浙江大学实验报告

专业：
姓名：
学号：
日期：2025.4.29
地点：东三-211

课程名称：	电路与电子技术实验 II	指导老师：	张冶沁	成绩：	
实验名称：	共射极放大电路仿真与实测	实验类型：	基础实验	同组学生姓名：	

一、实验目的和要求

1. 理解和掌握晶体管共射极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. 掌握放大电路的电压放大倍数、输入及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. 进一步熟悉和掌握示波器、函数信号发生器的使用。

二、实验内容和原理

1.实验内容

①静态工作点的测量与调整

②测量电压放大倍数

③测量输入电阻

④测量输出电阻

⑤测量上限频率和下限频率

⑥研究静态工作点对输出波形的影响

⑦测量最大不失真输出电压

2.实验原理

实验电路原理图如下：

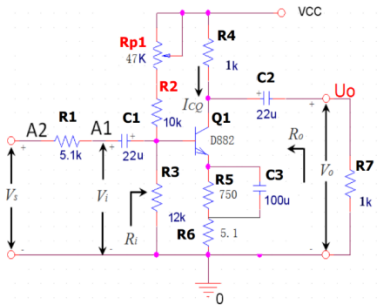


图 1: 实验电路原理图

2.1 静态工作点的测量与调整

要使放大电路不失真地放大，放大电路的静态工作点必须选择合适。

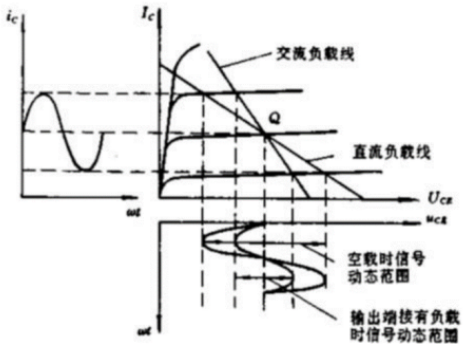


图 2: 放大器最佳工作点示意图

放大电路静态工作点的测量是在不加输入信号(即$v_s = 0$)的情况下进行的静态工作点的测量。在实际电路中，我们应选用合适的电表分别测量晶体管的集电极电流I_{CQ}和直流电压V_B、V_C、V_E。此处为了方便测量，采用电压测量法（间接测量法）来换算电流。例如:只要测出V_E,即可由$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{V_E}{R_e}$算出或者测出$V_C$,由$I_{\{CQ\}} = \frac{V_{CC}-V_C}{R_c}$算出$I_{CQ}$。其中需要注意的是，在测量各电极的电位时最好选用内阻较高的万用表,否则必须考虑万用表内阻对被测电路的影响。

测量静态工作点I_{CQ}和V_{CEQ}的目的是了解静态工作点的设置是否合适。如果测出$V_{CEQ} < 0.5V$，则说明晶体管已经进入饱和状态；如果$V_{CE} \approx V_{CC}$，则说明晶体管工作在截止状态。对于一个放大交流信号的放大电路来说，这两种情况下的静态偏置都不能使电路正常工作,需要对静态工作点进行调整。否则，放大后的信号将出现严重的非线性失真。而通常V_{CC}、R_c等原件参数都已事先选定，当需要调整工作点时，一般都是通过改变偏置电阻 R_b来实现的，在本实验电路中，我们可通过调节可变电阻R_p来调整电路的静态工作点。

2.2 测量电压放大倍数

使用信号发生器输出频率为 1kHz 的正弦交流信号，用示波器观察输入电压v_i和输出电压v_o并在波形没有明显失真的情况下，用示波器测量出v_i和v_o的大小，我们可以根据以下公式计算得到电压放大倍数为：

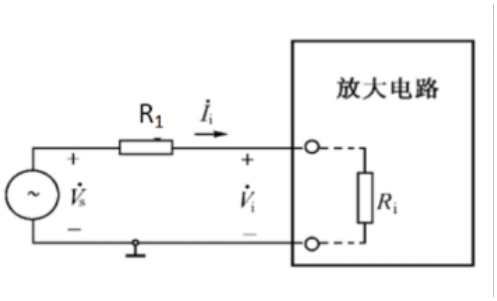
$$\dot{A}_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i}$$

2.3 测量输入电阻

输入电阻是指从放大器输入端看进去的交流等效电阻，其值等于输入端交流信号电压和电流之比。

放大电路的输入电阻R_i可用电阻分压法来测量，如图，R_1为已知阻值的外接电阻，分别测出V_s和V_i的有效值，则输入电阻为：

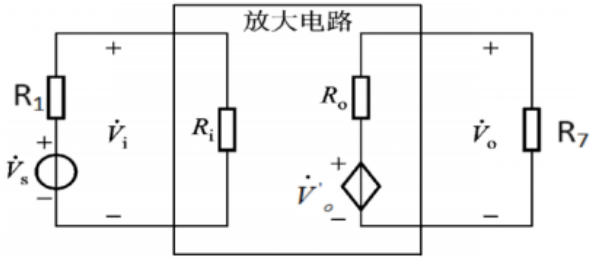
$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{V_s - V_i} R_1$$



2.4 测量输出电阻

输出电阻是指将输入信号源短路，从输出端向放大器看过去的交流等效电阻。放大电路的输出电阻可用增益改变法来测量，在保持静态工作点不变的情况下，分别测出负载开路时的输出电压$V_{o'}$和接入负载R_7后的输出电压V_o，则输出电阻：

$$R_o = \left(\frac{V_{o'}}{V_o} - 1\right) R_7$$



2.5 测量上限频率和下限频率

放大电路频率特性是指放大电路的电压放大倍数A_v与输入信号频率之间的关系。设中频段的电压放大倍数为A_{vm}，当A_v随输入信号频率变化下降到 0.707A_{vm}时所对应的频率定义为下限频率f_L和上限频率f_H，所以通频带为$f_{\text{BW}} = f_H - f_L$。

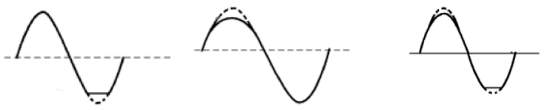
欲测量上、下限频率，需先调节输入信号v_i，使v_i频率为 1kHz。调节v_i幅度，使输出电压v_o幅度为 1V。保持输入信号的幅度不变，增大输入信号的频率，输出电压v_o的幅度随之下降。当v_o下降到 0.707V 时,对应的信号频率为上限频率f_H。保持输入信号幅度不变，降低输入信号的频率，同样使v_o幅度下降到 0.707V 时，对应的信号频率就为下限频率f_L。

2.6 静态工作点对波形影响

①I_{CQ}增大 → 饱和失真（削底）

②I_{CQ}减小 → 截止失真（缩顶）

③正常I_{CQ}时增大信号 → 双向失真



三、主要仪器设备

Rigol_MSO4054 示波器、DG4000 系列函数信号发生器、DP832A 直流电压信号源、模拟电路实验箱（共射电路实验板）、万用表、导线等。

四、操作方法与实验步骤

1.静态工作点的测量和调试

①按所设计晶体管共射电路元件电路原理图连接电路，并检查电路的完整性。

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与 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}=6mA。本次实验中采用间接测量法，测出V_C=9V，即可计算得出I_{CQ}= $\frac{15V-9V}{1k\Omega}=6mA$。

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、理论估算值记录于表并进行比较：

	V_B(V)	V_E(V)	V_C(V)	I_{CQ}(mA)
理论值				
仿真值				
实测值				

2.测量电压放大倍数（$R_L=1k\Omega/R_L=\infty$）

①保持 6mA 的静态工作点不变。

②从 A2 端输入 1KHz 的正弦波，调节正弦波幅值，使 A1 端的信号大小为 10mVRMS，用示波器监视输出波形的形状，要求不失真。

③测出负载开路时的输出电压$V_{o'}$

④测出负载为 1kΩ 时的输出电压V_o

⑤求出上面 2 种情况的放大倍数，记录于表并与理论值和仿真值进行比较：

测试条件	实测值(有效值)				理论值	仿真值
	V_s（mV）	V_i（mV）	V_o'或V_o(V)	Av	Av	Av
∞						
R_7=1kΩ						

3.测量输入电阻R_i（$R_L = 1k\Omega / R_L = \infty$）

①从函数信号发生器输出正弦波，加到电路板上的 A2 端。

②用示波器测出 A2 和 A1 电压。

③求出输入电阻，将数据记录于表并与理论值和仿真值进行比较：

输入电阻（实测值）				理论值	仿真值
	V_s	V_i	R_i	R_i	R_i
∞					
R_7=1 kΩ					

4.测量输出电阻R_o（$R_L = 1k\Omega / R_L = \infty$）

①从函数信号发生器输出正弦波，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，相关数据记录于表并与理论值和仿真值进行比较：

输出电阻（实测值）			理论值	仿真值
V_o' (V)	V_o (V)	R_o	R_o	R_o

5.测量上限频率和下限频率（$R_L = 1k\Omega / R_L = \infty$）

①从函数信号发生器输出 1kHz 的正弦波，加到放大电路输入端

②用交流毫伏表测输出电压，调节输入信号幅度，使输出V_o=1V。

③保持输入信号幅度不变，降低信号频率使输出幅度下降至 0.707V 时得到下限频率f_L。

④保持输入信号幅度不变，增大信号频率使输出幅度下降至 0.707V 时得到上限频率f_H。

6.研究静态工作点对输出波形的影响

①调节电位器R_P，使静态电流I_{CQ}增大到足够大（如 8.0mA），测量并记录集电极静态电流。

②逐渐增大输入信号，使输出波形出现明显的失真。记录此时的示波器波形，测量刚出现失真时的最大不失真输出电压。

③负载开路，输入 1kHz、幅度合适的正弦信号，用示波器监视输出电压。

④减小输入信号，使电路回到正常的放大状态（输出电压无失真）。

⑤调节电位器R_P，使静态电流I_{CQ}下降到足够小（如 4.0mA），测量并记录集电极静态电流。

⑥逐渐增大输入信号，使输出波形出现明显的失真。记录此时的示波器波形，测量刚出现失真时的最大不失真输出电压

测量最大不失真输出电压（$R_L = 1k\Omega / R_L = \infty$）

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R_L=1kΩ，再次测V_{omax}。

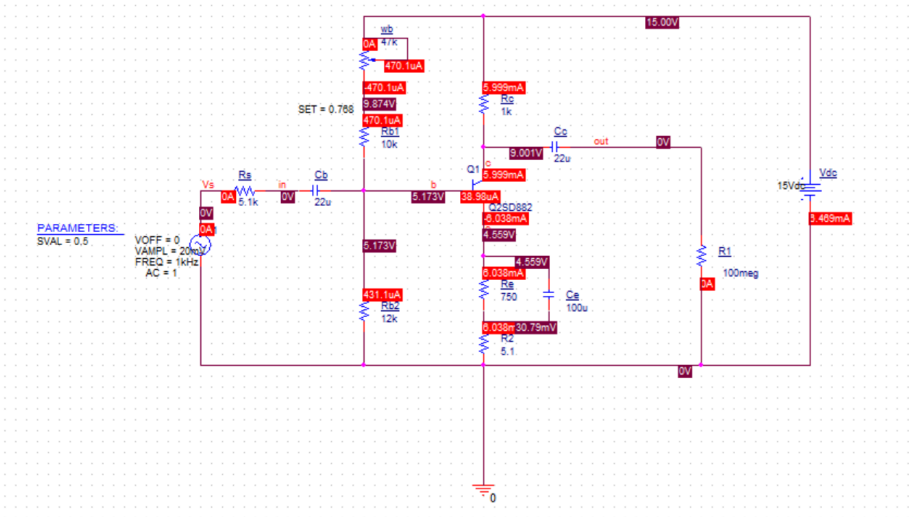
五、实验数据记录和测量

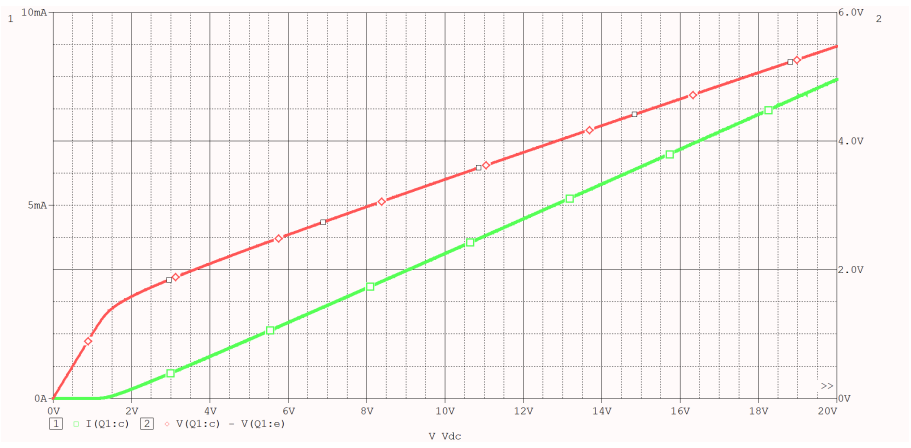
1.静态工作点的测量与调整

数据记录：

理论计算：

仿真结果：





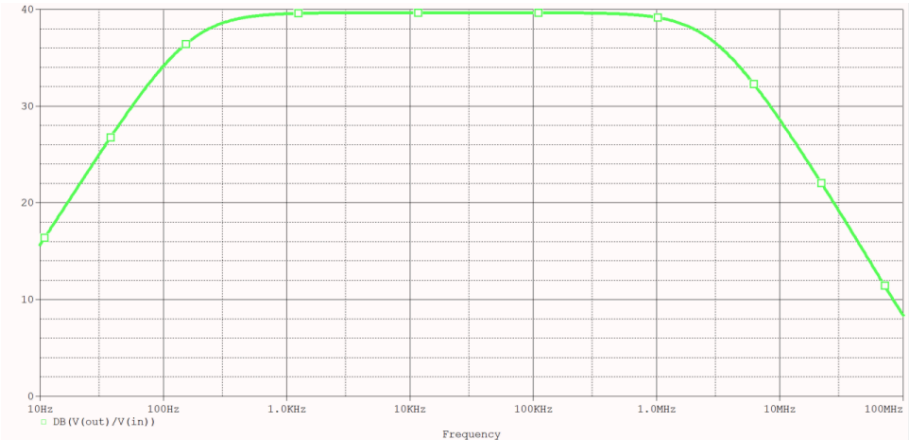
2.测量电压放大倍数

数据记录：

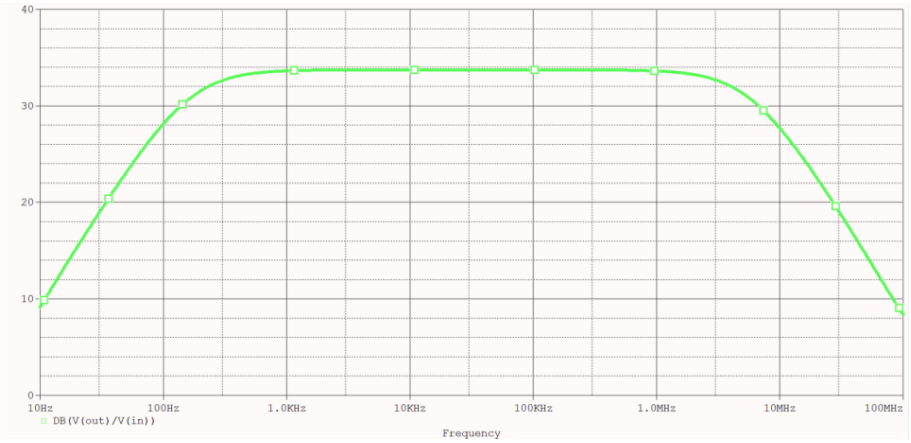
理论计算：

仿真结果：

当$R_L=\infty$，中频段增益约为 40dB，即$\dot{A}_v=100$



当$R_L=1k\Omega$，中频段增益为 34dB，即$\dot{A}_v=50.11$



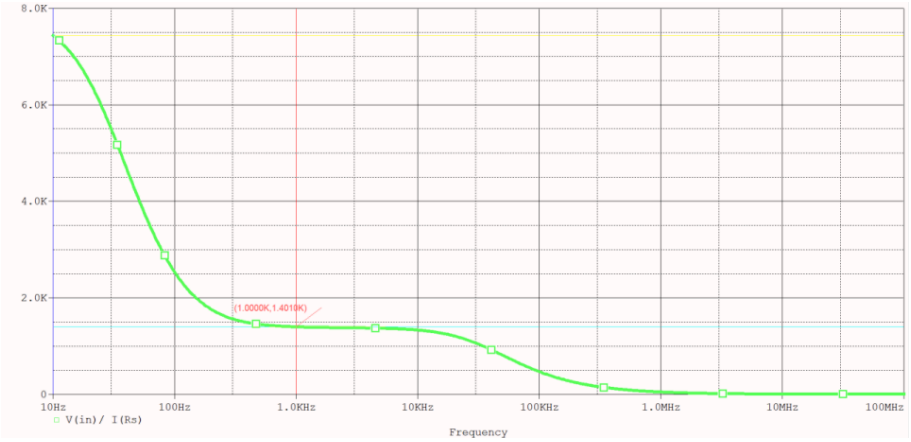
3.测量输入电阻

数据记录：

理论计算：

仿真结果：

当频率为 1kHz 时，输入电阻约为 1.40kΩ



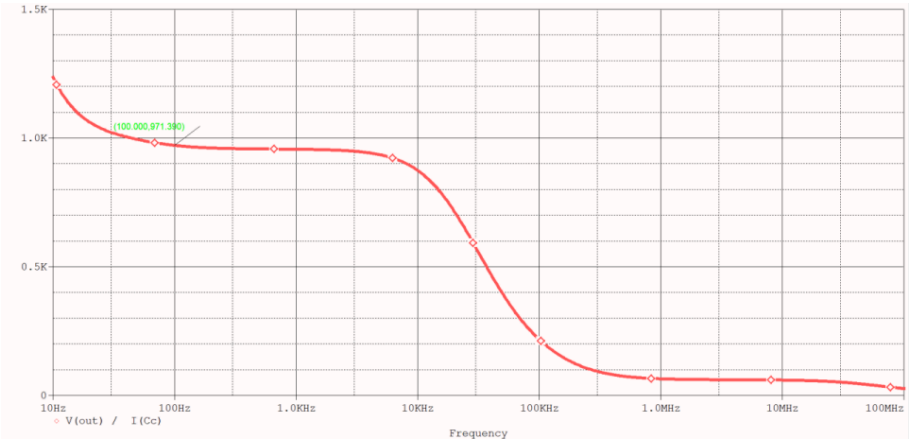
4.测量输出电阻

数据记录：

理论计算：

仿真结果：

当频率为 1kHz 时，输出电阻为 971.3Ω



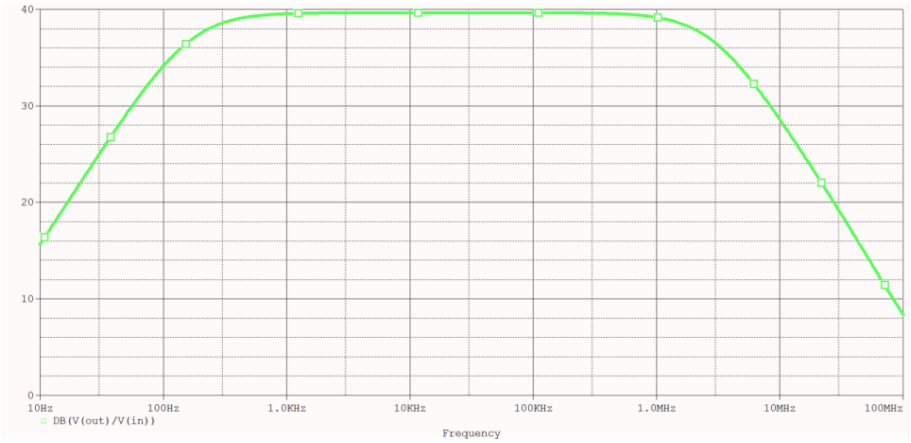
5.测量上限频率和下限频率

数据记录：

理论计算：

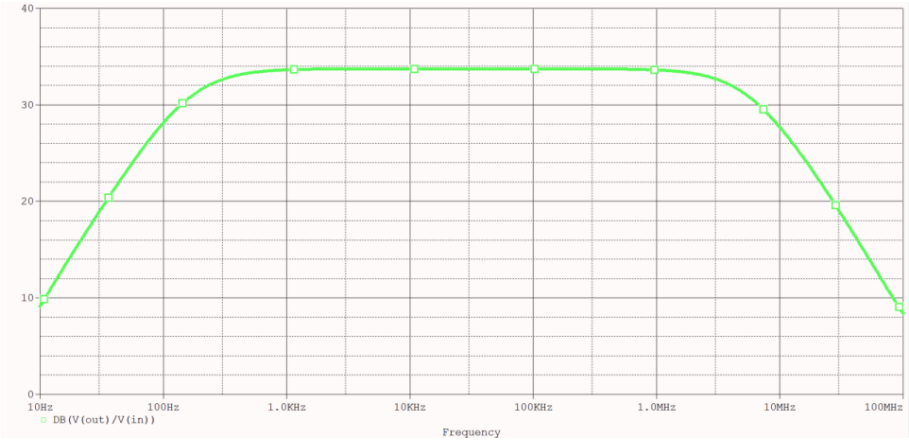
仿真结果：

当$R_L = \infty$，可见下限频率约 161Hz，上限频率约 2.91MHz



	Evaluate	Measurement	Value
	☐	Bandwidth_Bandpass_3dB(V(out)/V...	
	☑	Cutoff_Highpass_3dB(V(out)/V(in))	160.74896
▶	☑	Cutoff_Lowpass_3dB(V(out)/V(in))	2.91333meg

当$R_L = 1k\Omega$，可见下限频率约 163Hz，上限频率约 5.74MHz



Evaluate	Measurement	Value
☐	Bandwidth_Bandpass_3dB(V(out)/V...	
☑	Cutoff_Highpass_3dB(V(out)/V(in))	162.69994
▶ ☑	Cutoff_Lowpass_3dB(V(out)/V(in))	5.74894meg

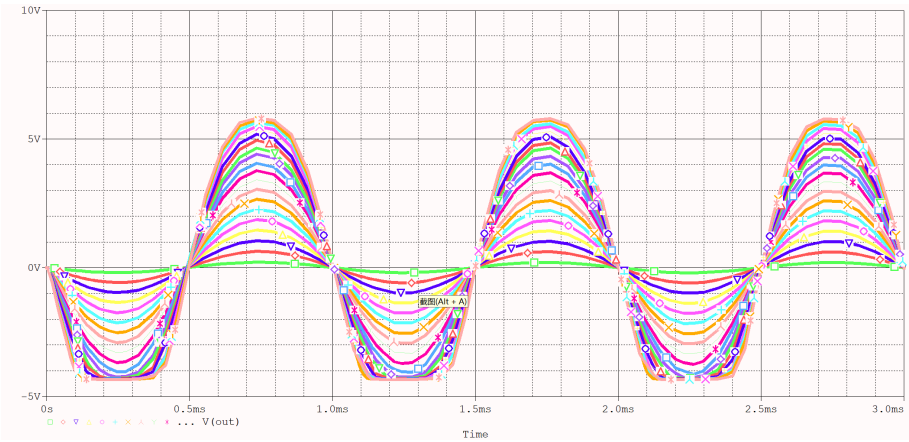
6.测量最大不失真输出电压

数据记录：

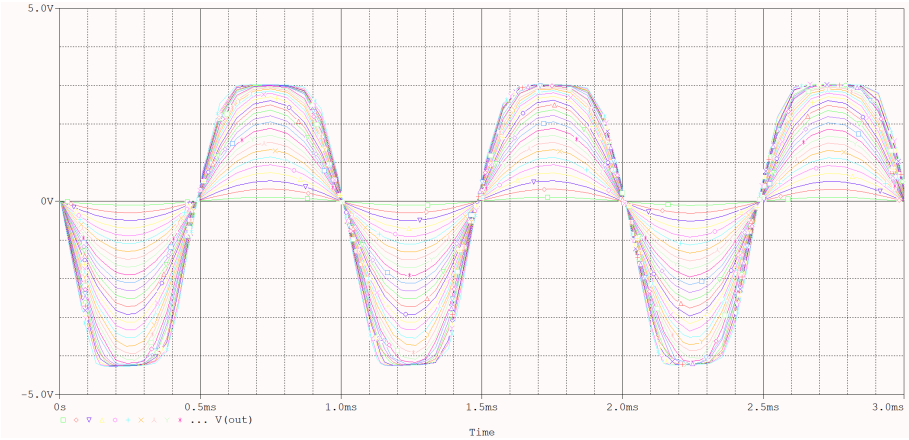
理论计算：

仿真结果：

当$R_L = \infty$时，在静态电流 6mA 下，可见最大不失真输出电压（峰值）约为 6V



当$R_L = 1k\Omega$时，在静态电流 6mA 下，可见最大不失真输出电压（峰值）约为 3V



六、实验结果与分析

1.静态工作点的测量与调整

由于实验室直流电源实际输出略低于 15V，且实际中电阻等元件收到温度的影响，实测值与理论计算值和仿真值略有出入，不过误差较小，可以接受

2.测量电压放大倍数

理论计算和实验值略低于仿真值，可能是因为三极管性能并不完全理想，或者是分布电容的影响，不过总体符合预期

3.测量输入电阻

输入电阻的实验值与理论值和仿真值相差较大，可能是R_s的阻值有变化，或者两个电压测量的不精准

4.测量输出电阻

输出电阻实验值、理论值和仿真值吻合

5.测量上限频率和下限频率

下限频率实验值、理论值和仿真值符合较好，但上线频率相差较多，可能是因为三极管高频特性以及分布电容的影响

6.研究静态工作点对输出波形的影响

实验表明，静态工作点I_{CQ}较大时，易引起饱和失真，静态工作点I_{CQ}较小时，易引起截止失真

7.测量最大不失真输出电压

测量最大不失真电压，其中截止失真的现象依赖于肉眼观察，难以确定具体位置，所以实验值与理论值和计算值不可避免有一定的出入。

七、讨论、心得

思考题

1. 当静态工作电流 ICQ 通过测量 VE 或 VC 来间接地得到时，分析万用表内阻对测量误差的影响

理论上：

通过测量V_C，万用表的内阻会导致测量值偏小，$V_C = V_{CC} - I_{CQ} \times R_C$，继而导致$I_{CQ}$偏大

通过测量V_E，万用表的内阻会导致测量值偏小，$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{V_E}{R_e}$，继而导致$I_{CQ}$偏小

但实际上由于万用表的内阻远大于被测电压部分的电阻，误差可以忽略

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？

各仪器间没有共同的接地点，可能会形成多个接地点之间的交流回路，从而导致波形出现“飘移”现象，使波形呈现不稳定或者漂移的状态，影响实验的进行。同时各接地点之间形成回路，其中可能存在高频噪声或者其他的杂波干扰信号，这些杂波信号可能会被放大后混入到需要测量的信号当中，从而影响测量的准确性。

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？

因为实验中所有涉及的数据，都是建立在晶体管处于放大状态，即线性放大区的前提下进行测量的，如果出现失真，就意味着电路不处于线性放大状态，那么理论公式不再适用，测得的各项指标也失去了其准确性，测出的数据也将出现很大的误差。所以在调整各项参数时，前提是保证输出的波形不发生失真，全部处在晶体管的线性放大区内，因此要用示波器监视输出波形不失真。

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？

与负载开路相比，接上负载后，电路的下限频率变化不大，略有升高；而上限频率大大增加，这是因为负载会与R_c并联，等效后的电阻变小，使得时间常数变小，进而导致上限频率增大。

根据电路所在的静态工作点，计算该状态下的最大不失真输出电压幅度，在保证波形不失真的情况下，使得输入和输出的信号波形都易于测量。

使输出电压为 1V，我们可以较为方便的选择输出电压变为 0.707V 时作为上限频率和下线频率的测量点，1V 和 0.707V 时波形也清晰可见，数值关系也一目了然，方便我们的读数。

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

需要将将放大电路的输入和输出端分别接到示波器两个通道并共地，此时要保持水平控制按钮位于原位，两个波形的显示选项中不启用反相等改变相位的功能，同时可适当调节垂直控制使两个波形的幅值利于观察。

6. 在测量电阻时，为什么不能直接测 Rs 两端压降？

因为R_s两端没有电路的公共接地点，若用一端接地的示波器测量，会引入干扰信号，造成测量误差。

7. 如何判断放大器的截止失真和饱和失真？当出现这些失真时应如何调整静态工作点？

在示波器上观察输出信号，如果波峰弧度变大则发生截止失真，如果波谷被削平则发生饱和失真。发生截止失真要增大I_{CQ}，发生饱和失真要减小I_{CQ}

8. 在共射放大电路的静态工作点测量时，测得$V_{\mathrm{CEQ}} < 0.5V$，说明三极管已处于 饱和 状态，若$V_{\mathrm{CEQ}} \approx +V_{\mathrm{CC}}$，则说明三极管已处于 截止状态 ，若$V_{\mathrm{BEQ}} > 2V$，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 电解 电容。

在共射放大电路实验我们选用的 D882 是 NPN 管对吗？ 对 。

描述怎样从外观判别 e、b、c 三个管脚

对于塑料封装的三极管，使平面对着自己，管脚向下，从左到右依次为 e、b、c。对于金属封装的三极管，使管脚面对自己，三个管脚的等腰三角形顶点向上，从左到右依次为 e、b、c。

心得

本次实验综合巩固了理论课所学的单管放大电路的知识，也复习了前几节课所学的仿真。此外，我们也认识到了实际电路因为存在分部电容和温度等因素影响，不可避免与理论计算以及仿真有一定出入，再一次体验到了把所学的知识复现出来的不易与喜悦。由此也明白，理论与仿真只能作为参考指导，实际应用中要具体情况具体分析，不可纸上谈兵。