



“电工电子学实践教程”之

# 单管电压放大电路 MWORKS 仿真及实现

## 5.8 基础实验8

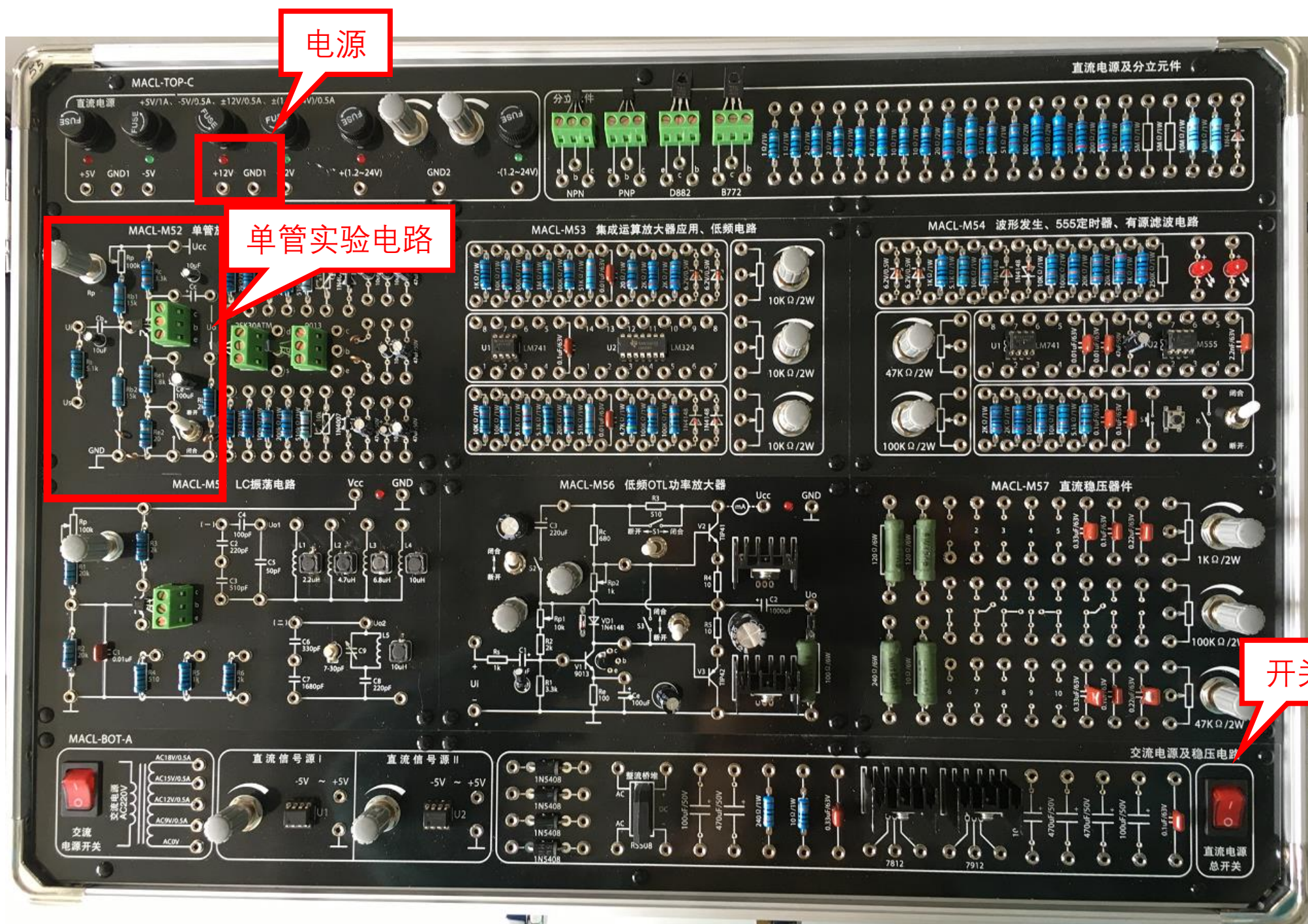
## 一、实验目的

- 学习放大电路静态工作点的调试方法以及 MWORKS 仿真及实现，了解元件参数对放大电路静态工作的影响。
- 掌握放大电路的电压放大倍数、输入电阻、输出电阻等指标的测量方法。
- 理解负反馈对电压放大电路各项性能的影响
- 熟悉双踪数字示波器和函数信号发生器的使用方法。

## 二、实验设备

- 模拟电子技术电路实验箱
- 双踪数字示波器
- 函数信号发生器
- 直流电源
- 数字式万用表

# 实验箱整体布局

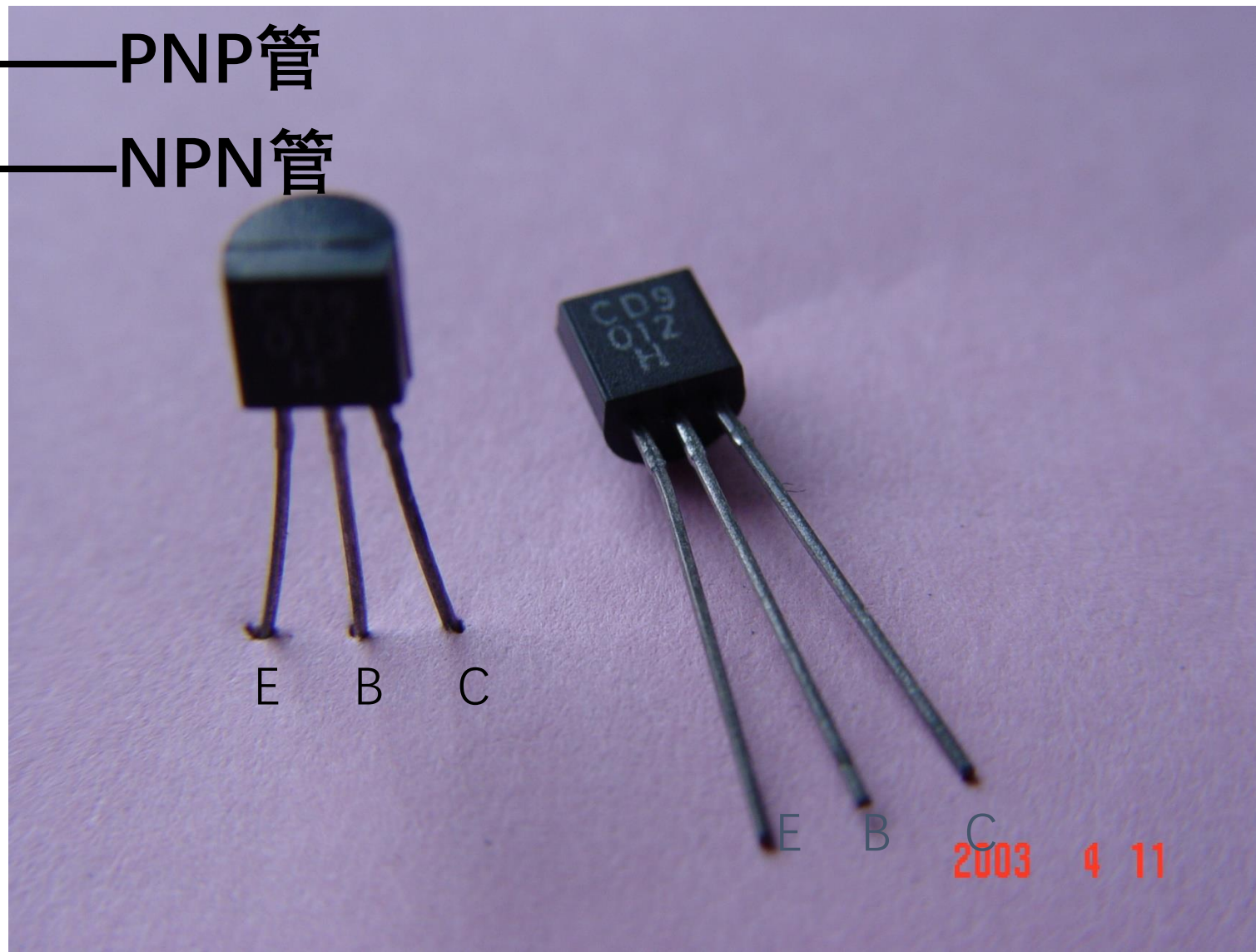




# 三极管型号及管脚排列

9012——PNP管

9013——NPN管



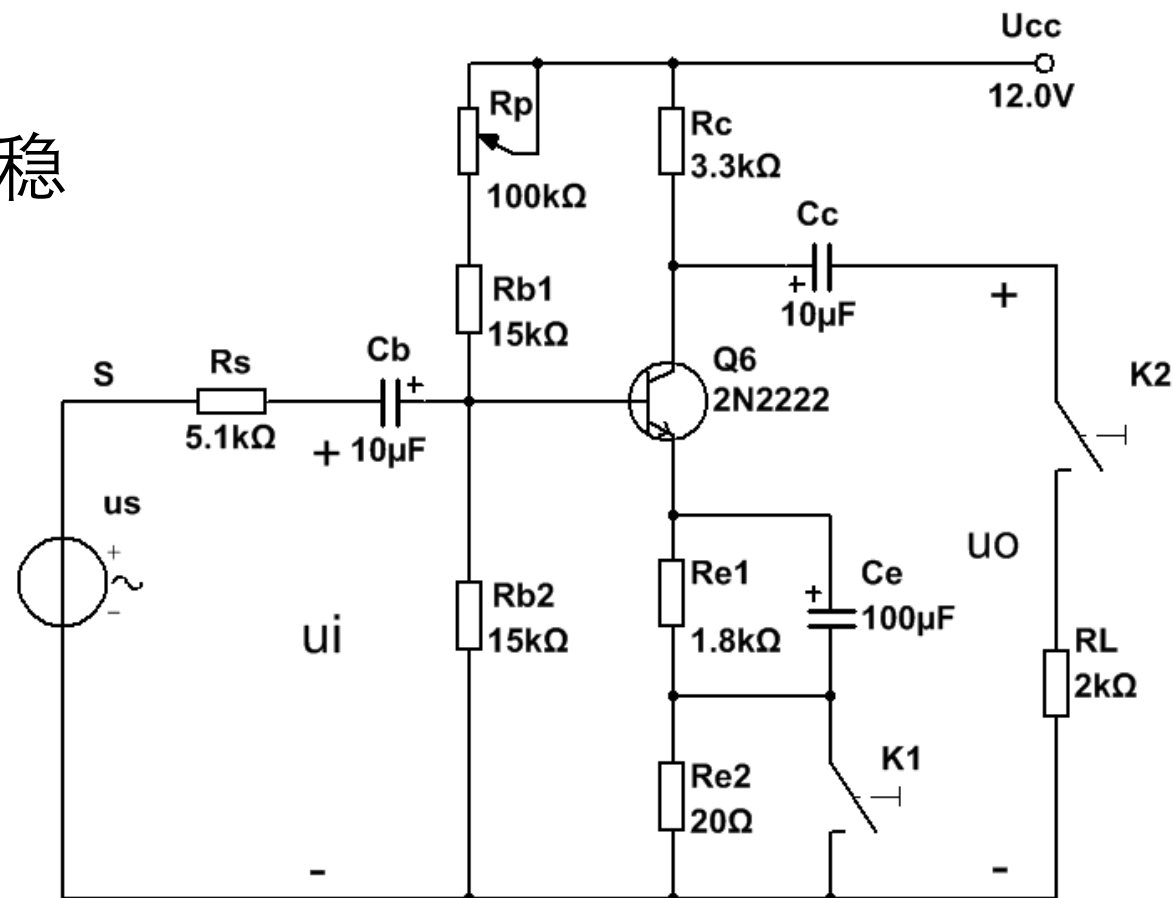
### 三、实验原理

## 1. 实验电路

右图为分压式静态工作点稳定的放大电路

通过调节电位器 $R_P$   
可调整静态工作点 $I_B$ ,  $I_C$ ,  $U_{CE}$

实验中



- (1) 用数字式万用表的直流电压档直接测量 $U_{CEQ}$
- (2) 间接测量 $U_C$ 获得合适的工作点。

静态工作点的选择原则是在保证输出波形不产生非线性失真的前提下，使放大电路有比较大的增益

### 三、实验 原理

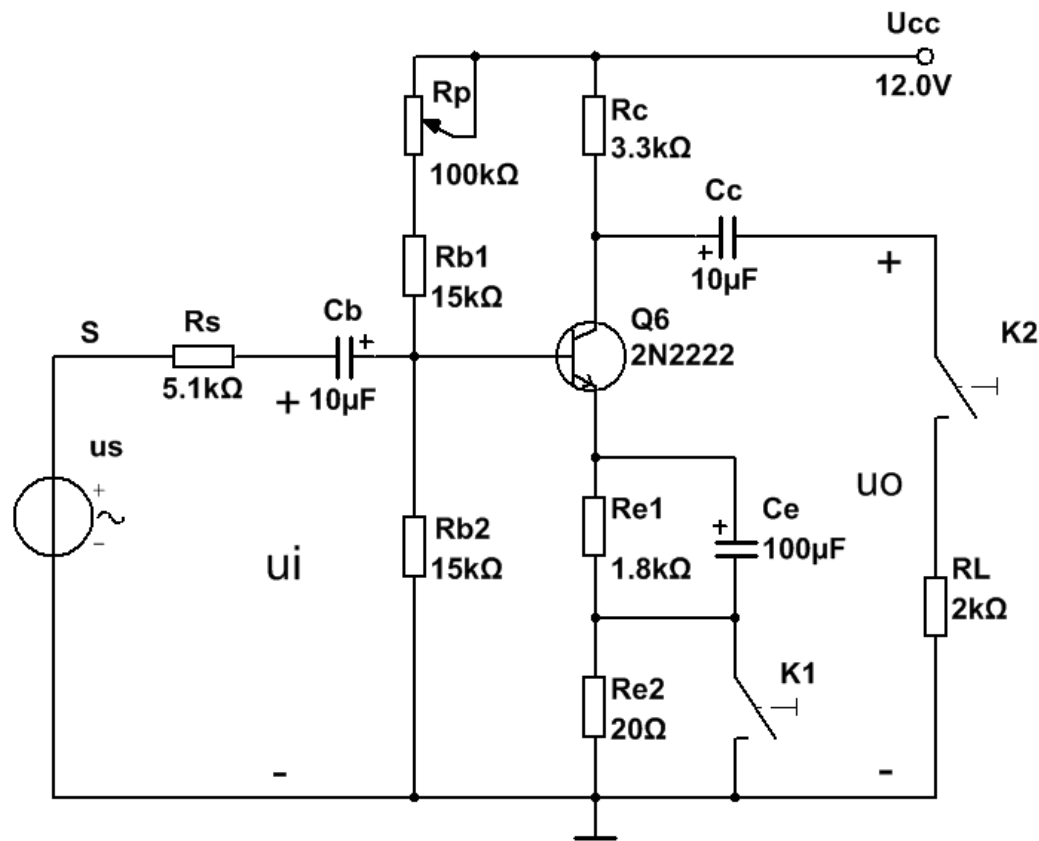
## 2. 放大电路主要性能指标 及测量

### (1) 电压放大倍数 $A_u$

调整好合适静态工作点  
使输出电压 $u_o$  **不失真**测  
得输入电压和输出电压  
的**有效值**，则电压放大  
倍数：

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

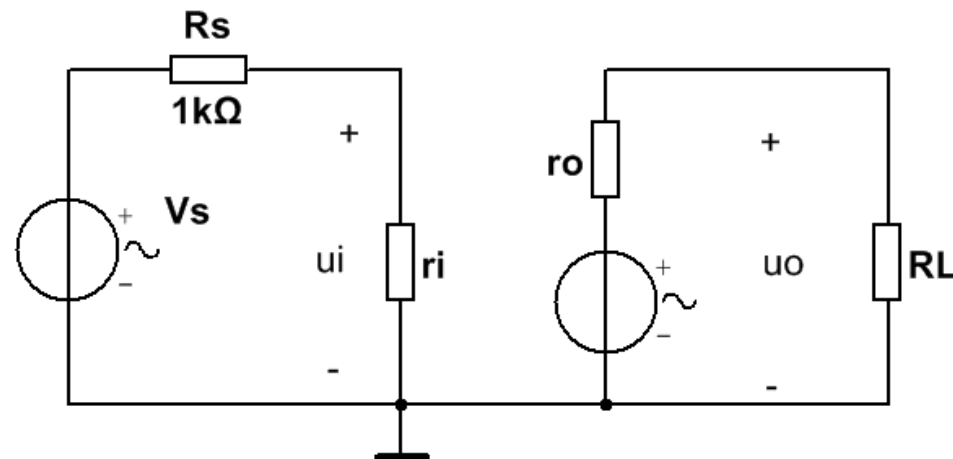
注意：函数信号发生器产生 $U_s$ ，这里的 $U_i$ 输入信号不是 $U_s$ ，而且这里用的都是有效值



### 三、实验 原理

## (2) 输入电阻 $r_i$

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。



实验中一般采用换算法测量输入电阻，即在放大电路与信号源之间串入一个已知阻值的取样电阻 $R_s$ ，测出 $U_s$ 、 $U_i$ ，

则输入电阻：

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

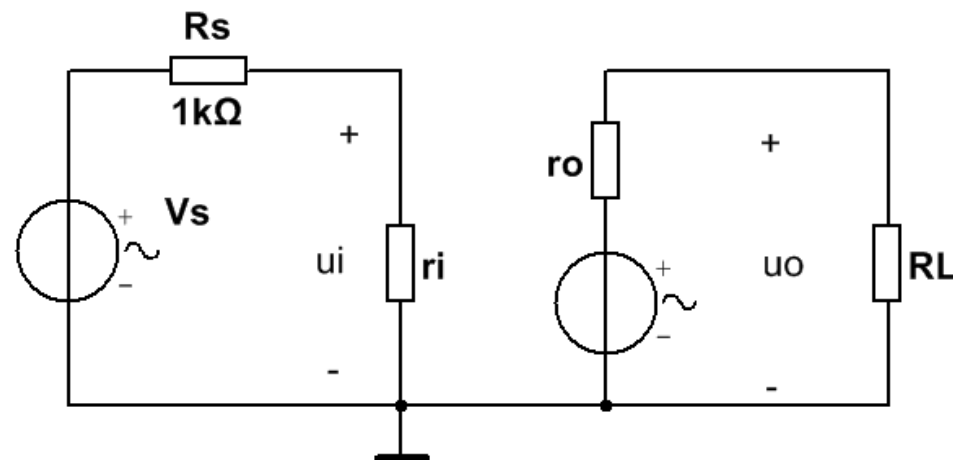
注意：电压比上电流，测的也是有效值



### 三、实验 原理

#### (3) 输出电阻 $r_o$

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。



实验中一般采用换算法测量输出电阻  
即在输入端加入一个频率等于1kHz、  
幅度保持恒定的正弦信号，在输入、  
输出波形不失真的前提下测得放大电  
路在**不接负载电阻和接入负载电阻**的  
两种情况下所对应的输出电压

则输出电阻：

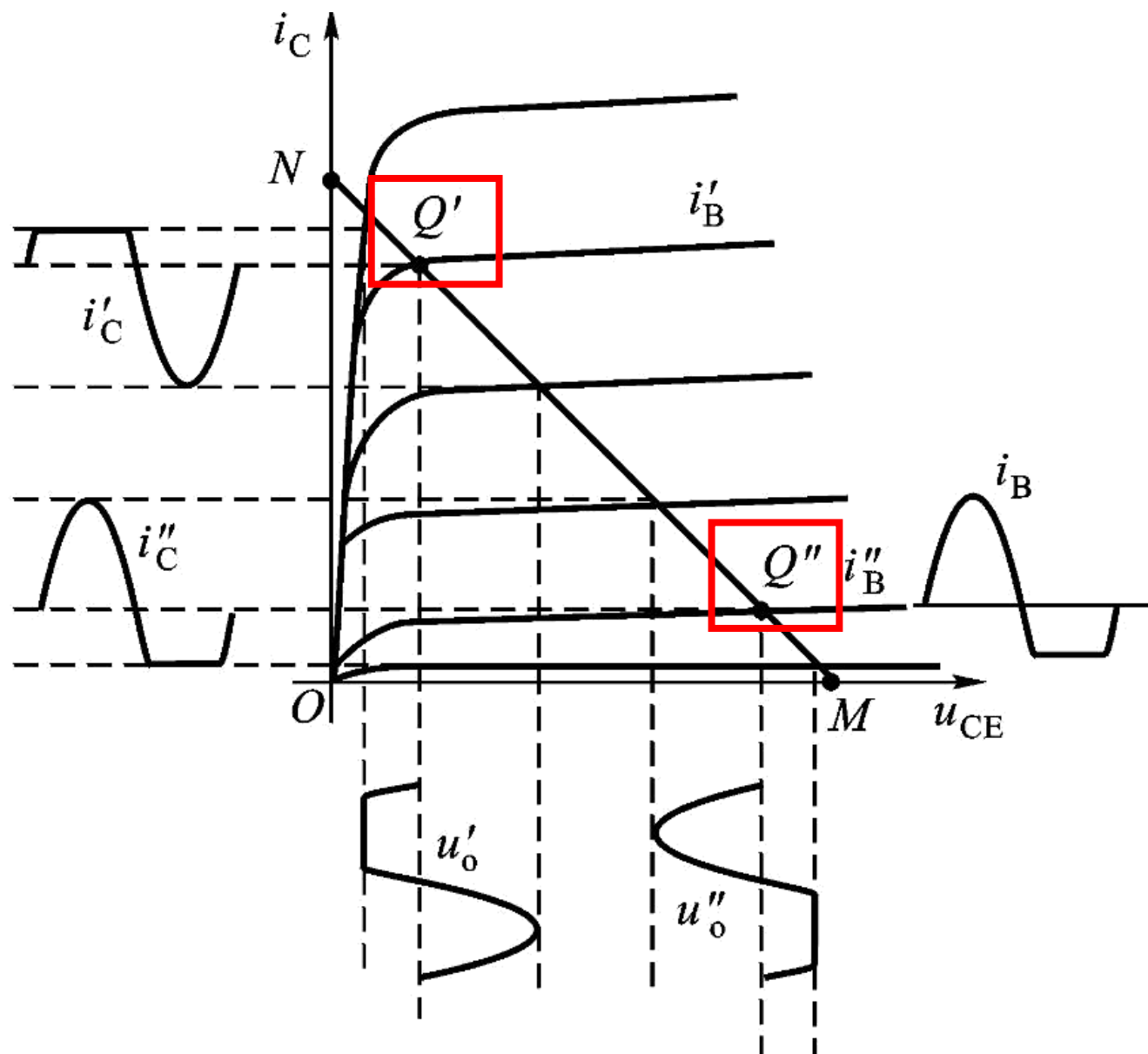
$$r_o = \left( \frac{U'_o}{U_o} - 1 \right) R_L$$

## 图解法

工作点与  
波形失真

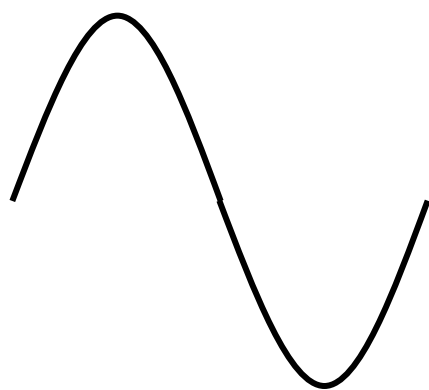
Q点过高  
饱和失真

Q点过低  
截至失真

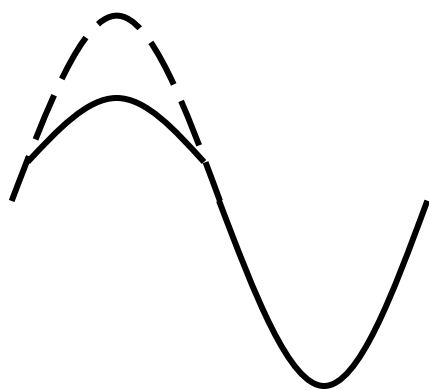


注意：要保证输出信号不失真，如果失真了，得出的值是错误的

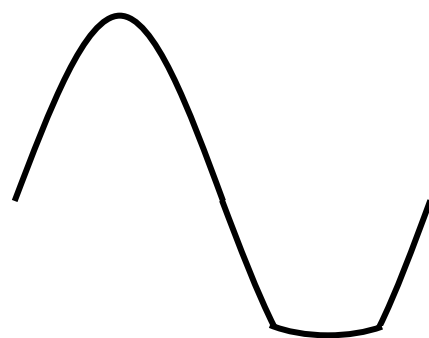
## 静态工作点对放大电路输出失真的影响



正常波形



截止失真



饱和失真

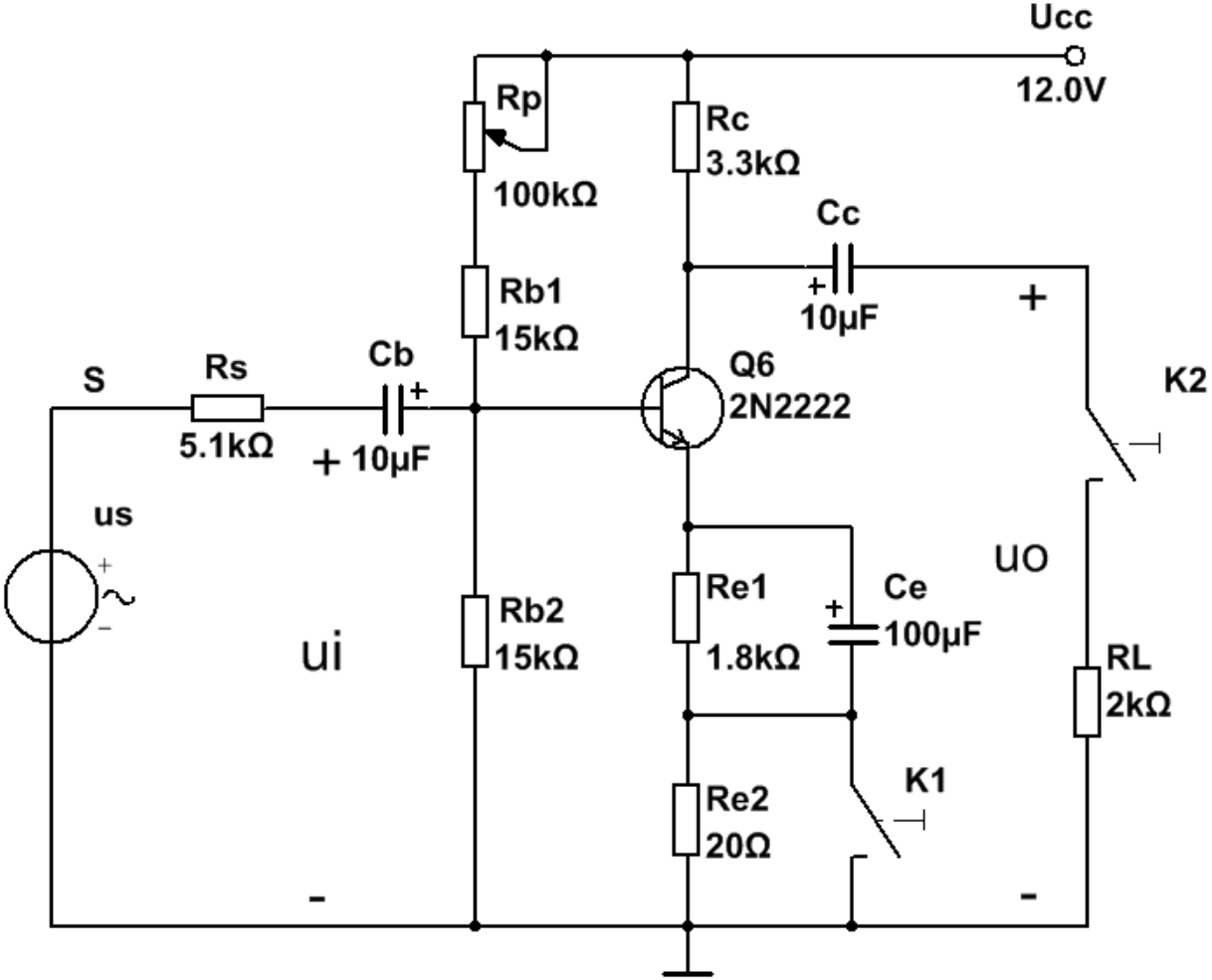
# 四、实验内容

- 1. 静态工作点的调整和测量

调节偏置电位器，使放大电路的静态工作点满足  $I_C=1.5\text{mA}$ 。采用间接测量法，根据  $I_C = (U_{CC} - U_C)/R_C$  换算。完成表5.8-1（**P135**）的测量。

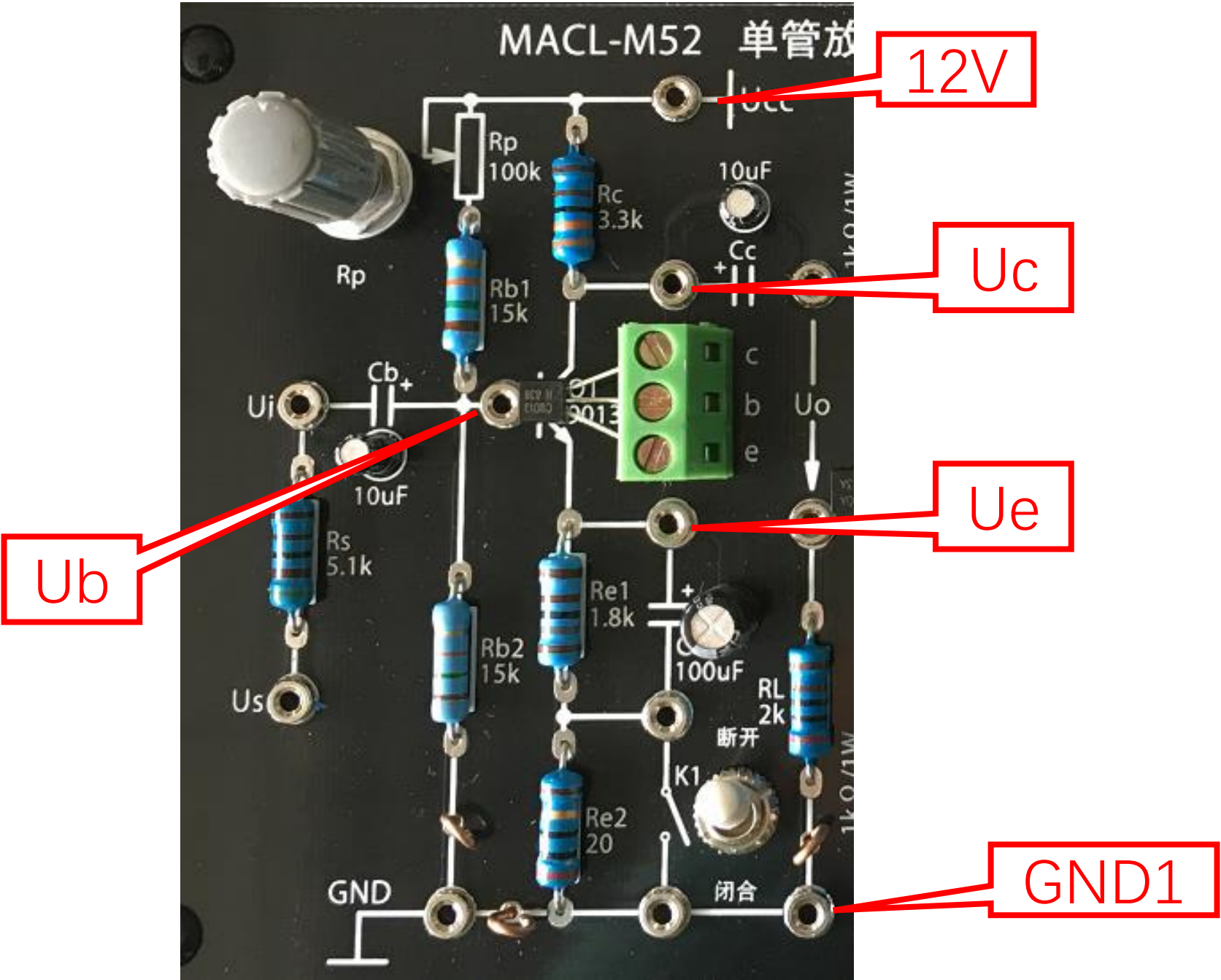
表5.8-1  $U_{CC}= \quad \text{V}$

值	测量值			计算值
$I_C/\text{mA}$	$U_C/\text{V}$	$U_B/\text{V}$	$U_E/\text{V}$	$U_{CE}/\text{V}$



实验电路

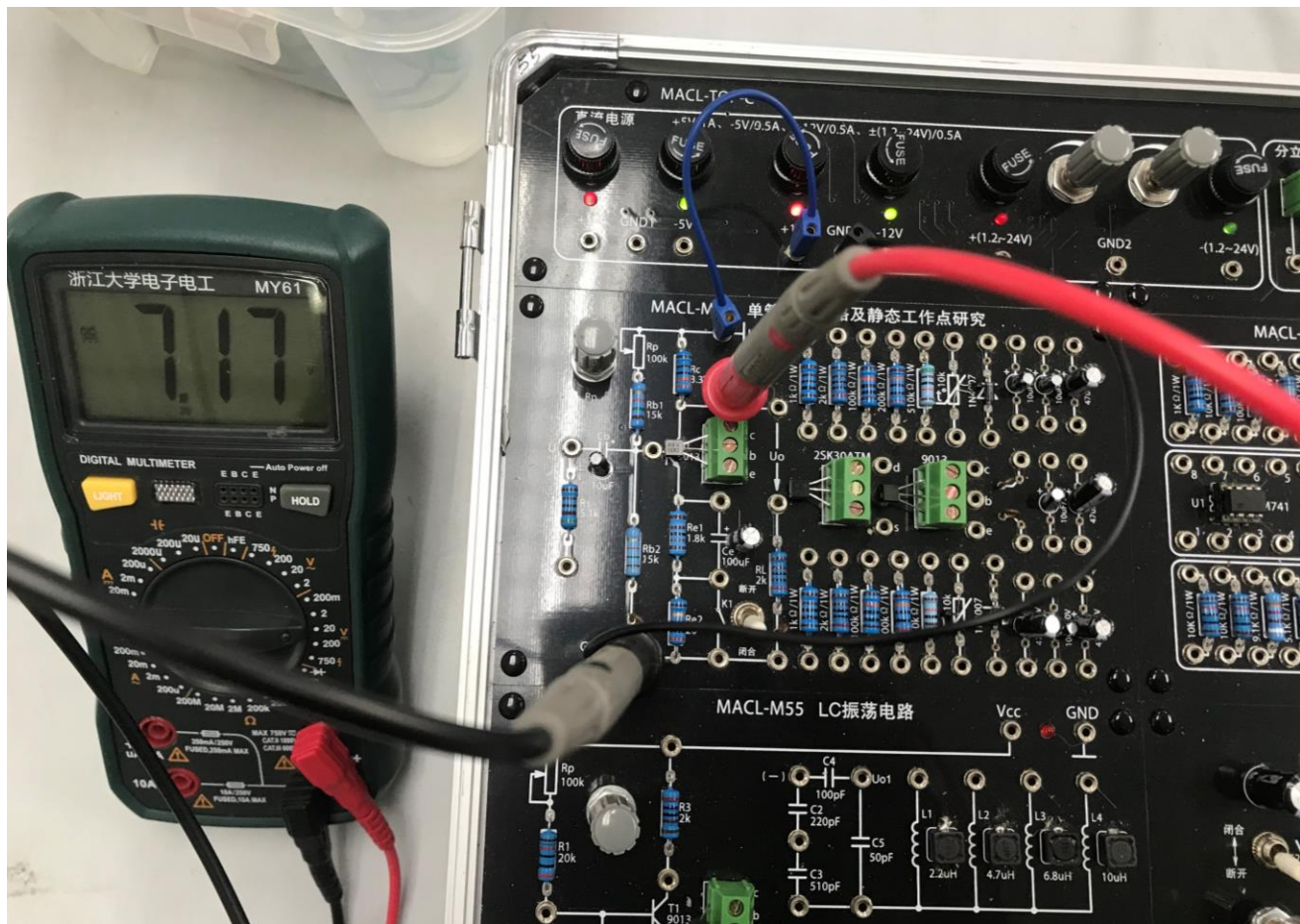
# 单管电路板





## 注意：

- 1、UCC用+12V驱动
- 2、UCC值用万用表实测
- 3、电源GND1接模块GND
- 4、Rc用标称值
- 5、这里Us不接任何电源
- 6、K1闭合
- 7、 不要用万用表测电流值

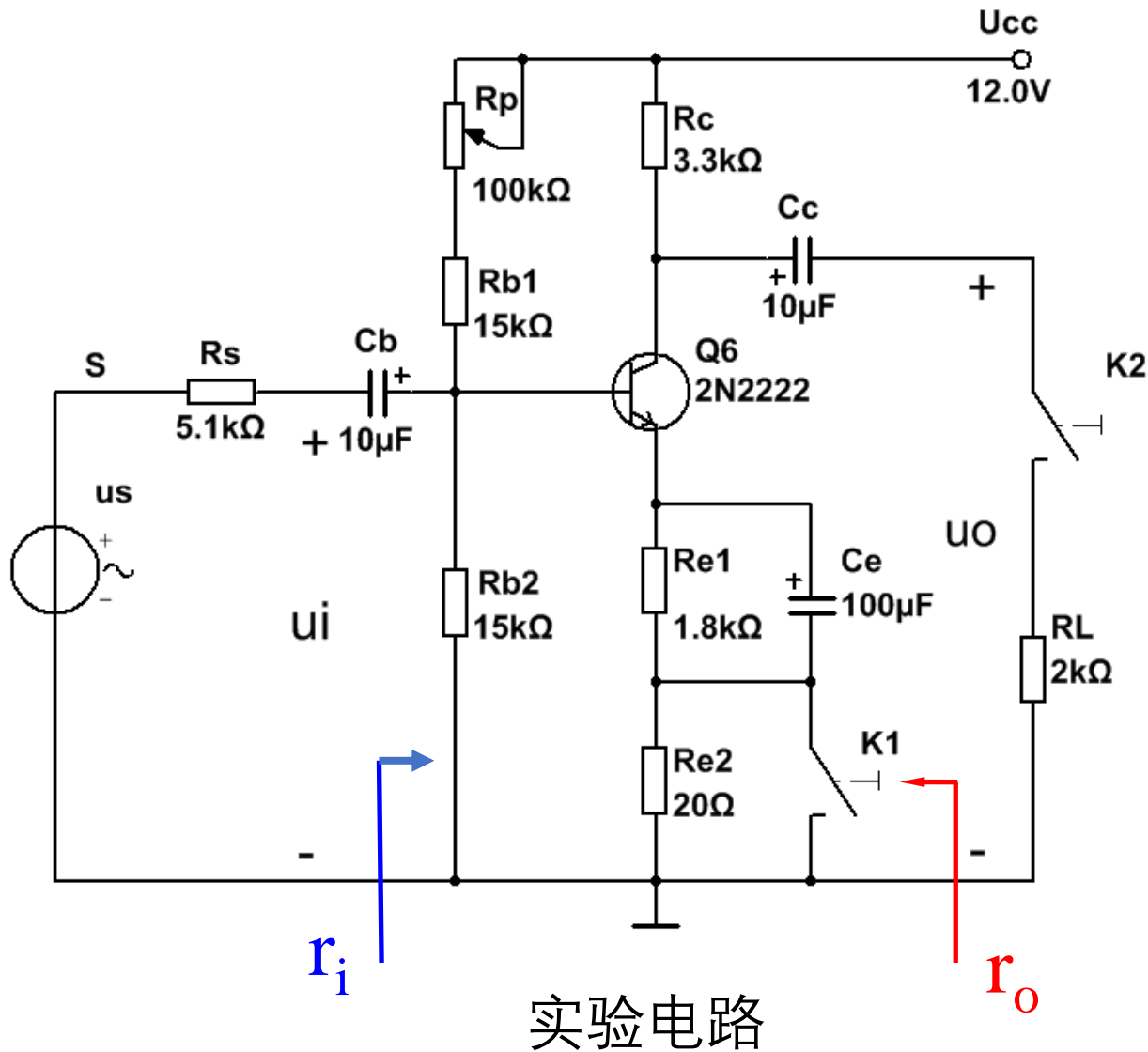


图例：实测“+12V”电压为12.12V，用 $I_C = (U_{CC} - U_C)/R_C$ 换算得 $U_C=7.17V$ ，红表笔对应 $U_C$ 电位，黑笔对应GND（GND1电位），通过调节 $R_p$ 获得合适的静态工作点。

## 四、实验内容

- 2. 电压放大倍数 $A_u$ 、输入电阻 $r_i$ 、输出电阻 $r_o$ 的测量。

调节信号源输出为1kHz的正弦波，调节 $u_s$ 幅度使 $U_i = 10\text{mV}$ ，用示波器观察 $u_i$ ， $u_o$ 波形，在不失真的前提下，分别测量空载和接入负载 $R_L$ 时的 $U_s$ 、 $U_i$ 、 $U_o$ ，记录在表5.8-2 (P135) 中。



# 单管电路板



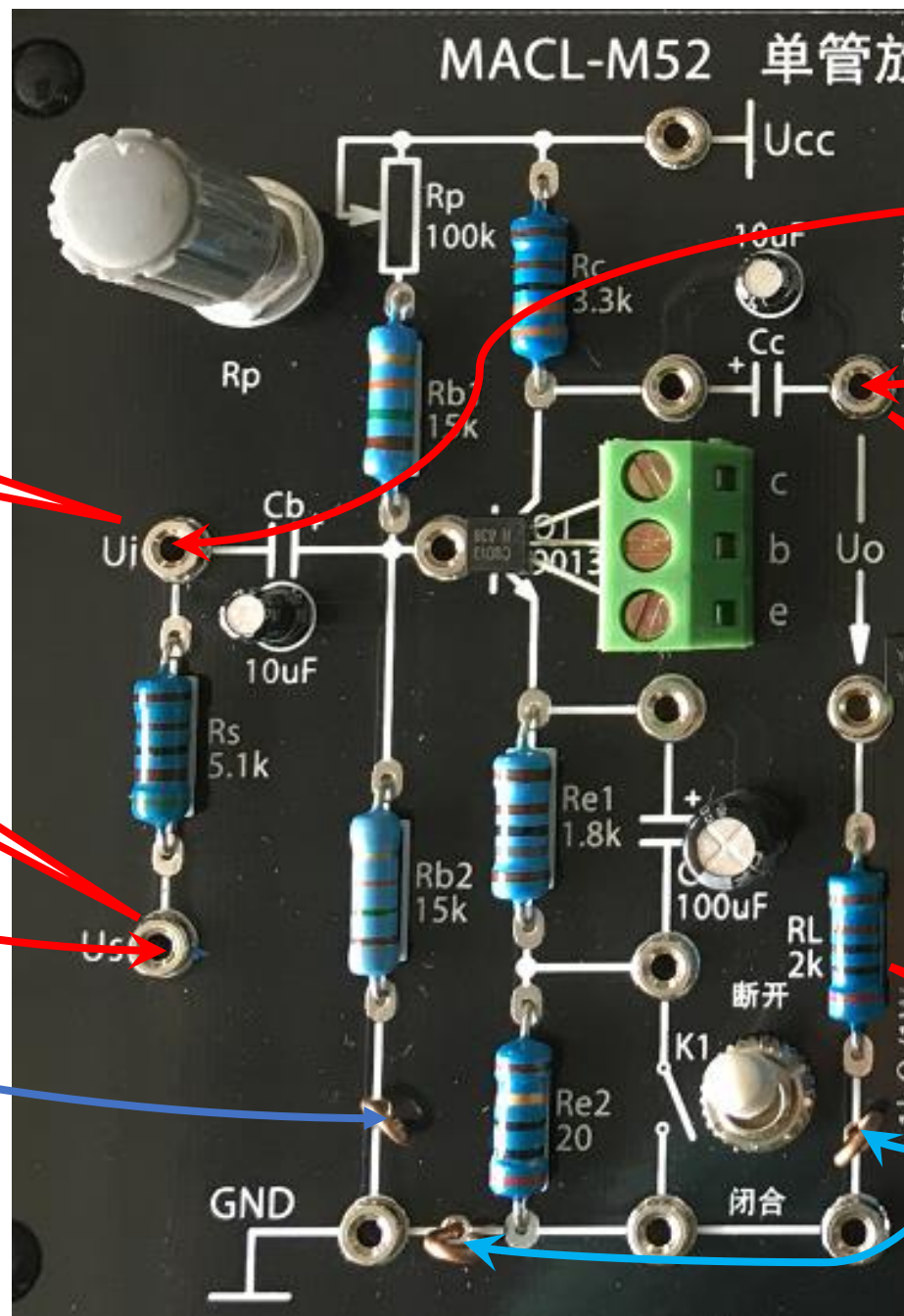
$U_i$

$U_s$

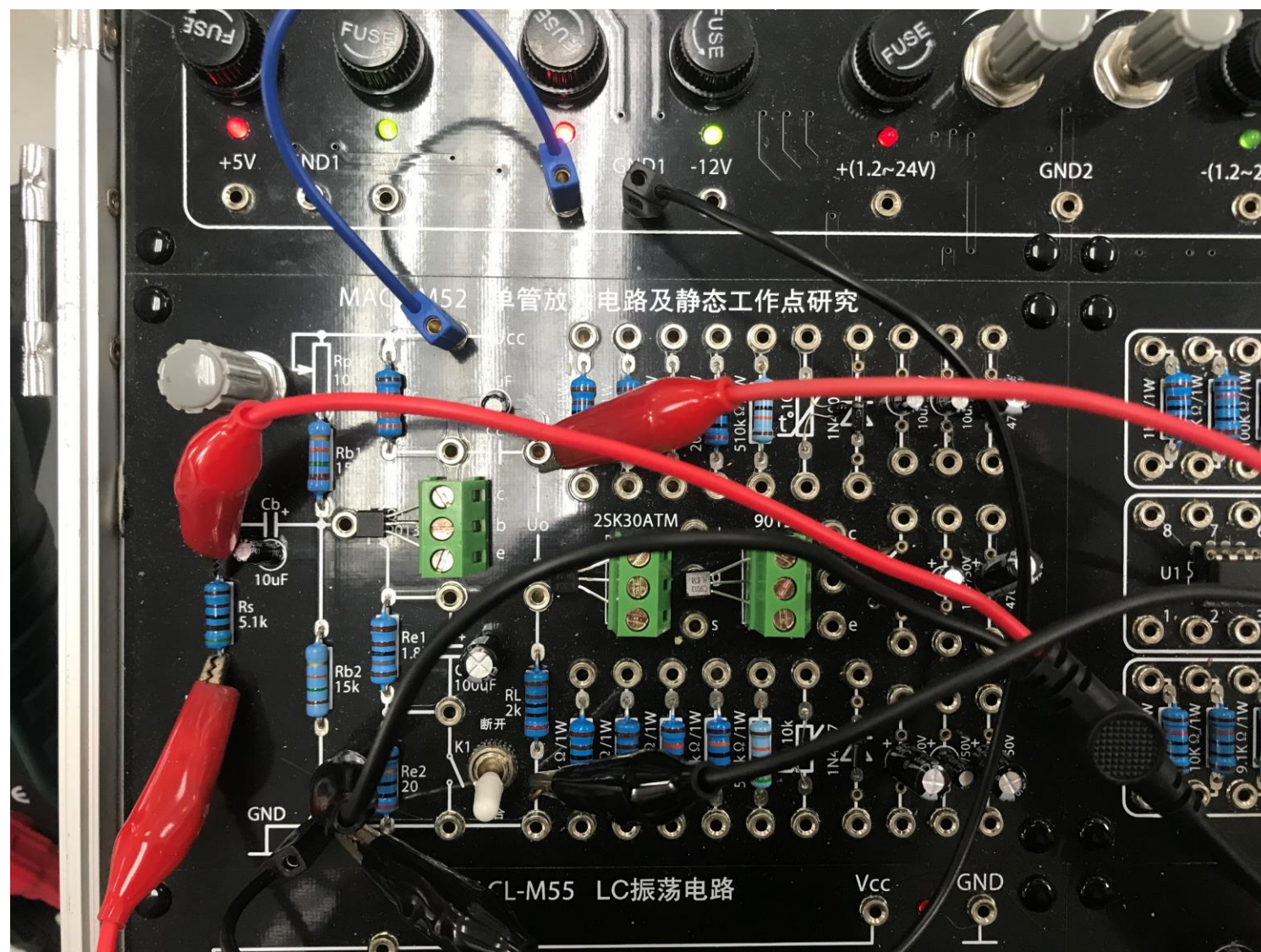
示波器

$U_o$

负载







电压放大倍数 $A_u$ 、输入电阻 $r_i$ 、输出电阻 $r_o$ 的测量:  $r_o = (\frac{U'_o}{U_o} - 1)R_L$

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} \quad r_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R_s$$

表5.8-2

$R_L/k\Omega$	$R_S/k\Omega$	$U_s/mV$	$U_i/mV$	$U'_o/V$	$U_o/V$	$A_u$	$r_i$	$r_o$
$\infty$					/			
2				/				

注意： 1、静态工作点不要发生变化， 第一步Rp值不要变； 2、 $U_s, U_i, U'_o, U_o$ 都为有效值； 3、因弱信号，信号线能短则短，不要拼接，尽量用夹子夹住，还有注意示波器单位，调不好波形不出来； 4、接负载的时候不要忘记接线； 5、示波器使用方法：交流耦合，measure里测有效值（RMS与周期RMS）； 6、信号发生器用旋钮可达到连续调节，大概Us的1kHz正弦波Vpp在84mV左右； 7、记得用单位，而且都要测有效值； 7、有效值峰峰值是除以2再除以2的开根号

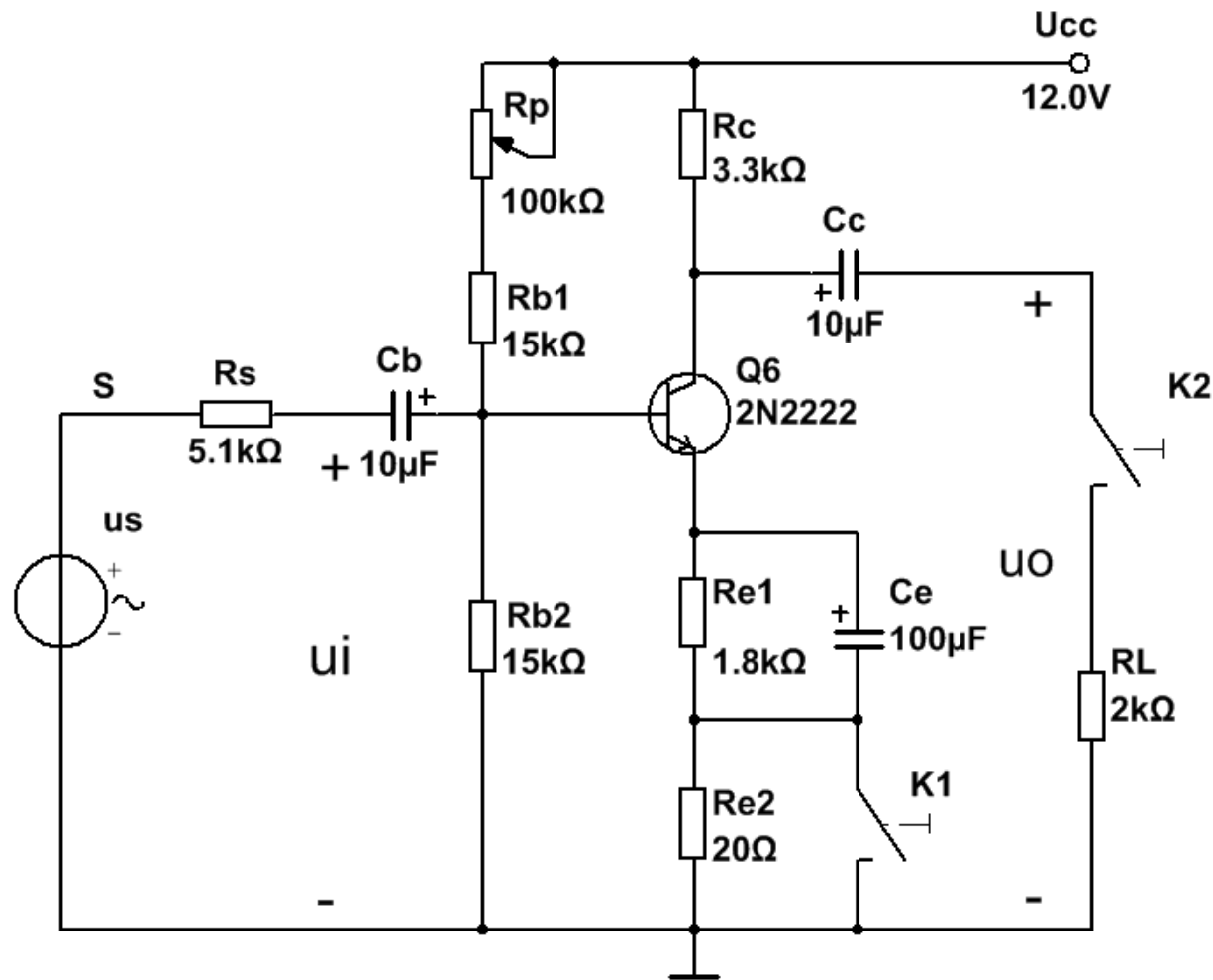




## 四、实验内容

- 3. 静态工作点对放大电路波形失真的影响

输入1kHz的正弦波信号，用示波器监视输入、输出波形，调节电位器，使静态工作点的值过大或过小。逐渐增大正弦波信号，使输出波形出现明显失真。记录表5.8-3 (**P135**) 中的数据并判断波形的失真情况。



实验电路

静态工作点对放大电路波形失真的影响:

表5.8-3

$I_C/\text{mA}$	$U_C/\text{V}$	$U_E/\text{V}$	$U_{CE}/\text{V}$	$U_i/\text{mV}$	$u_o$ 及 $U_i$ 波形	失真情况

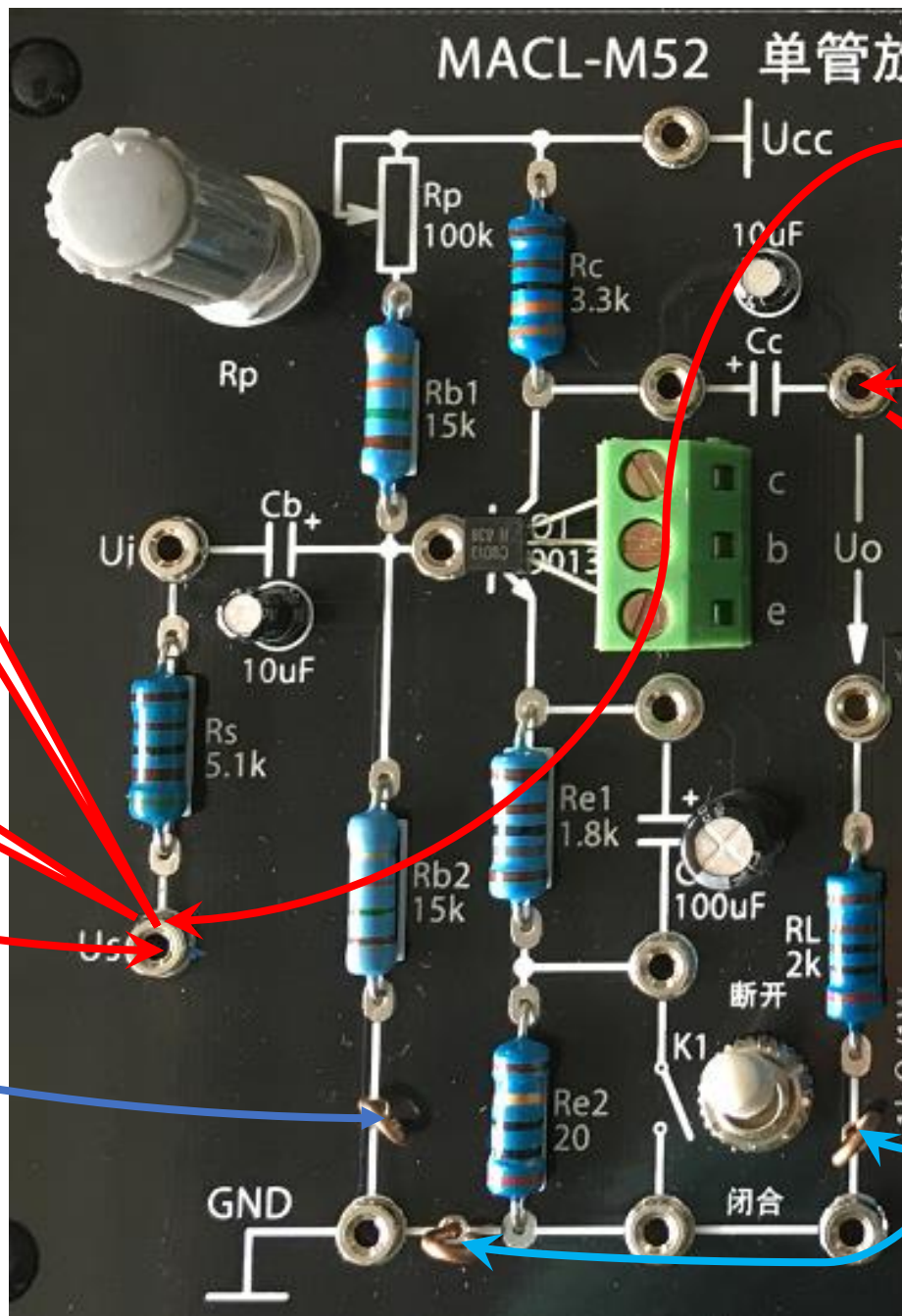
- 注意：
- 1、做 $U_i$ 失真实验时 $U_i$ 夹子换到 $U_s$ ;
  - 2、表格中 $u_o$ 及 $U_i$ 波形均要获得，可放在一张图上;
  - 3、最后撤掉 $U_s$ 后如第一步一样，继续测 $U_C$ ， $U_E$ ， $U_{CE}$ ;
  - 4、不要无限制的增加 $U_i$
  - 5、表格中波形另外贴

# 单管电路板



$U_i$

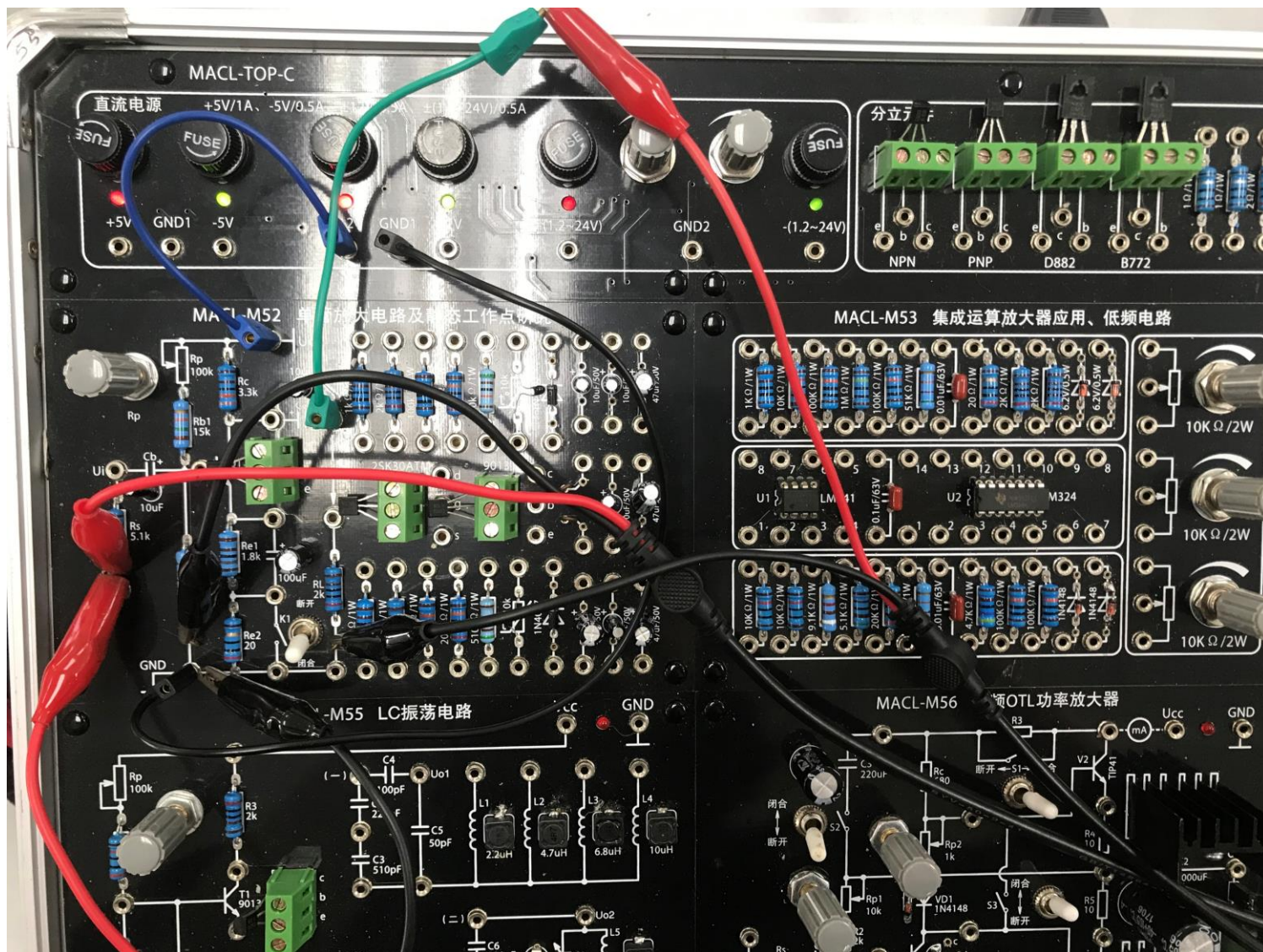
$U_s$



示波器

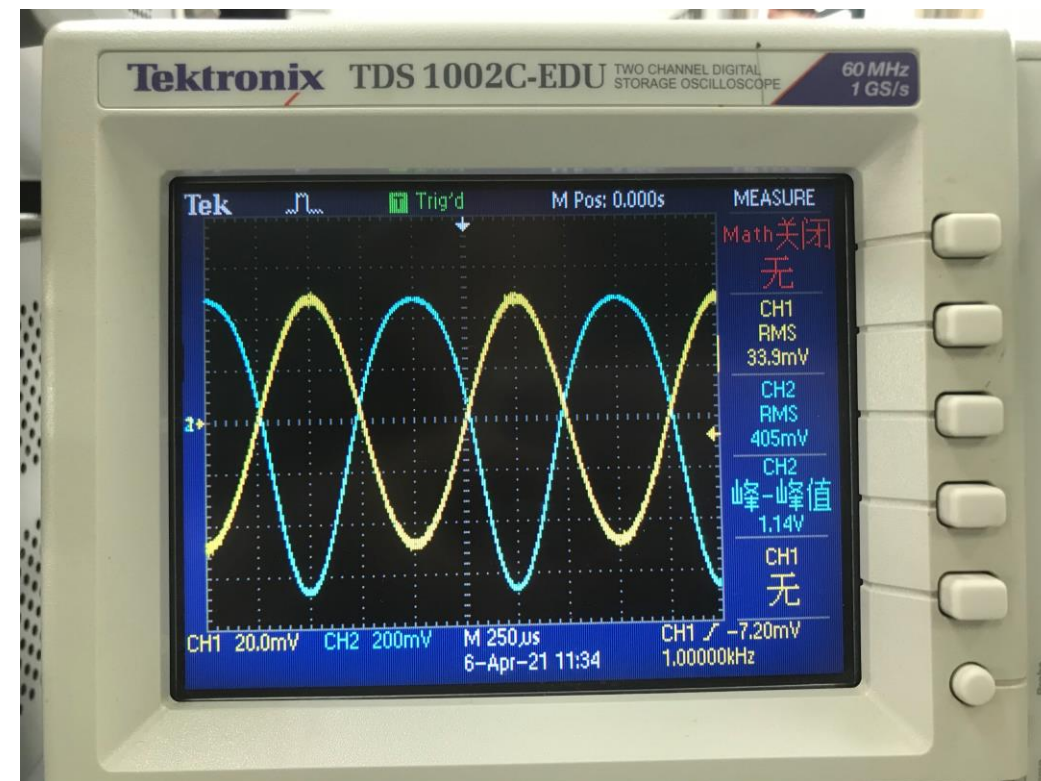
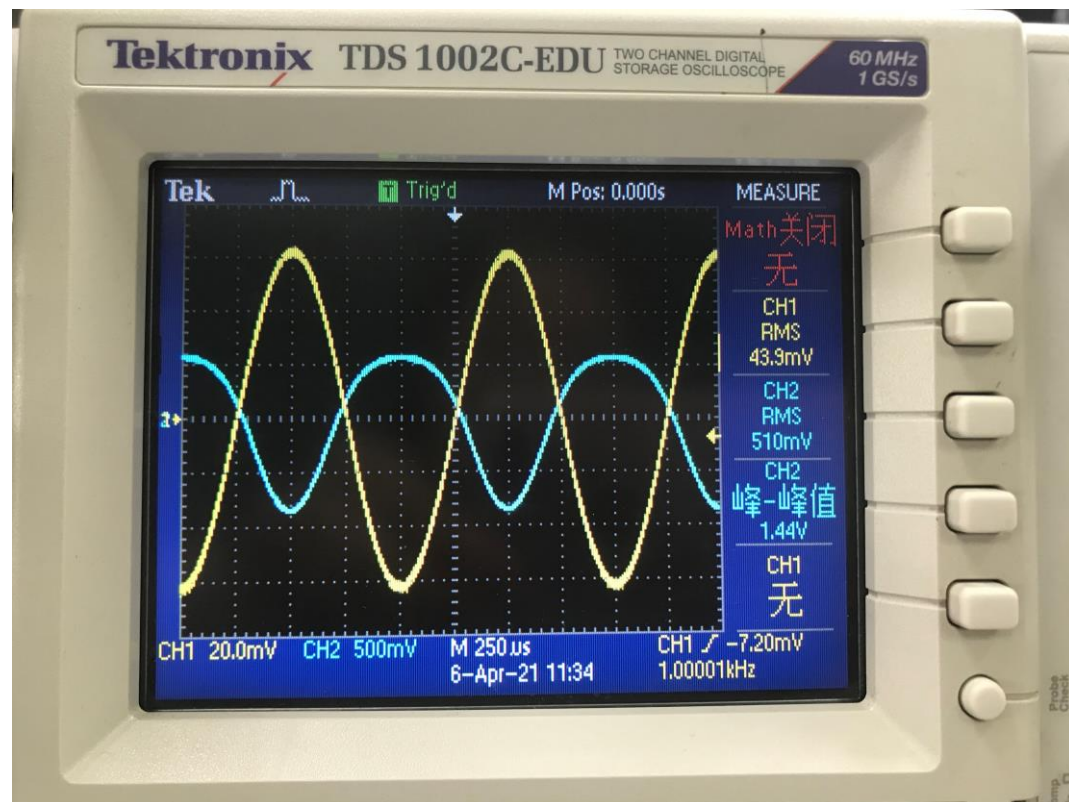
$U_o$



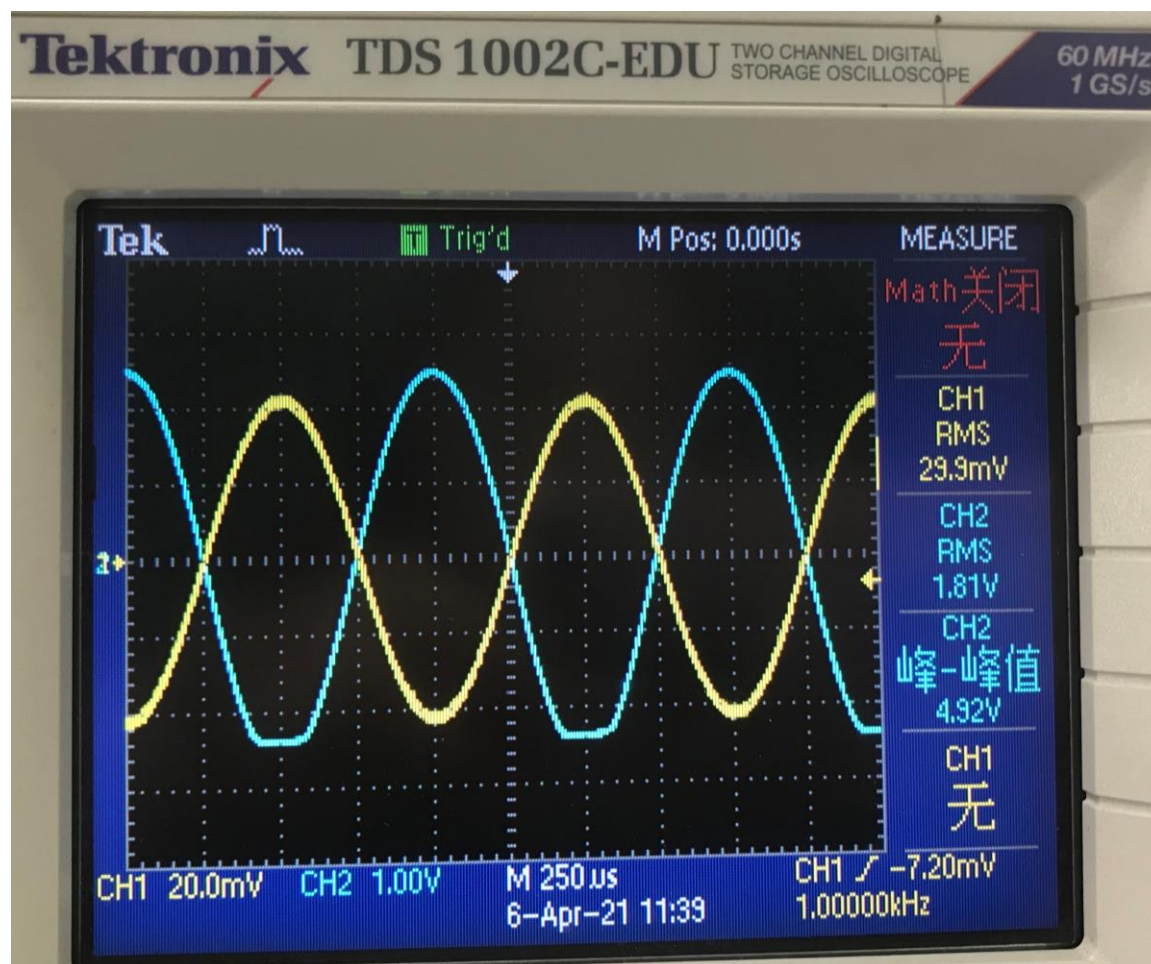




# 截止失真 (仅供参考)



# 饱和失真（仅供参考）

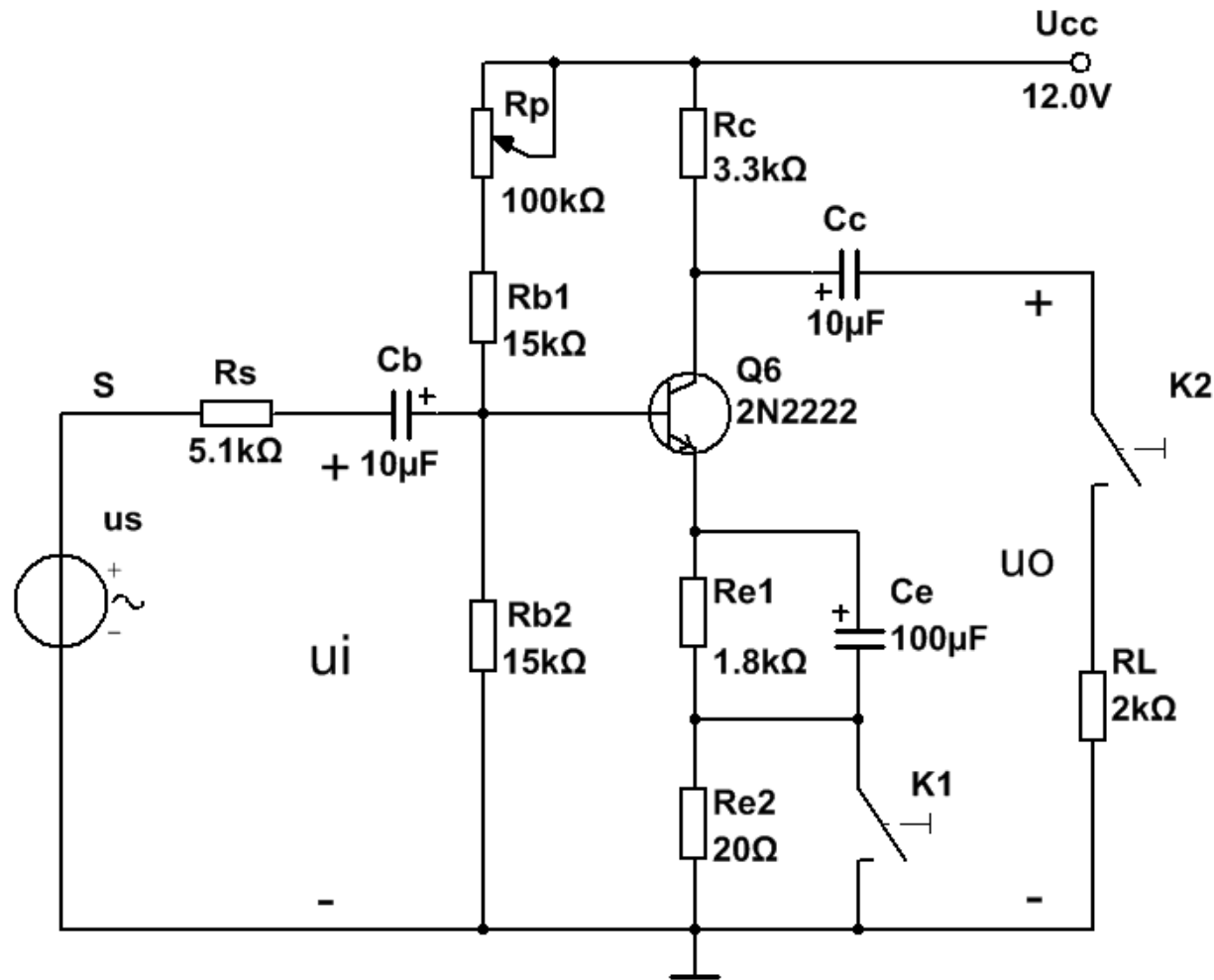


## 四、实验内容

- 4. 放大电路电压传输特性的测量（选做）

在S端送入足够大的正弦波，用示波器观测放大电路的电压传输特性曲线。

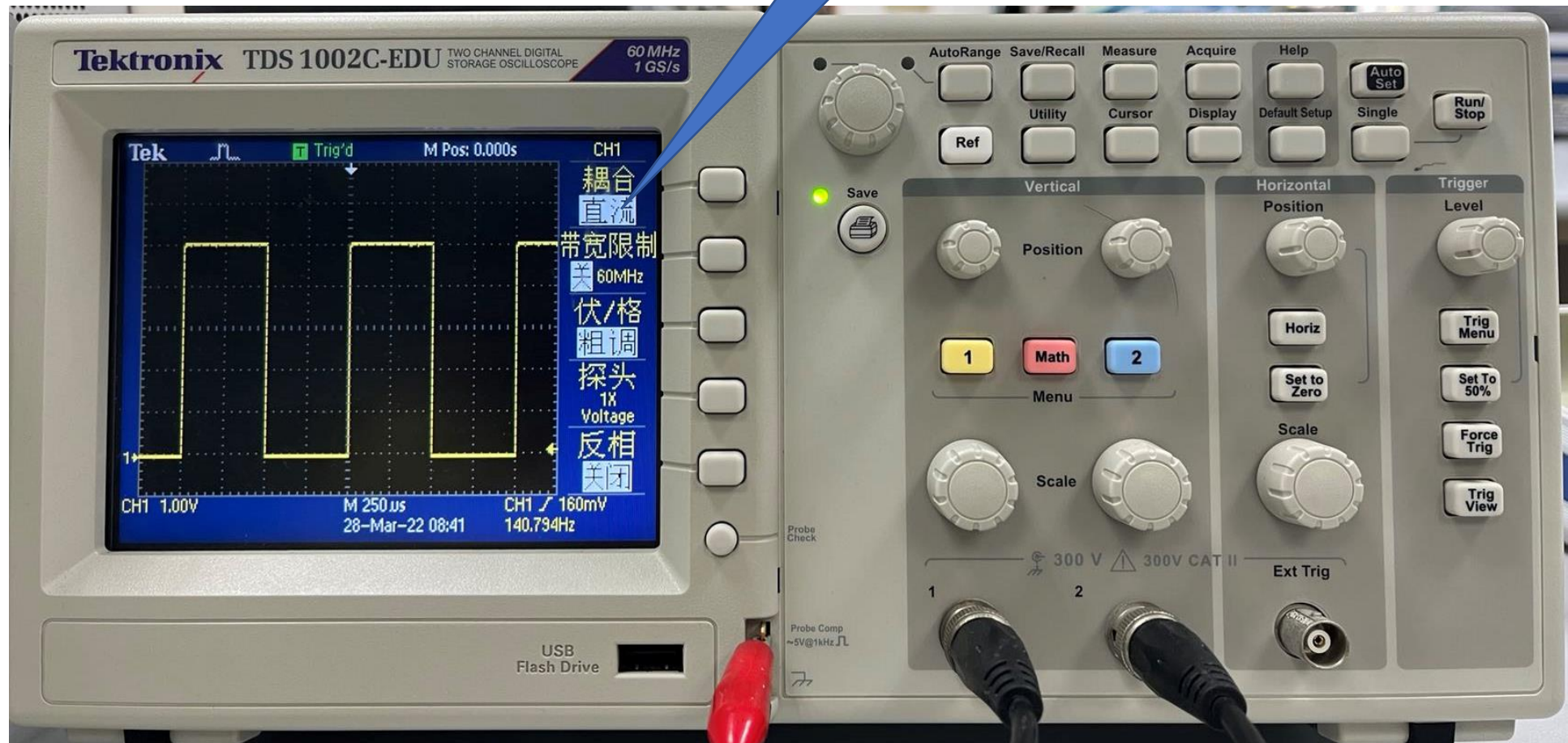
注意：示波器中水平与纵向全部调零，且在YT,XY模式下分别显示



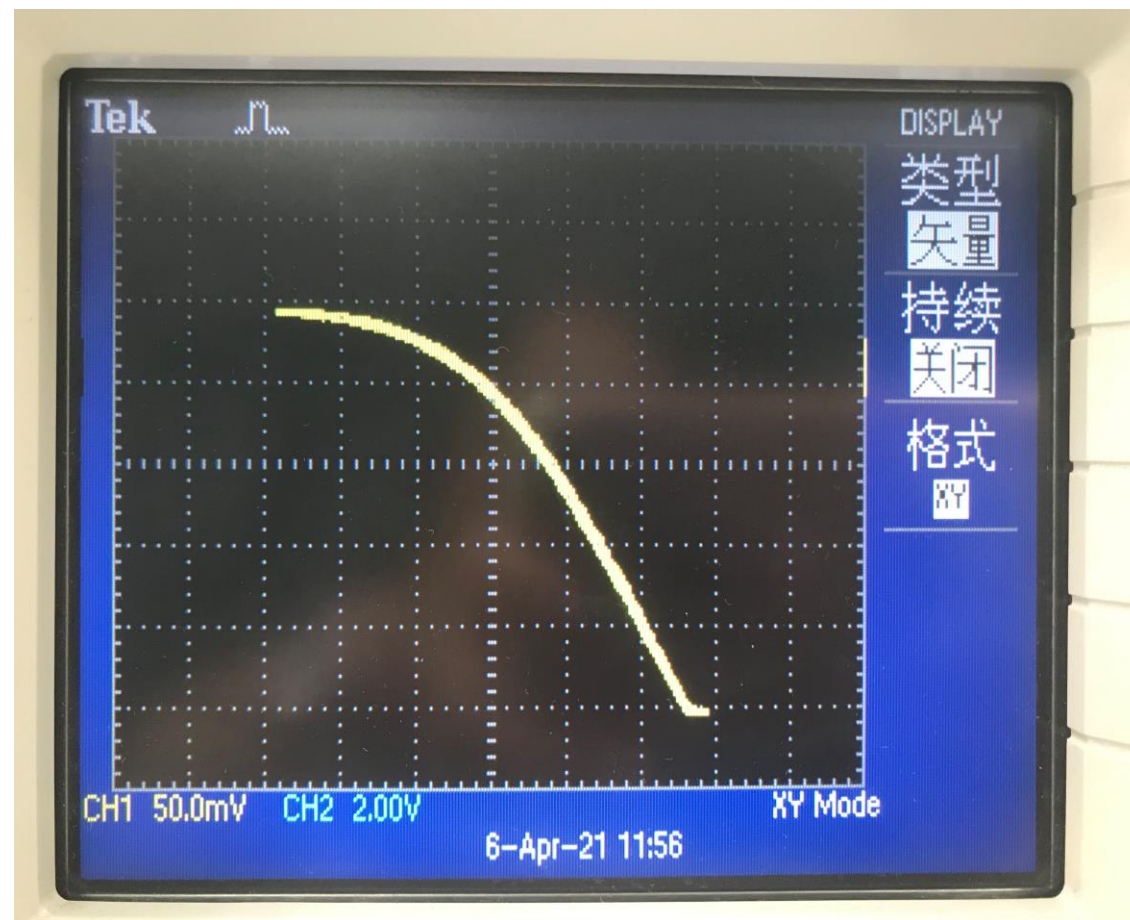
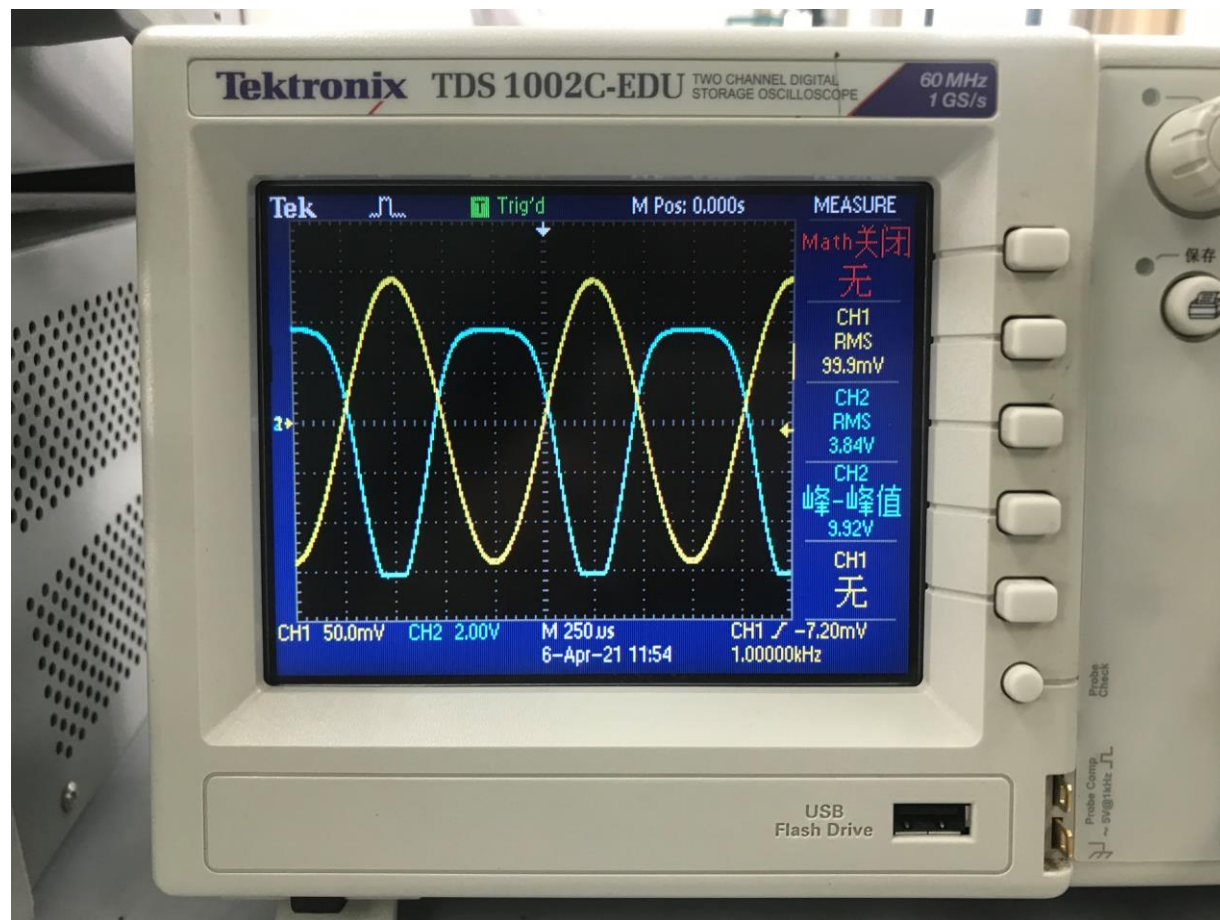
实验电路



交流耦合

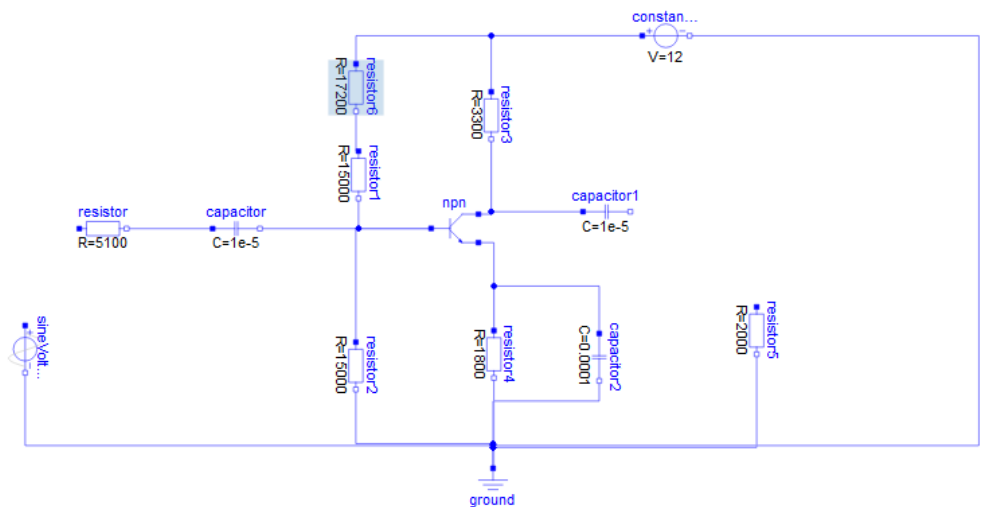


# 饱和失真和截止失真（仅供参考）

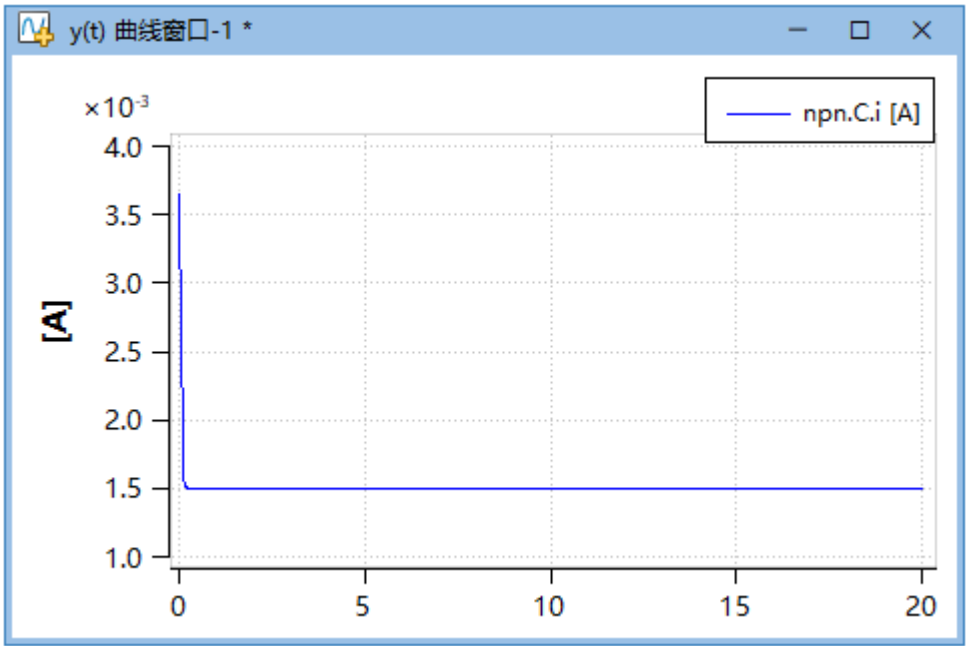




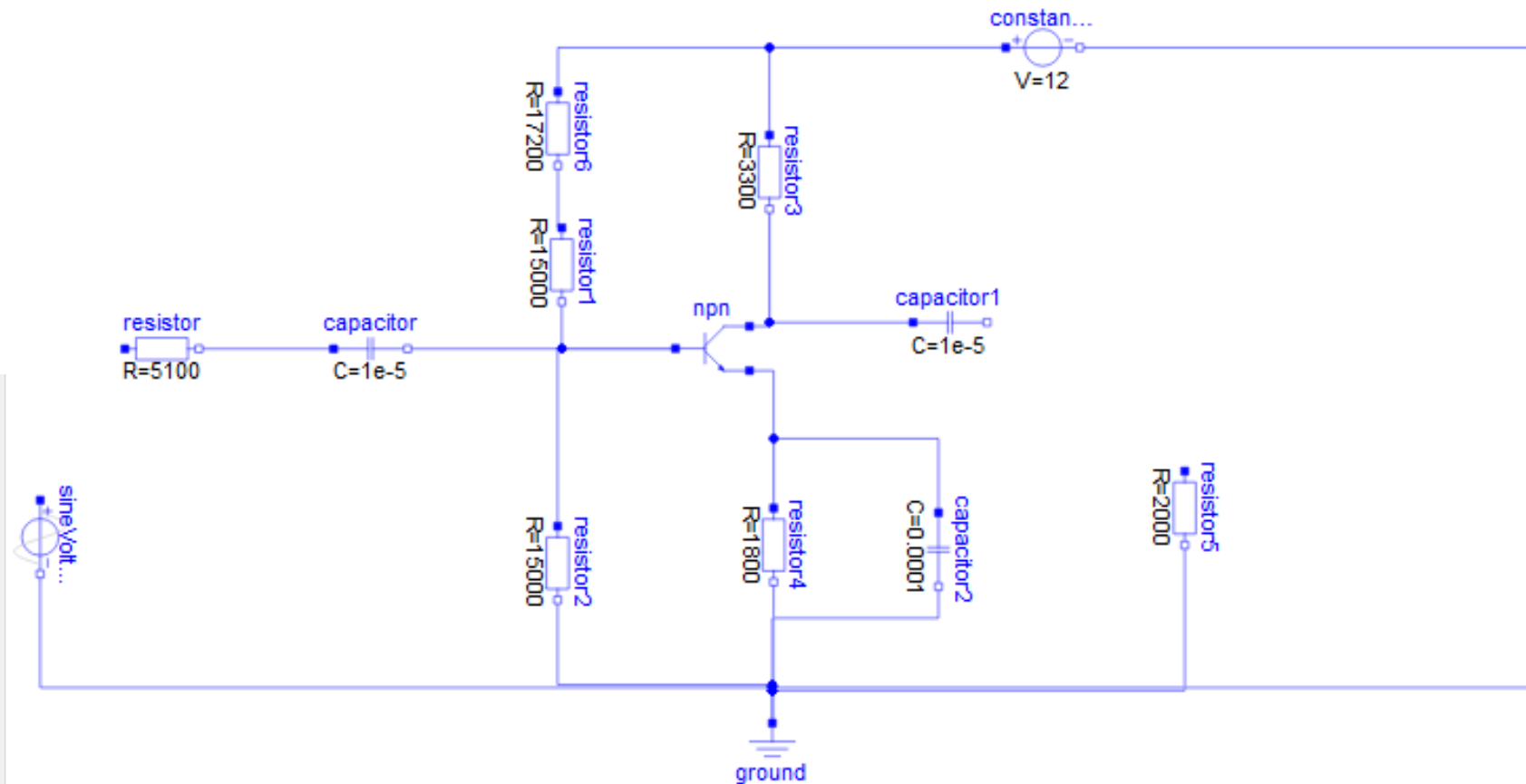
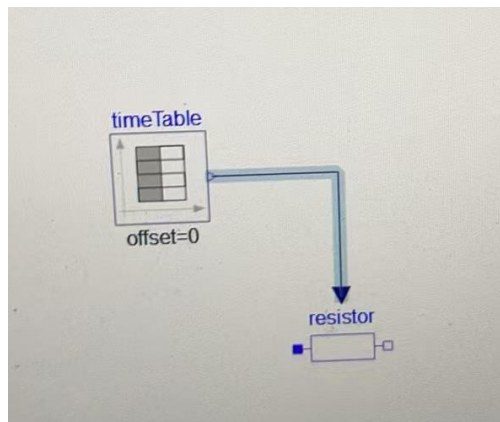
# 五、MWORKS 仿真及实现



组件参数			
常规			
参数			
useHeatPort	<input type="checkbox"/>		= true, if heatPort is enabled
T	T_ref	K	Fixed device temperature if useHeatPort = false
T_heatPort.start	15	degC	Temperature of heatPort
R	17200	Ohm	Resistance at temperature T_ref
T_ref	27	degC	Reference temperature
alpha	0	1/K	Temperature coefficient of resistance ( $R_{actual} = R * (1 + \alpha * (T_{heatPort} - T_{ref}))$ )

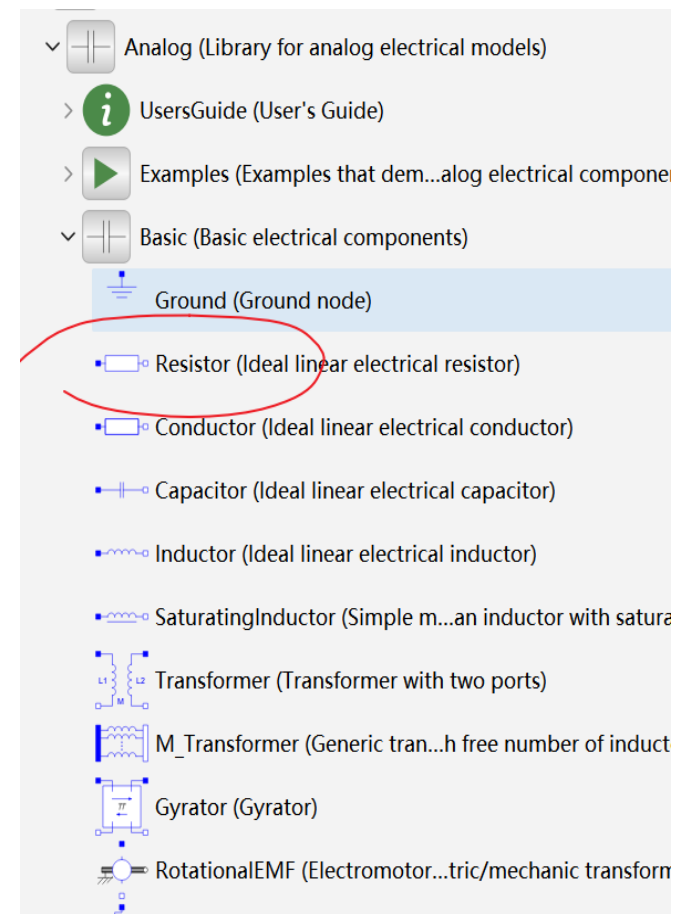
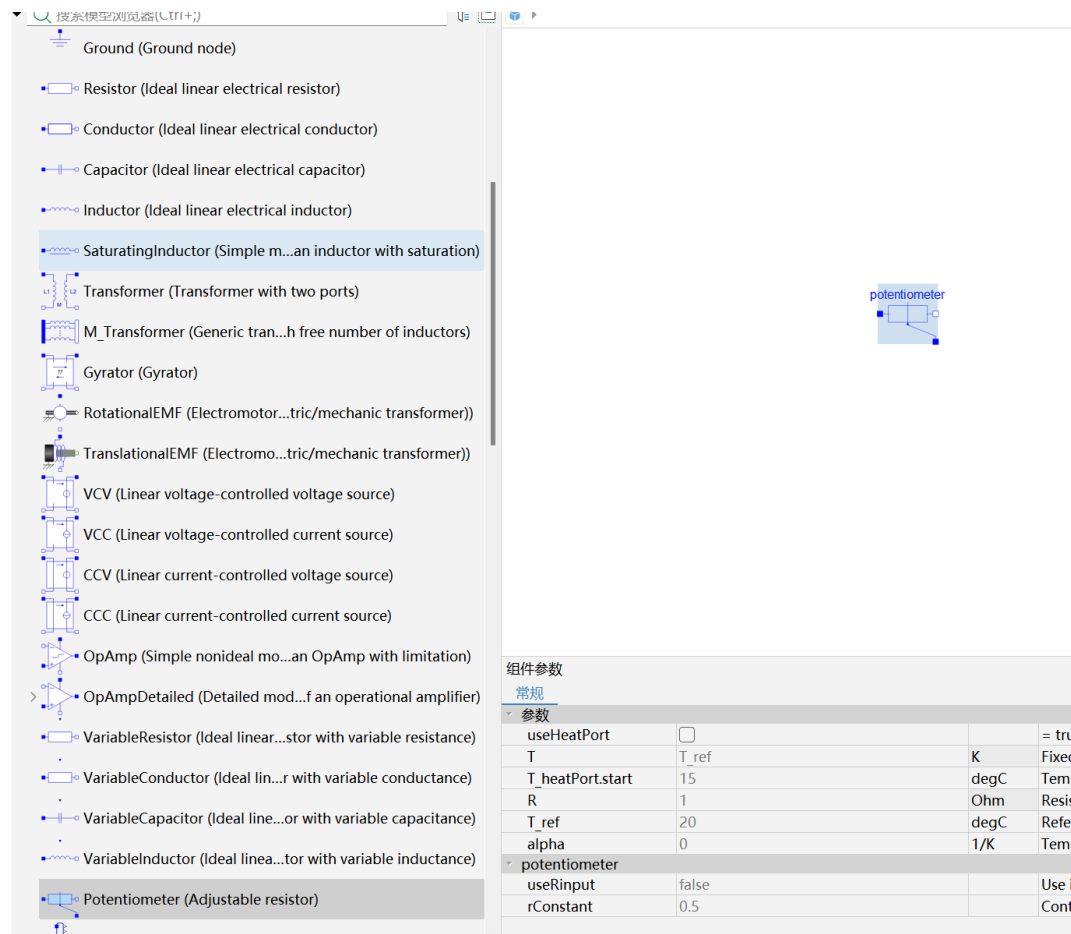
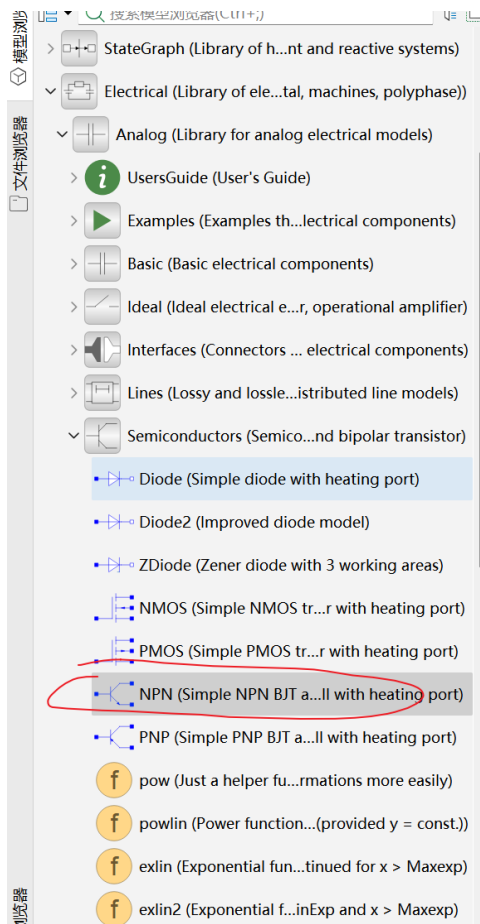


# 五、MWORKS 仿真及实现



- OpAmpDetailed (Detailed model of an operational amplifier)
- VariableResistor (Ideal linear resistor with variable resistance)
- VariableConductor (Ideal linear conductor with variable conductance)
- VariableCapacitor (Ideal linear capacitor with variable capacitance)
- VariableInductor (Ideal linear inductor with variable inductance)
- Potentiometer (Adjustable resistor)
- GeneralCurrentToVoltageAdap...specially useful for FMUs)
- GeneralVoltageToCurrentAdap...specially useful for FMUs)

# 五、MWORKS 仿真及实现



## 五、实验总结

第一部分：

P135 四、4.

第二部分：

- 1.整理实验数据，将测量值和理论估算值进行比较，分析差异原因。
- 2.总结静态工作点对放大电路性能的影响。