浙江大学实验报告

专业：
姓名：
学号：
日期：2026.4.19
地点：东 3-308

课程名称：电工电子学实验　指导老师：　成　绩：
实验名称：晶体管共射放大电路　实验类型：基础型　学　期：25-26 春夏

一、实验目的和要求　二、实验内容和原理
三、主要仪器设备　四、实验数据记录和处理
五、实验结果与分析　六、讨论、心得

一、 实验目的和要求

本实验以分压式静态工作点稳定单管共射放大电路为对象，完成以下内容：

(1) 学习放大电路静态工作点的调试方法，了解元件参数对静态工作点的影响，并将静态工作点调整到 $I_C \approx 1.5\,\mathrm{mA}$。

(2) 掌握电压放大倍数 A_u、输入电阻 r_i 和输出电阻 r_o 的测量方法，熟悉利用换算法处理实验数据。

(3) 观察静态工作点对输出波形失真的影响，理解截止失真与饱和失真的形成原因。

(4) 熟悉双踪数字示波器、函数信号发生器、直流电源及数字万用表在模拟电路实验中的使用方法。

二、 实验内容和原理

1.实验电路

实验电路如图 1 所示。电路采用分压式偏置稳定静态工作点，输入端串联取样电阻 $R_s = 5.1\,\mathrm{k\Omega}$，输出端通过开关 K_2 接入或断开负载电阻 $R_L = 2\,\mathrm{k\Omega}$。按实验要求，$K_1$ 全程闭合。

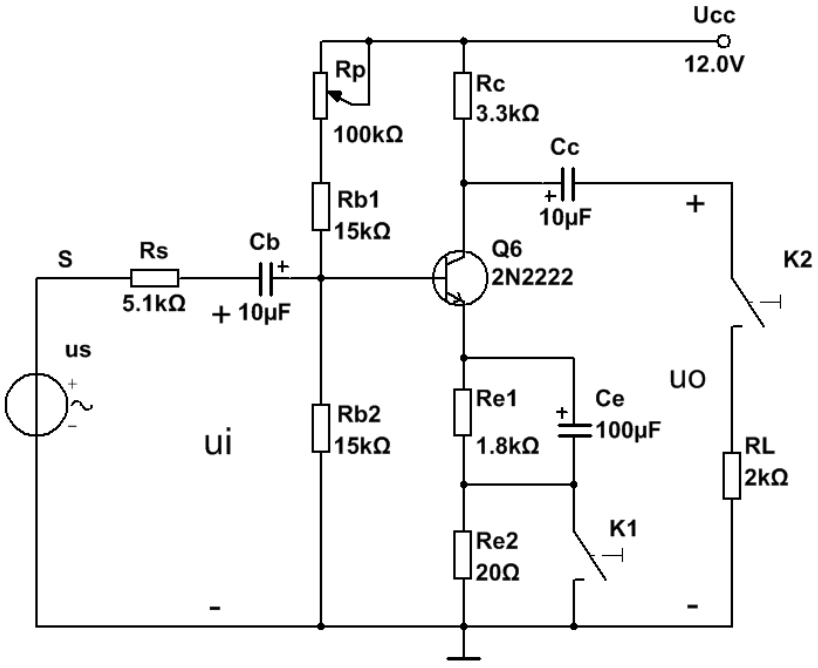


图 1: 晶体管共射放大电路

2.静态工作点与失真机理

静态工作点决定晶体管在输入交流信号作用下能否在线性区对称摆动。若工作点偏高，晶体管更易进入饱和区，输出波形顶部会出现压缩；若工作点偏低，则晶体管容易进入截止区，输出波形底部会出现削平。图 2 给出了工作点与失真关系示意。

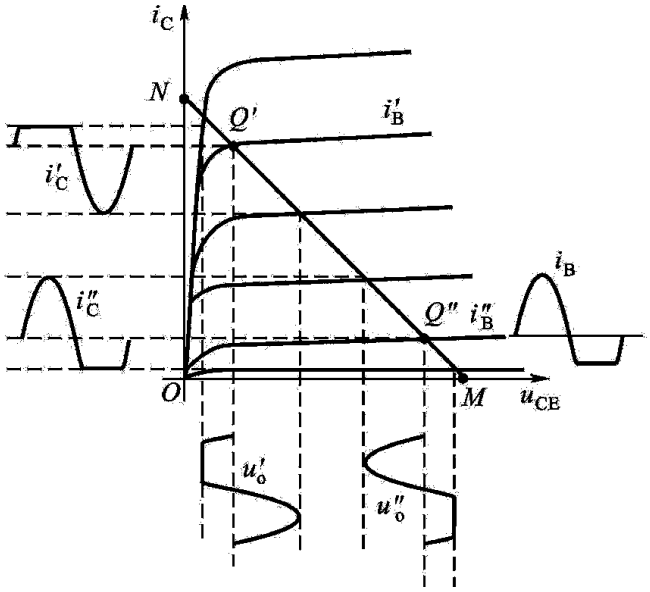


图 2: 静态工作点对输出失真的影响示意

本实验通过调节电位器 R_P 改变基极偏置，使静态工作点满足实验要求。静态量采用间接法计算：

$$I_C = \frac{U_{CC} - U_C}{R_C}, \qquad U_{CE} = U_C - U_E$$

电路中 $R_C = 3.3\,\mathrm{k\Omega}$。

3.主要测量原理

(1)电压放大倍数

在输入、输出波形均不失真的前提下，测得输入信号有效值 U_i 与输出信号有效值 U_o，则电压放大倍数为

$$A_u = \frac{U_o}{U_i}$$

共射放大电路输出与输入反相，故分析中主要比较其幅值大小。

(2)输入电阻

输入电阻采用换算法测量。在信号源与放大电路输入端之间串联已知电阻 R_s，测得信号源输出 U_s 与放大器输入电压 U_i，则

$$r_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R_s$$

(3)输出电阻

输出电阻仍采用换算法。保持输入频率为 1 kHz 且输入幅值恒定，分别测得空载时输出电压 U_o' 与接入负载 R_L 后的输出电压 U_o，则

$$r_o = \left(\frac{U_o'}{U_o} - 1\right) R_L$$

(4)仿真部分

实验还要求利用 MWORKS 完成静态工作点调整、正常放大波形和失真波形仿真。仿真中仍采用与实物实验一致的电路参数，重点记录静态工作点、正常放大时的输入输出波形，以及截止失真和饱和失真两种典型失真现象。

三、 主要仪器设备

(1) 模拟电子技术实验箱（含单管共射放大电路模块）

(2) 双踪数字示波器

(3) 函数信号发生器

(4) 直流稳压电源（+12 V）

(5) 数字式万用表

(6) MWORKS 软件

四、 实验数据记录和处理

1.静态工作点测量与计算

根据电路参数，静态分析时取 $R_C = 3.3\,\text{k}\Omega$、$R_E = 1.8\,\text{k}\Omega$，并按课件要求取晶体管电流放大系数 $\beta = 120$。调节偏置电位器后，使静态工作点满足 $I_C \approx 1.5\,\text{mA}$。实测

$$U_{CC} = 12.1532\,\text{V}, \quad U_C = 7.2231\,\text{V}, \quad U_B = 3.3076\,\text{V}, \quad U_E = 2.6941\,\text{V}$$

先由测量值计算实验工作点

$$I_C = \frac{12.1532 - 7.2231}{3.3\,\text{k}\Omega} = 1.494\,\text{mA}$$

$$U_{CE} = 7.2231 - 2.6941 = 4.5290\,\text{V}$$

理论估算时，按目标工作点 $I_C = 1.5\,\text{mA}$ 计算。基极电流与发射极电流分别为

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1.5\,\text{mA}}{120} = 12.5\,\mu\text{A}$$

$$I_E = I_C + I_B = 1.5125\,\text{mA}$$

取硅管导通压降 $U_{BE} \approx 0.7\,\text{V}$，则

$$U_E = I_E R_E = 1.5125\,\text{mA} \times 1.8\,\text{k}\Omega = 2.7225\,\text{V}$$

$$U_B = U_E + U_{BE} = 2.7225 + 0.7 = 3.4225\,\text{V}$$

$$U_C = U_{CC} - I_C R_C = 12.1532 - 1.5\,\text{mA} \times 3.3\,\text{k}\Omega = 7.2032\,\text{V}$$

$$U_{CE} = U_C - U_E = 7.2032 - 2.7225 = 4.4807\,\text{V}$$

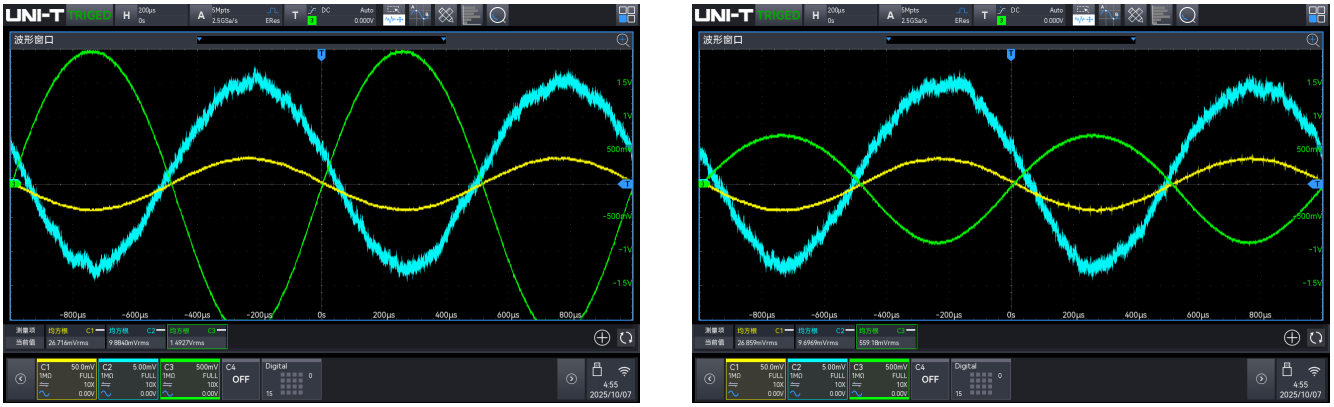
表 1: 静态工作点实验值与理论值对比

项目	I_C/mA	U_C/V	U_B/V	U_E/V	U_{CE}/V
理论值	1.500	7.2032	3.4225	2.7225	4.4807
实验值	1.494	7.2231	3.3076	2.6941	4.5290

将理论值与实验值比较，I_C、U_C、U_E、U_{CE} 都比较接近，说明工作点调节与设计目标基本一致；其中 U_B 的偏差稍大，和实际晶体管的 β、U_{BE} 以及电位器调节误差有关。按这一工作点可以继续进行后续交流参数测量。

2.空载与带载波形记录

实验中信号源频率保持为 1 kHz，示波器截图中黄色、蓝色、绿色曲线分别对应 U_s、U_i、U_o。图 3a 为输出开路时的波形，图 3b 为接入 $R_L = 2\,\mathrm{k\Omega}$ 后的波形。



(a) 输出开路时的实测波形　　(b) 接入 $R_L = 2\,\mathrm{k\Omega}$ 时的实测波形

图 3: 两种负载条件下的示波器测量结果

由截图左下角测量框可直接读取有效值数据：

- 空载时：$U_s = 26.716\,\mathrm{mV}$，$U_i = 9.8840\,\mathrm{mV}$，$U_o' = 1.4927\,\mathrm{V}$
- 接入 $R_L = 2\,\mathrm{k\Omega}$ 时：$U_s = 26.859\,\mathrm{mV}$，$U_i = 9.6969\,\mathrm{mV}$，$U_o = 559.18\,\mathrm{mV}$

3.动态参数计算

(1)空载时的放大倍数与输入电阻

$$A_{u0} = \frac{U_o'}{U_i} = \frac{1.4927}{9.8840 \times 10^{-3}} = 151.02$$

$$r_{i0} = \frac{U_i}{U_s - U_i} R_s = \frac{9.8840}{26.716 - 9.8840} \times 5.1\,\mathrm{k\Omega} = 2.995\,\mathrm{k\Omega}$$

(2)接入 2k 欧负载时的放大倍数、输入电阻和输出电阻

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{0.55918}{9.6969 \times 10^{-3}} = 57.67$$

$$r_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R_s = \frac{9.6969}{26.859 - 9.6969} \times 5.1\,\mathrm{k\Omega} = 2.882\,\mathrm{k\Omega}$$

$$r_o = \left(\frac{U_o'}{U_o} - 1\right) R_L = \left(\frac{1.4927}{0.55918} - 1\right) \times 2\,\mathrm{k\Omega} = 3.339\,\mathrm{k\Omega}$$

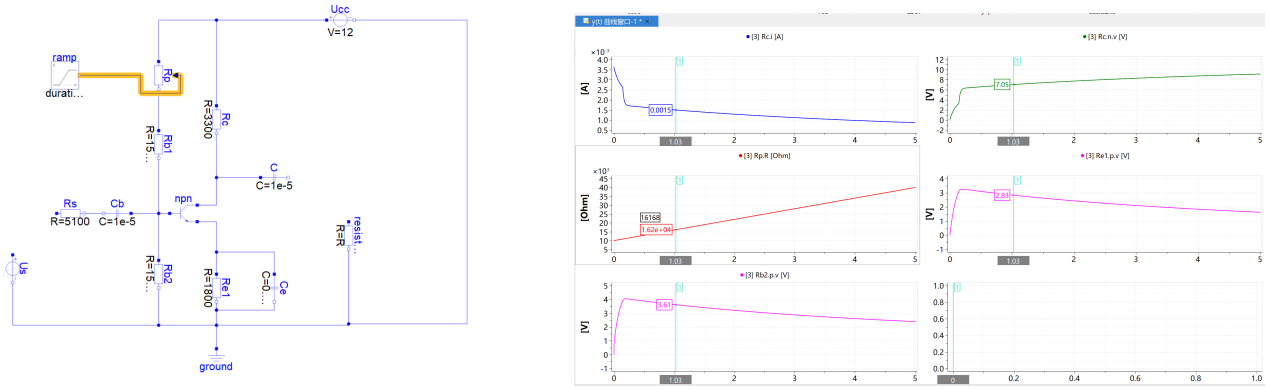
表 2: 放大倍数、输入电阻与输出电阻测量结果

R_L/kΩ	R_s/kΩ	U_s/mV	U_i/mV	U_o'/V	U_o/V	A_u	r_i/kΩ	r_o/kΩ
∞	5.1	26.716	9.8840	1.4927	/	151.02	2.995	/
2	5.1	26.859	9.6969	/	0.55918	57.67	2.882	3.339

4.仿真部分

(1)仿真电路与静态工作点

仿真电路如图 4a 所示。电路拓扑与实验箱一致，电源取 12 V，输入端串联 $R_s = 5.1\,\mathrm{k\Omega}$，输出端可接入 $R_L = 2\,\mathrm{k\Omega}$，同时保持 K_1 闭合。



(a) MWORKS 仿真电路

(b) 静态工作点仿真结果

图 4: 仿真电路与静态工作点

图 4b 与图 5 给出了静态工作点调节结果。仿真时调节电位器得到

$$R_P \approx 1.62 \times 10^4\,\Omega = 16.2\,\mathrm{k\Omega}, \quad I_C \approx 1.50\,\mathrm{mA}$$

$$U_C \approx 7.05\,\mathrm{V}, \quad U_B \approx 3.61\,\mathrm{V}, \quad U_E \approx 2.83\,\mathrm{V}$$

因此

$$U_{CE} = U_C - U_E = 7.05 - 2.83 = 4.22\,\mathrm{V}$$

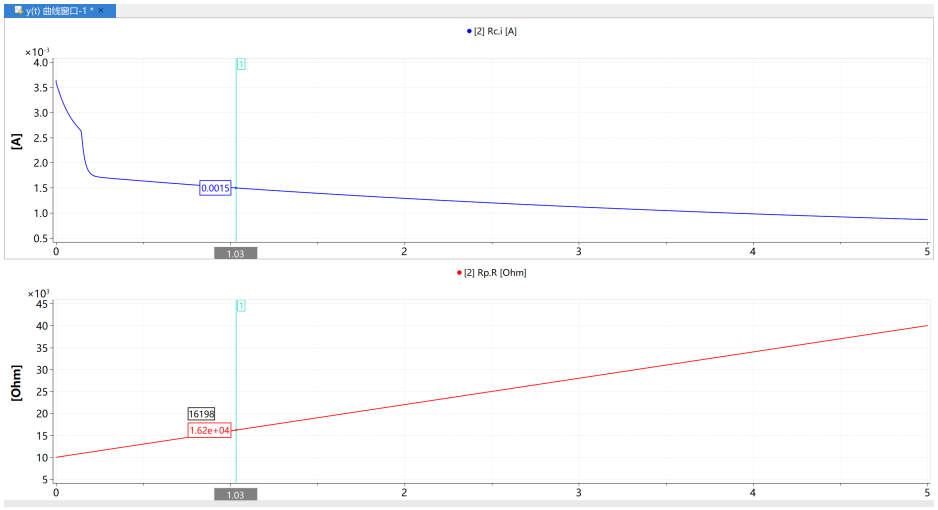
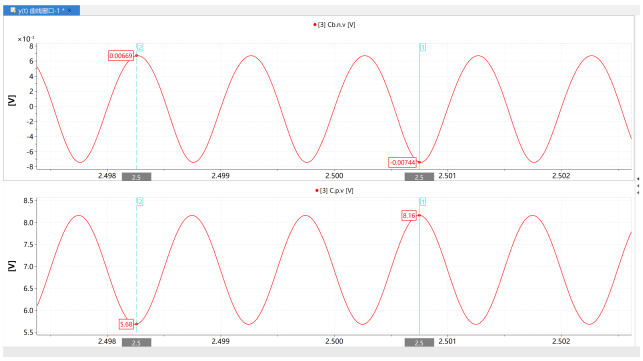


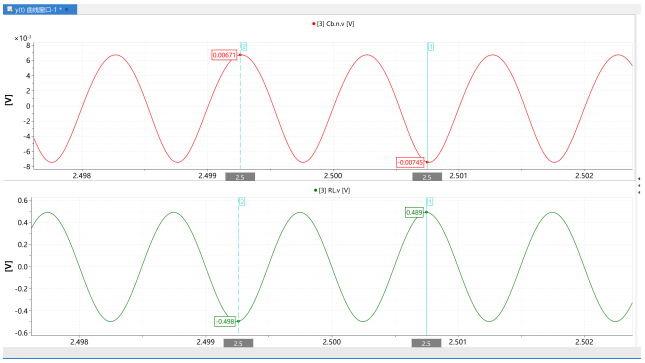
图 5: 静态工作点调节时的 R_P 与 I_C 游标读数

(2)正常放大波形仿真

先在开路条件下观察正常放大波形，再接入 $R_L = 2\,\mathrm{k\Omega}$ 进行对比。图 6a 和图 6b 中上方曲线为输入信号，下方曲线为输出信号或负载电压，均用游标读取峰峰值。



(a) 开路时的正常放大波形



(b) 接入 $R_L = 2\,\mathrm{k\Omega}$ 后的波形

图 6: 正常放大工况下的仿真波形

开路时由游标读得输入峰峰值

$$U_{i,\mathrm{pp}} = 6.69\,\mathrm{mV} - (-7.44\,\mathrm{mV}) = 14.13\,\mathrm{mV}$$

输出峰峰值

$$U_{o,\mathrm{pp}} = 8.16\,\mathrm{V} - 5.68\,\mathrm{V} = 2.48\,\mathrm{V}$$

于是仿真电压放大倍数为

$$A_{u0,\mathrm{sim}} = \frac{U_{o,\mathrm{pp}}}{U_{i,\mathrm{pp}}} = \frac{2.48}{14.13 \times 10^{-3}} \approx 175.5$$

接入 $R_L = 2\,\mathrm{k\Omega}$ 后，输入峰峰值

$$U_{i,\mathrm{pp}} = 6.71\,\mathrm{mV} - (-7.45\,\mathrm{mV}) = 14.16\,\mathrm{mV}$$

负载电压峰峰值

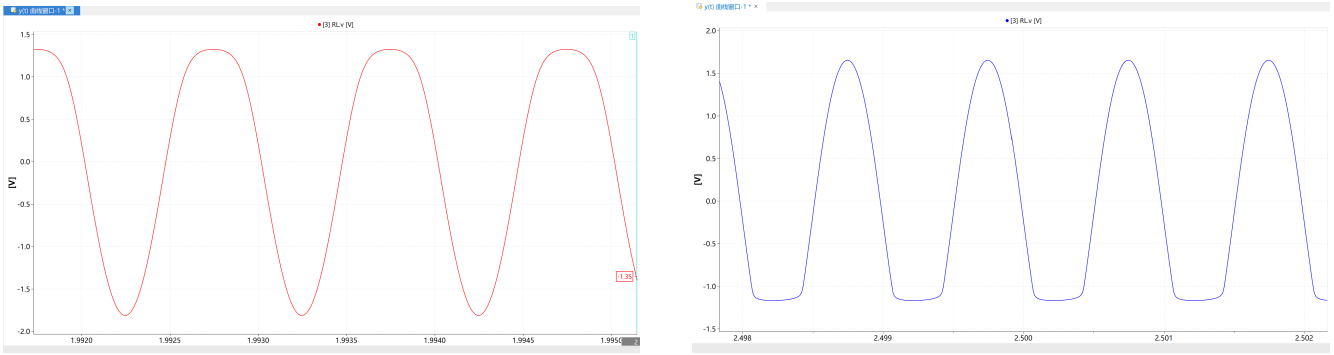
$$U_{L,\mathrm{pp}} = 0.489\,\mathrm{V} - (-0.498\,\mathrm{V}) = 0.987\,\mathrm{V}$$

于是

$$A_{uL,\mathrm{sim}} = \frac{U_{L,\mathrm{pp}}}{U_{i,\mathrm{pp}}} = \frac{0.987}{14.16 \times 10^{-3}} \approx 69.7$$

(3)截止失真与饱和失真仿真

保持电路结构不变，通过改变静态工作点可以观察到不同形式的失真。图 7a 为截止失真波形，图 7b 为饱和失真波形。



(a) 截止失真　　(b) 饱和失真

图 7: 两类典型失真波形的仿真结果

截止失真工况下，静态集电极电流约为 $I_C \approx 1.09\,\mathrm{mA}$，工作点偏低，输出波形一侧提前进入截止区，底部出现明显削平。饱和失真工况下，静态集电极电流约为 $I_C \approx 2.09\,\mathrm{mA}$，工作点偏高，输出波形另一侧受到饱和限制，顶部被压缩。两张波形和静态工作点偏移后的理论判断一致。

五、 实验结果与分析

1.静态工作点分析

由测量结果可知，静态工作点对应 $I_C = 1.494\,\mathrm{mA}$，与要求的 1.5 mA 基本一致，偏差很小。同时，$U_{CE} = 4.5290\,\mathrm{V}$，晶体管既未进入饱和区，也未接近截止区，静态工作点落在放大区内，能够满足线性放大的要求。

2.电压放大倍数分析

空载时测得 $A_{u0} = 151.02$，接入 $2\,\mathrm{k\Omega}$ 负载后降为 57.67。接入负载后，有效集电极交流负载减小，输出电压摆幅下降，因此放大倍数明显减小。两张波形图中输入与输出都接近正弦关系，且输出相位相对于输入反相，和共射放大电路的特性一致。

3.输入电阻与输出电阻分析

由换算法得到输入电阻约为 $2.9\,\mathrm{k\Omega}$，说明该电路对信号源有一定负载作用，但仍处在几千欧量级。输出电阻测得为 $3.339\,\mathrm{k\Omega}$，与集电极电阻 $R_C = 3.3\,\mathrm{k\Omega}$ 很接近。若以 R_C 作为理论估算值，则相对误差约为

$$\frac{|3.339 - 3.3|}{3.3} \times 100\% \approx 1.18\%$$

误差较小，测量结果与电路参数基本相符。

4.仿真结果与实测对比

仿真静态工作点为 $I_C \approx 1.50\,\mathrm{mA}$、$U_{CE} \approx 4.22\,\mathrm{V}$，实测结果为 $I_C = 1.494\,\mathrm{mA}$、$U_{CE} = 4.529\,\mathrm{V}$，两者接近。正常放大时，仿真得到空载增益约为 175.5，接入 $R_L = 2\,\mathrm{k\Omega}$ 后降为 69.7；实测对应结果分别为 151.02 和 57.67。仿真增益略高于实测，但两者都表现出带载后增益下降这一趋势。

仿真与实测的差异主要来自两个方面：一是仿真器件模型较理想，电路中不存在接线接触电阻、寄生参数和环境噪声；二是实际示波器读数会受到波形抖动与测量分辨率影响。前者更容易得到平滑、理想的结果，后者更接近真实实验状态。

5.误差来源分析

实验结果与理想模型存在差异，主要原因包括：

(1) 三极管参数具有离散性，实际 β 与理论取值不完全一致；

(2) 示波器有效值测量存在读数波动，蓝色通道带有一定噪声，导致 U_i 读数有轻微漂移；

(3) 实验接线、电容等元件的寄生参数会影响交流测量结果；

(4) 空载图和带载图不是同一时刻截取，信号源输出存在微小变化，因此两次 U_s 与 U_i 读数不完全相同。

六、 讨论、心得

合理设置静态工作点是共射放大电路获得低失真输出的前提。若静态工作点偏高，输出更容易进入饱和失真；若静态工作点偏低，则更容易发生截止失真。将 I_C 调整到约 $1.5\,\mathrm{mA}$ 后，电路可以在线性区内较稳定地工作，输出波形也较完整。

此外，负载对电压放大倍数的影响很明显。无论是实测还是仿真，空载时输出幅值都较大，接入 $2\,\mathrm{k\Omega}$ 负载后增益都会明显下降。这说明分析放大电路时不能只看空载增益，还要同时考虑后级负载的影响。结合截止失真和饱和失真波形也能看出，只有把静态工作点调在合适位置，放大电路才能同时兼顾增益和失真。