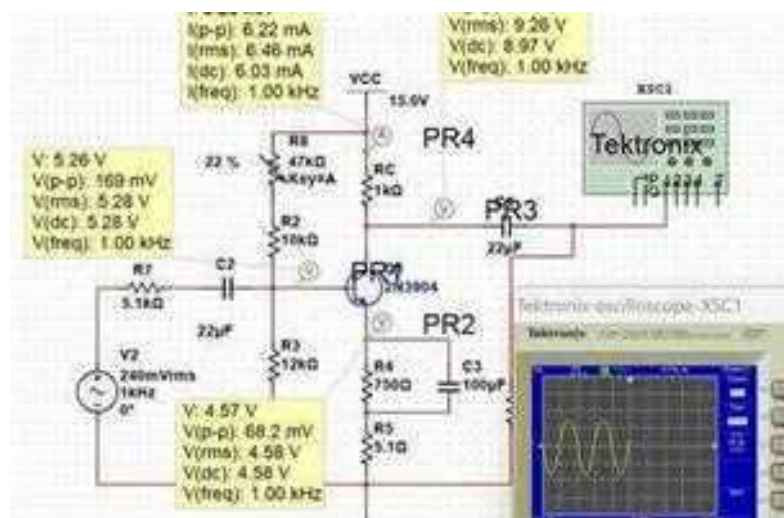
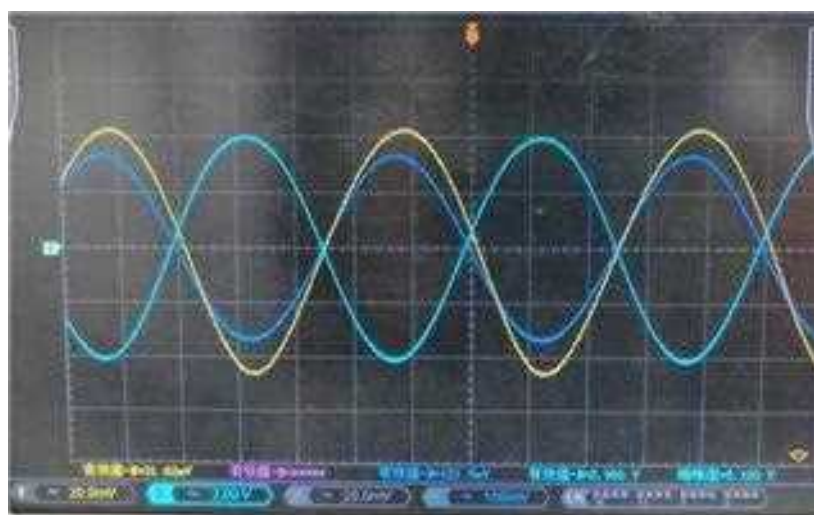
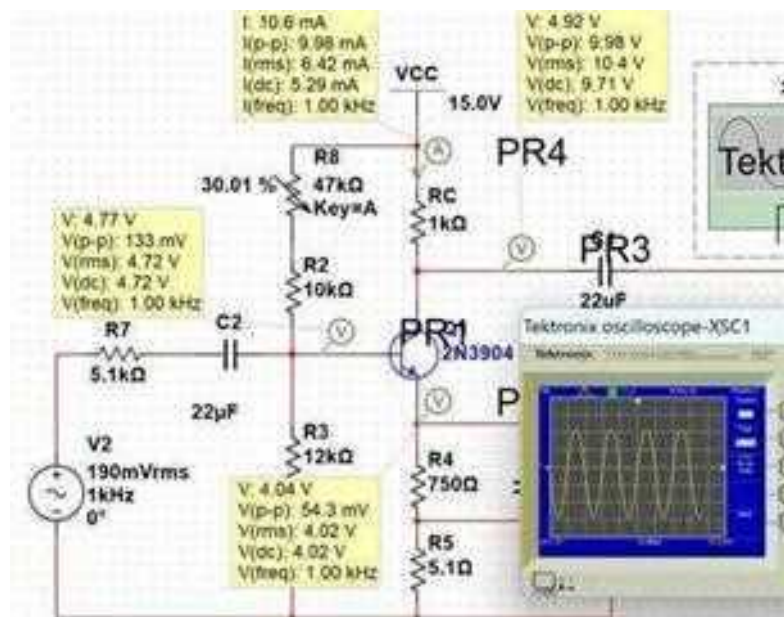


7、测量最大不失真电压

测试条件	实测值		理论值	仿真值
	Vomax（有效值）	Vomax（峰值）	Vomax（峰值）	Vomax（峰值）
∞	2.960V	8.120V	11.08V	9.98V
R7=1kΩ	1.859V	5.090V	7.11V	6.21V

理论上， $U_{omax} = \min \{I_{CQ}(R_c || R_L), (V_{CEQ} - V_{CES})\}$ 。
 $V_{omax} = U_{omax} + V_{CEQ}$

实验名称：晶体管共射放大电路设计 姓名：汤坤逸 学号：3220103865



实验名称：晶体管共射放大电路设计 姓名：汤坤逸 学号：3220103865



六、实验结果与分析

1、静态工作点的测量和调试

理论值与实测值基本相符。出现误差的原因可能是理论计算时作了 $I_C \approx I_E$ 的近似，以及理论计算所使用的直流电流放大系数等参数与实际三极管参数存在误差。

2、电压放大倍数、输入电阻、输出电阻测量

放大倍数理论值与实测值基本相符。出现误差的原因可能是理论计算所使用的基区体电阻、直流电流放大倍数等参数与实际三极管存在误差。此外，空载与带载时电压放大倍数相差较大，而输入电阻、输出电阻近似可以看作与是否带载无关。其中 V_s 相差较大可能是对缩顶失真判断不够准确导致的。

3、测量上限频率和下限频率

是否带载对共射放大电路的上限频率影响不大，近似可以看作没有影响；对下限频率影响较大。但由于上限频率远大于下限频率，故是否带载对通频带宽也几乎无影响。

本次测量仿真和实际相差较大，可能是实际情况肉眼判断失真不够准确导致的。

4、静态工作点对输出波形的影响

实验表明，集电极偏置电流较小时，先出现截止失真；集电极偏置电流较大时，先出现饱和失真。

5、测量最大不失真电压

实际和仿真都需要进行肉眼观察判断是否失真，存在较大误差。

七、讨论、心得

实验心得：

按实际电路图连线后，首先要检查电路连接是否正确，其次要检查电源电压或电源电流设置是否正确，再进行实验。在共射放大电路实验中，一定要保证直流偏置和直流工作点正确且合适，以使交流信号最大不失真电压维持在较大的水平。

交流与讨论：

①当静态工作电流 I_{CQ} 通过测量 V_E 或 V_C 来间接地得到时，分析万用表内阻对测量误差的影响。

若万用表内阻不够大，则会从原电路中分一部分电流，导致 I_C 测量存在误差。

②各仪器的接地端不再连在一起，示波器上的波形将发生什么变化？

波形容易受到干扰将会紊乱。

实验名称：晶体管共射放大电路设计 姓名：汤坤逸 学号：3220103865

③在测试各项参数时，为什么要用示波器监视输出波形不失真？

因为一定要保证其工作区域在三极管的放大区。

④与负载开路相比，接上负载对放大电路的上下限频率有什么影响？在测上限和下限频率时，如何选择输入信号的大小？为什么使输出电压为 1V？

接上负载之后对下限频率基本无影响，上限频率会大大减少。选择输入信号应保证一开始 V_o 不失真，实验中调节成使 V_o 为 1V，这方便数据读取和测量。

⑤用示波器同时观察放大电路输入、输出波形的相位关系时，示波器上有关按钮应置什么位置？

应该设置一个波形为反向，看是否重合。若重合就代表它们是反相的。

⑥在测量输入电阻时，为什么不能直接测 R_s 两端的压降？

因为 R_s 两端没有电路的公共接地点，若用示波器或者毫伏表测量，会干扰信号，导致误差。

⑦如何判断放大器的截止和饱和失真？当出现这些失真时应如何调整静态工作点？

截止失真是缩顶，饱和失真是削顶。出现饱和失真时应将静态工作点向下调，截止失真应该向上调。

⑧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。

⑨共射电路实验中所用的耦合电容是（哪一类）电容。在共射放大电路实验我们选用的 D882 是 NPN 管对吗？描述怎样从外观判别 e、b、c 三个管脚。

对。外观上从带金属散热片反面看从左到右依次是 e，b，c。