

实验报告

课程名称：生物医学电子学实验 I

学号：2024591019

姓名：杜润卓

指导老师：李丹

班级：2025-2

实验时间：2025.10.30

实验名称：单级共射放大电路

一. 实验目的与任务

- 1、学会放大器静态工作点的调试方法，分析静态工作点对放大器性能的影响。
- 2、掌握放大器直流增益和动态性参数测试方法。
- 3、熟练掌握 EDA 仿真调试功能。

二. 实验仪器，软件和材料

1. 双路（独立）电压源 DP832 一台
2. 桌面式万用表 DM3058E 一台
3. 函数/任意波形发生器 DG4162 一台
4. 示波器 MSO5354 一台
5. 单管放大和负反馈实验板一块
6. NPN 型三极管 S9013 一个
7. TINA 或嘉立创 EDA 仿真软件
8. 纯铜硬芯跳线（直径 0.6mm）若干
9. 直插电阻若干

三. 实验原理

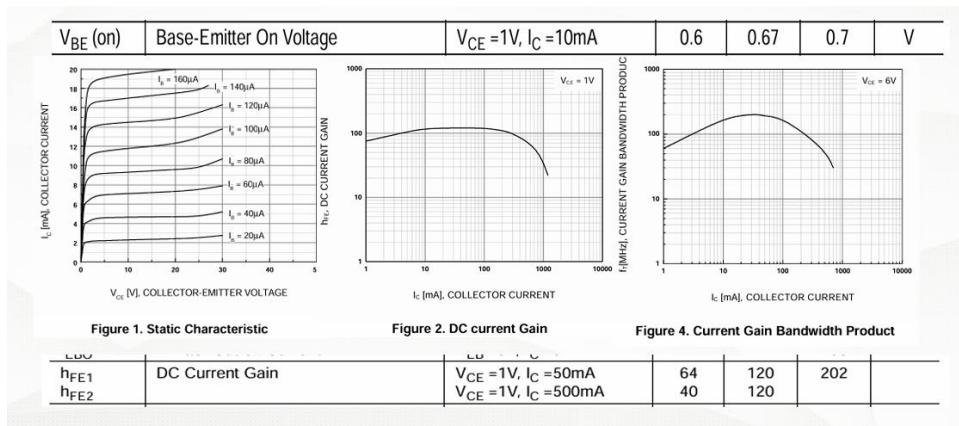
1.三极管原理

状态	发射结	集电结	应用	特点
截止区	反偏	反偏	开关关断	$I_C \approx 0$, 相当于开路。
放大区	正偏	反偏	信号放大	$I_C = \beta I_B$ 。
饱和区	正偏	正偏	开关导通	I_C 最大且不再受 I_B 控制，相当于短路。

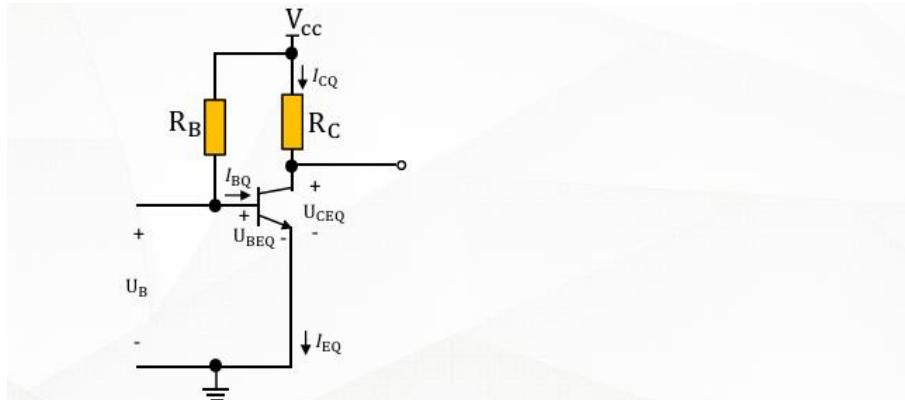
它的工作依赖于特殊的电压偏置：通过对发射结施加正向偏置，使得发射区的大量载流子进入极薄的基区；同时，由于集电结施加反向偏置，在基区的大部分电子来不及复合的情况下，被集电结的强电场高速吸引到集电区。最终，一个微小的基极电流（由进入基区的空穴复合所致）的变化，能够控制一个大得多的集电极电流的变化，其关系为，从而实现电流的有效放大

2.单极共射放大电路

(1) .基本原理与电路设计



放大电路和开关电路所需的关键工作参数



V_{CC} (直流电源) :

- 使发射结正偏，集电极结反偏
- 向负载和各元件提供功率

R_B (基极偏置电阻) :

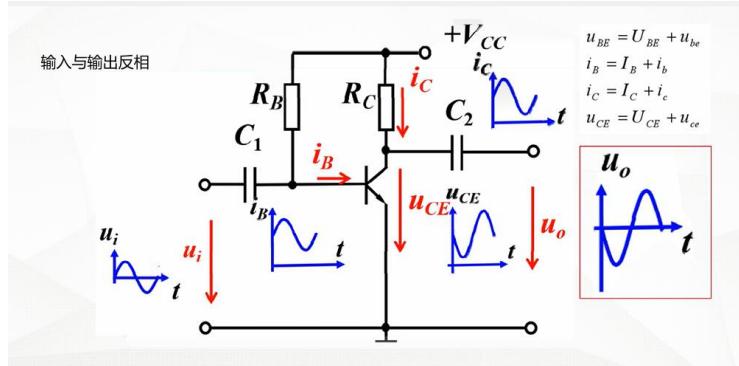
- 提供合适的基极电流

R_C (集电极负载电阻) :

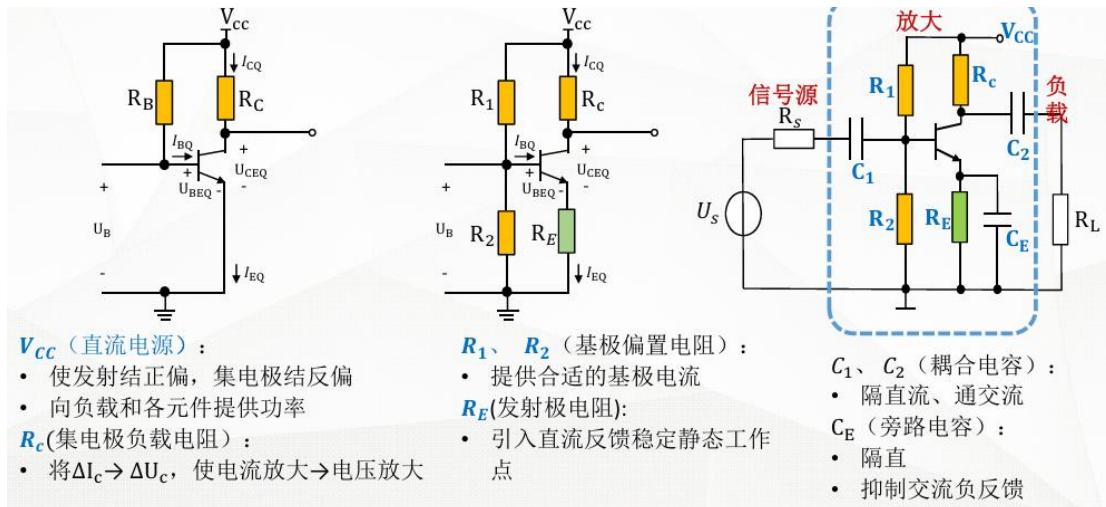
- 将 $\Delta I_c \rightarrow \Delta U_c$ ，使电流放大 \rightarrow 电压放大

三极管电路示意图

特点:共射放大电路既能放大电流又能放大电压，输入与输出反相;输出电阻较大，频带较窄。常作为低频电压放大电路的单元电路。

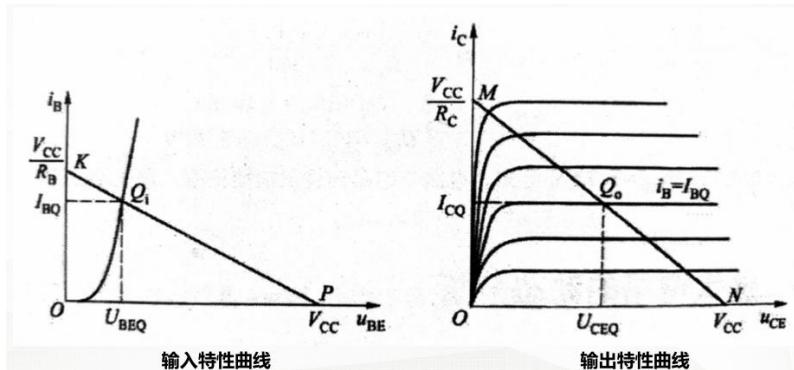


输入与输出反向示意图

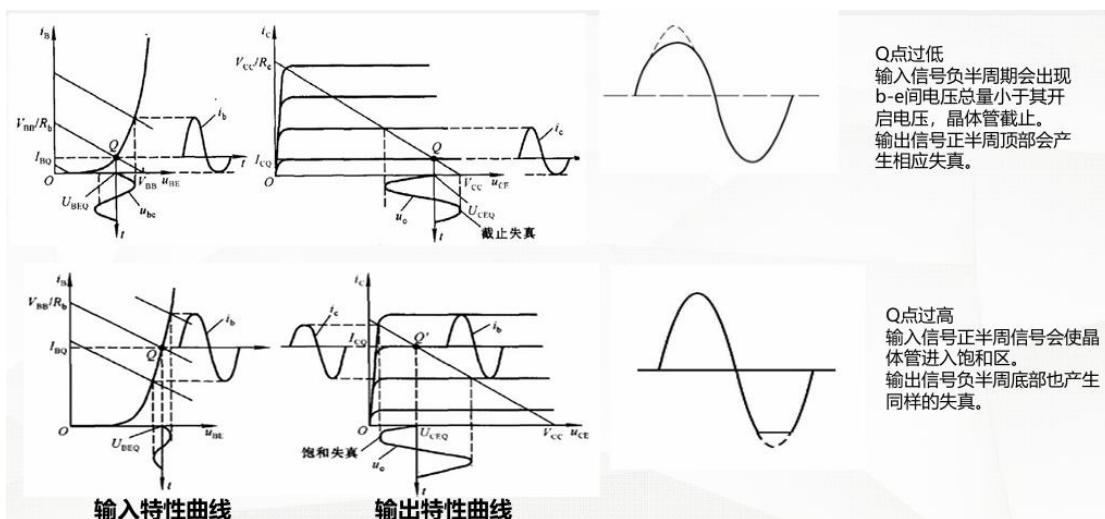


以上为在此基础上改了得到的不同共射放大电路。

(2) 工作特性与静态工作点



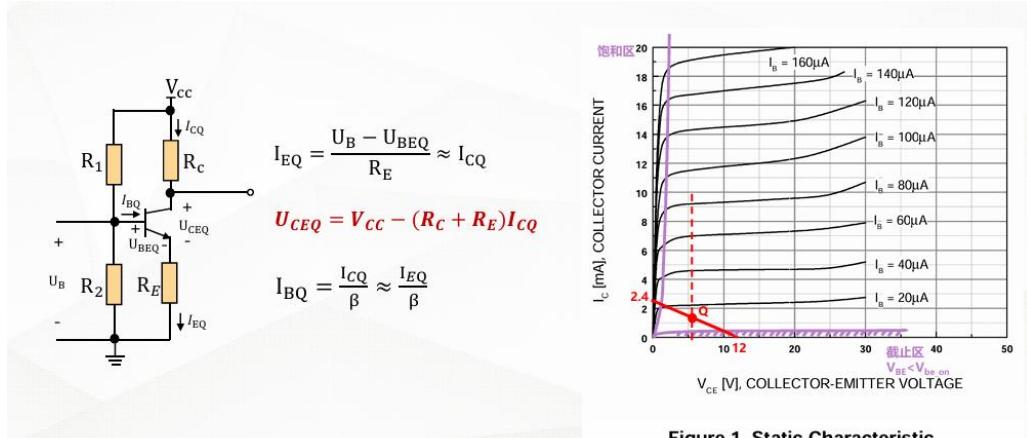
以上为直流输入下的输入输出特性曲线，Q 为静态工作点



以上为耦合交流信号后得到的曲线，右图阐述了饱和失真和截至失真的原理。

其中，放大电路的静态值表示为 I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 U_{BEQ} 、 U_{CEQ} ，由于 U_{BEQ} 由晶体管的材料决定，

所以我们又把 I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 U_{CEQ} 称为静态工作点，也称 Q 点。



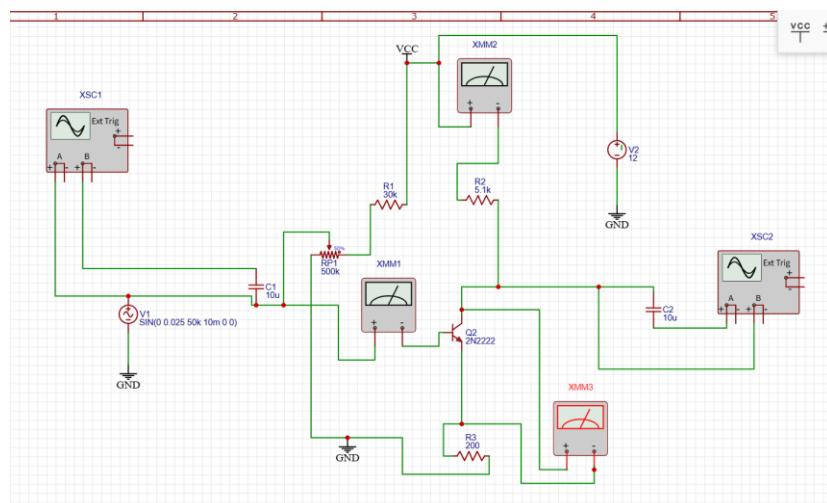
上图为三极管的电压电流关系，右侧为集电极电流与 U_{ce} 的关系曲线

其中，静态工作点 Q 选取：应尽量处于放大区中间位置

三．实验内容与数据记录

1. 仿真实验

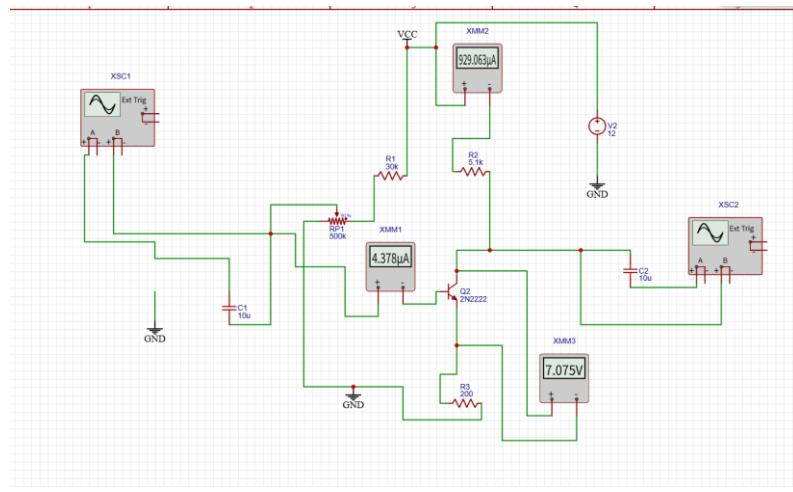
(1). 代入参数的单级共射放大电路仿真电路图, $R_1=30k\Omega$, R_2 可调 (标称 $500k\Omega$) , $R_C=5.1k\Omega$, $R_E=200\Omega$, $R_L=5.1k\Omega$, $C_1=10\mu F$, $C_2=10\mu F$, 电路图如下



(2) . 静态特性分析：直流增益测量

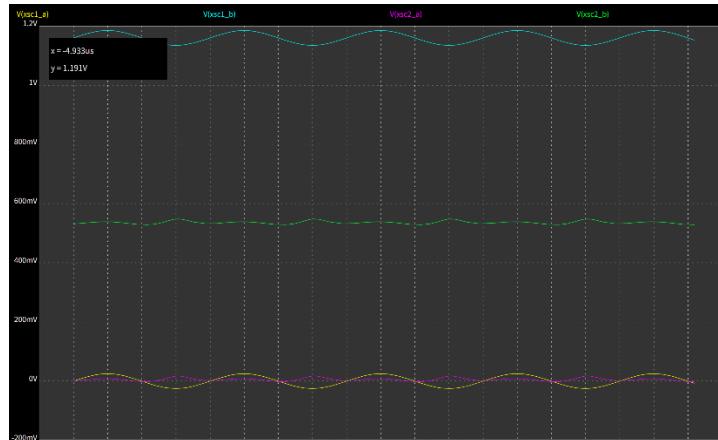
使输入小信号 $U_s=0$, 使电路工作在直流状态, 通过调节电位器, 测量单级共射放大电路的静态特性。调节电位器, 使 $I_{CQ}=1mA$, 测此时基极静态电流 I_{BQ} , 展示 EDA 软件中万用表和示波器的测量结果图, 并计算直流电流增益 $\beta = I_{CQ}/I_{BQ}=212.21$

此时 $U_{CEQ}=7.075V$



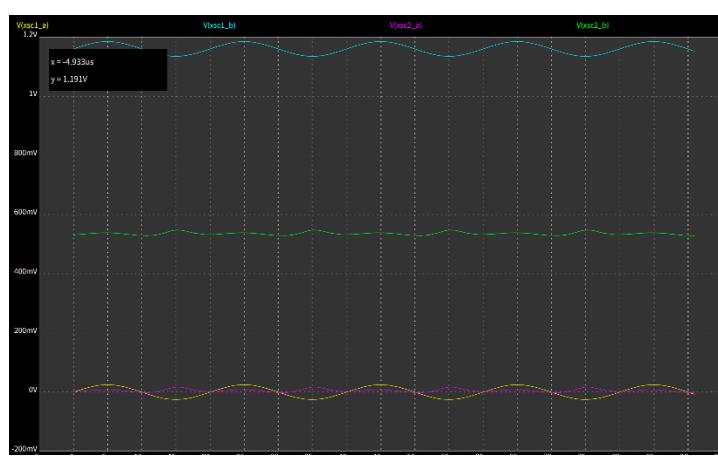
(3). 观察静态工作点对交流信号放大结果的影响- 设置输入信号 U_s 为 50mVpp, 50kHz 的正弦波信号。

I. 截止失真

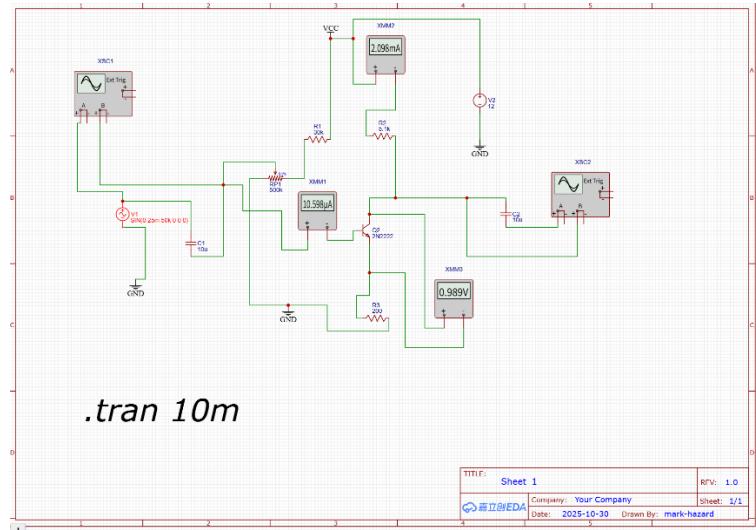


测得此时 $U_{ceq}=11.457V$

II. 饱和失真



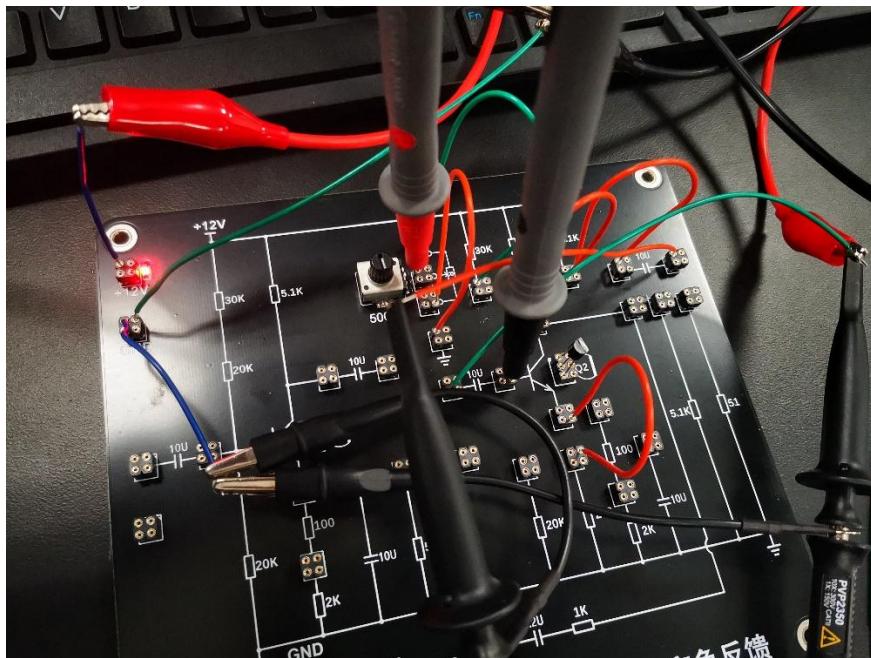
下图为 $U_{ceq}=0.989V$



总结：当 U_{CE} 过低时，晶体管进入饱和区，集电极电流不再随输入信号增加而增加，输出波形（如果同相位，实际本电路反相位）的上半部分被削平，形成饱和失真；而当 U_{CE} 过高或输入信号使晶体管基极电流过小，晶体管进入截止区，集电极电流接近零，输出波形（如果同相位，实际本电路反相位）的下半部分被截断，形成截止失真。总体来看，饱和失真对应输出电压的高电平削顶，截止失真对应低电平削底，两者都源于晶体管超出线性放大区。（注：因为共射级放大电路会让输入电压的相位颠倒，所以波谷削弱为 0 在本电路中表现为波峰被削弱为 0，后文饱和失真发生颠倒同理）

2. 电路实验

(1) 根据仿真电路连接电路



(2) 静态工作点的调整和测量

在输入为 0 时，调整电位器 R ，使静态集电极电流 $I_{CQ}=1\text{mA}$ （由于 $U_{CQ}=V_{CC}-I_{CQ} \cdot R_C$ ，故取 $U_{CQ}=6.9\text{V}$ 来估计电流值），

测得此时基极静态电流 $I_{BQ}=4.752\text{mA}$ ，计算得直流电流增益 $\beta = I_{CQ}/I_{BQ}=211=$
测得此时 $U_{CEQ}=6.572\text{V}$

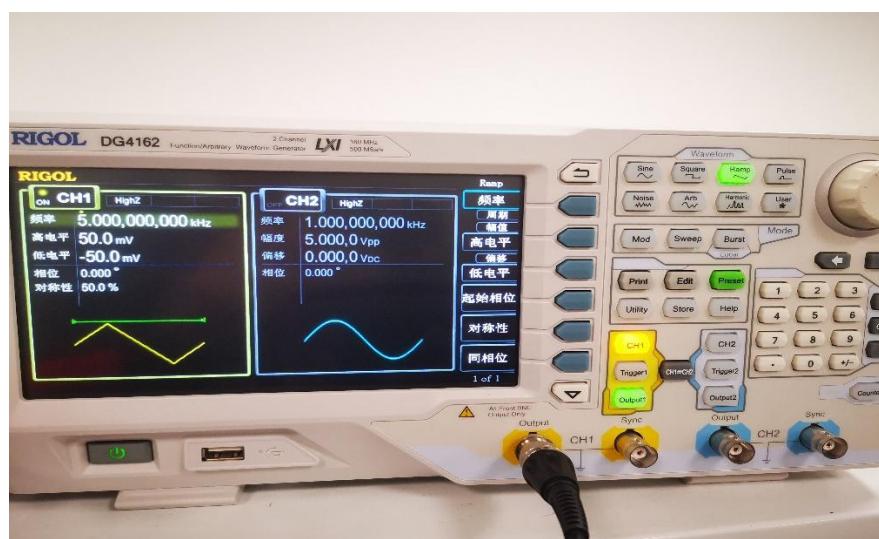
(3) 对交流小信号放大性能的测量

在放大器输入端输入频率为 $f=5\text{kHz}$, 50mV (振幅) 的正弦信号, 测得 U_s 和 U_o 信号的峰峰值 (见下表), 二者相位相反, 求得电压放大倍数 $A=-21.81$

静态工作点电流为 1mA

U_s (源)	105.84毫伏
U_o (输出)	-2.3087伏

示波器图像如下:



(4) 工作点对输出波形的影响

调节 R_w 电位器, $U_s=0$ 时, 使 U_{CQ} 分别取不同的值, 再输入 U_s , 输出波形 U_o 的区别如下组图。(U_s 均取 5kHz, 50mVpp)

I . 当 $U_{CQ}=11.787V$ 时, 输出的波形如下



原因分析: 因为发生了截止失真。原理见下文饱和失真分析处 (注: 因为共射级放大电路会让输入电压的相位颠倒, 所以波谷削弱为 0 在本电路中表现为波峰被削弱为 0, 后文饱和失真发生颠倒同理)

II . 当 $U_{CQ}=6.066V$ 时, 输出的波形如下



原因分析: 此时电路工作处于放大区, 输入电压与输出电压呈现正比关系

III . 当 $U_{CQ}=0.811V$ 时, 输出的波形如下

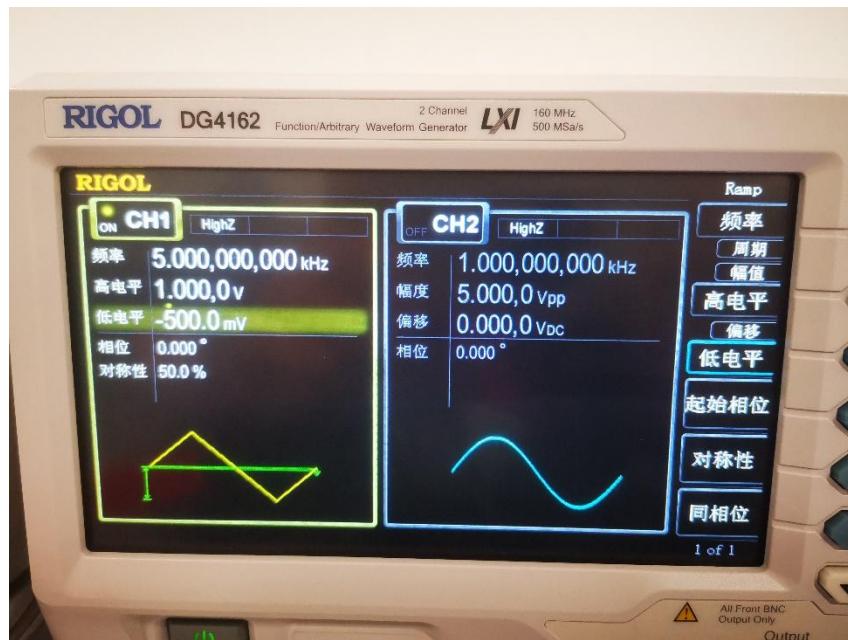


原因分析：在三极管放大电路中，通过电阻网络设置的集电极电压偏置决定了三极管的静态工作点在负载线上的位置，这个位置直接决定了信号可以被不失真放大的最大动态范围。如果将 U_{CQ} 设置得过低（ Q 点靠近饱和区），则输出波形的波峰会首先被削平，引发饱和失真；而如果将 U_{CQ} 设置得过高（ Q 点靠近截止区），则输出波形的波谷会首先被削平，引发截止失真。因此，改变集电极电压偏置实际上是通过移动 Q 点来压缩某一侧的放大裕度，从而导致单侧失真先于另一侧出现。

(5) 测量放大器的最大不失真输出电压

- I. 先调静态工作点，然后放大信号源的幅度，微调可调电阻 R_w ，使得信号同时出现饱和失真和截止失真

实验过程图如下：

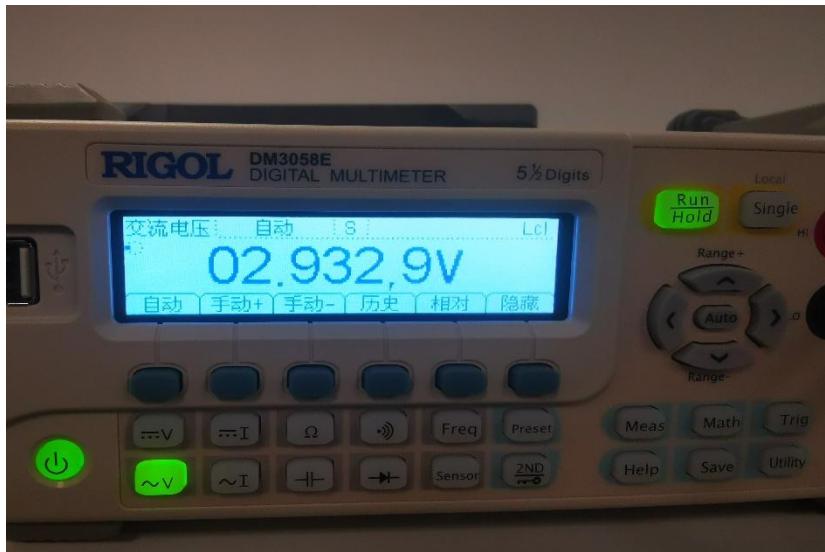




II . 调小信号源 V_{pp} , 不断重复, 直到刚好出现既不失真也不截止为止, 记录 U_{OPP} (动态参数) 和当前 I_{cq} (静态参数) 如下表:

测量项	测量值
I_{cq}	1.030mA
U_{OPP}	2.929V

电压表示数如下图:



五 . 结论与心得体会

结论: 通过对单级共射放大电路的 EDA 仿真与实际电路实验, 可以得到其具有显著的电压放大作用, 并验证了输入与输出信号呈反相的特性。在调节静态工作点 Q 的过程中, 可以

明显观察到饱和失真与截止失真的出现及其规律，进一步验证了理论分析的正确性。实验结果表明，当静态工作点选取合理时，电路能获得较大的线性放大范围和稳定的增益性能。

心得体会：通过本次实验，我加深了对共射放大电路工作原理的理解，尤其是对静态工作点对放大性能影响的认识。在仿真与实际测试中，我体会到放大电路的设计不仅需要理论计算，还要结合实际调试经验，以避免由于 Q 点偏移造成的信号失真。此外，在实验过程中我还掌握了使用 EDA 仿真软件与示波器进行信号观测的方法，增强了对电路动态特性的直观认识。通过此次实验，我不仅巩固了晶体管放大原理的基础知识，也提升了电路分析与动手调试能力，为后续更复杂电路的设计与研究打下了良好的基础。