



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



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。

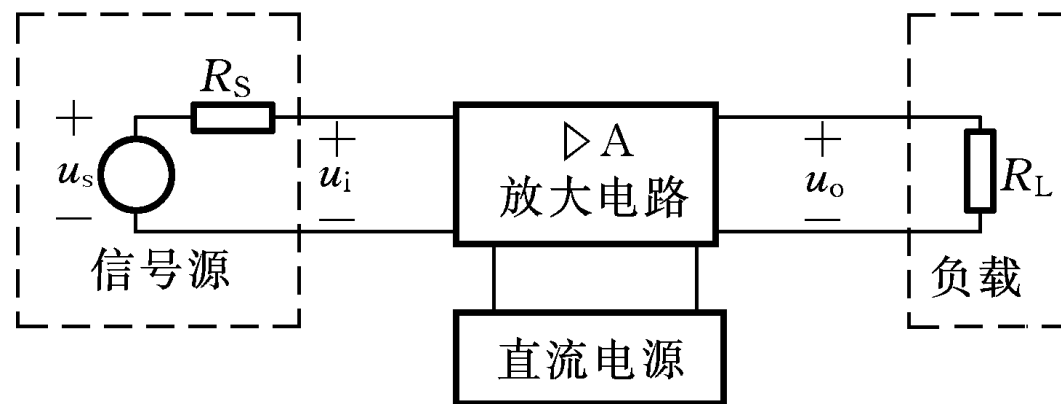


中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

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。

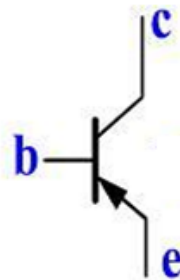
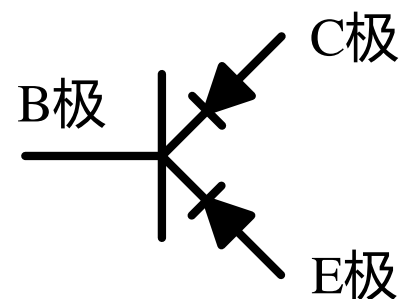
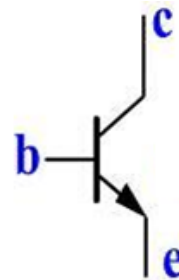
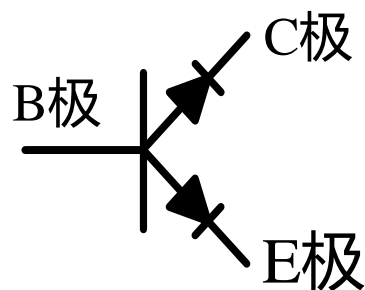
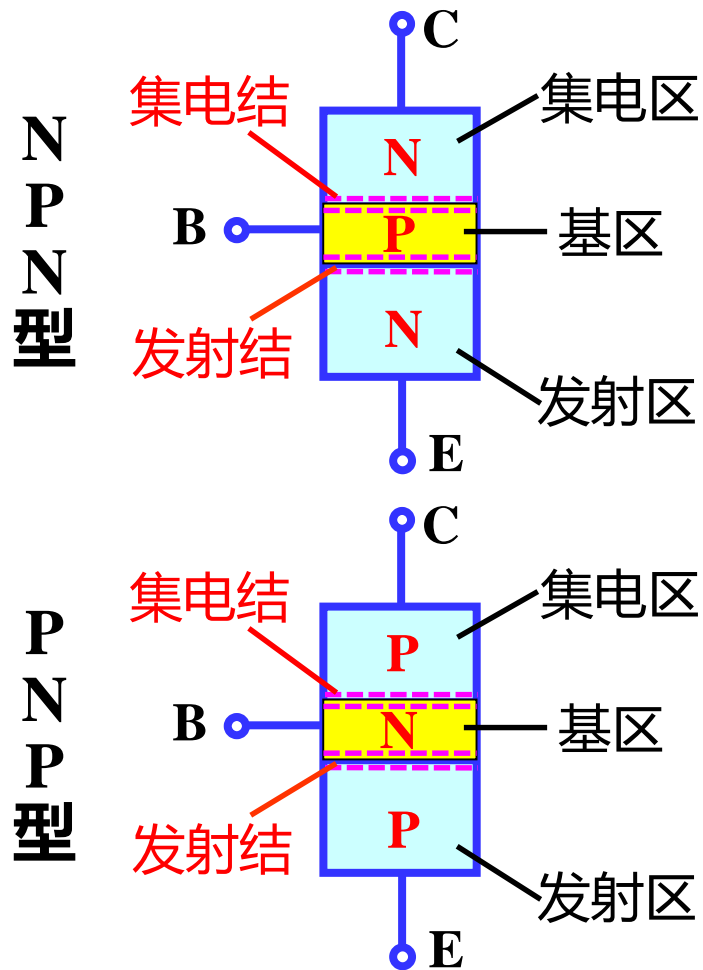
三极管放大的实质：

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)

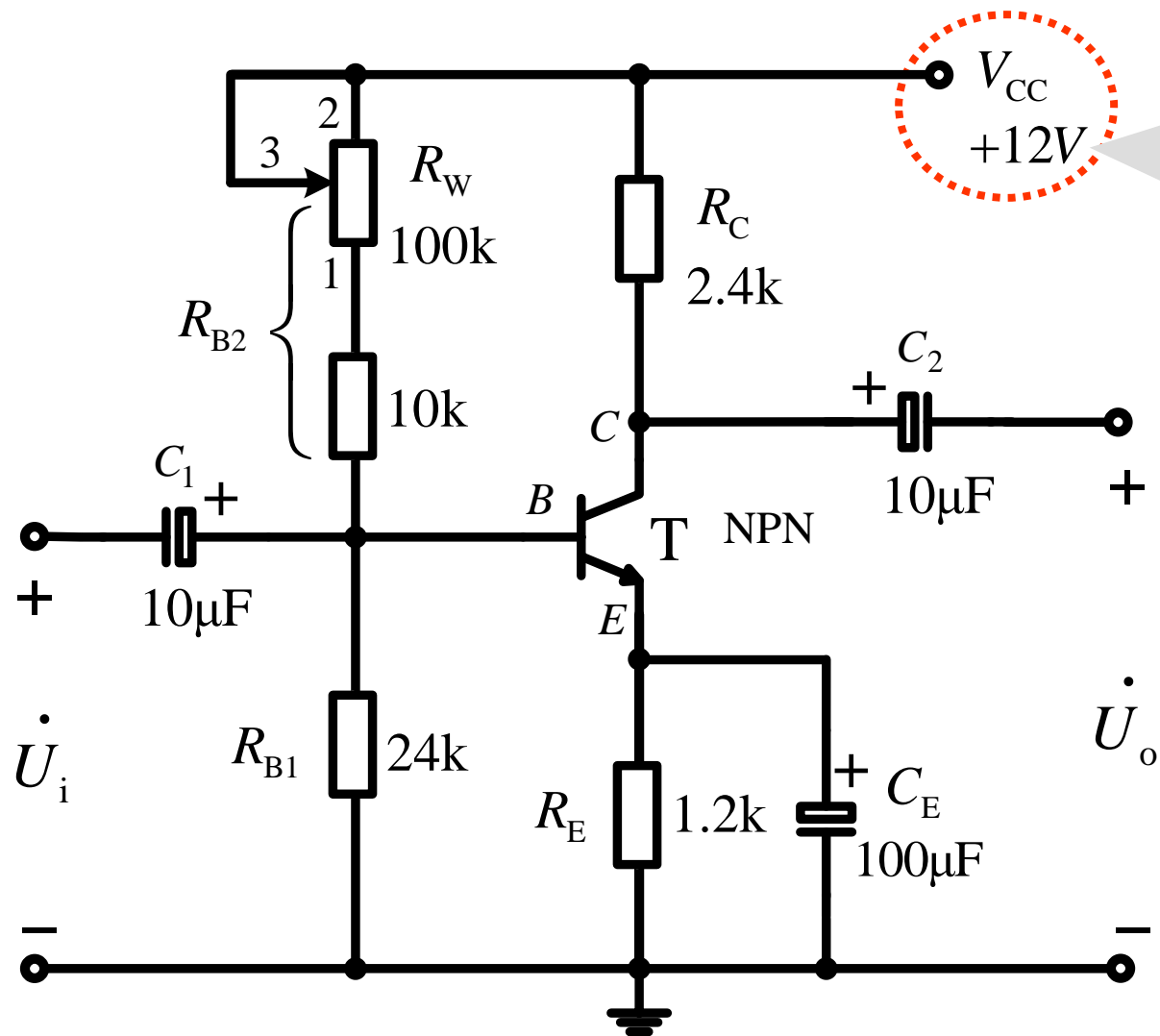
3—Collector (集电极)

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

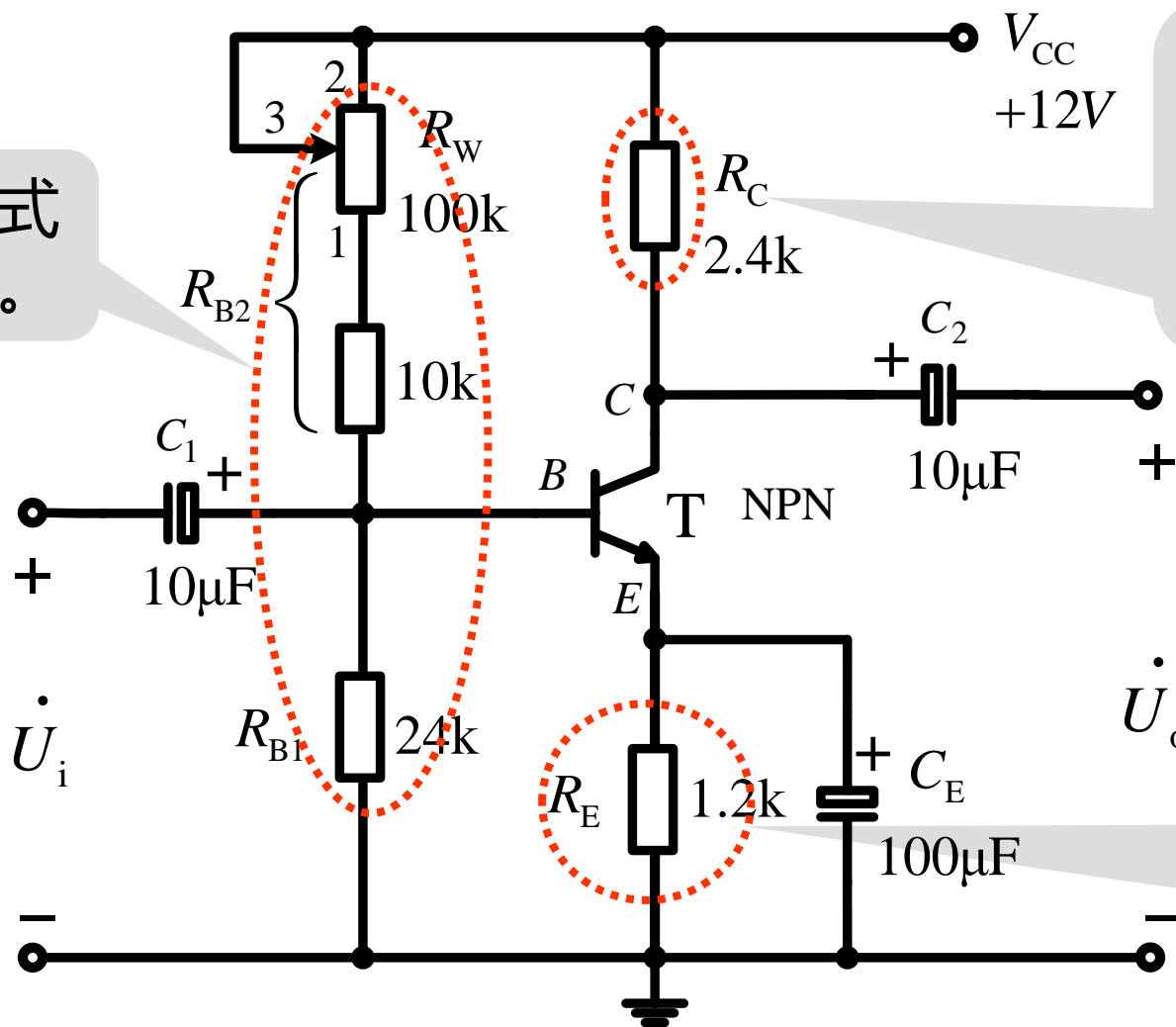


集电极电源，为电路提供能量。并保证集电结反偏，发射结正偏。



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。

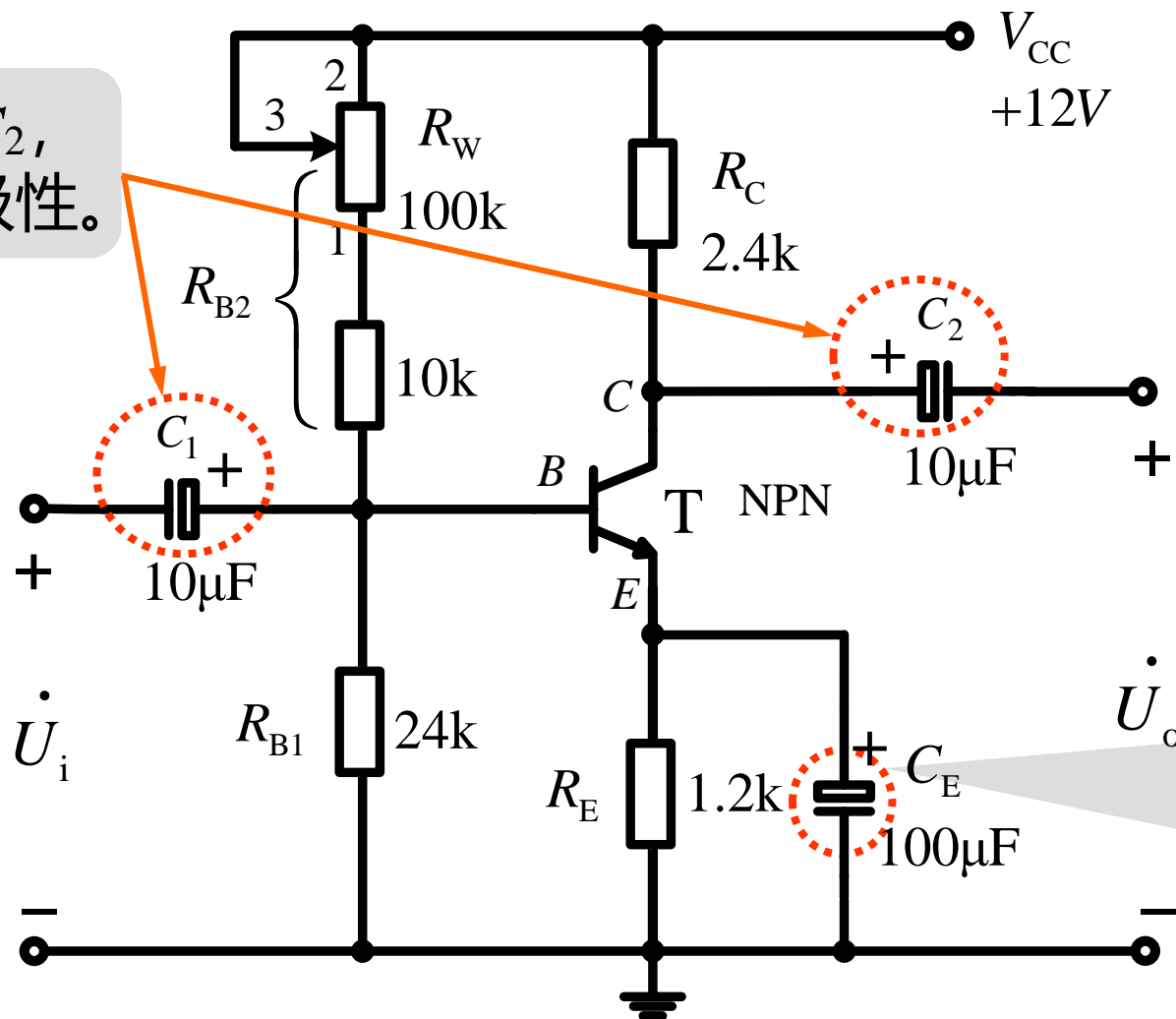
发射极电阻 R_E ，引入负反馈稳定电路静态工作点。



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

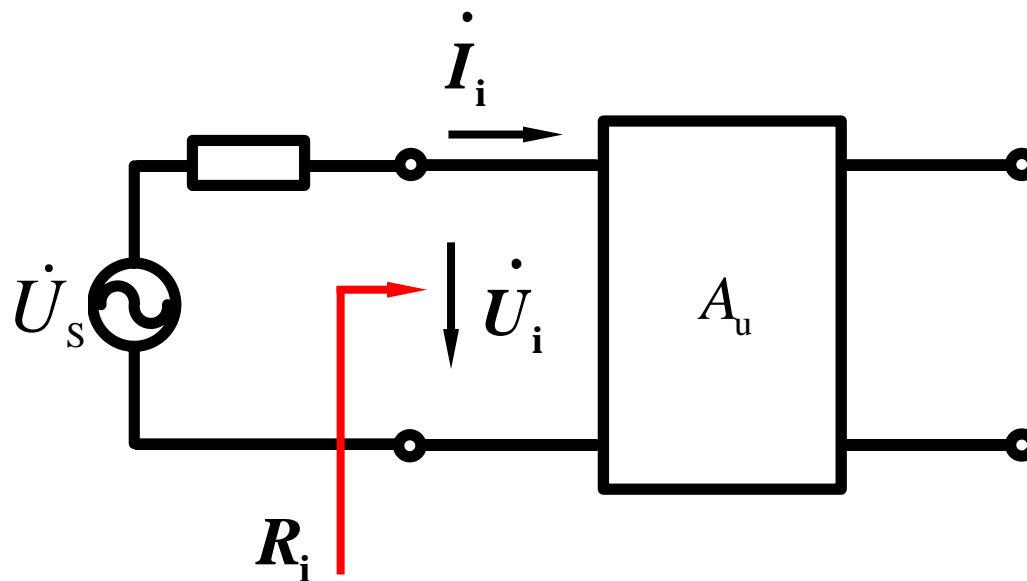
1. **三极管 T** : 是电路的核心, 工作在放大区, 实现电流放大。
2. **集电极直流电源 V_{CC}** : 为电路提供能量, 并保证集电结反偏。一般为几伏~几十伏。
3. **发射极电阻 R_C** : 将变化的电流转换为变化的电压, 以实现电压的放大。一般为几千欧~几十千欧。
4. **基极电阻 R_{B1} 、 R_{B2}** : 保证发射结正偏, 并为电路提供大小合适的静态基极电流 I_B 。
5. **耦合电容 C_1 、 C_2** : 隔直通交。隔离输入、输出信号与电路直流的联系, 同时能使交流信号顺利输入输出。其为电解电容, 有极性, 一般为 $10\mu\text{F}$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

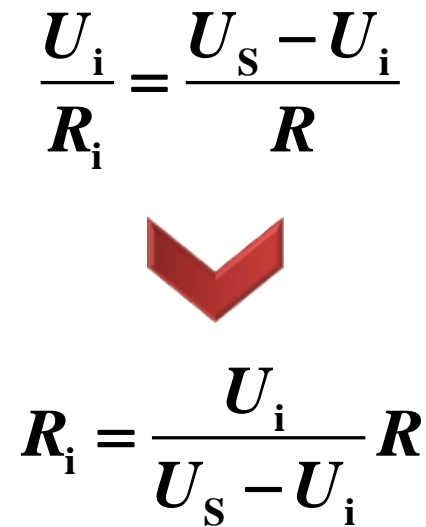
$$R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i}$$



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

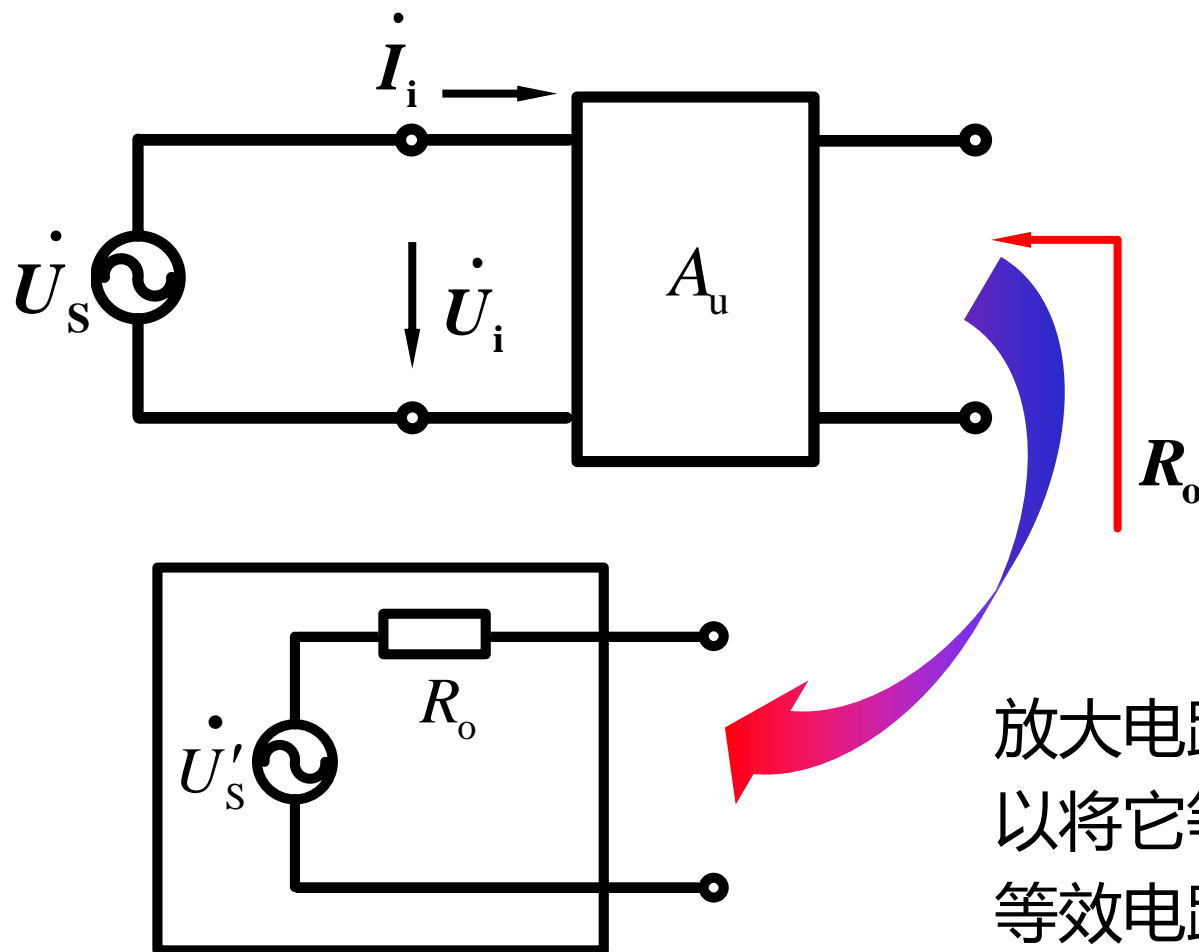


注意

中国科学技术大学



实验原理—输出电阻



输出电阻定义:

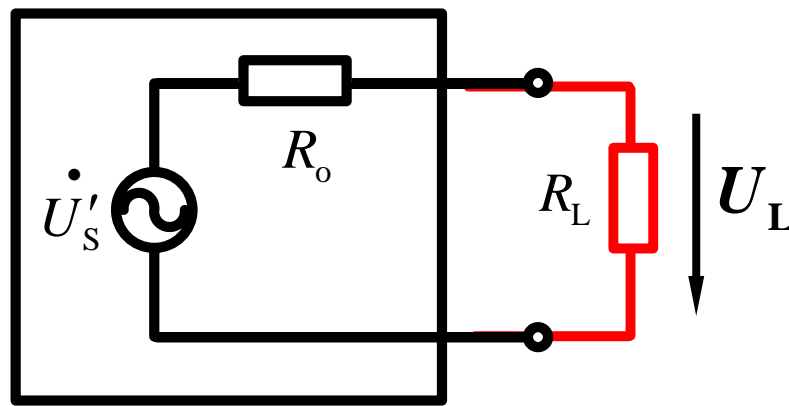
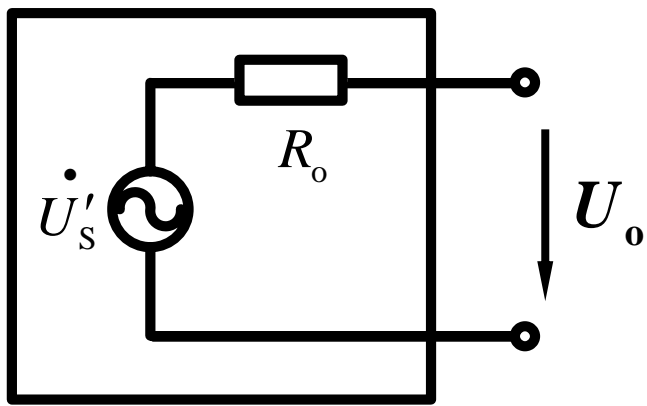
$$R_o = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_o} \bigg|_{\dot{U}_s = 0, R_L = \infty}$$

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

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

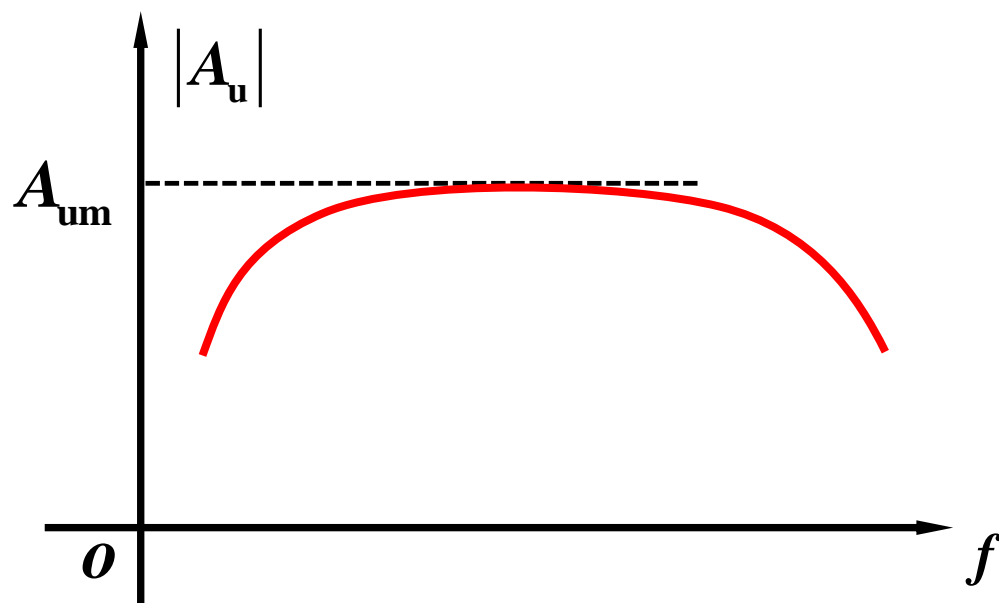
注意

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。

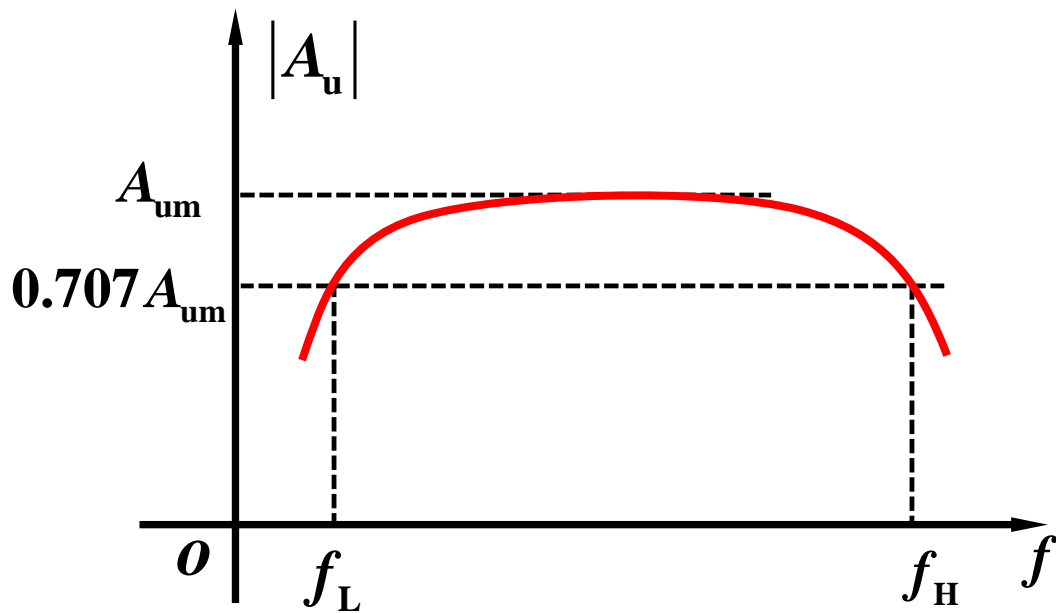


放大电路的幅频特性曲线



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

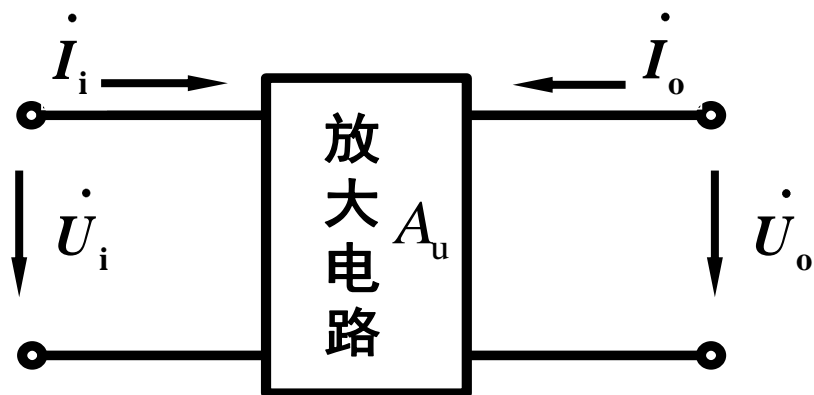
通频带 BW :

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

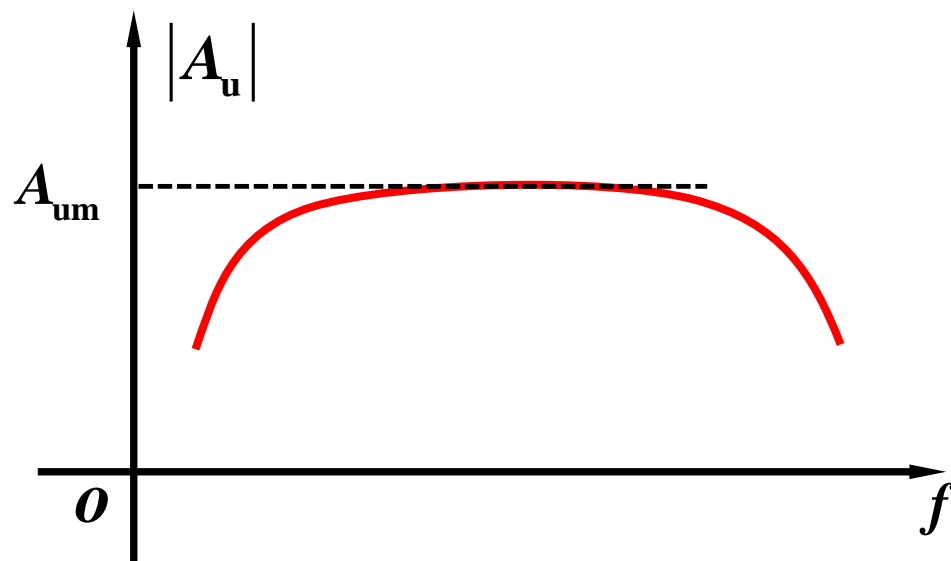
通频带越宽，放大器对信号的频率变化适应能力越强。



实验原理—幅频特性的测量方法



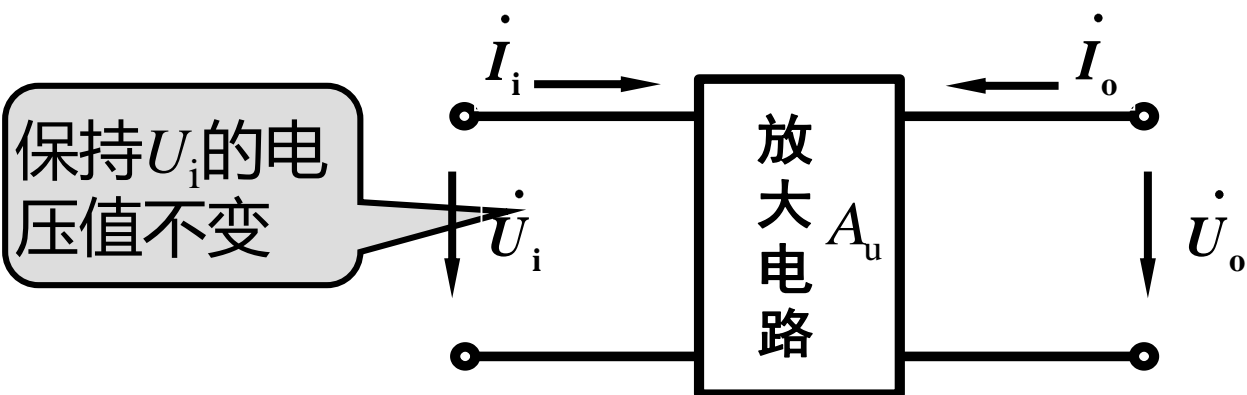
“点频法”测量放大器的幅频特性。



放大电路的幅频特性曲线

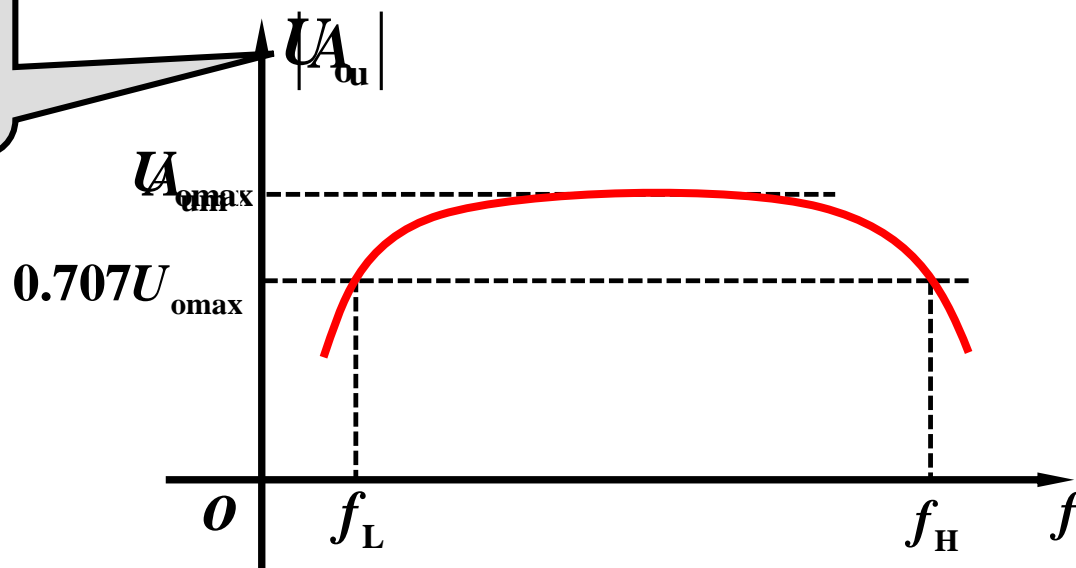


实验原理—幅频特性的测量方法



“点频法”测量放大器的幅频特性。

简化成 U_o 与 f 的关系



放大电路的幅频特性曲线

通频带 BW ：

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



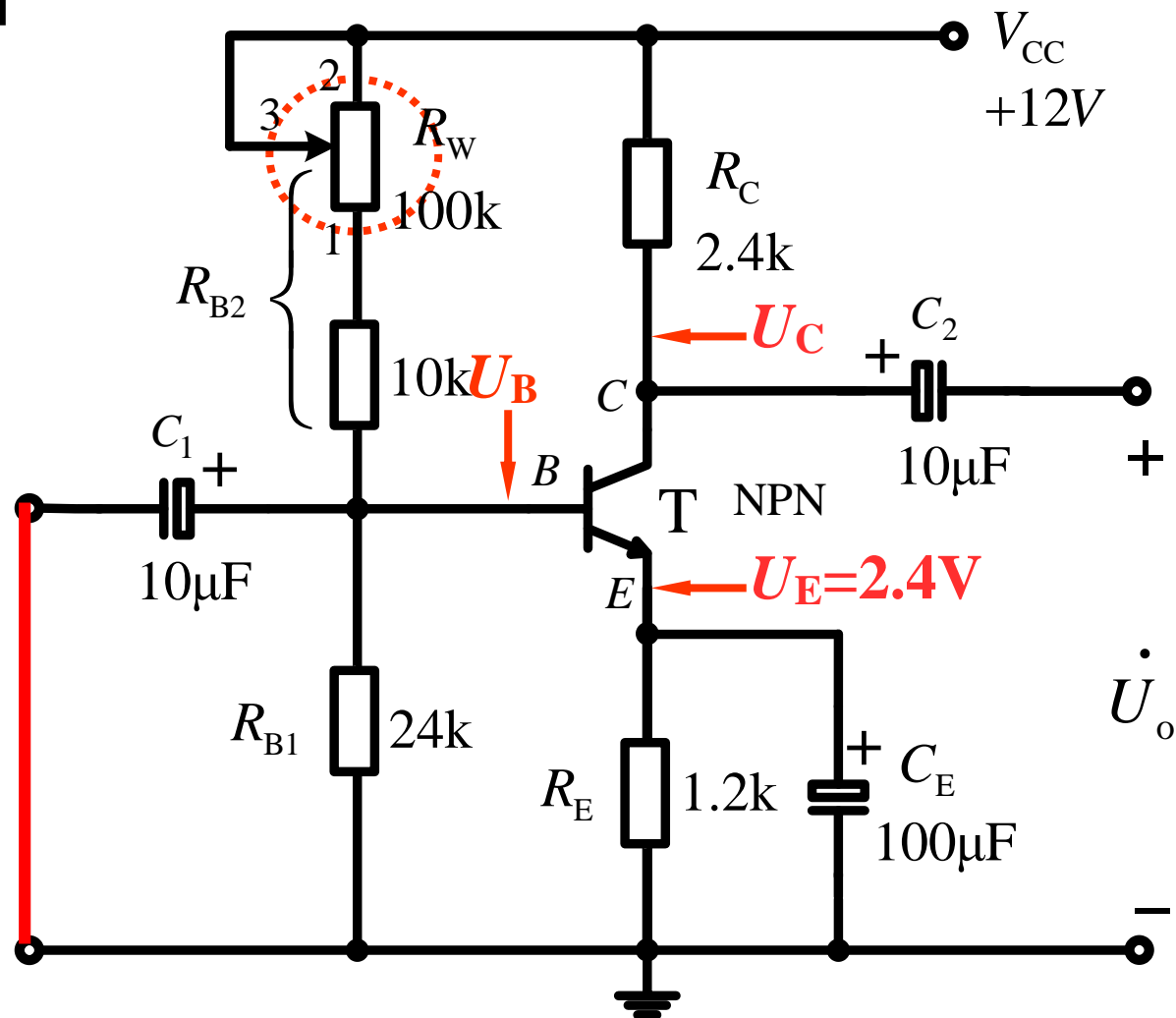
中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

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



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。

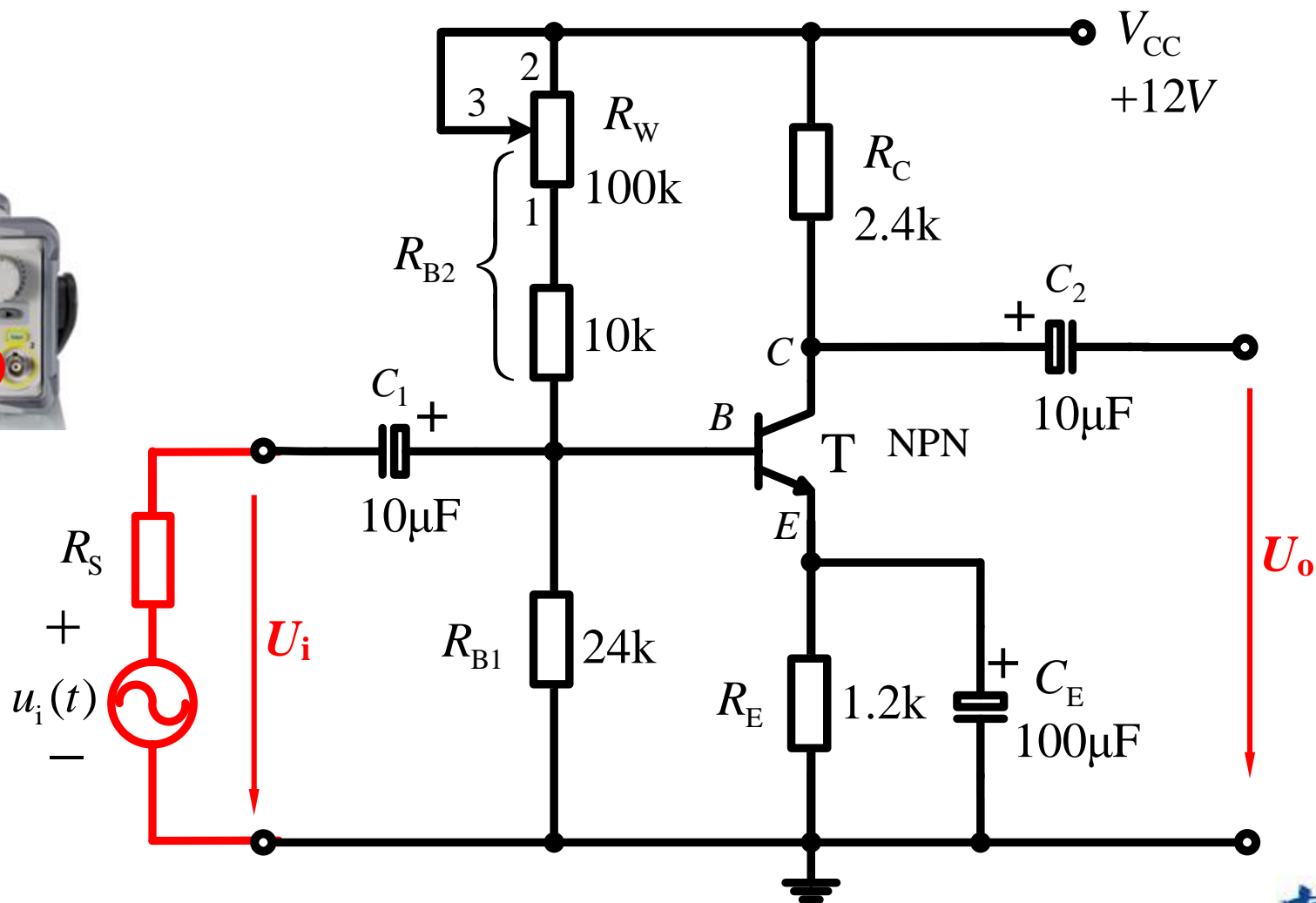


实验内容—动态指标的测试

电压放大倍数和输出电阻的测试



$$U_i = 5\text{mV}$$



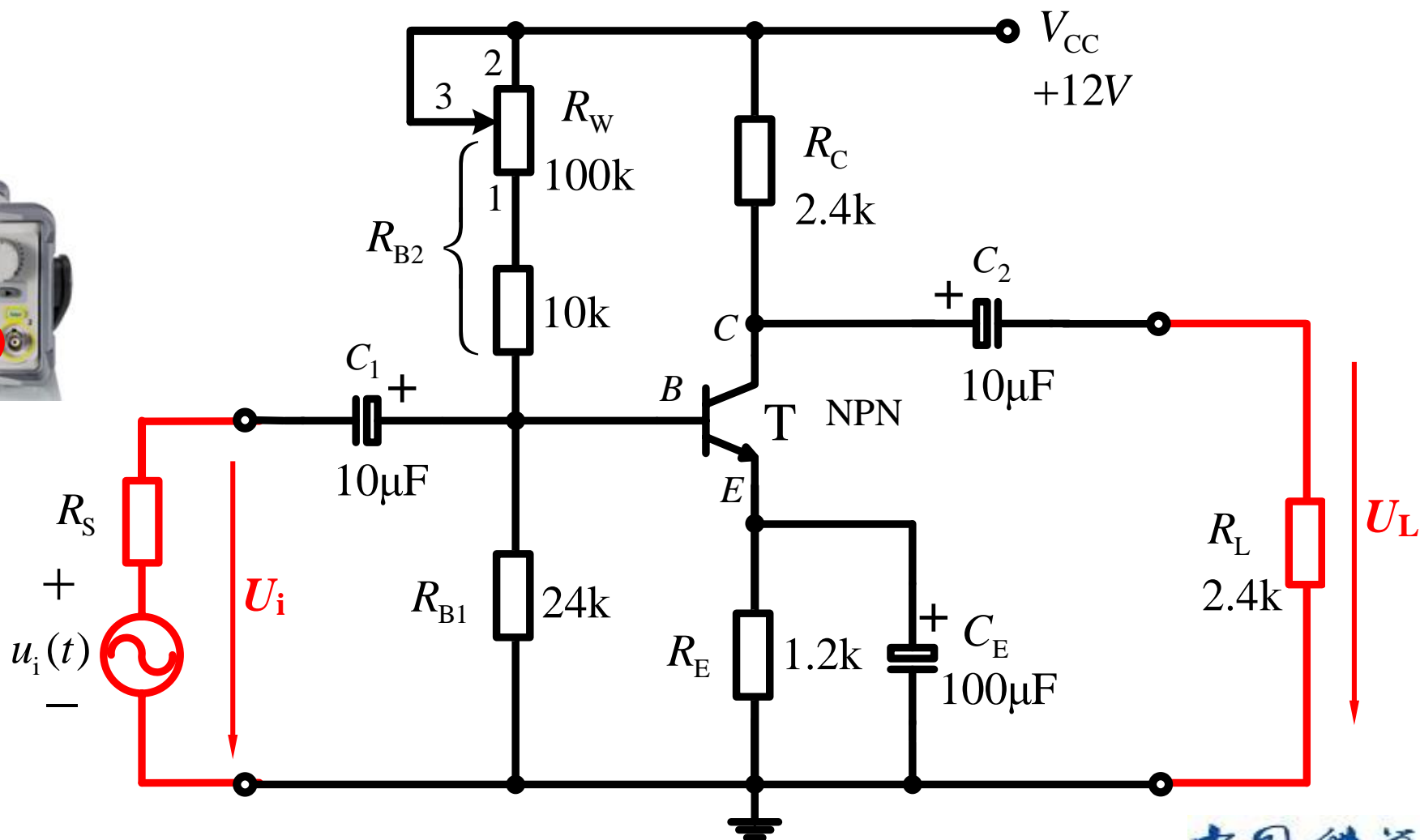


实验原理—动态指标的测试

电压放大倍数和输出电阻的测试



$$U_i = 5\text{mV}$$



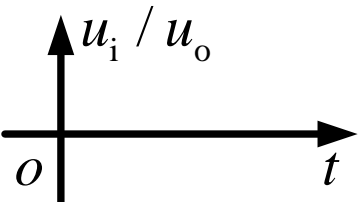


实验内容—动态指标的测试

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)
∞	$U_o=?$?	?	
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。

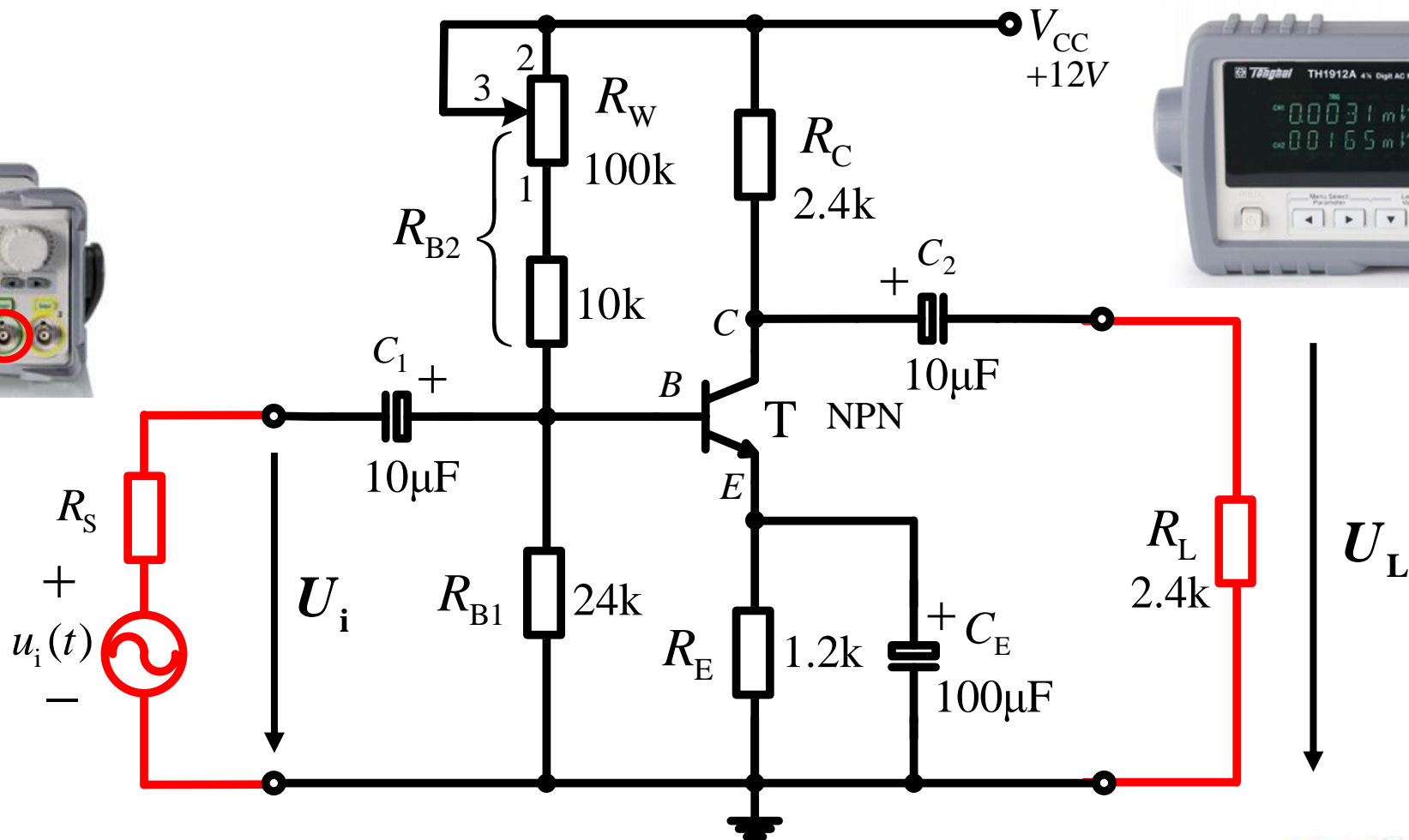


实验内容—动态指标的测试

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 (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	$U_L / \sqrt{2}$	$U_L = ?$	$U_L / \sqrt{2}$

注意

- 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。



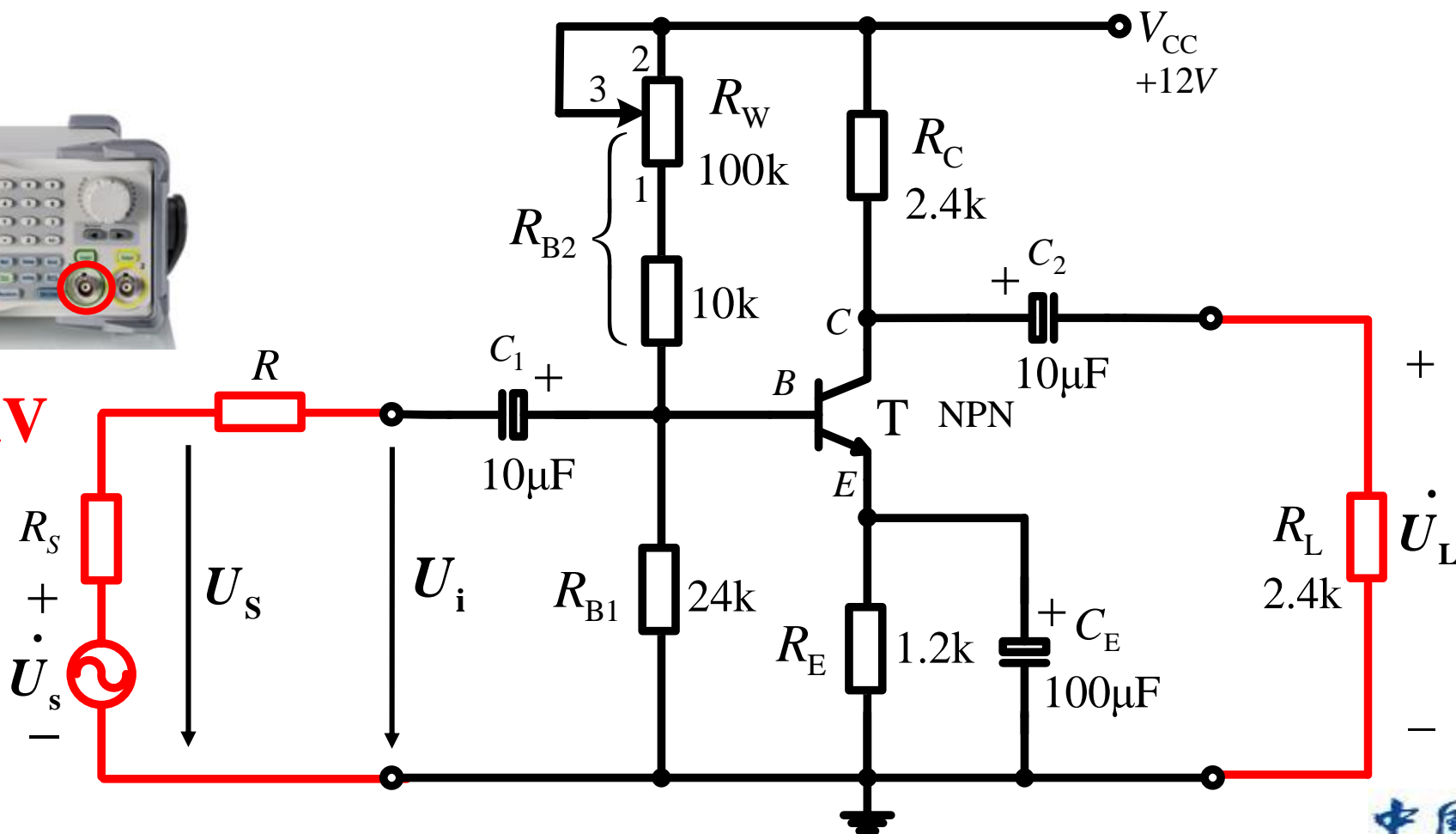
实验内容—动态指标的测试

输入电阻的测试—实验电路图

按下图正确连线，取样电阻 $R=2\text{k}\Omega$ ，负载 $R_L=2.4\text{k}\Omega$ 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：
$$R_i = \frac{U_i}{U_S - U_i} R$$

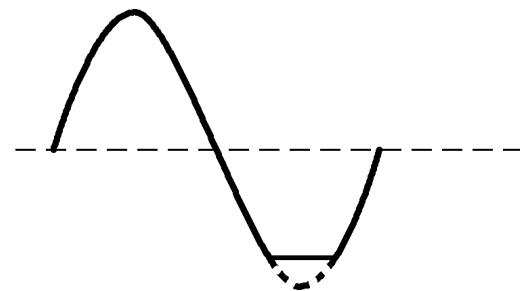
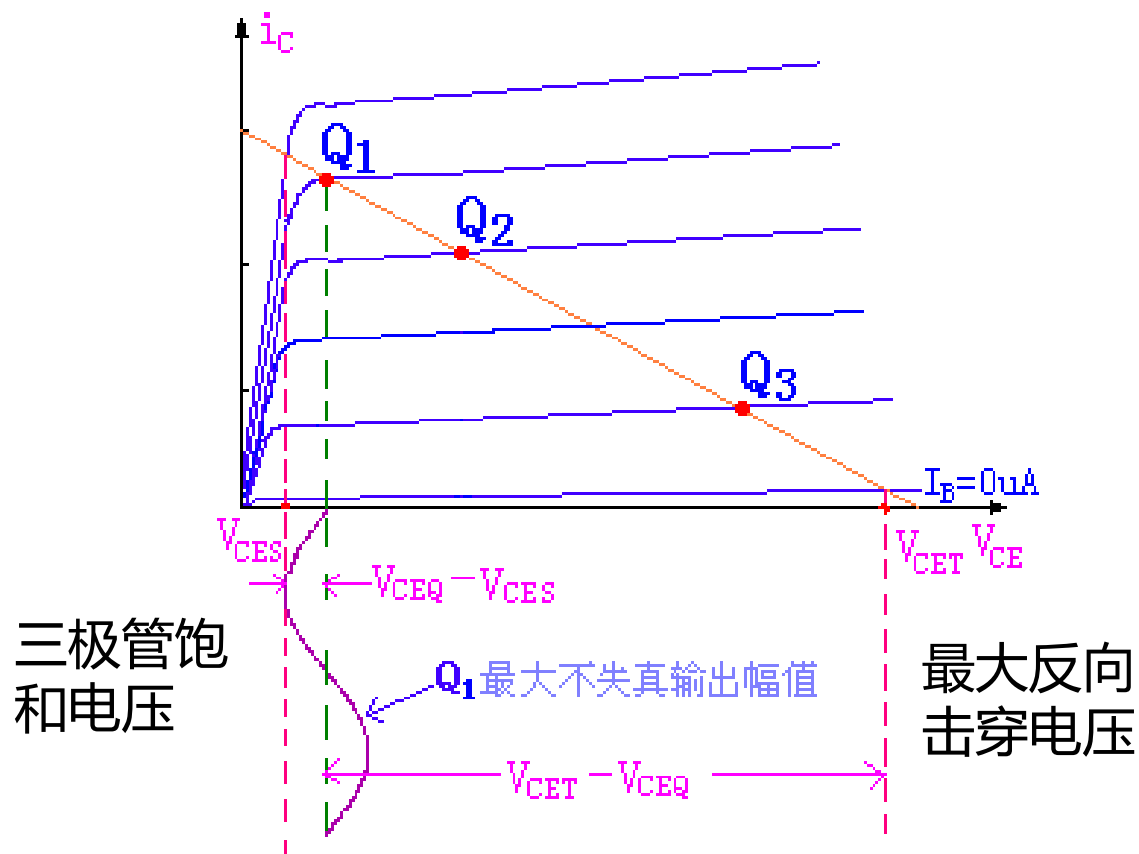
注意

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

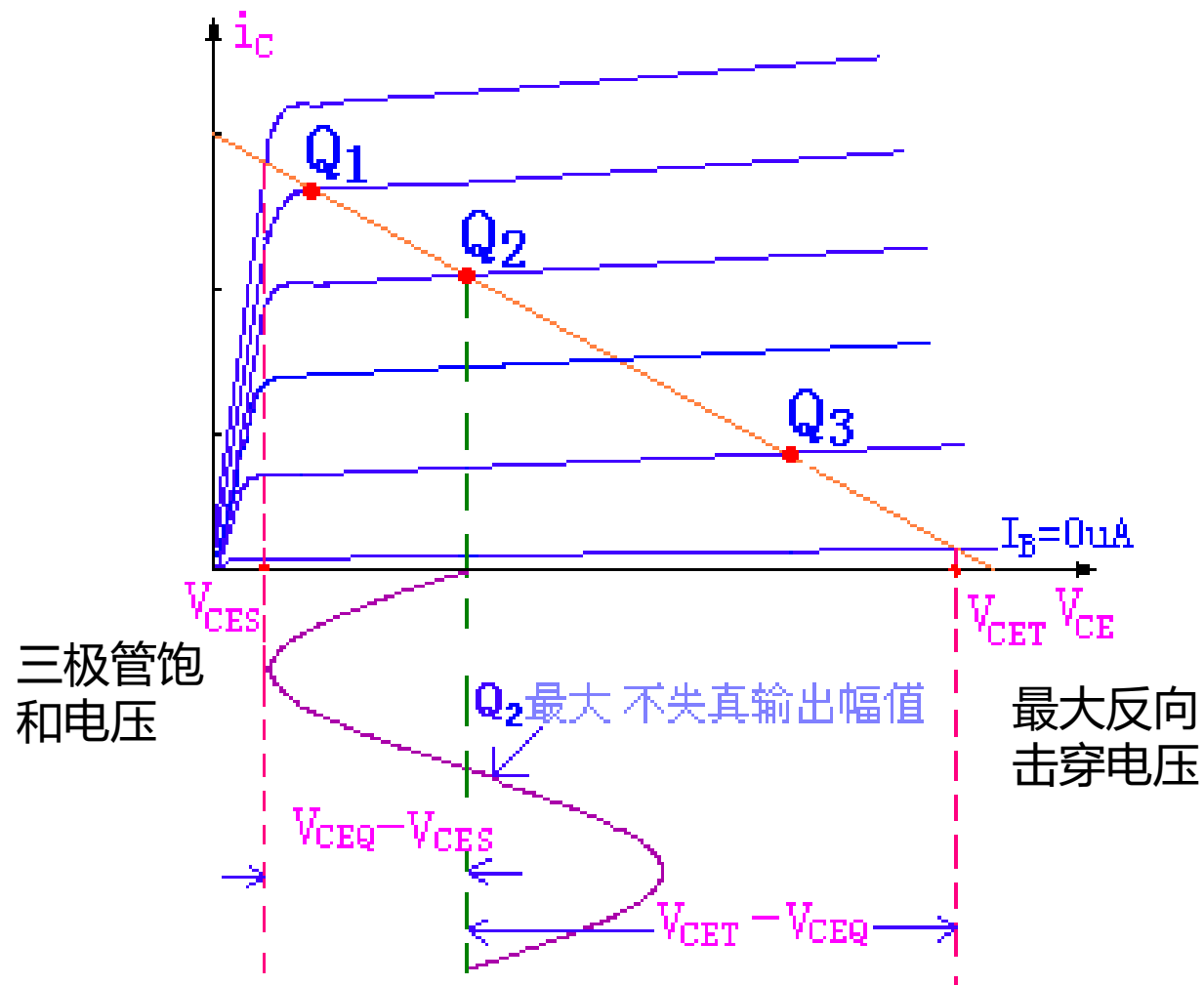


$I_{CQ} \uparrow$, 三极管进入饱和区而引起的失真, u_o 出现饱和失真, 形状为“削底”失真。
通过增大基极偏置电阻的阻值来消除。



实验原理—静态工作点对输出波形的影响

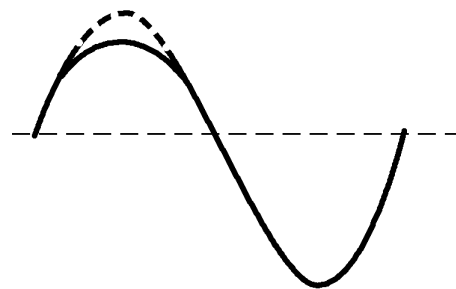
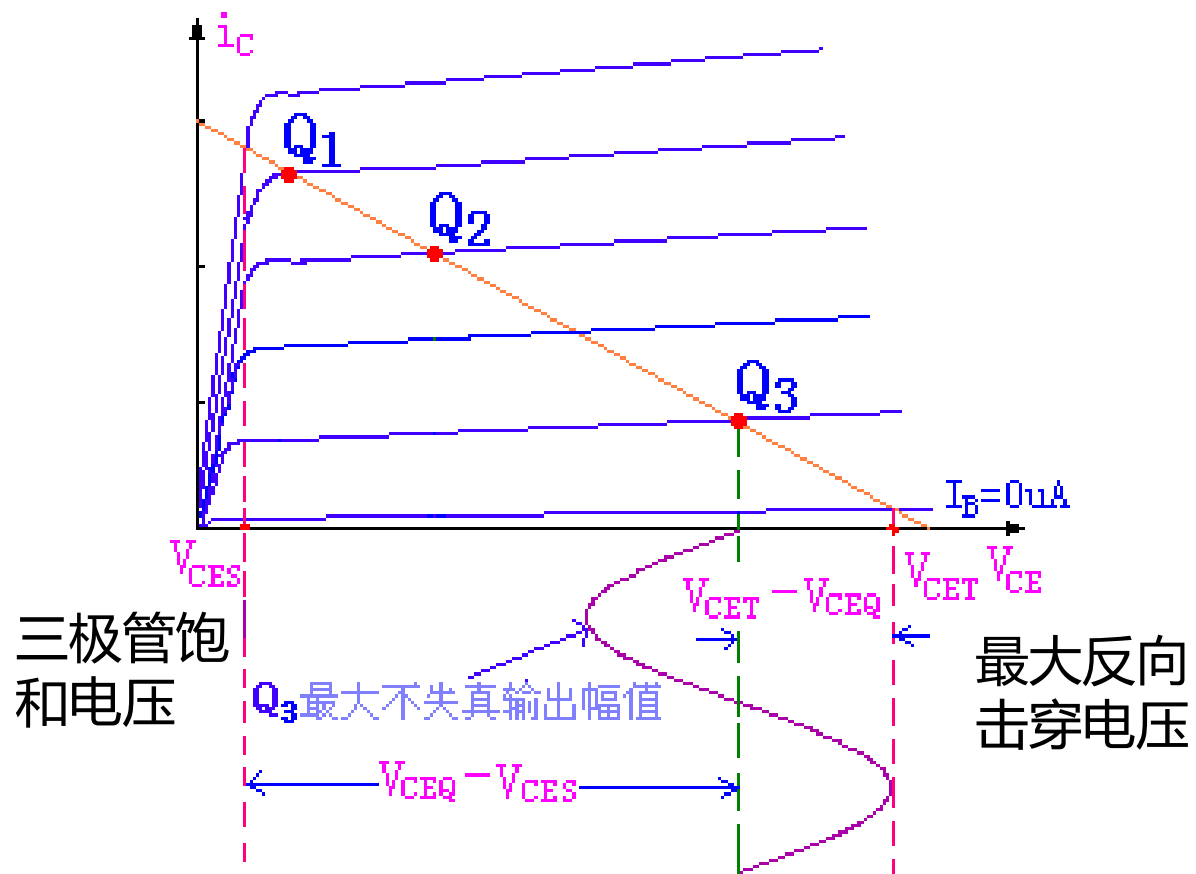
Q_2 不失真输出最大幅值





实验原理—静态工作点对输出波形的影响

Q_3 不失真输出最大幅值

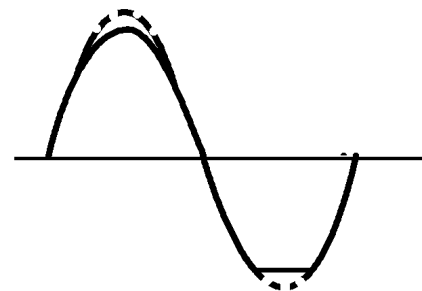
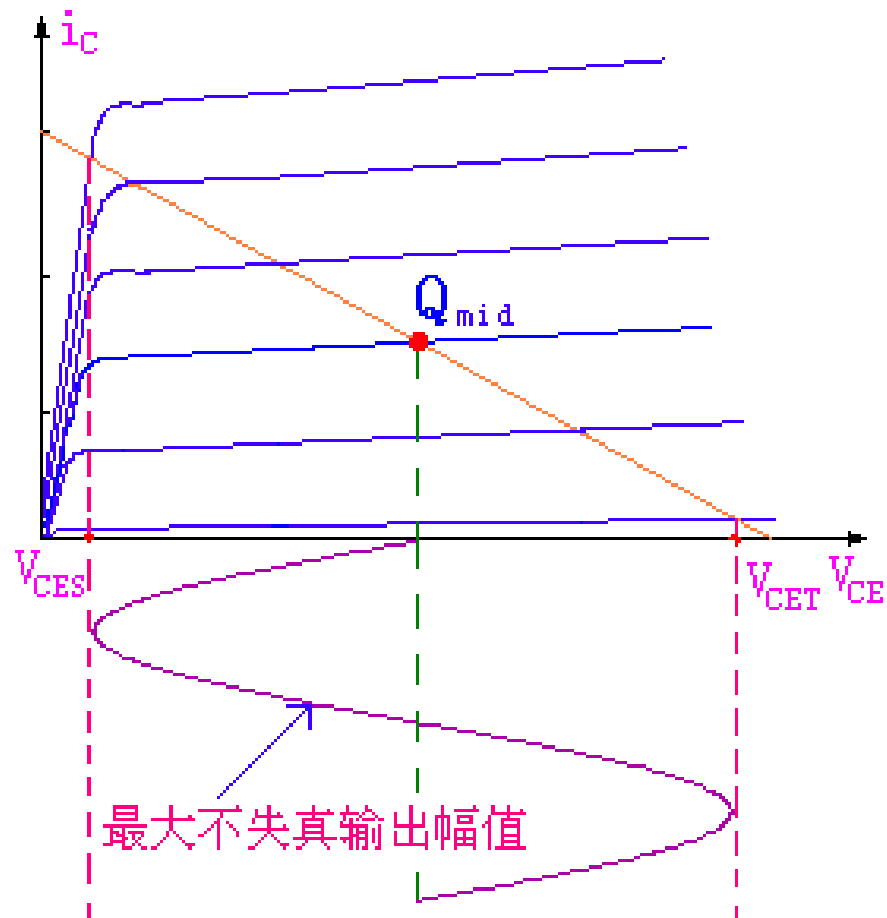


$I_{CQ} \downarrow$, 三极管进入截止区而引起的失真, u_o 出现截止失真, 形状为“缩顶”失真。
通过减小基极偏置电阻的阻值来消除。



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。

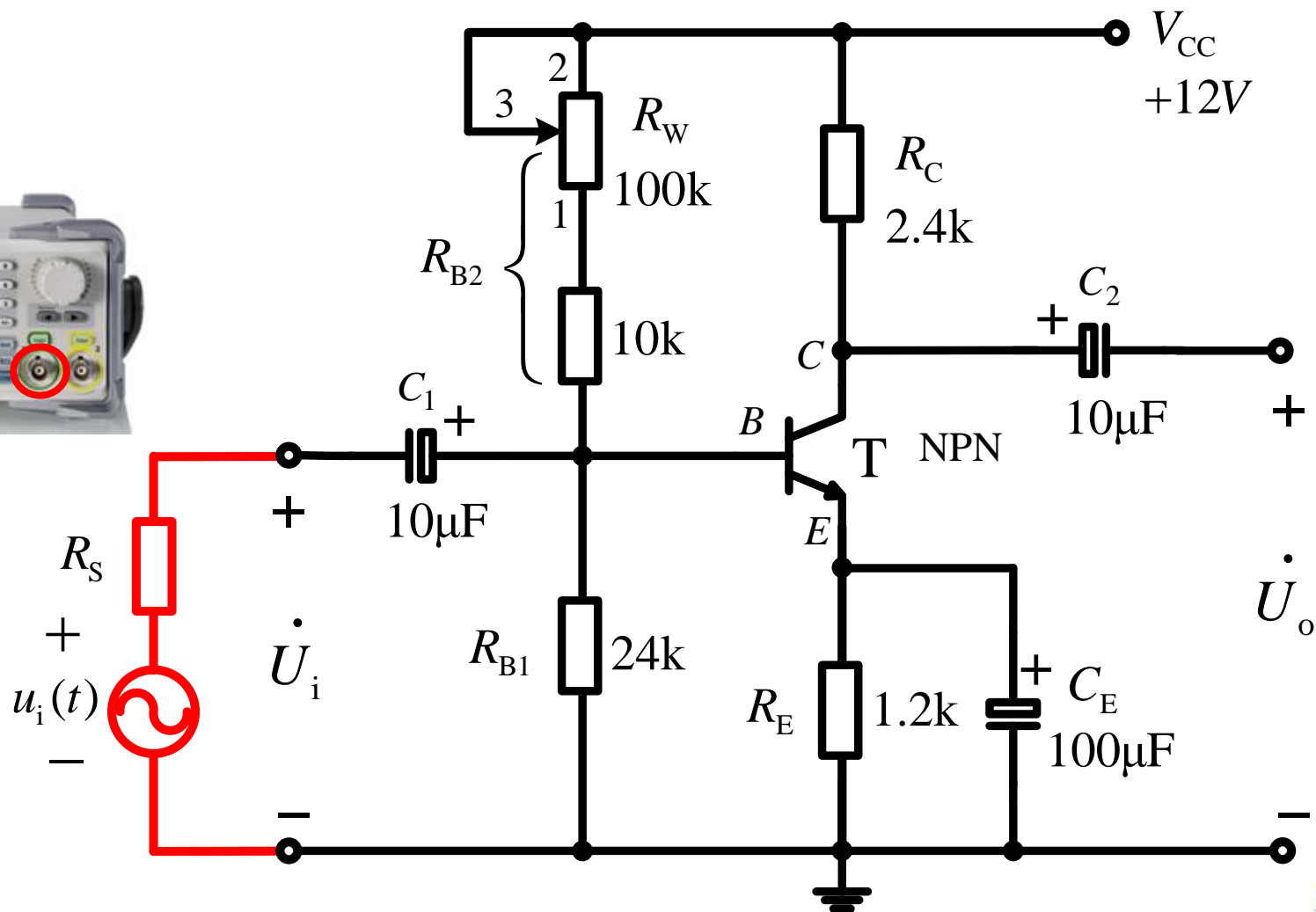


实验内容—静态工作点对输出波形失真的影响

实验电路图



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

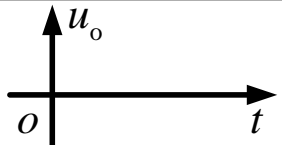
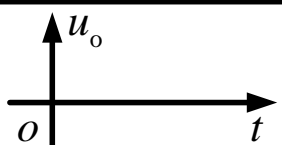




实验内容—静态工作点对输出波形失真的影响

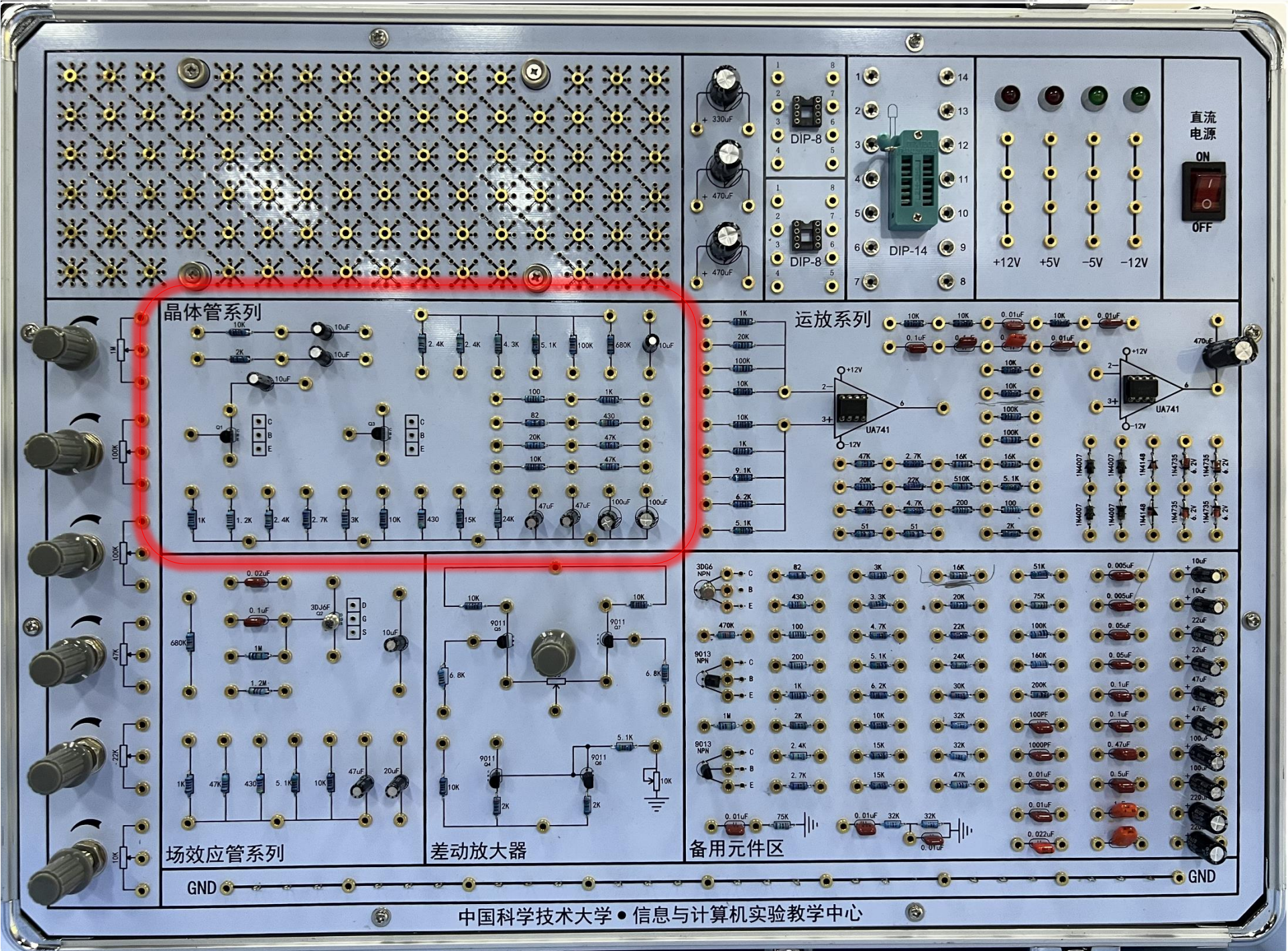
- 加入测试信号，即输入频率为1kHz，有效值 $U_i=10\text{mV}$ 的正弦波信号。
- 分别增大和减小电位器 R_w 的阻值，使波形出现明显失真（饱和或截止），绘出 u_o 的波形，在波形图标明相关参数，并分别测出这两种失真情况下的电压 U_B 、 U_E 、 U_C 和电阻 R_{B2} 的值（静态工作点）。完成数据表格4-5。

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

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

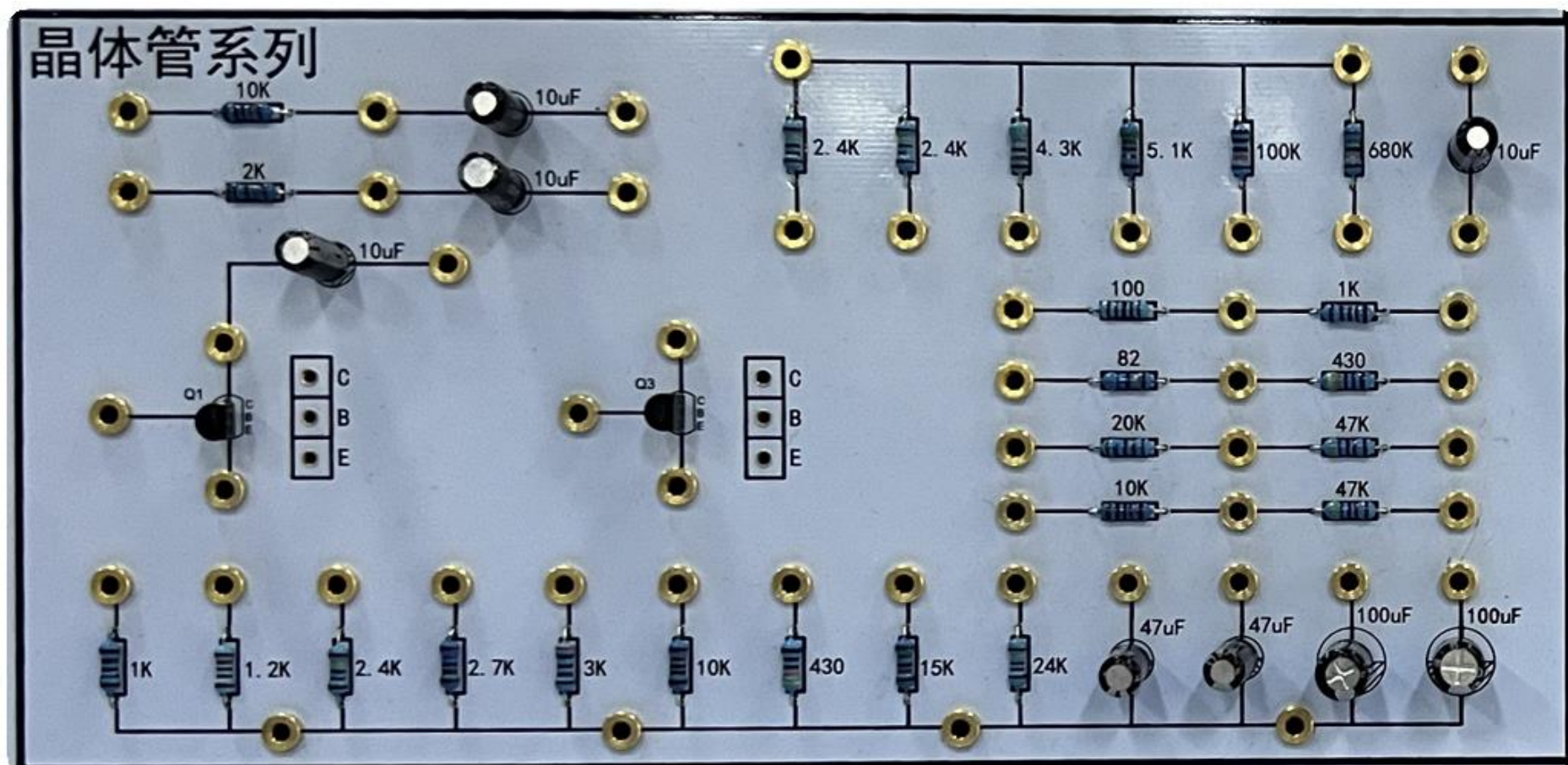
运放系列

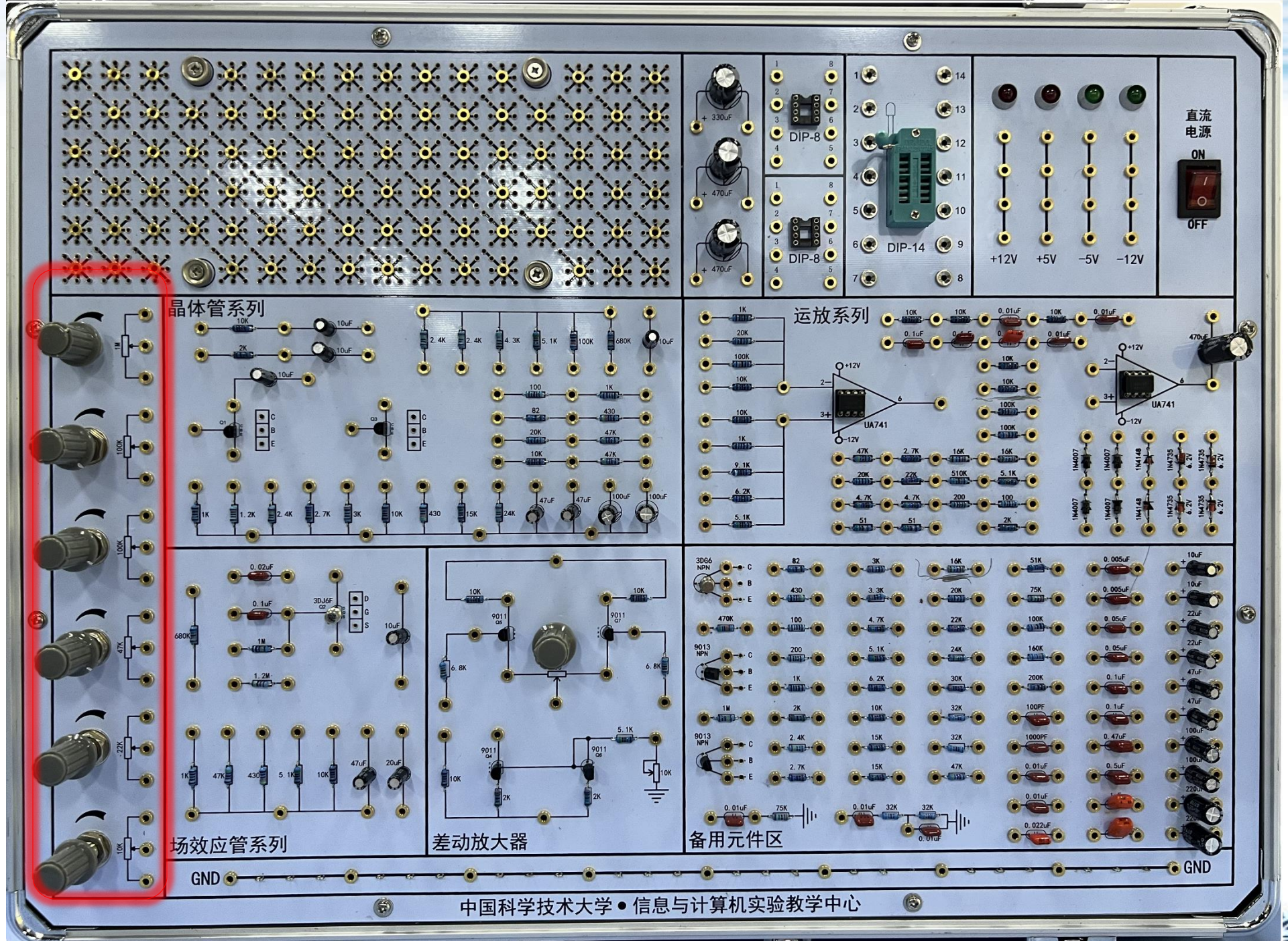
场效应管系列

差分放大器

备用元件区

晶体管系列





晶体管系列

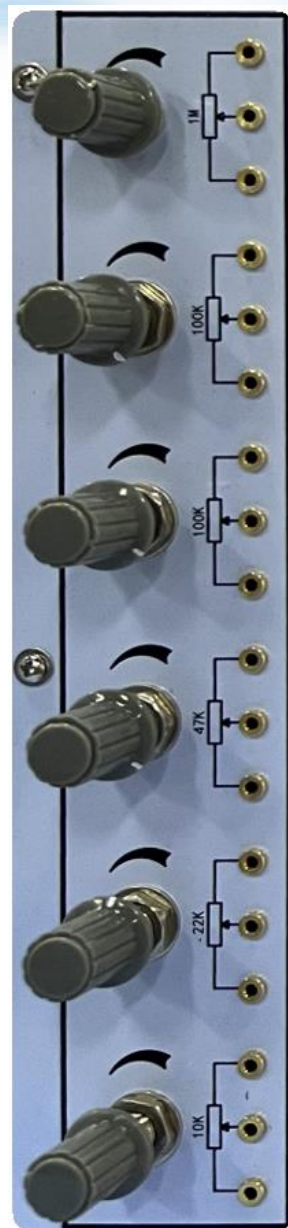
运放系列

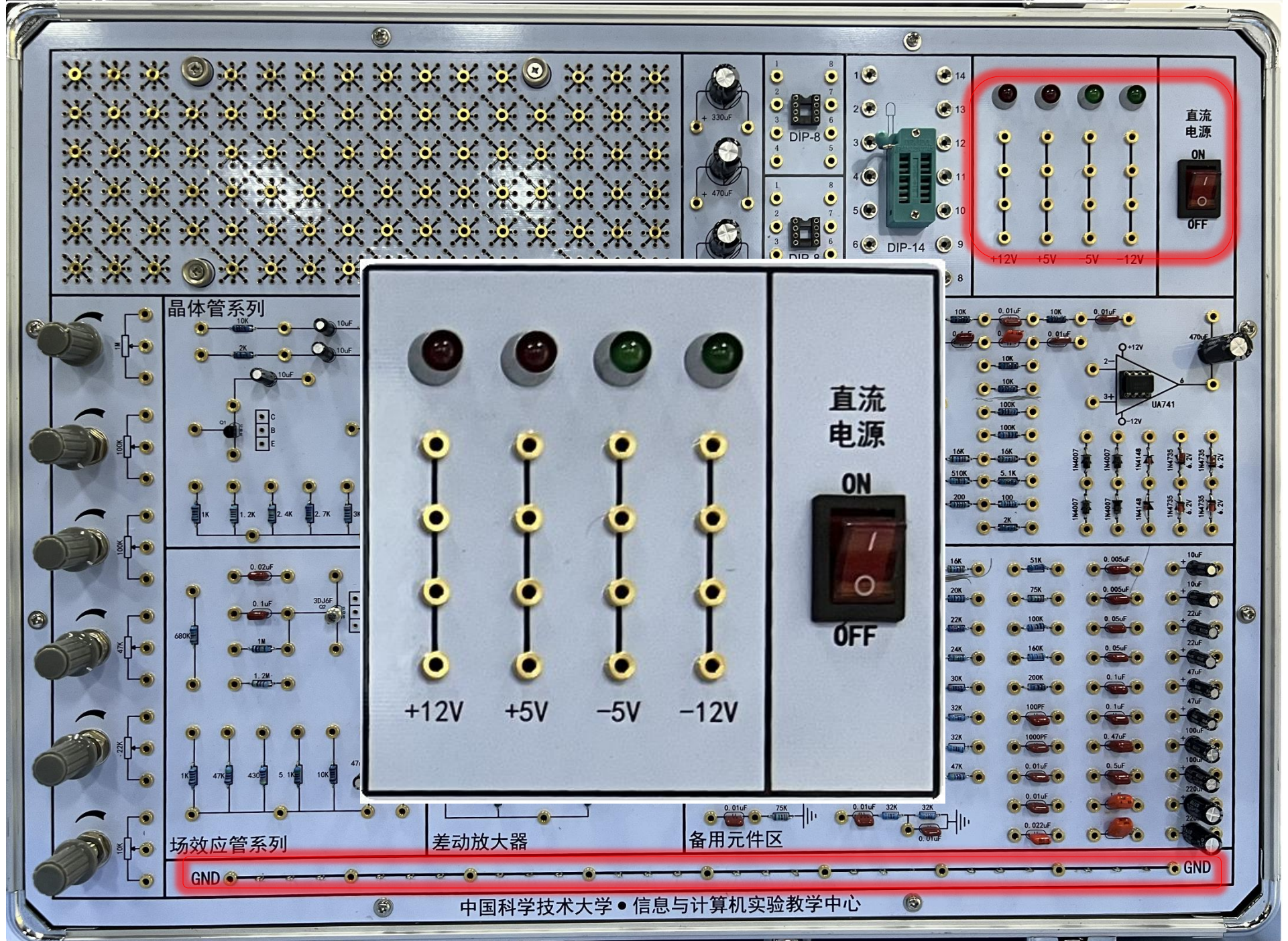
场效应管系列

差分放大器

备用元件区

直流电源
ON
OFF





晶体管系列

场效应管系列

差分放大器

备用元件区

+12V +5V -5V -12V

直流
电源

ON

OFF

直流
电源

ON

OFF

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