



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

# 电子技术实验

## 实验四 晶体管共射极单管放大器

信息与计算机实验教学中心

2024年11月22日

# 实验主要内容



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- 01 实验目的
- 02 实验原理
- 03 实验内容、步骤及注意事项
- 04 实验思考题
- 05 实验仪器与设备



# 实验目的



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- 1 掌握放大器静态工作点的测量与调整方法。
- 2 学习放大电路的交流特性等性能指标的测量方法。
- 3 掌握静态工作点与输出波形失真的关系，了解最大不失真输出电压的测量方法。

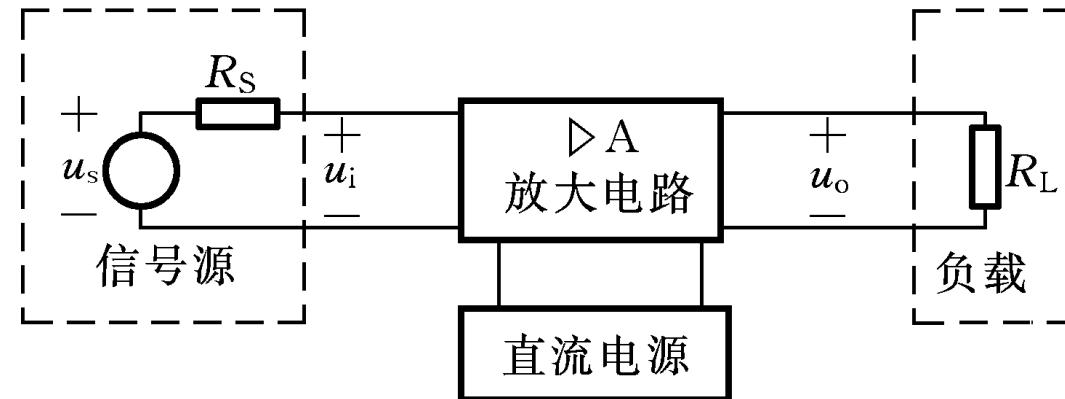


中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

# 实验原理



# 实验原理—放大的概念



放大概念示意图

## 对放大电路的基本要求：

- 要有足够的放大倍数(电压、电流、功率)。
- 尽可能小的波形失真。
- 输入、输出电阻、通频带等其它技术指标。

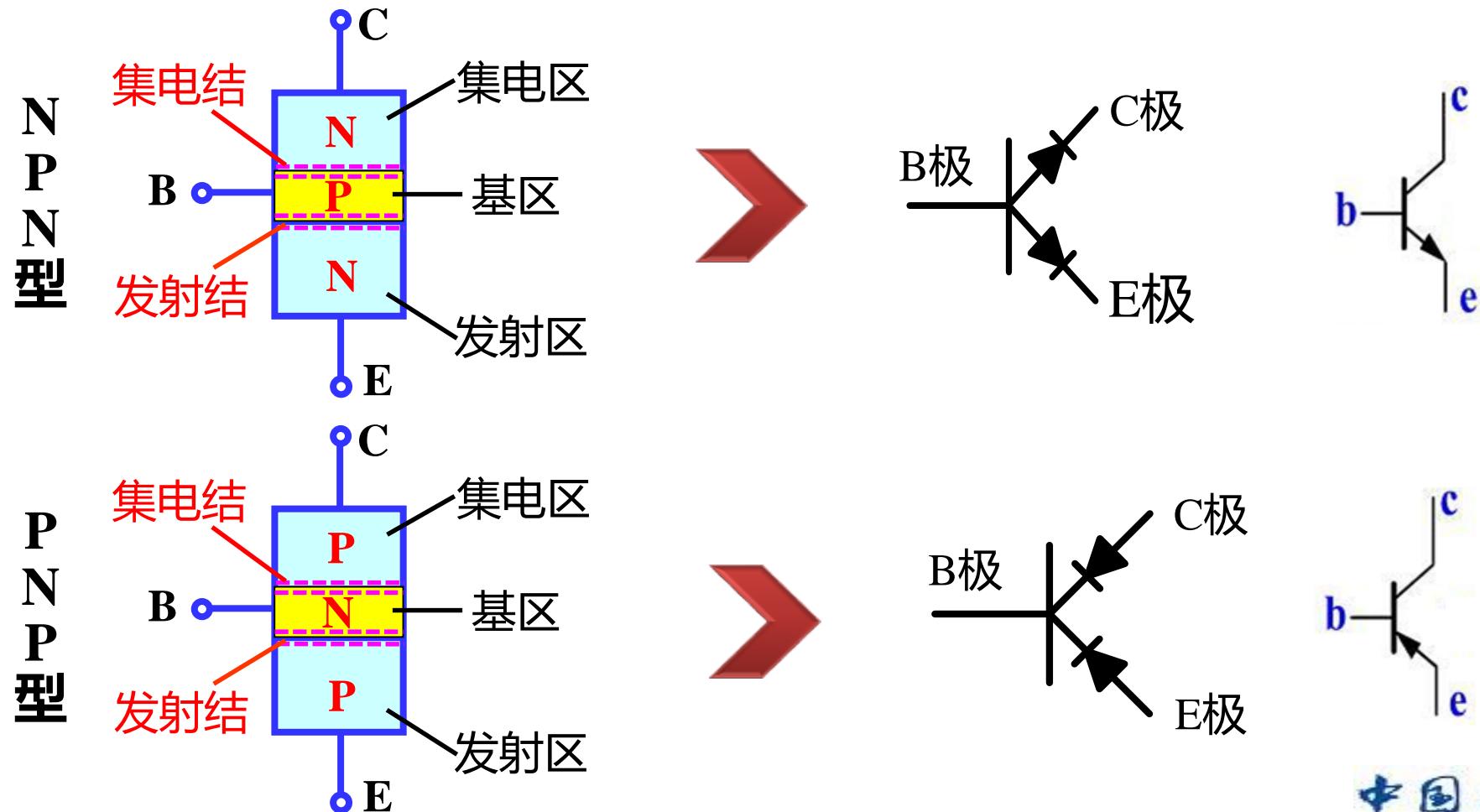
## 三极管放大的实质：

用小能量的信号通过三极管的电流控制作用，将放大电路中直流电源的能量转化成交流能量输出。



# 实验原理—三极管的物理结构

半导体三极管是由两个PN结构构成，把半导体分成三个区域。这三个区域的排列，可以是N-P-N，也可以是P-N-P。因此，三极管有两种类型：NPN型和PNP型。三极管的内部等效图如下图所示。





## 实验原理—三极管的电极判别

■ 常用9011 ~ 9018系列三极管管脚排列如下图所示。



1—Emitter (发射极)

2—Base (基极)

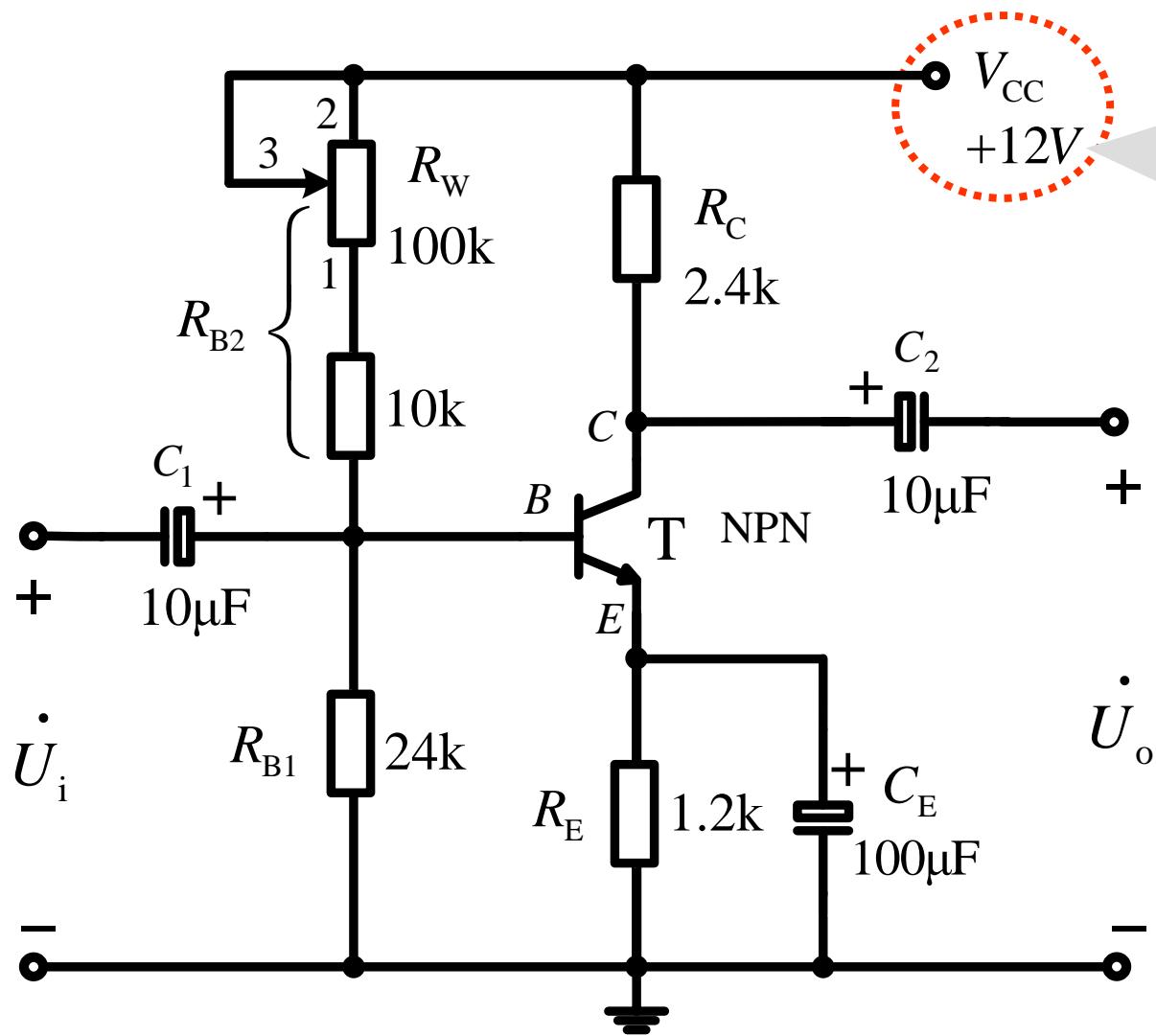
3—Collector (集电极)

平面对着自己，引脚朝下，从左至右依次是E、B、C极。

除9012和9015为PNP型管外，其余均为NPN型管。



## 实验原理—实验电路图

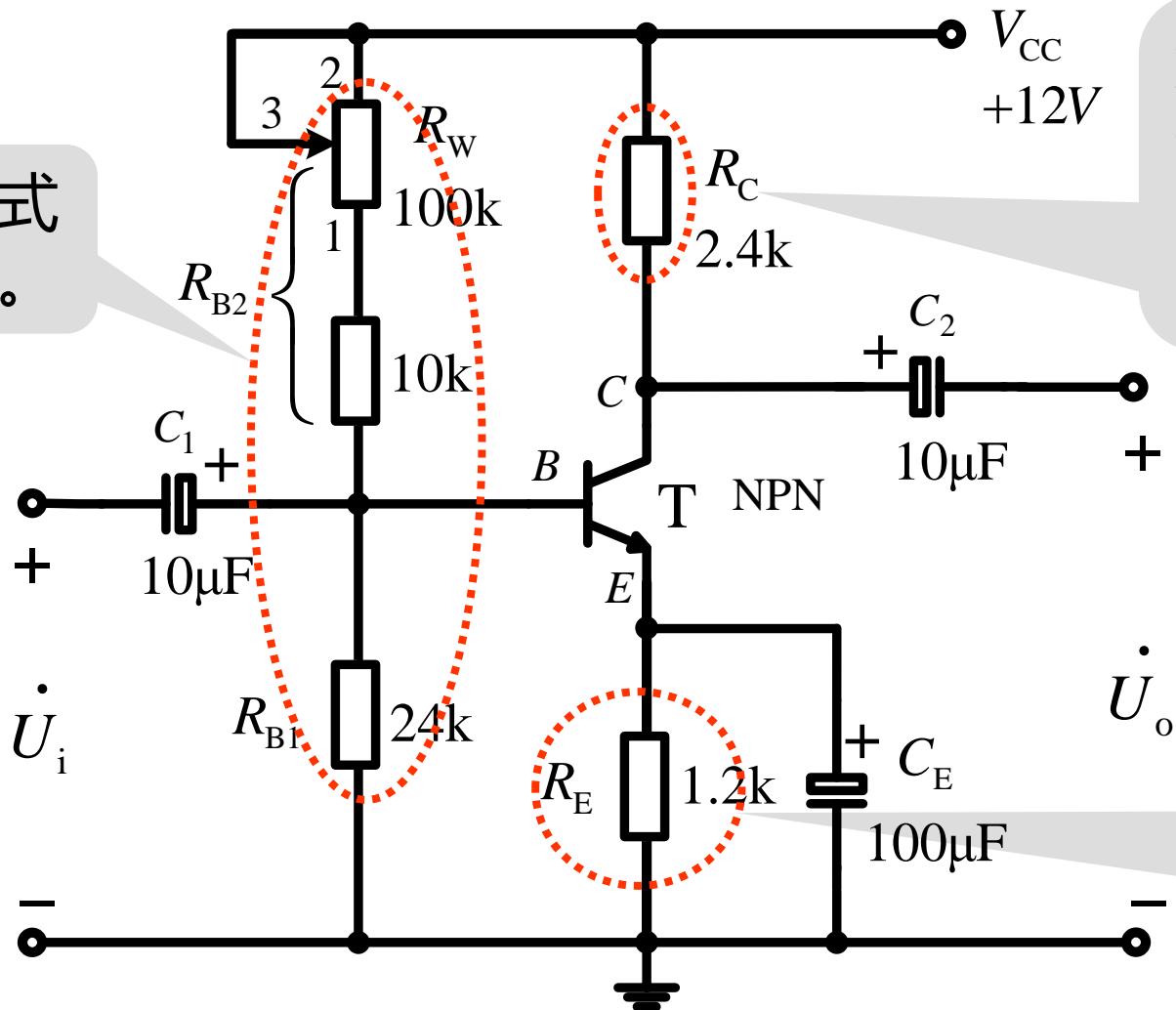


集电极电源，为电路提供能量。并保证集电结反偏，发射结正偏。



## 实验原理—实验电路图

电阻分压式偏置电路。



集电极电阻  $R_C$ ，将变化的电流转变为变化的电压，使电路具有电压放大。

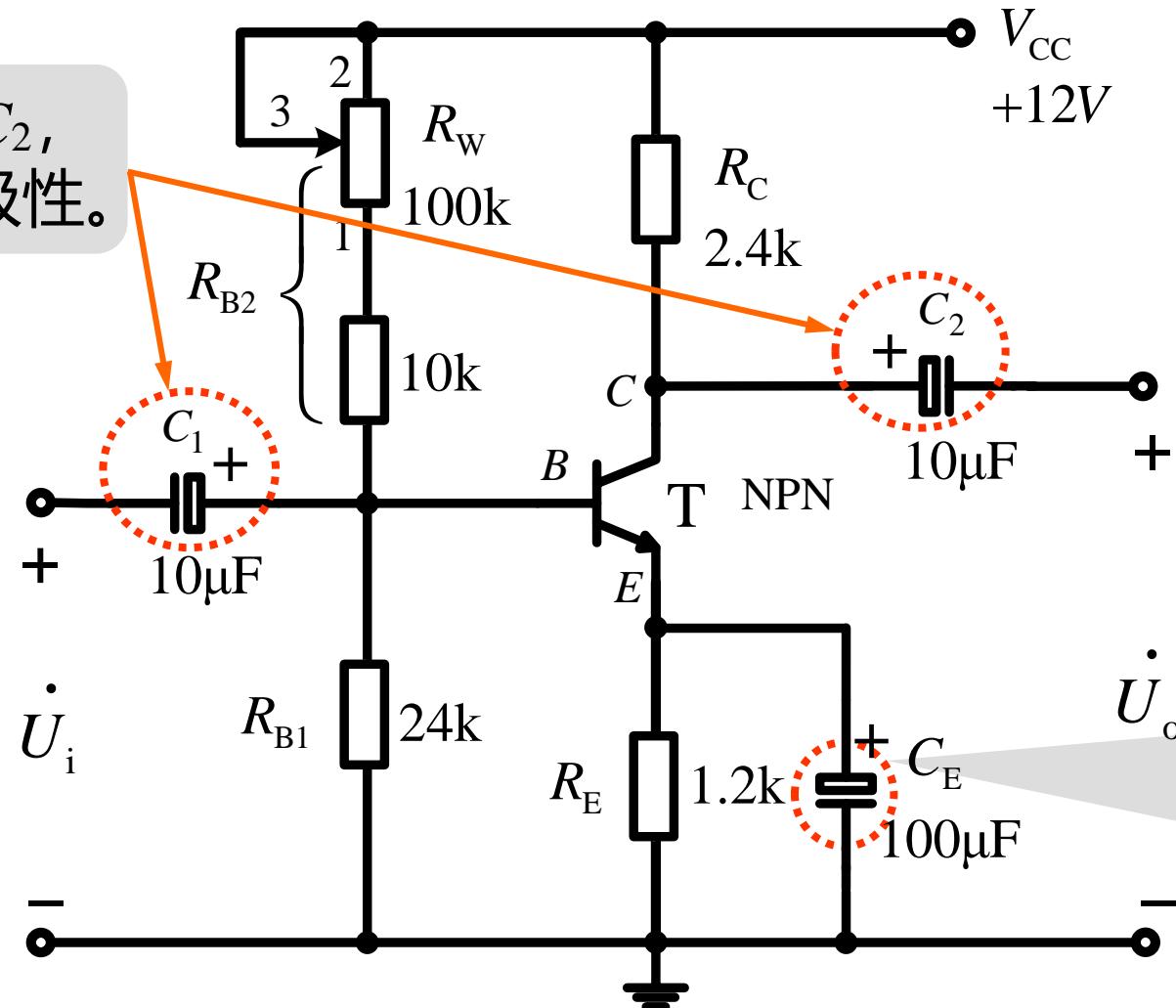
发射极电阻  $R_E$ ，引入负反馈稳定电路静态工作点。



## 实验原理—实验电路图

耦合电容 $C_1$ 和 $C_2$ ,  
电解电容, 有极性。

隔离输入输出与电路  
直流的联系, 同时能  
使信号顺利输入输出。



旁路电容 $C_E$ , 对交流  
而言,  $C_E$ 短接 $R_E$ ,  
确保放大电路动态  
性能不受影响。



## 实验原理—电路元件的作用

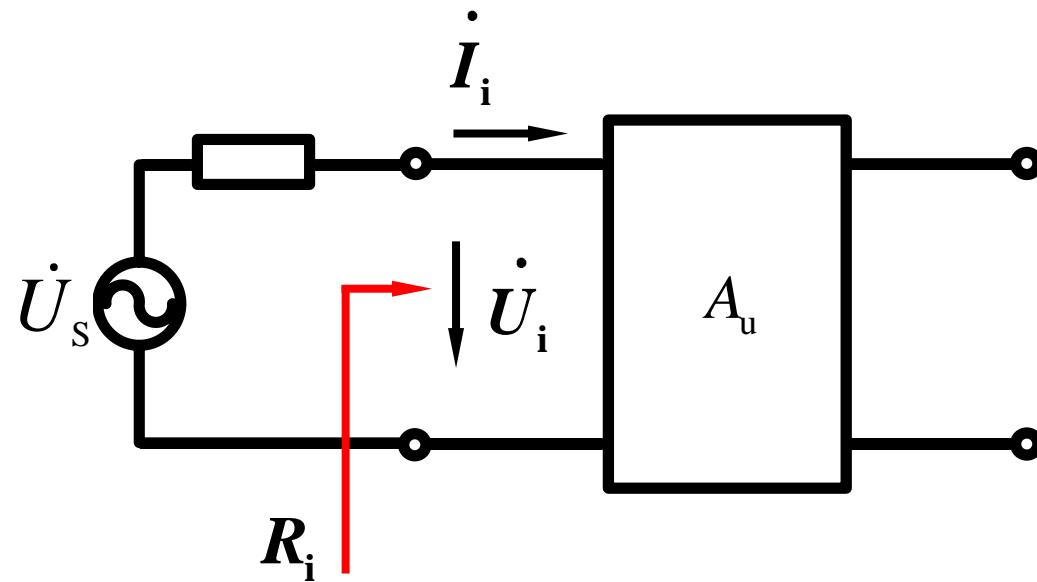
1. **三极管 $T$ :** 是电路的核心，工作在放大区，实现电流放大。
2. **集电极直流电源 $V_{CC}$ :** 为电路提供能量，并保证集电结反偏。一般为几伏~几十伏。
3. **发射极电阻 $R_C$ :** 将变化的电流转换为变化的电压，以实现电压的放大。一般为几千欧~几十千欧。
4. **基极电阻 $R_{B1}$ 、 $R_{B2}$ :** 保证发射结正偏，并为电路提供大小合适的静态基极电流 $I_B$ 。
5. **耦合电容 $C_1$ 、 $C_2$ :** 隔直通交。隔离输入、输出信号与电路直流的联系，同时能使交流信号顺利输入输出。其为电解电容，有极性，一般为 $10\mu F \sim 50\mu F$ 。
6. **旁路电容 $C_E$ :** 对交流而言， $C_E$ 短接 $R_E$ ，确保放大电路动态性能不受影响。



## 实验原理—输入电阻

输入电阻定义：

$$R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i}$$

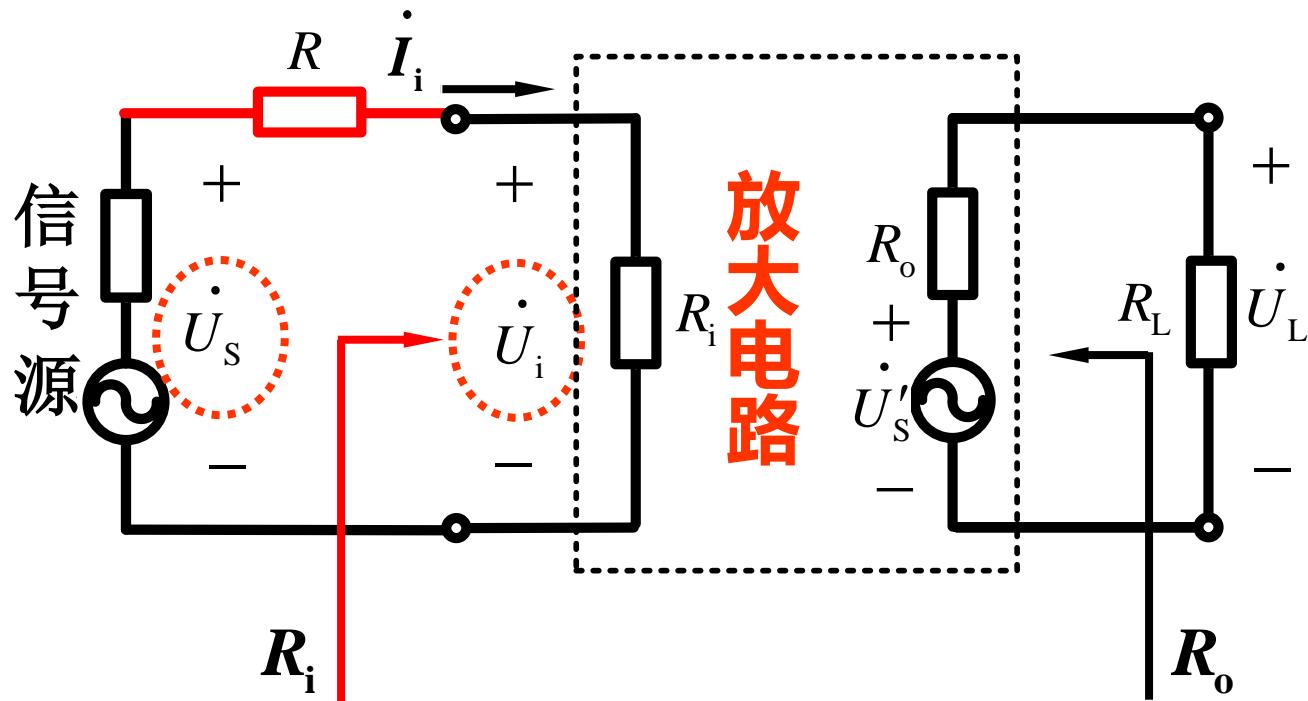


放大电路一定要有前级（信号源）为其提供信号，那么就要从信号源取电流。输入电阻是衡量放大电路从其前级取电流大小的参数。输入电阻越大，从其前级取得的电流越小，对前级的影响越小。

**$R_i$  越大，  $I_i$  就越小，  $u_i$  就越接近  $u_s$**



# 实验原理—输入电阻的测量方法



$$\frac{U_i}{R_i} = \frac{U_s - U_i}{R}$$



$$R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R$$

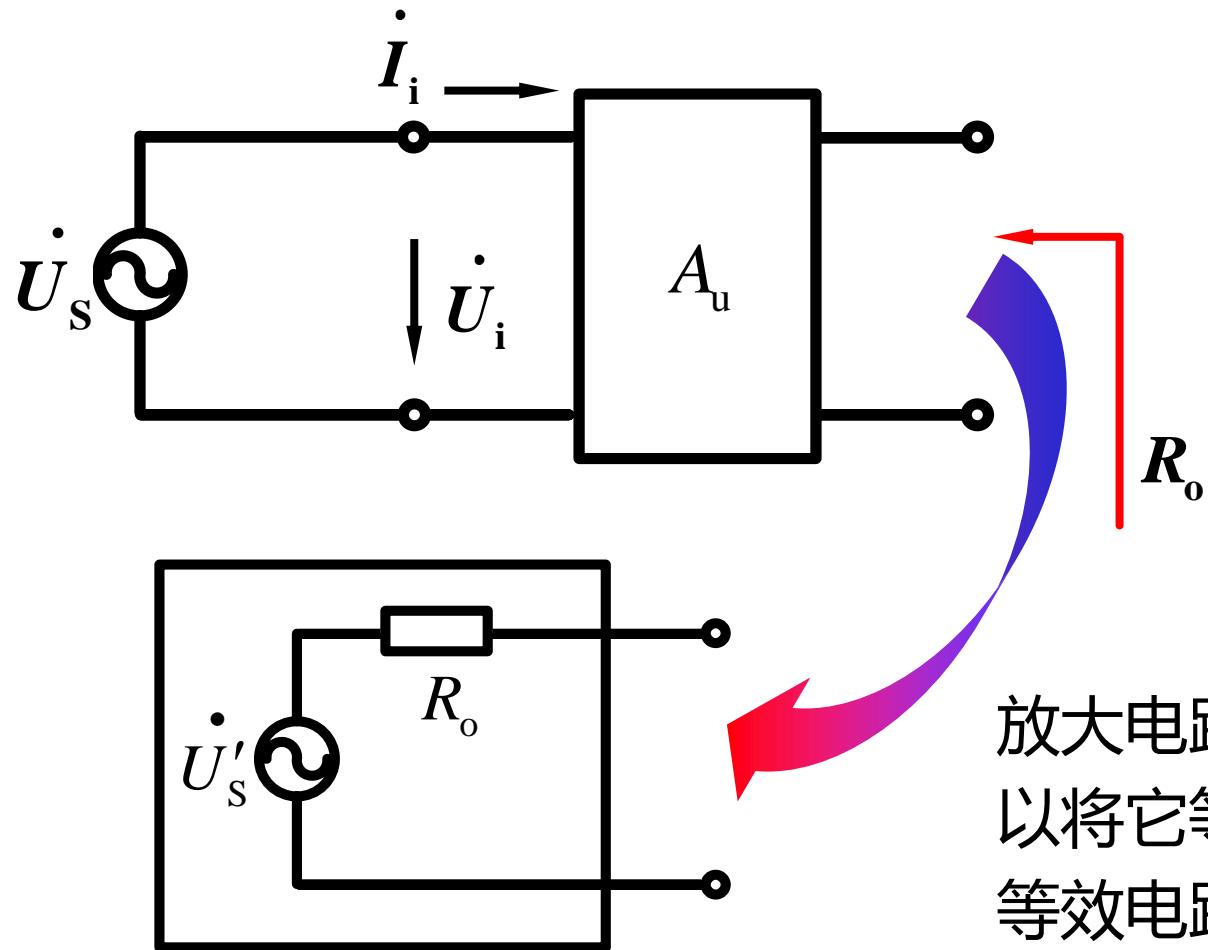
**串联电阻法:** 在输入回路串联取样电阻 $R$ ; 直接测量取样电阻 $R$ 左右两端的对地电压:  $U_s$ 和 $U_i$ ; 由公式可得 $R_i$ 的大小。



是在输出电压 $U_L$ 为不失真的情况下测得。



## 实验原理—输出电阻



输出电阻定义：

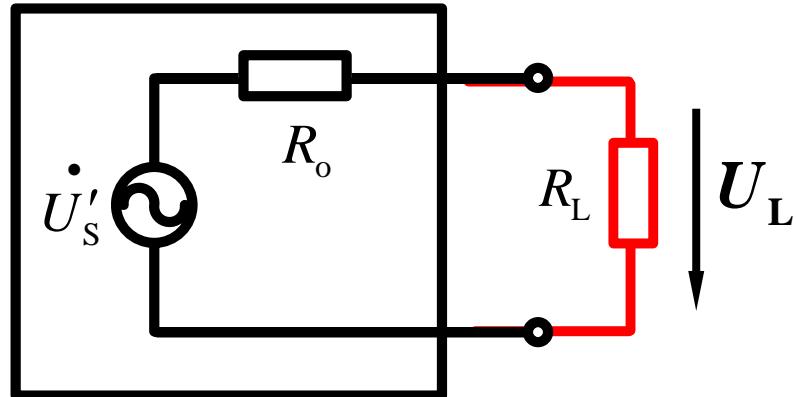
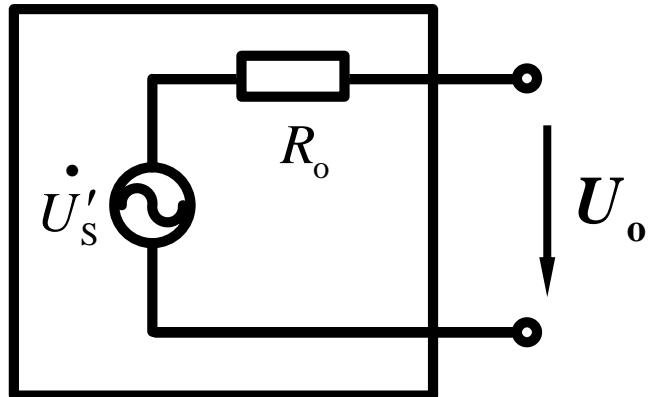
$$R_o = \left. \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_o} \right|_{\dot{U}_s = 0, R_L = \infty}$$

放大电路对其负载而言，相当于信号源，可以将它等效为戴维南等效电路，这个戴维南等效电路的内阻就是输出电阻。

$R_o$  越小，放大电路的带负载能力越强。



## 实验原理—输出电阻的测量方法



- 两次电压法:**
- ① 测量开路电压  $U_o$ 。
  - ② 测量接入负载后的输出电压  $U_L$ 。
  - ③ 由公式

$$R_o = \left( \frac{U_o}{U_L} - 1 \right) R_L$$

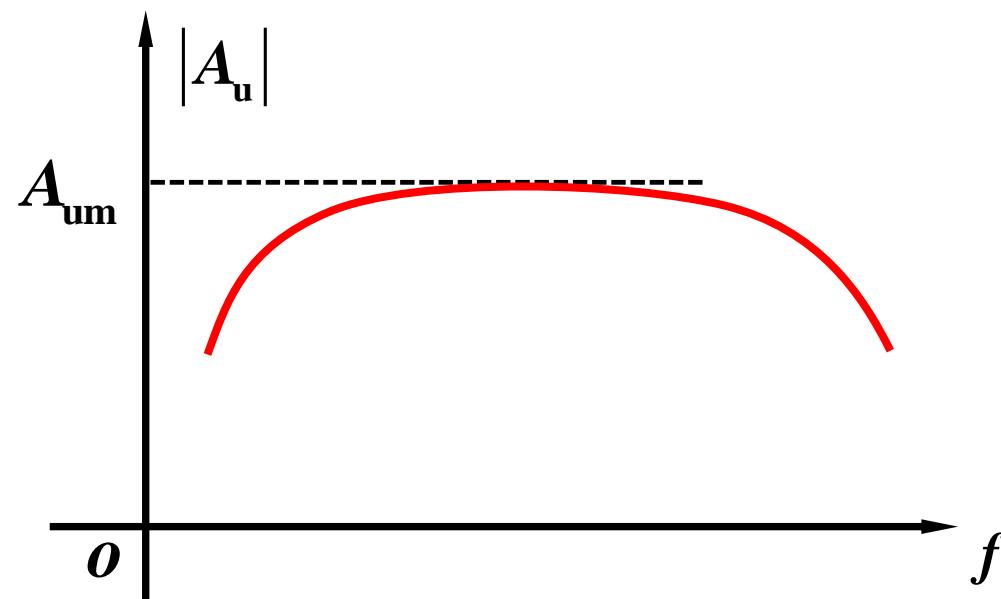


必须保持  $R_L$  接入前后输入信号的大小不变。



## 实验原理—频率特性

放大器的幅频特性是指放大电路放大倍数的数值 $A_u$ 与信号频率 $f$ 的关系曲线，如下图所示。

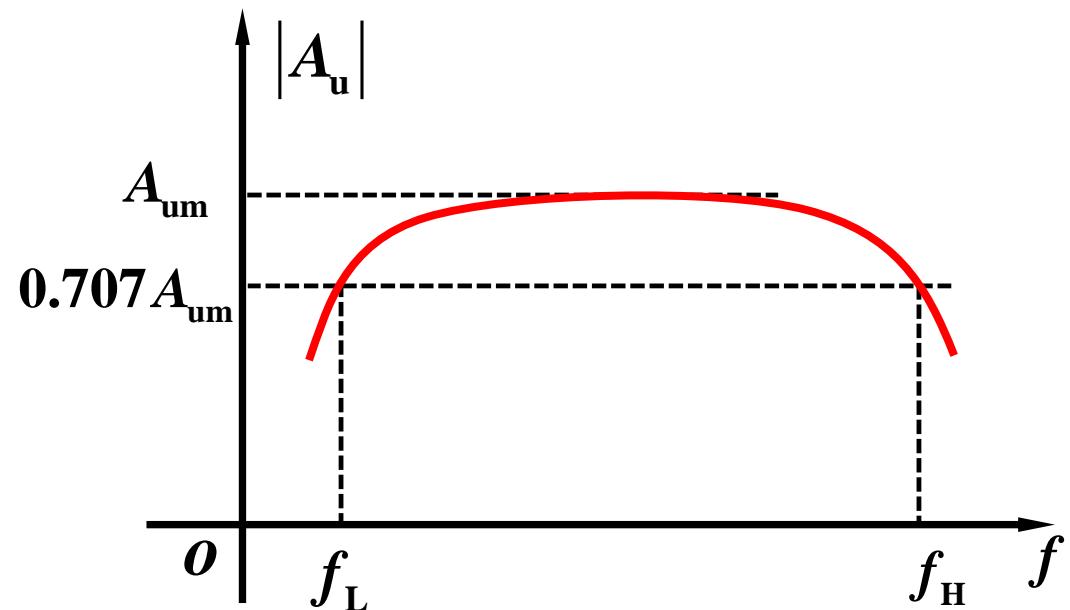


放大电路的幅频特性曲线



## 实验原理—幅频特性

随着信号频率的变化，当电压放大倍数下降到中频放大倍数的 $1/\sqrt{2}$  倍时，所对应的频率分别称为下截止频率 $f_L$ 和上截止频率 $f_H$ ，如下图所示，则 $f_H$ 与 $f_L$ 之间的范围就称为放大电路的通频带 $BW$ 。



放大电路的幅频特性曲线

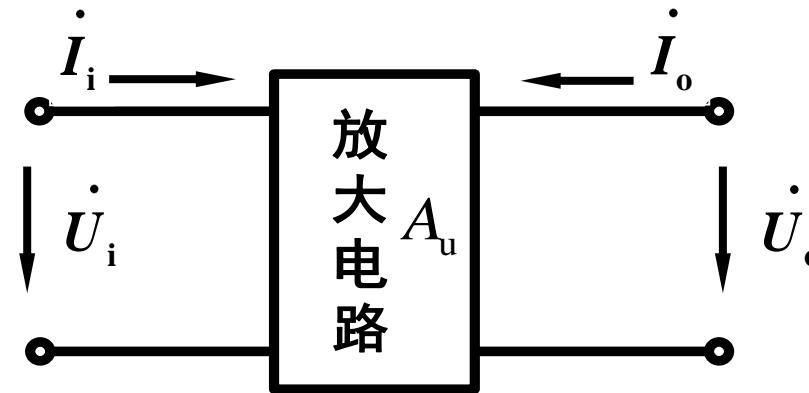
通频带 $BW$ ：

$$\Delta f_{0.7} = f_H - f_L$$

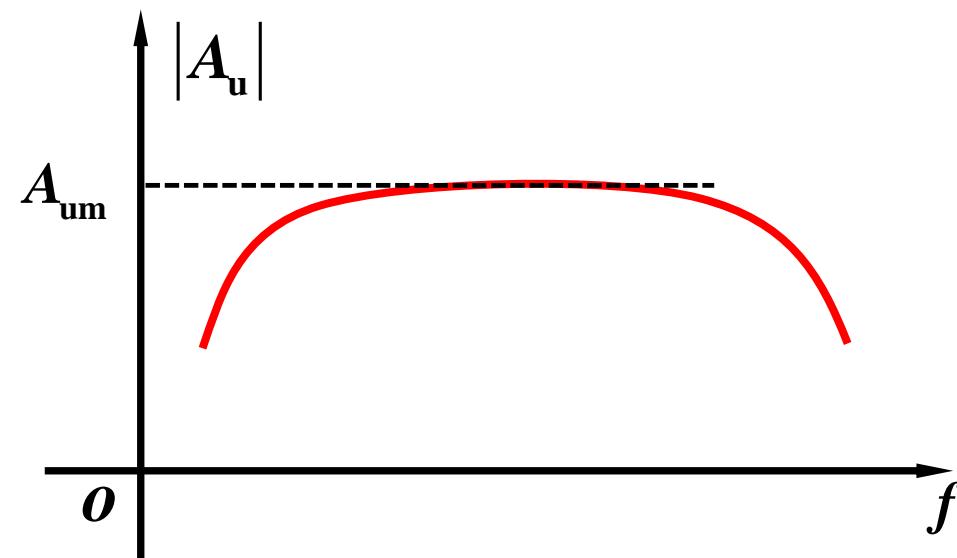
通频带越宽，放大器对信号的频率变化适应能力越强。



# 实验原理—幅频特性的测量方法



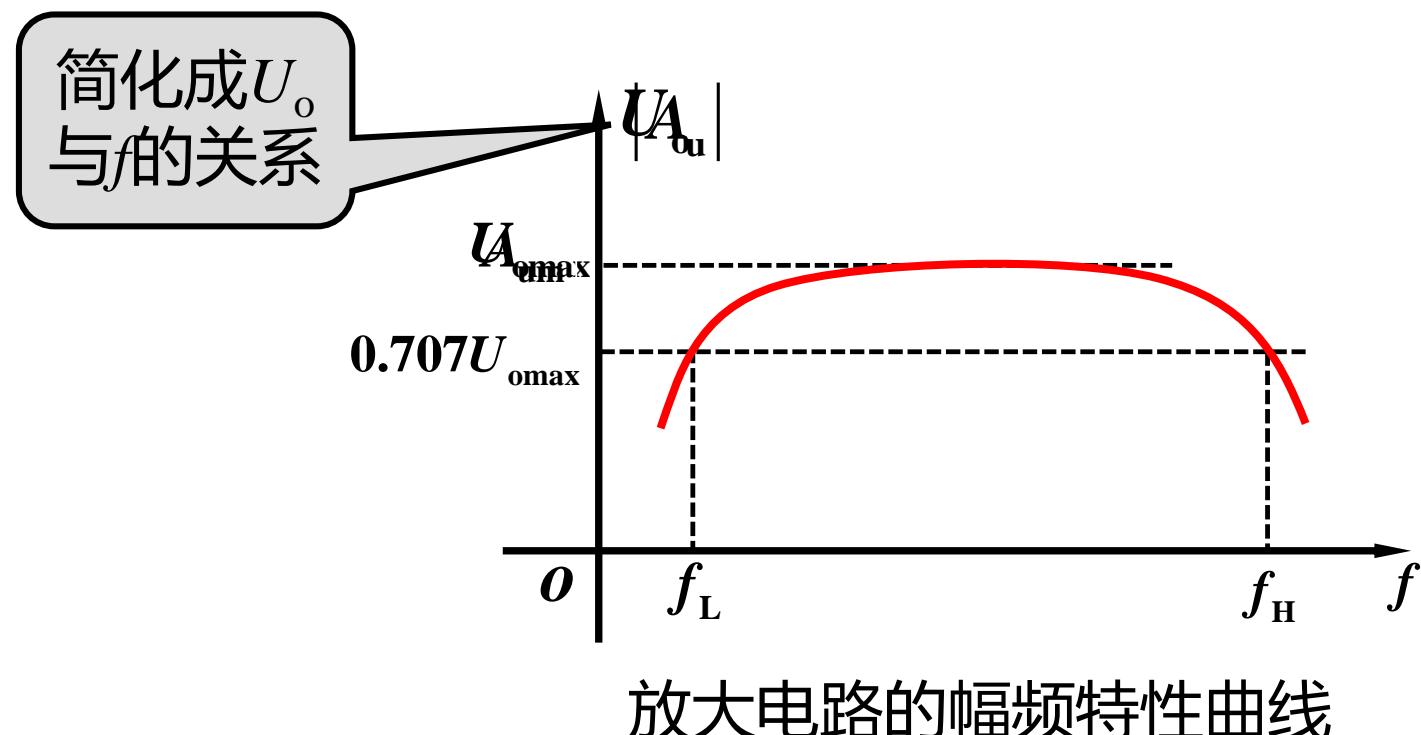
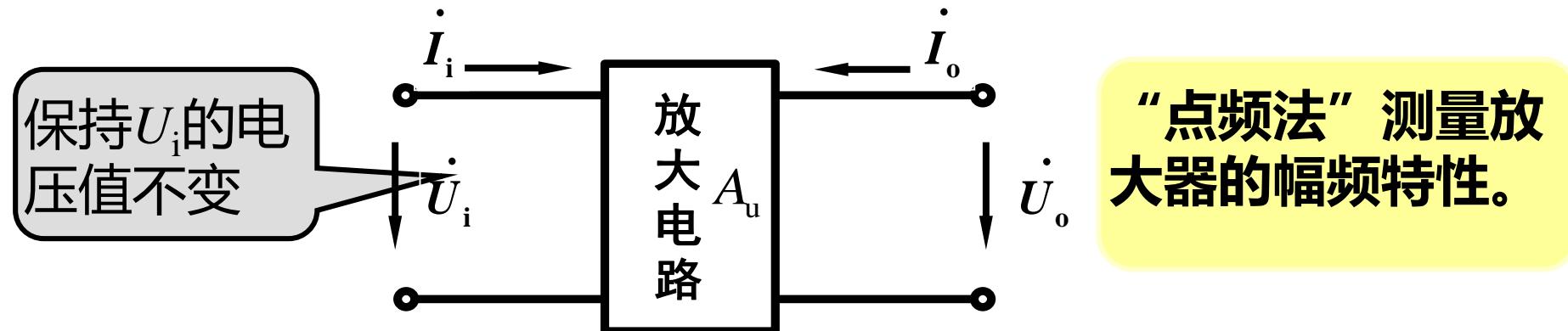
“点频法” 测量放大器的幅频特性。



放大电路的幅频特性曲线



# 实验原理—幅频特性的测量方法



通频带  $BW$  :

$$\Delta f_{0.7} = f_H - f_L$$



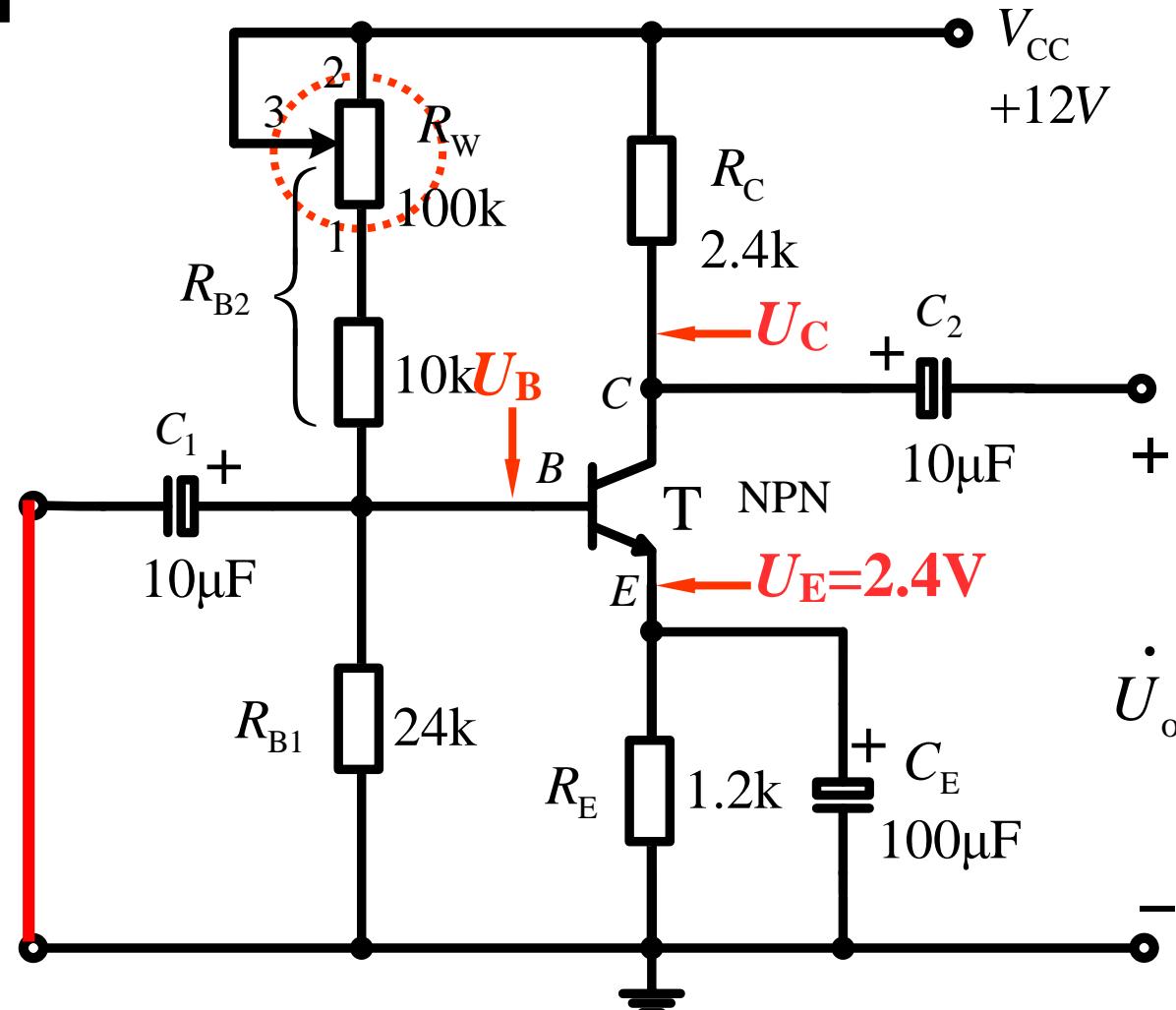
中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

# 实验内容、步骤及注意事项



# 实验内容—静态工作点的调整与测量

## 实验电路图



注意

图中电解电容在接入电路时一定要按所在电路直流电位的极性接入。



## 实验内容—静态工作点的调整与测量

- 输入端短接，调节 $R_W$ ，使 $I_C = 2.0\text{mA}$ ，即 $U_E = 2.4\text{V}$ 。
- 用万用表直流档测量分别 $T$ 管对地电位 $U_B$ 、 $U_E$ 和 $U_C$ 。
- 用万用表欧姆档测出电阻 $R_{B2}$ ，完成数据表格4-1。

表4-1  $I_C = 2.0\text{mA}$

测量值			
$U_B(\text{V})$	$U_E(\text{V})$	$U_C(\text{V})$	$R_{B2}(\Omega)$



- 在记录静态工作点各测量值时，要使输入信号短路（即 $u_i=0$ ）。
- 在记录电位器 $R_W$ 值时，要使 $R_W$ 与电路断开，没有电流流过。



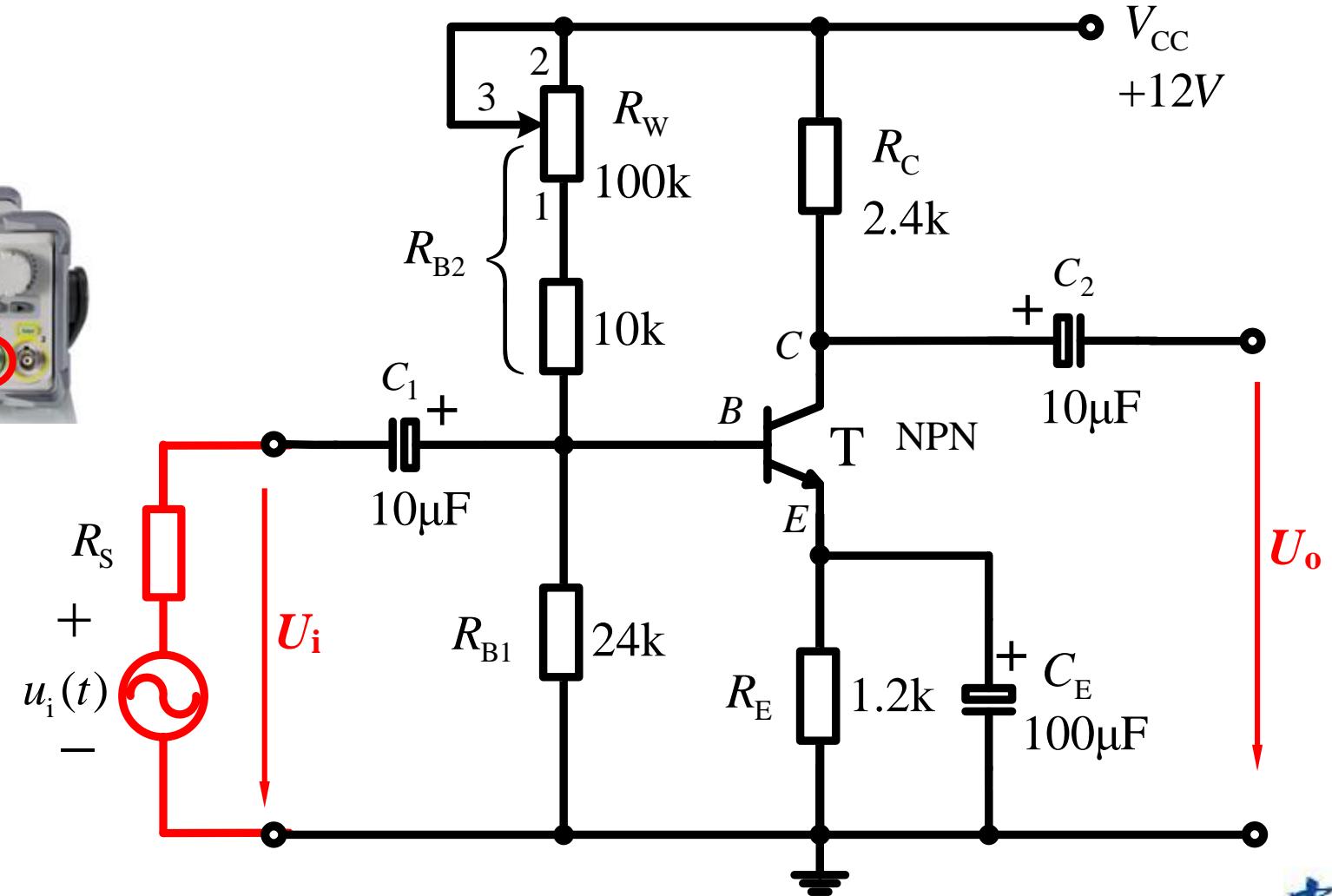


# 实验内容—动态指标的测试

## ■ 电压放大倍数和输出电阻的测试



$U_i = 5\text{mV}$



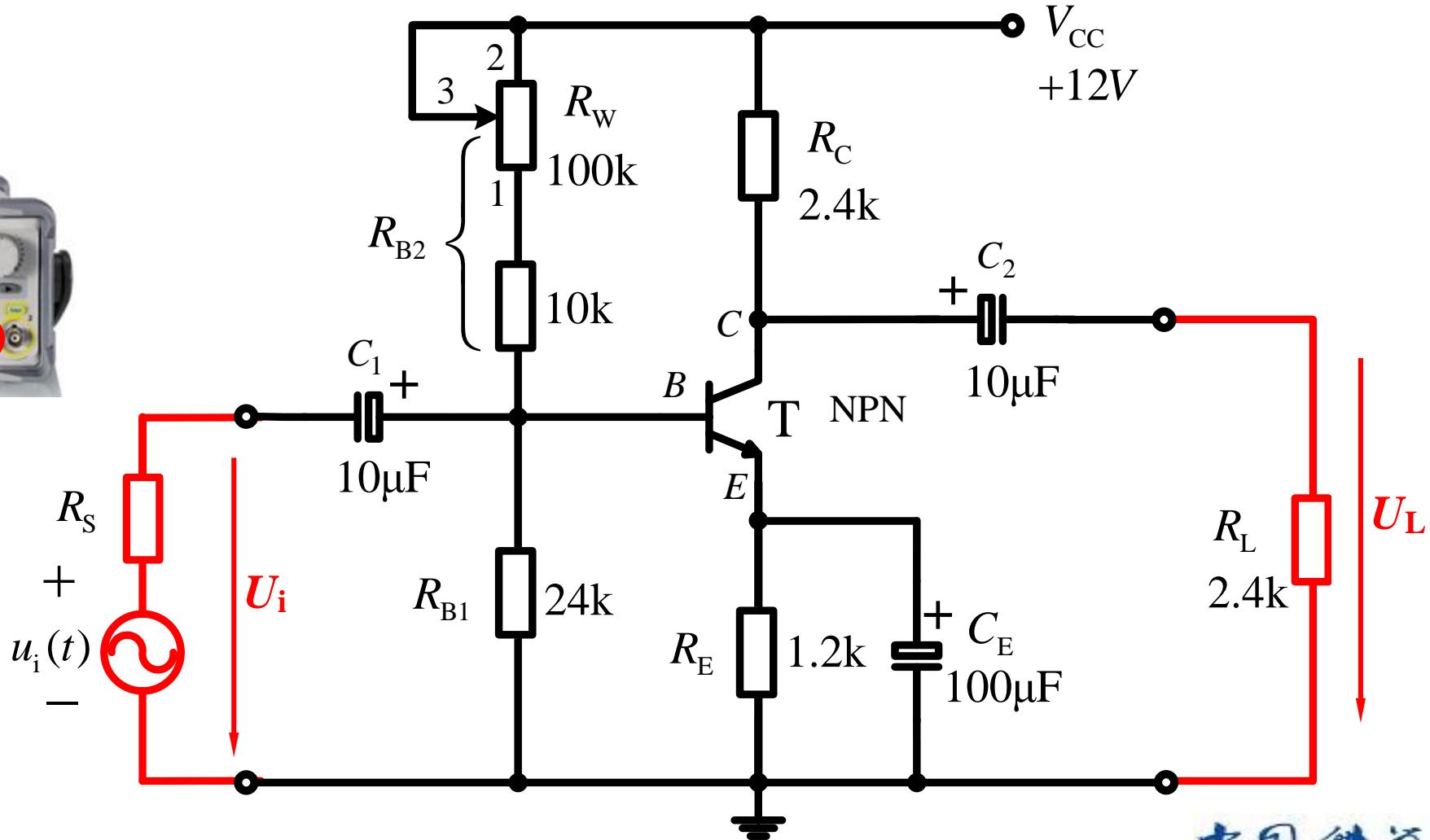


# 实验原理—动态指标的测试

## ■ 电压放大倍数和输出电阻的测试



$U_i = 5\text{mV}$





# 实验内容—动态指标的测试

## ■ 电压放大倍数和输出电阻的测试

信号源输出频率 $f=1\text{kHz}$ , 有效值 $U_i=5\text{mV}$ 的正弦信号, 用毫伏表记录有效值, 用示波器记录波形, 数据填入表4-2中。

表4-2  $U_i=5\text{mV}$

$R_L(\text{k}\Omega)$	输出电压	$A_u$	$R_o$	输入、输出波形 (记录一次)
$\infty$	$U_o=?$	?	?	$u_i / u_o$
2.4	$U_L=?$	?	?	



输出电阻公式:  $R_o = \left( \frac{U_o}{U_L} - 1 \right) R_L$

注意:

为了防止干扰, 各仪器探头的接地端, 直接连在实验箱的公共地上。

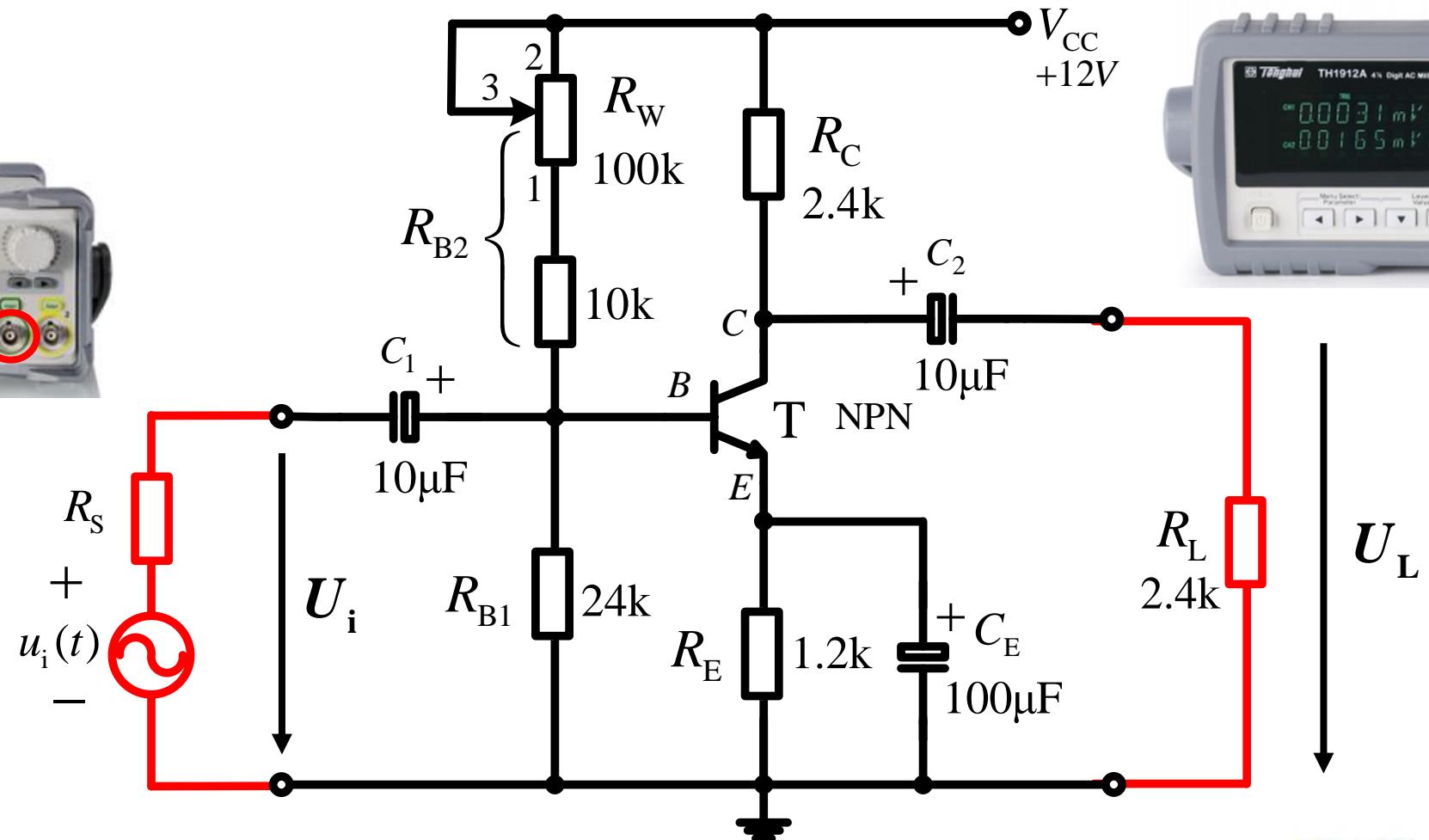


# 实验内容一动态指标的测试

# ■ 放大电路通频带的测试—实验电路图



$U_i = 5\text{mV}$





## 实验内容—动态指标的测试

### ■ 放大电路通频带的测试

信号源输出有效值为  $U_i = 5\text{mV}$  的正弦信号，毫伏表接在输出端，逐步改变信号源的频率找出  $f_H$  与  $f_L$ ，完成表4-3。

表4-3  $U_i = 5\text{mV}$  (有效值) ,  $R_L = 2.4\text{k}\Omega$

频率值	$f_L = ?$	$f_o(\text{中频})$	$f_H = ?$
输入电压	$U_i = 5\text{mV}$	$U_i = 5\text{mV}$	$U_i = 5\text{mV}$
输出电压	$U_L / \sqrt{2}$	$U_L = ?$	$U_L / \sqrt{2}$



■ 在测试  $f_H$  与  $f_L$  过程中要保持输入电压  $U_i$  不变。

■ 当频率较高时，示波器已不是理想的测量设备，要把示波器从放大电路的输出端断开。



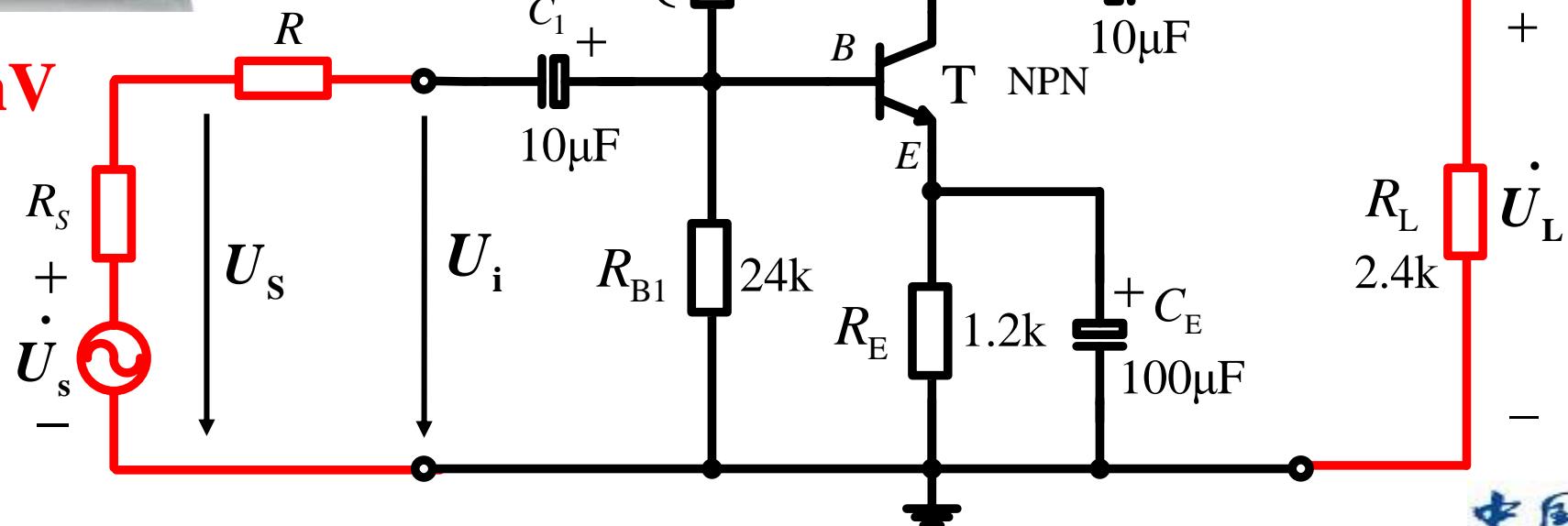
# 实验内容—动态指标的测试

## ■输入电阻的测试—实验电路图

按下图正确连线，取样电阻 $R=2k\Omega$ ，负载 $R_L=2.4k\Omega$ 接上。



$$U_S = 10 \text{ mV}$$





## 实验内容—动态指标的测试

### ■输入电阻的测试

输入信号频率 $f=1\text{kHz}$ , 有效值 $U_S=10\text{mV}$ 的正弦信号, 同时要求输出波形不失真, 即用示波器监视输出。用毫伏表分别测试电阻 $R$ 两端电压 $U_S$ 、 $U_i$ , 测量数据填入表4-4中。

表4-4  $U_S=10\text{mV}$  (有效值) ,  $R_L=2.4\text{k}\Omega$

$U_s$	$U_i$	$R_i$



输入电阻公式:  $R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R$

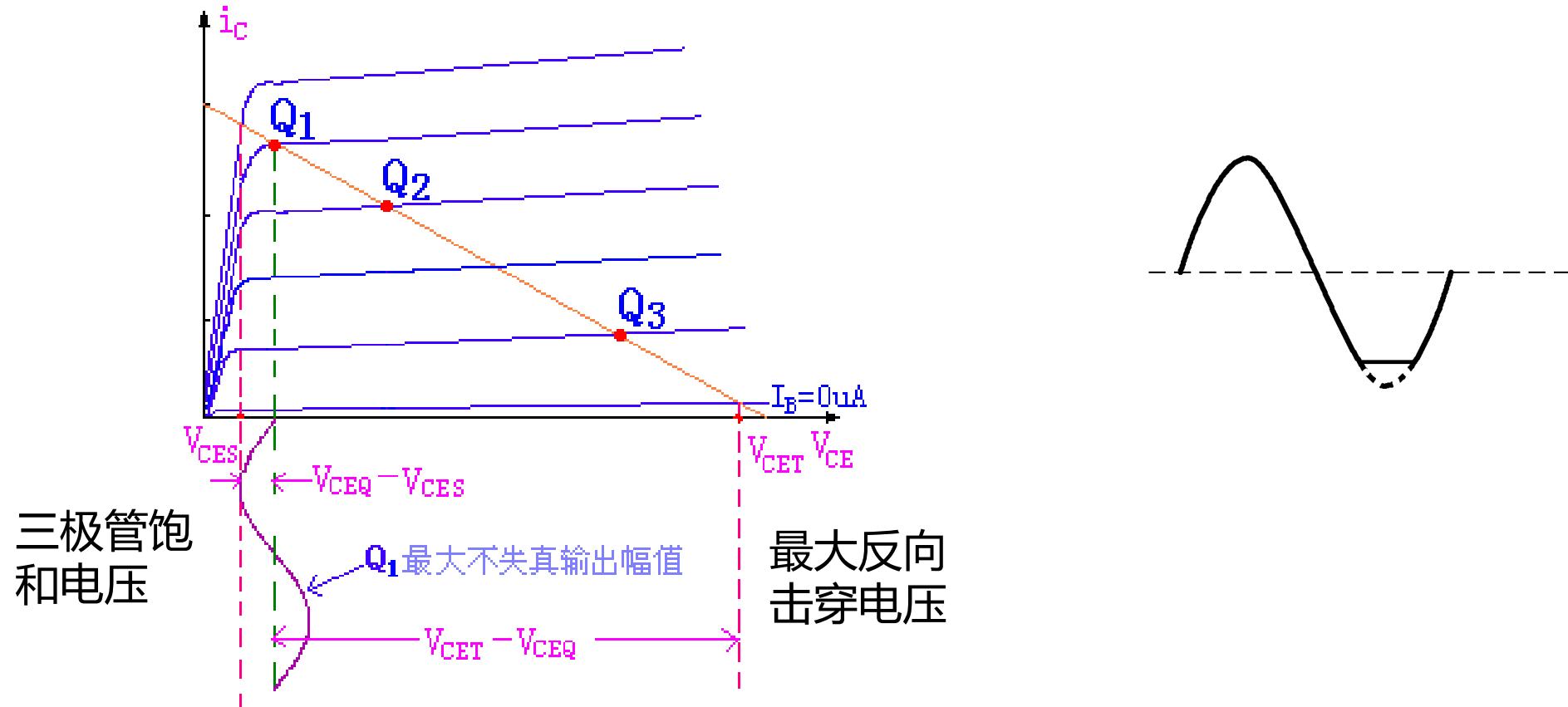


在测量 $U_s$ 和 $U_i$ 电压值时, 为了减小测量误差, 一般用毫伏表的同一路做测试。



# 实验原理—静态工作点对输出波形的影响

## ■ $Q_1$ 不失真输出最大幅值

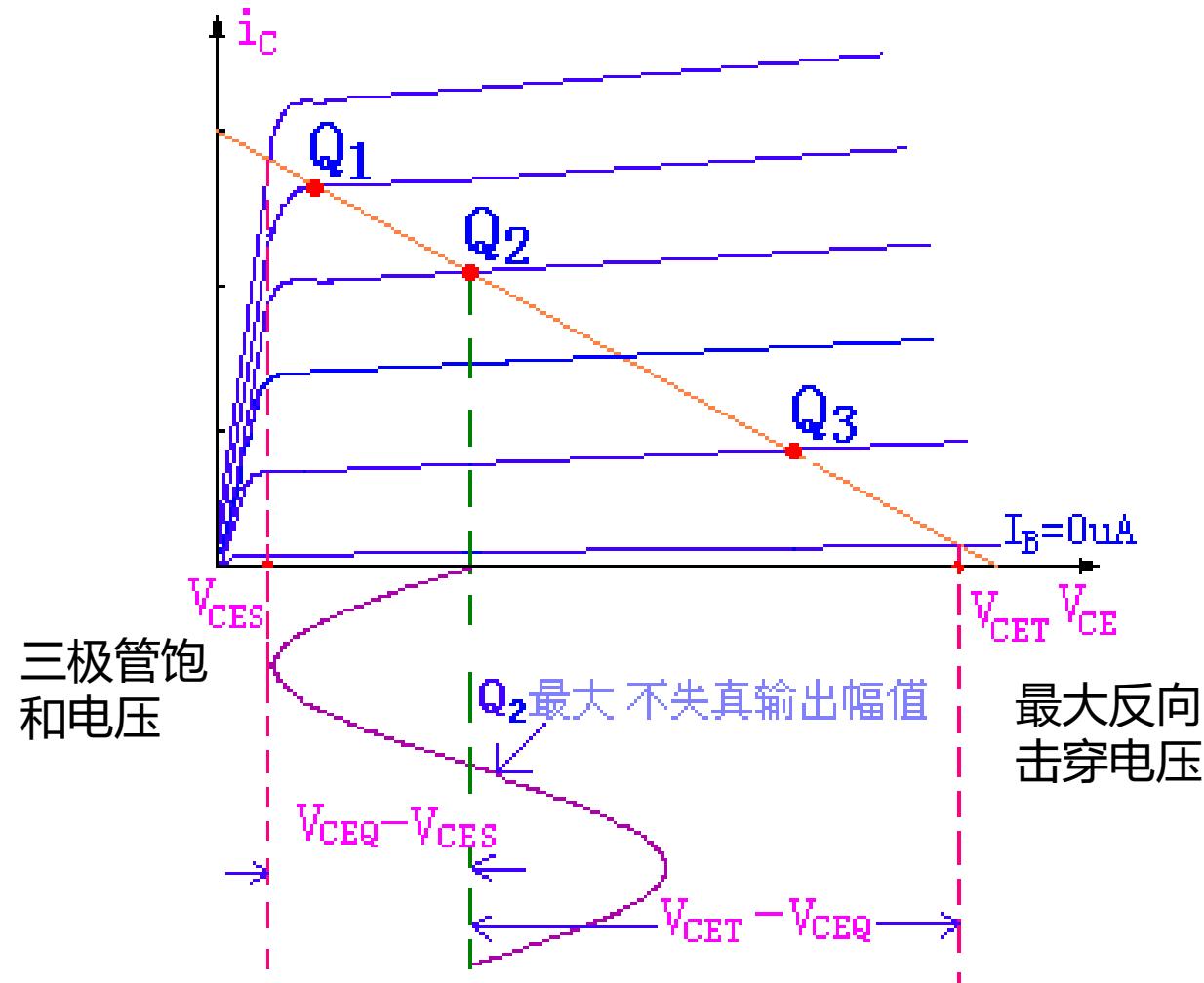


$I_{CQ} \uparrow$ , 三极管进入饱和区而引起的失真,  $u_o$ 出现饱和失真, 形状为“削底”失真。  
通过增大基极偏置电阻的阻值来消除。



# 实验原理—静态工作点对输出波形的影响

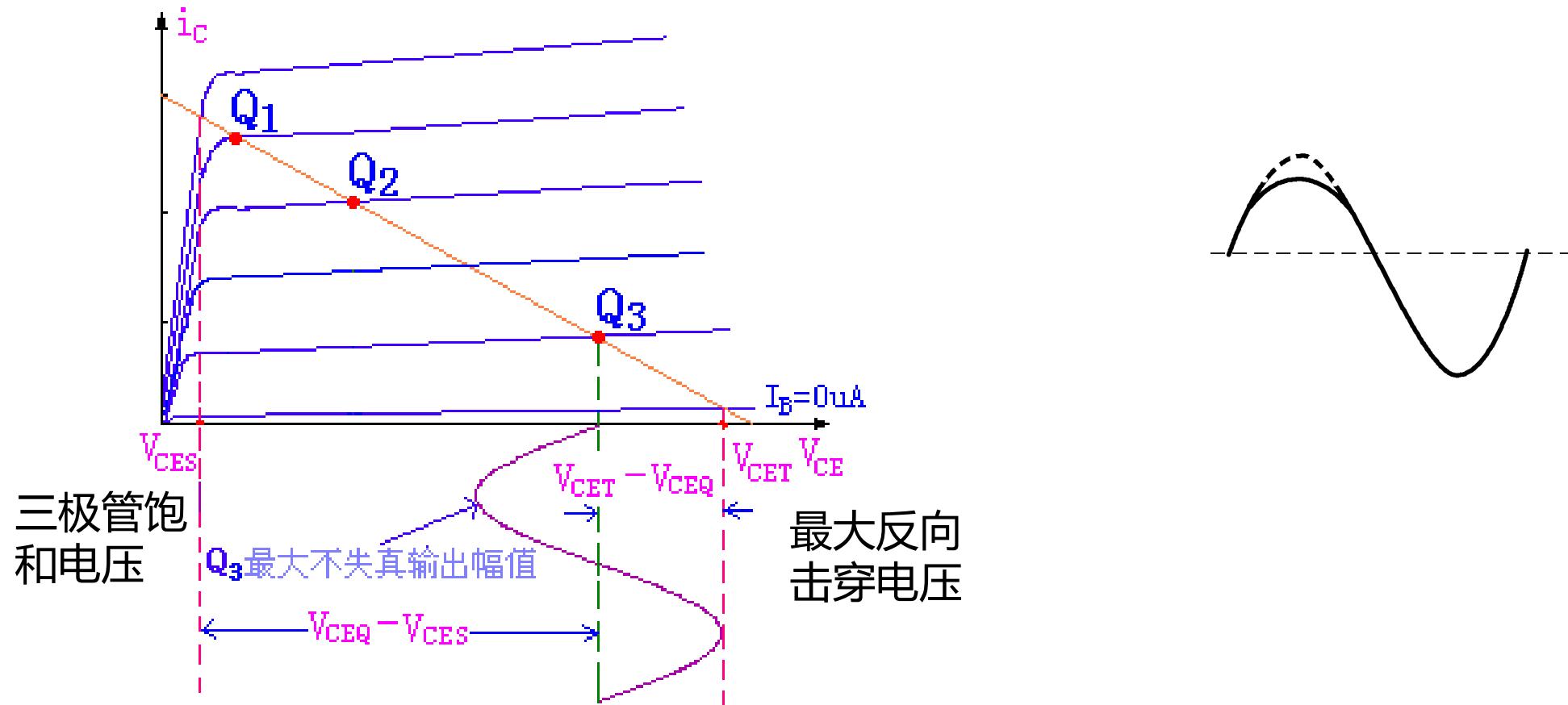
## ■ $Q_2$ 不失真输出最大幅值





# 实验原理—静态工作点对输出波形的影响

## ■ Q<sub>3</sub>不失真输出最大幅值

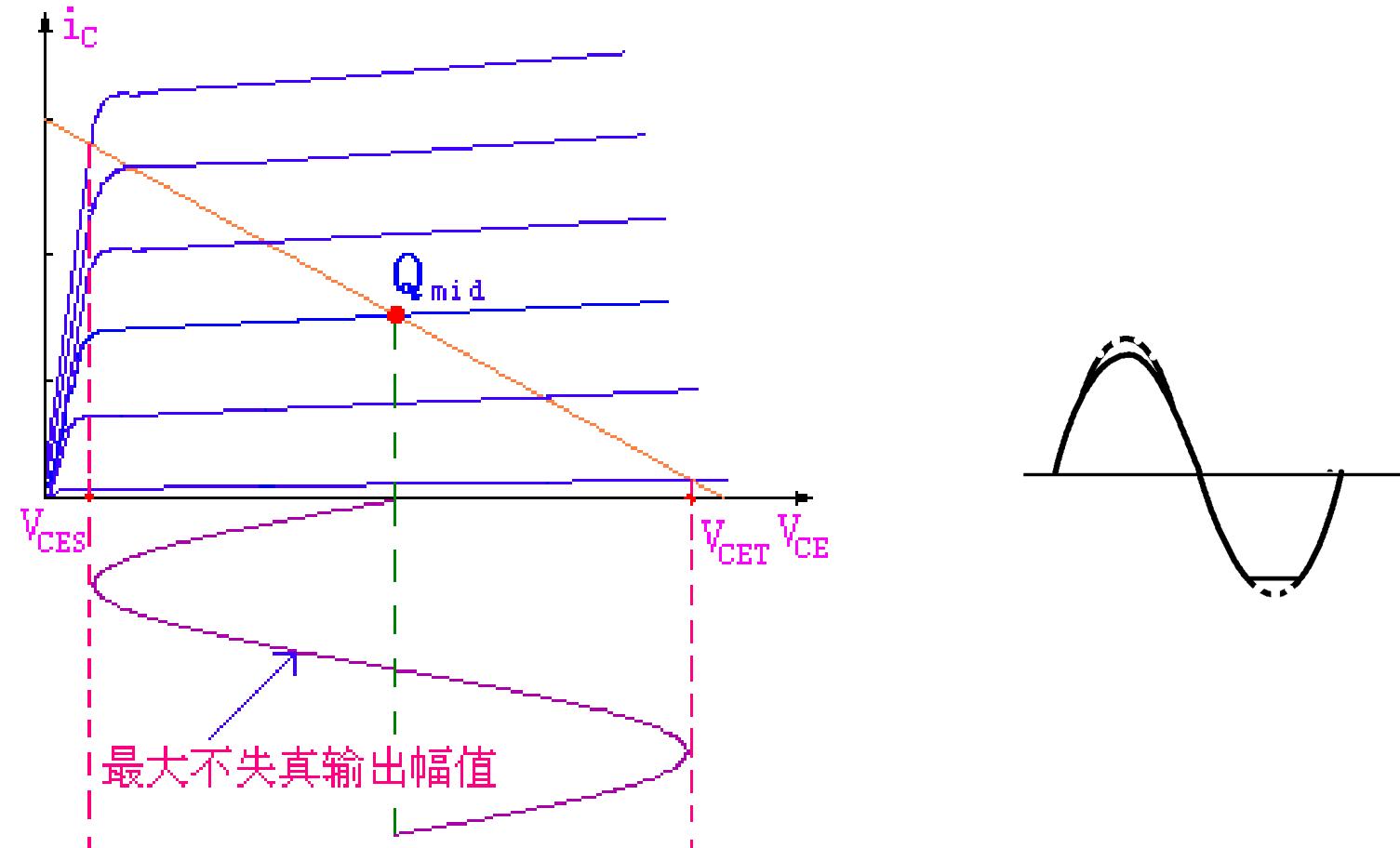


$I_{CQ} \downarrow$ , 三极管进入截止区而引起的失真,  $u_o$ 出现截止失真, 形状为“缩顶”失真。  
通过减小基极偏置电阻的阻值来消除。



## 实验原理—静态工作点对输出波形的影响

当Q点在负载线中间时，能使电路不失真输出电压最大。



$I_{CQ}$ 正常，即工作点选在交流负载线的中心，当加大输入信号时， $u_o$ 同时出现饱和与截止失真。

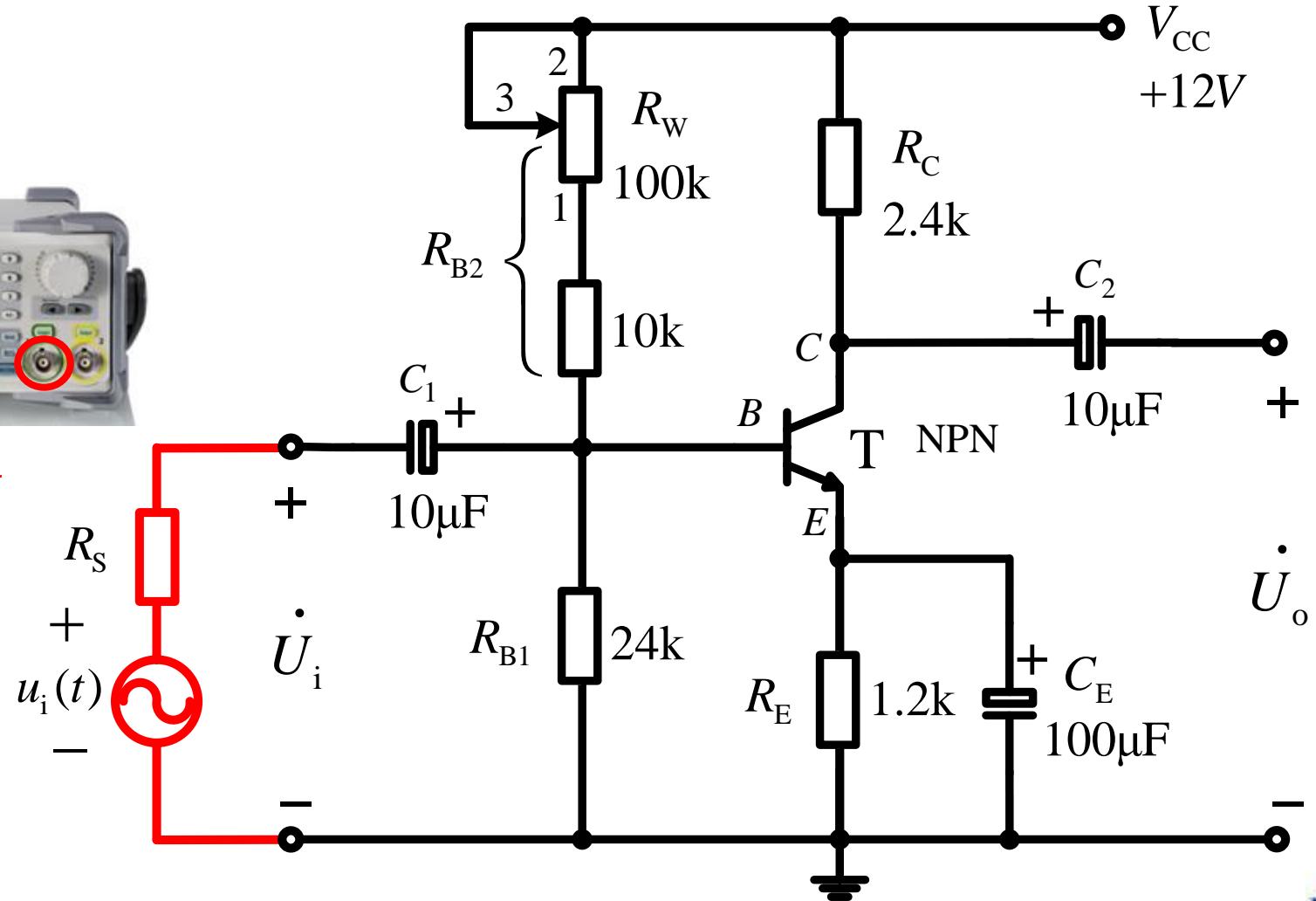


# 实验内容—静态工作点对输出波形失真的影响

## 实验电路图



$U_i = 10\text{mV}$

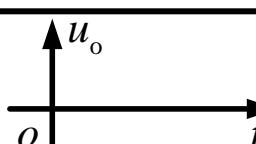
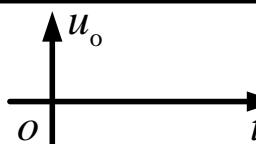




## 实验内容—静态工作点对输出波形失真的影响

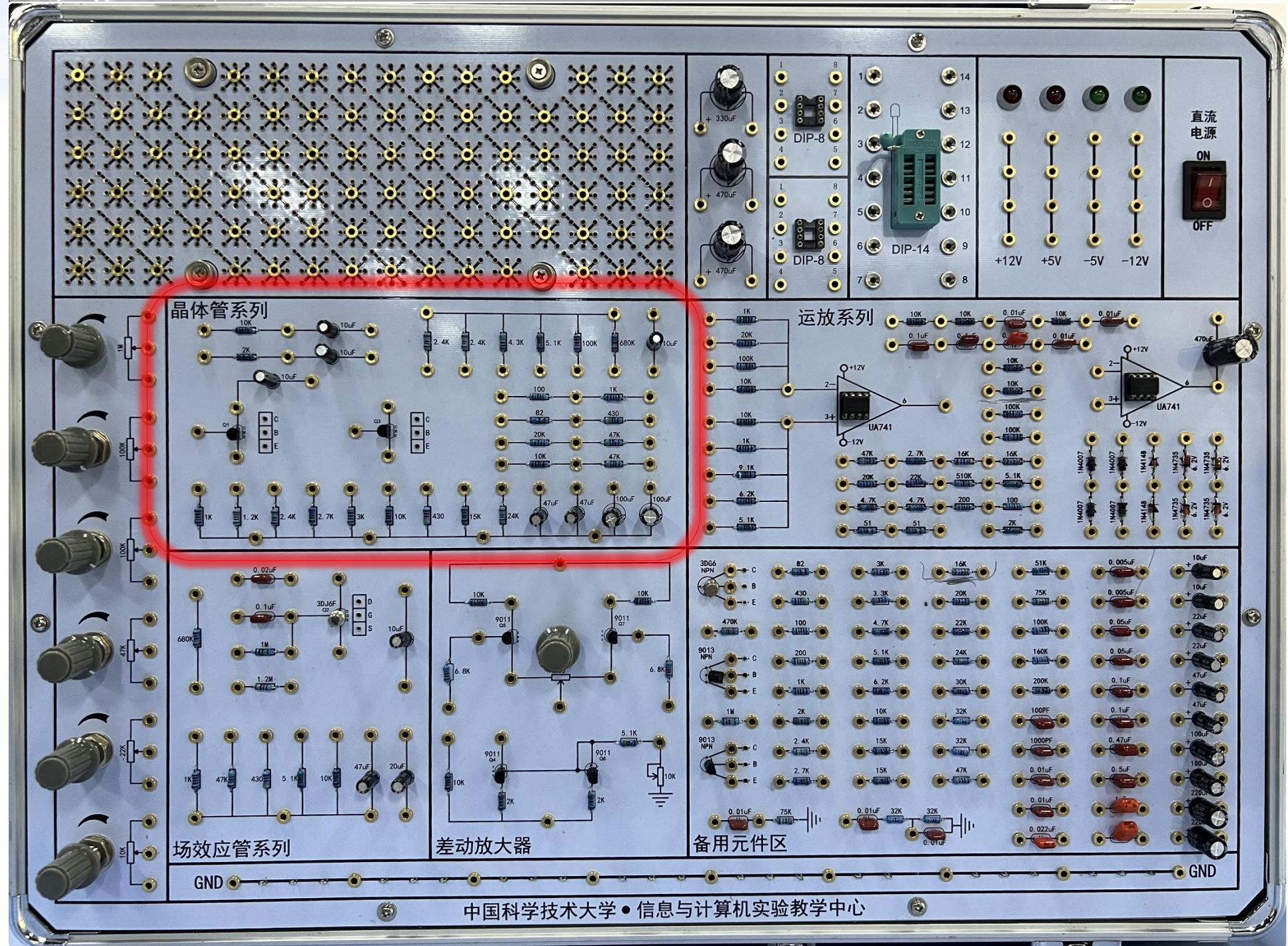
- 加入测试信号，即输入频率为1kHz，有效值 $U_i=10mV$ 的正弦波信号。
- 分别增大和减小电位器 $R_w$ 的阻值，使波形出现明显失真（饱和或截止），绘出 $u_o$ 的波形，在波形图标明相关参数，并分别测出这两种失真情况下的电压 $U_B$ 、 $U_E$ 、 $U_C$ 和电阻 $R_{B2}$ 的值（静态工作点）。完成数据表格4-5。

表4-5  $R_C=2.4k\Omega$ ,  $R_L=\infty$ ,  $u_i=10mV$

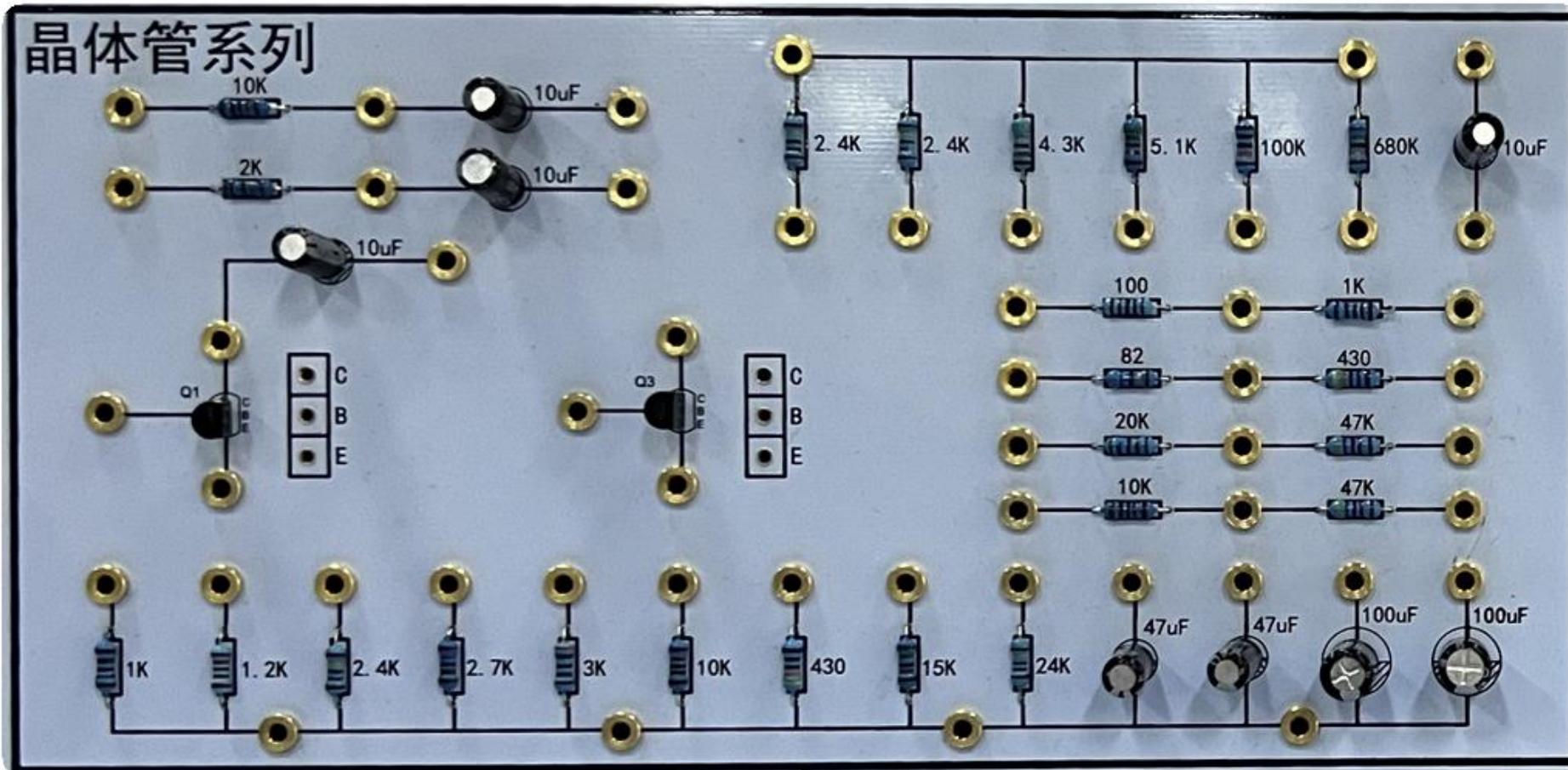
$U_B(V)$	$U_E(V)$	$U_C(V)$	$R_{B2}(\Omega)$	$U_o$ 波形	失真情况
					
					

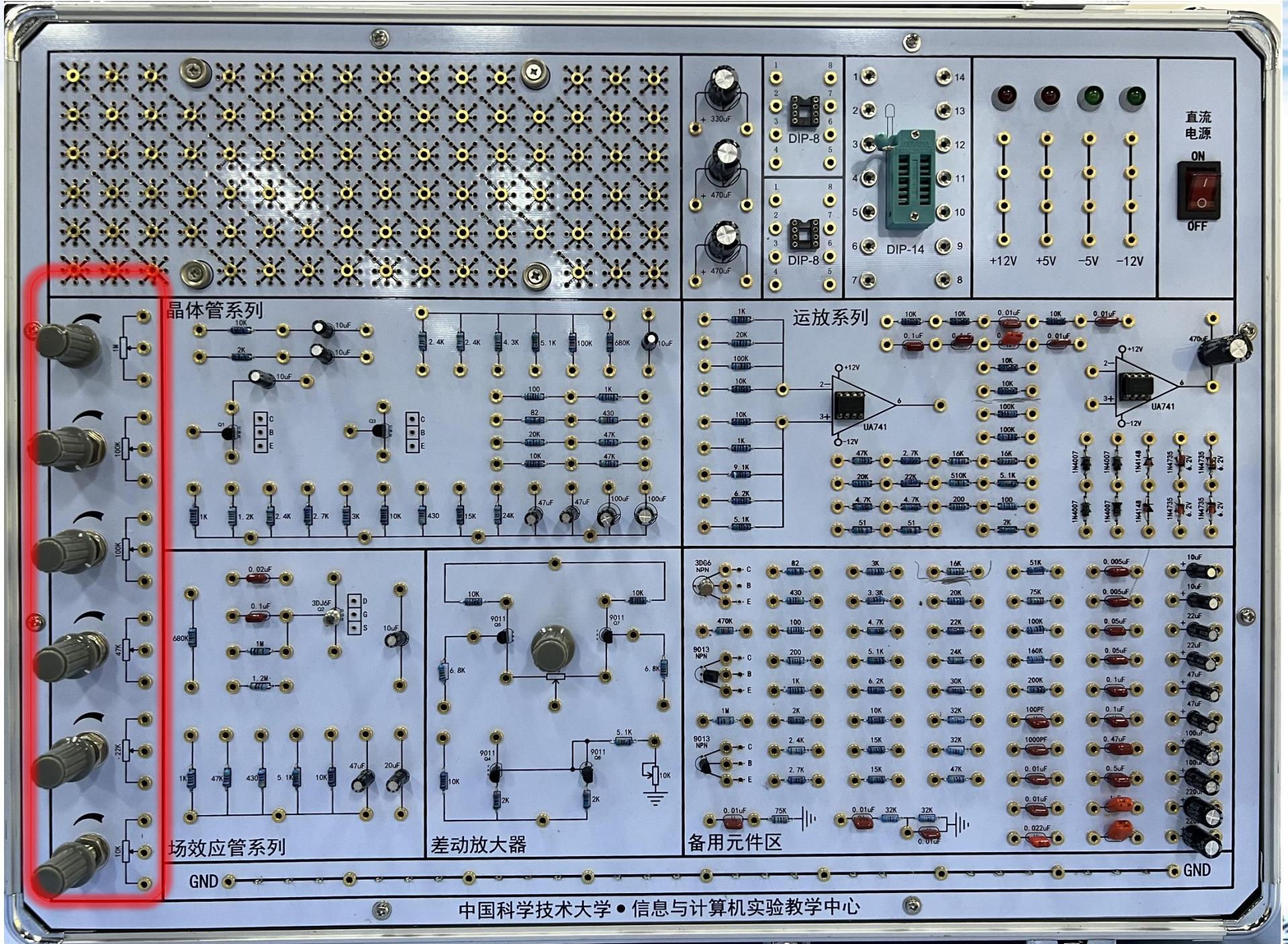
注意

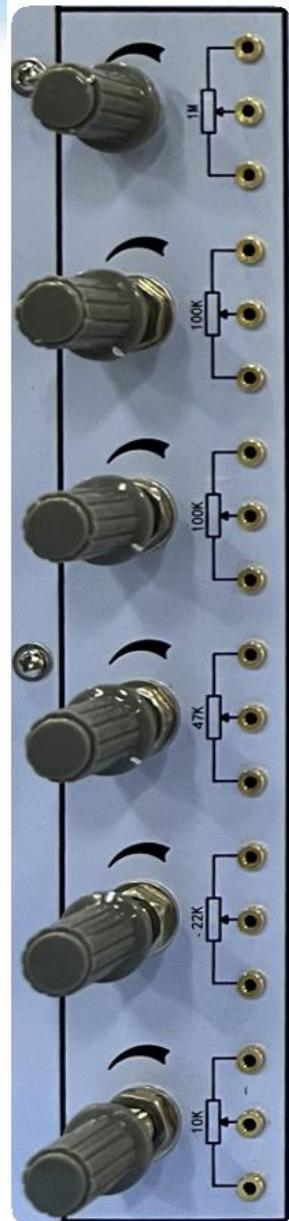
- 在记录静态工作点各测量值时，要使输入信号短路（即 $u_i=0$ ）。
- 在记录电位器 $R_w$ 值时，要使 $R_w$ 与电路断开，没有电流流过。

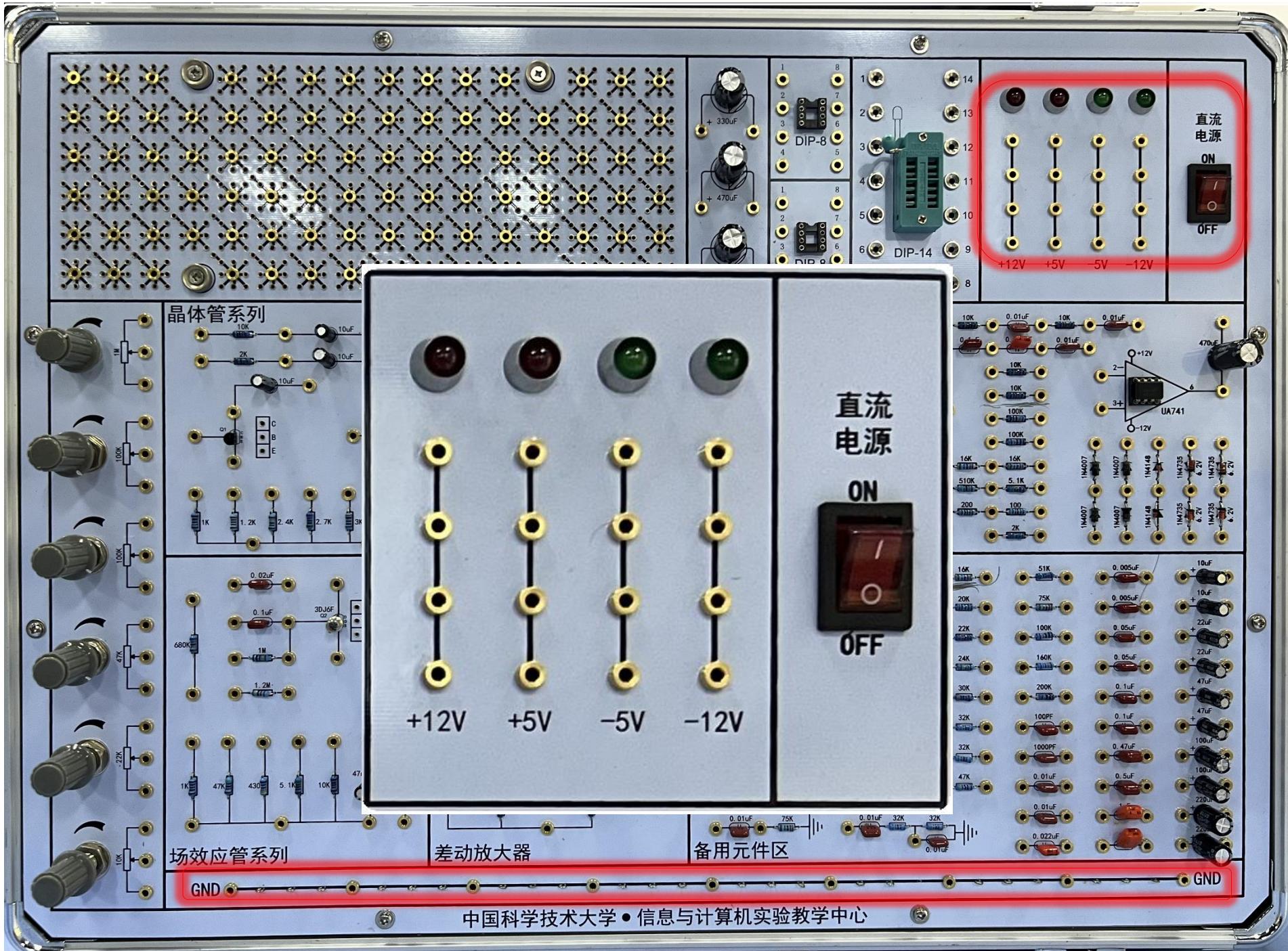


## 晶体管系列









# 实验注意事项



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

1. 不要带电接线，更换元器件。为了防止干扰，各仪器的公共端必须连在一起，直接连在实验箱的公共地上。
2. 连接实验电路时，应注意电解电容的极性。电解电容在电路中一定要按所在电路直流电位极性接入。
3. 在做放大倍数、输入、输出电阻和频率特性等实验测试时，应保持事先规定的静态工作点不变。如果不小心调了电位器 $R_W$ ，则应重新进行静态调试，然后再继续完成各个实验。
4. 在测量频率特性时，要求保持输入信号幅度不变。实验操作时先记录中频时输入、输出电压的值，改变输入信号频率值，找到上、下截止频率点，此时一定要保持输入信号的幅度是中频时的电压值，即中频时记录的输入电压值大小。
5. 用示波器监视输出，所有的测量数据都是在输出不失真的情况下完成的。

# 实验思考题



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

1. 加入输入信号时，输出波形会出现哪几种失真？分别是什么原因引起的？
2. 调整静态工作点时， $R_{B2}$ 是10k电阻与电位器 $R_w$ 相串联，而不能直接用电位器，为什么？
3. 对于本次的单管放大电路，实现放大的条件是？

下次实验112实验室：

分组2 门电路测试与应用  
分组1 抢答器