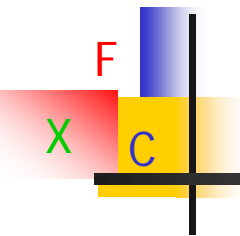


# 实验6 模拟电路认识实验—晶体管共射极放大电路P283



浙江大学电工电子教学中心  
傅晓程

**桌号**请写在实验**地点**后

例如，**地点**：东3 - 2XX A1

**验收**：任务2

**本次需提交实验报告**



# 实验目的

1. 学习放大电路静态工作点的测量与调整，了解在不同偏置条件下静态工作点对放大电路性能的影响。
2. 学习放大电路的电压放大倍数和最大不失真输出电压的测量方法。
3. 学习放大电路输入、输出电阻的测量方法以及频率特性的测量方法。
4. 进一步掌握示波器、函数信号发生器的使用。

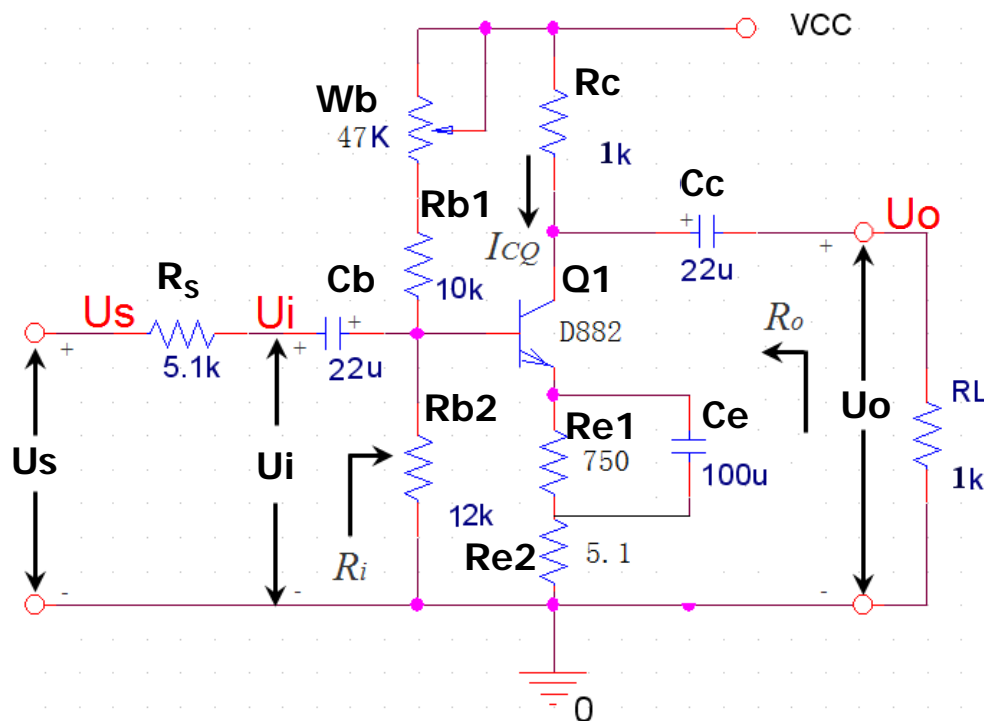
## ( P283-284 ) 实验任务 ( $R_{e2}$ 没有被短接 ) 和验收内容

在 $R_L = \infty$ 及 $R_L = 1K$ 时，比较及记录下述实验测量和观测到的数据的异同。

任务1,2,3,4,5静态电需保持不变。电流需**间接**测量。

1.  $R_L = \infty$ 及 $R_L = 1K$ 时，静态工作点的调整和测量。调节 $W_b$ ，使Q点满足要求( ?  $I_{CQ} = 6mA$ 参考)。测量各点的静态电压值
  2.  $R_L = \infty$ 及 $R_L = 1K$ 时，电压放大倍数的。输入中频段 ( 参考频率1KHz ) 正弦波，示波器监视输出波形，测出电压有效值或峰峰值。
  3.  $R_L = \infty$ 时，最大不失真输出电压约 $V_{omax}$ (有效值) $\geq$  ? 2.7V。增大输入信号幅度，用示波器监视输出波形、测出最大不失真输出电压 $V_{omax}$ 。
  4.  $R_L = \infty$ 及 $R_L = 1K$ 时，输入电阻和输出电阻的测量。采用分压法或半压法测量输入、输出电阻。
  5.  $R_L = \infty$ 及 $R_L = 1K$ 时，测量上限频率和下限频率。在不失真的条件下，保持输入幅度不变，改变频率，来测量输出。
  6.  $R_L = \infty$ 时，观察静态工作点对输出波形的影响。饱和失真、截止失真、同时出现。
- 注意：**RMS ( 有效值 ) 表示时示波器最好选择AC耦合，否则会有直流偏置被计数到RMS；如果有毛刺请选择峰峰值；所有被测量表示RMS或峰峰值要**保持一致**！
- 注意：**示波器的输入耦合选择DC还是AC应该实际电路及其调试情况。
- 验收：**任务2，示波器三踪显示 $U_s$ 、 $U_i$ 、 $U_o$ 或 (  $U_{o0}$  ) 波形及测出显示出它们的电压有效值；并且请告知 $R_L = \infty$ 还是 $R_L = 1K$ 。

# 三极管共射放大电路实验电路图（参数和符号：P284稍有不同，以课件为准）



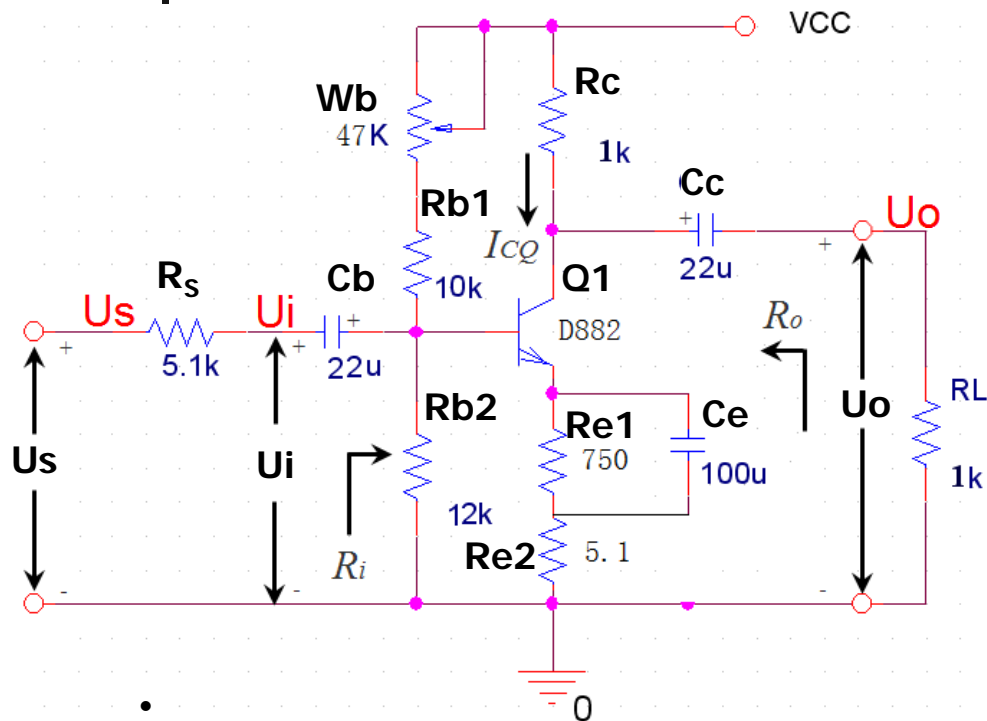
静态工作点:  
其中  $R_e = R_{e1} + R_{e2}$

$$V_B = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} V_{CC}$$

$$I_C \approx I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_e}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_c + R_e)$$

# 动态参数



$$\dot{A}_v = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_{e2}}$$

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_{e2}]$$

$$R_o = R_c$$

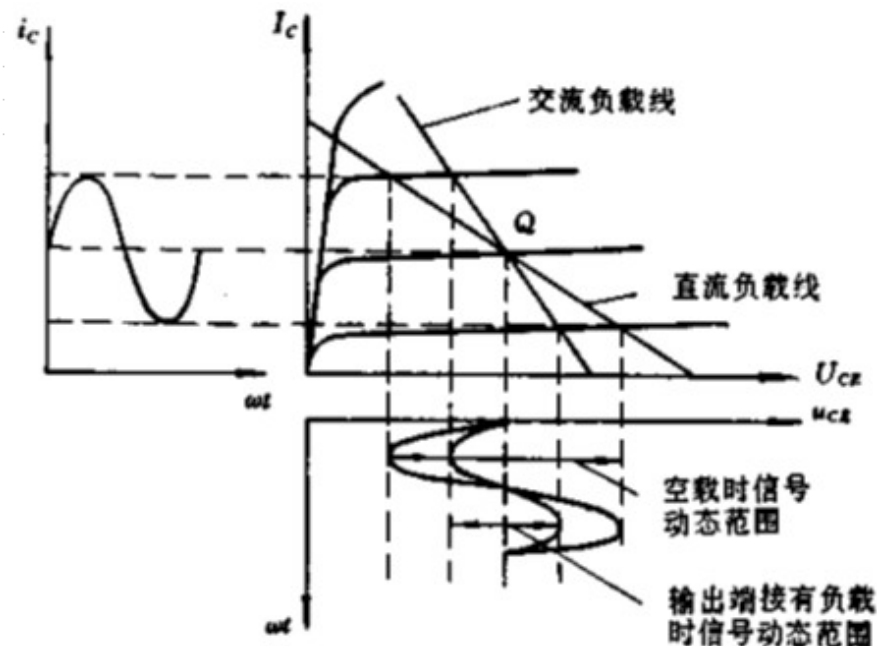
$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26(\text{mV})}{I_E(\text{mA})}$$

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

$$R_o = \left( \frac{U'_o}{U_0} - 1 \right) R_L$$

$$\Delta v_{CE} = -\Delta i_C ((R_c // R_L) + \frac{1 + \beta}{\beta} R_{e2})$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_c + R_{e1} + R_{e2})$$

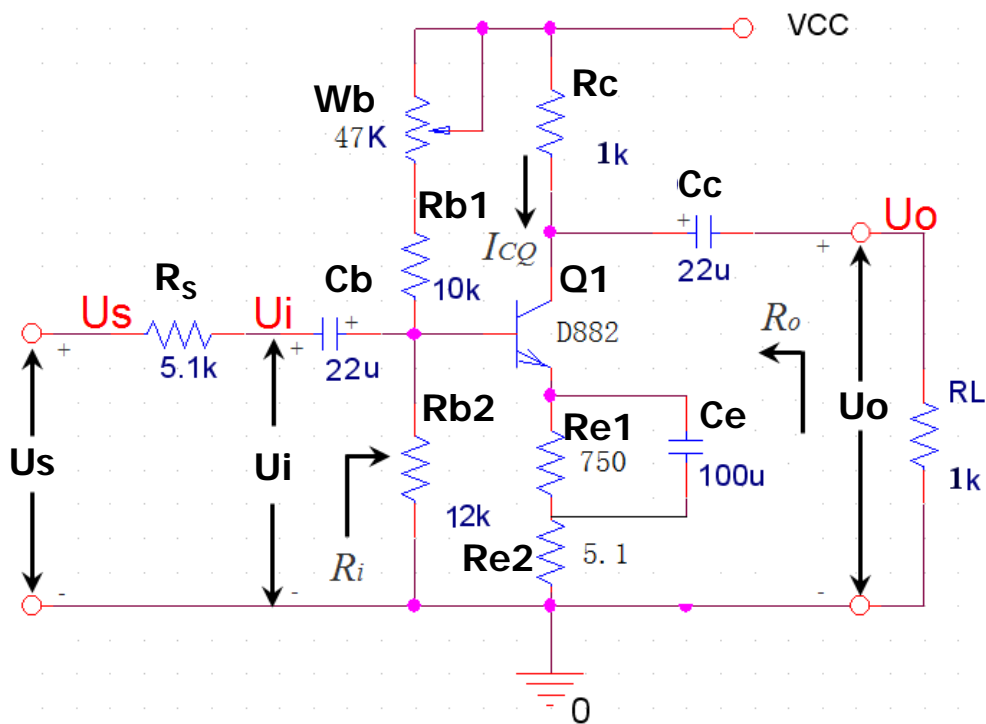




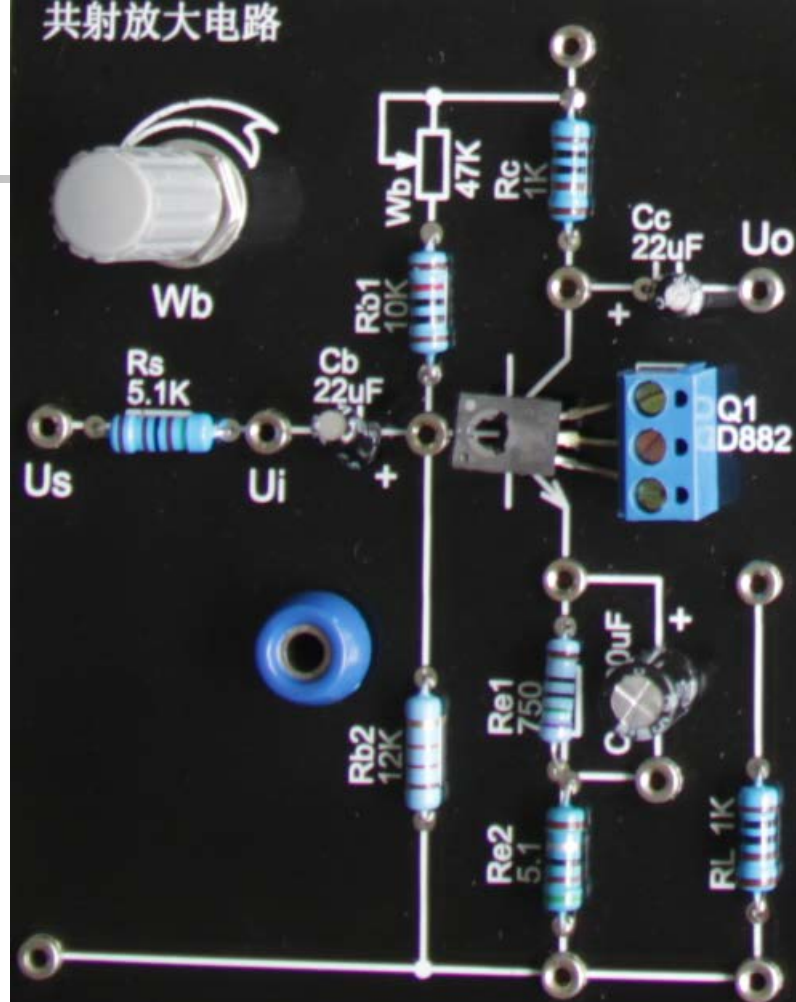
## 实验准备工作

- 1、在断电情况下，观察是否准确插入NPN型三极管(D882)；并且查看电路是否有异常。
- 2、用万用表测量实验箱上的+15V，或应用稳压电源调节+15V，以万用表测量示数为准。
- 3、关闭实验箱直流电源，用导线将实验电路模板的工作电源与+15V、COM2的连接方式。
  - (1) 将 $R_L$ 接入到A为 $R_L=1k$ ，不接入为 $R_L=\infty$ (开路)。
  - (2)  $R_{e2}$  作是否被短接。
- 4、开启直流电源。如果静态工作点合适，则放大电路就处于工作状态。
- 5、检查示波器、函数发生器是否正常。

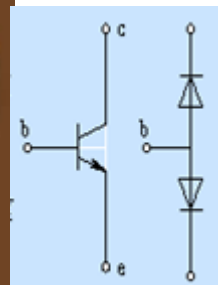
# 实验模板



共射放大电路



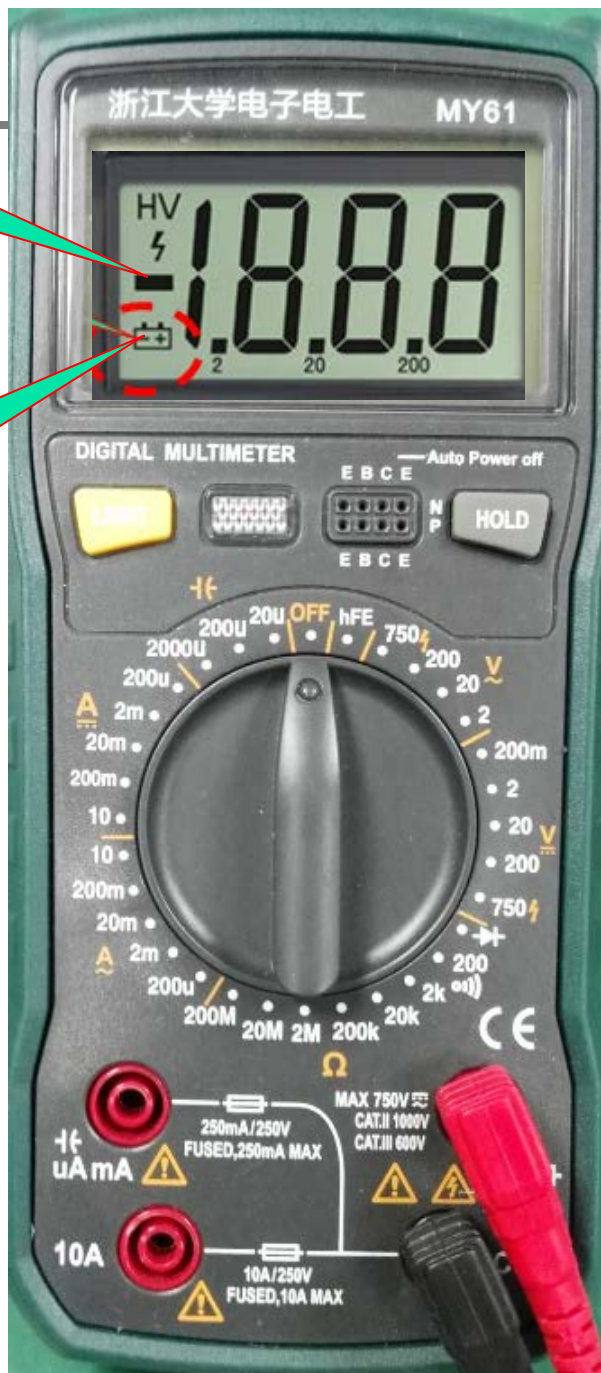
**问题1：** D882如何确定管脚？如何判断好坏？怎样查看其它元件是否异常？



X

-指负数

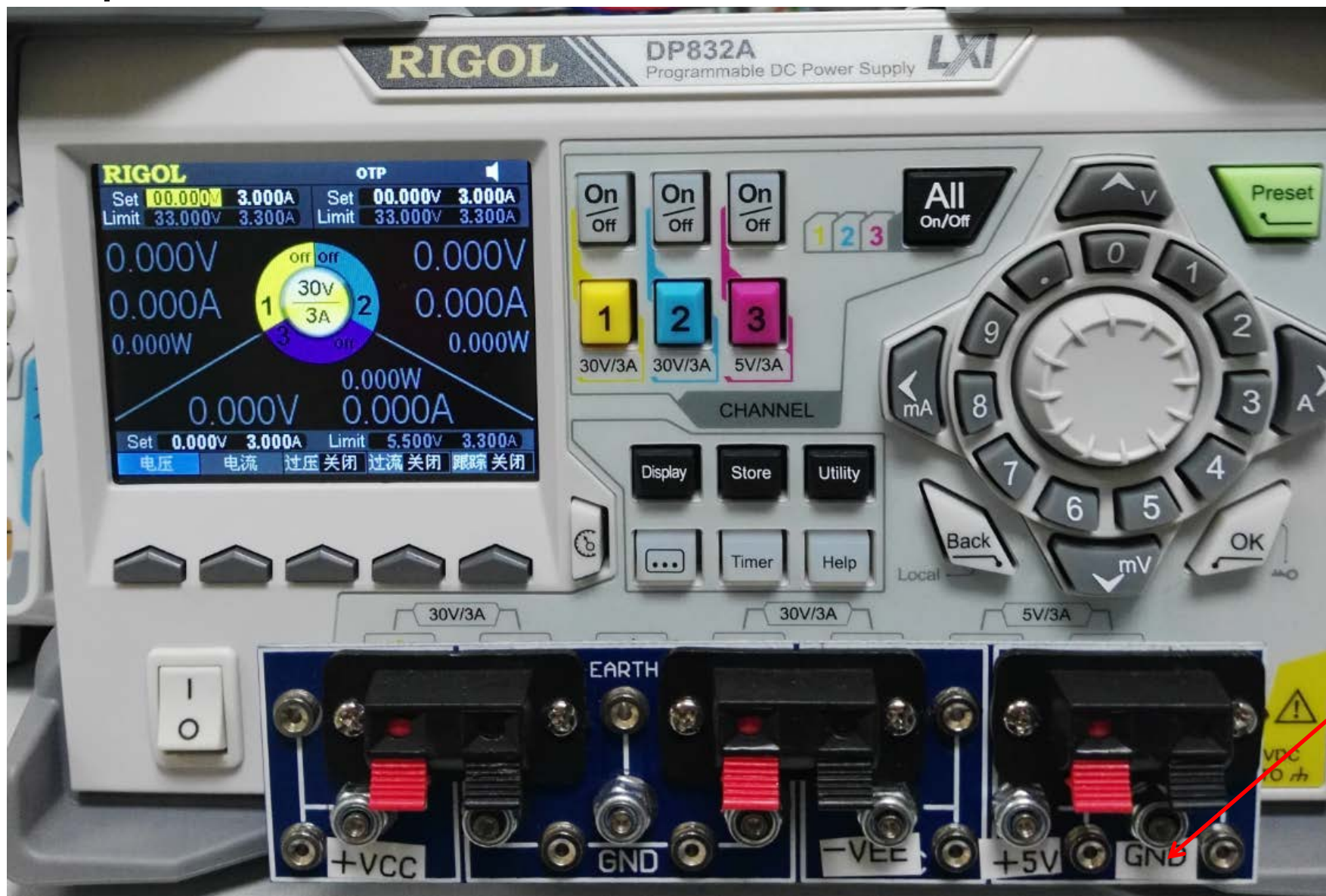
电池电量不足，  
需要更换



万用表使用  
完毕，  
请关闭电  
源放回原  
处！

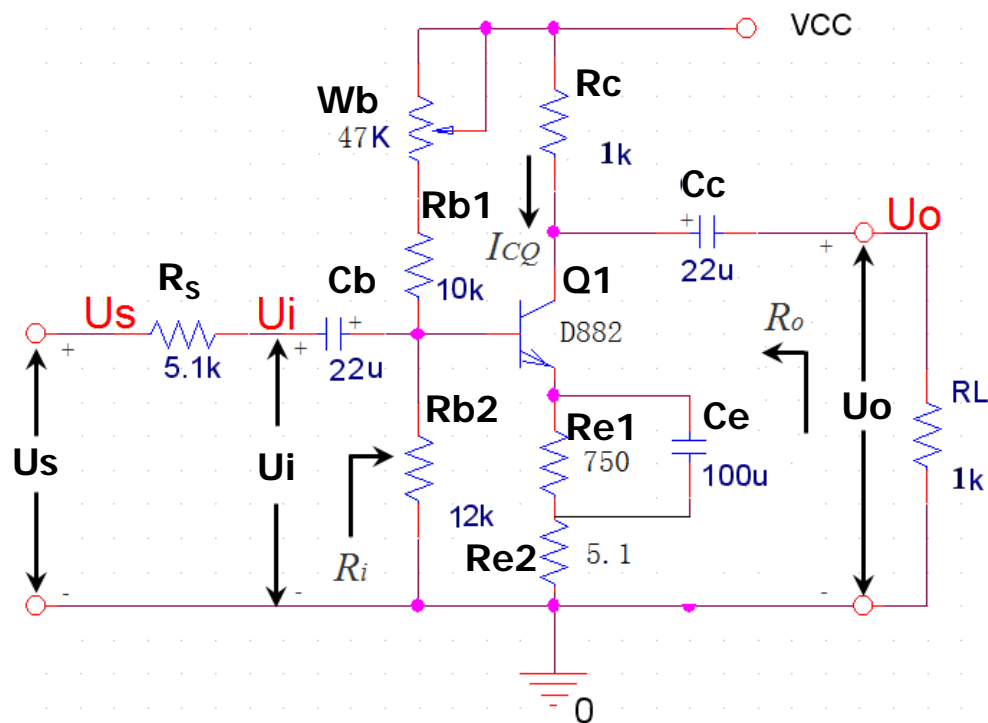


**Preset(2个GND是不连接在一起的)不要去连接EARTH**



# 1.测量并调整放大电路的静态工作点（P285）

- 调节电位器Wb，使电路满足 $I_{CQ}=6\text{mA}$ （参考）。
- 测量晶体管共射极放大电路的静态工作点，用表格记录测量值、仿真值与理论估算值。



P288① 静态工作电流 $I_{CQ}$ 为什么不直接测，而是通过测量 $V_C$ 或 $V_E$ 间接得到？

	$V_{BQ}(\text{V})$	$V_{BEQ}(\text{V})$	$V_{CEQ}(\text{V})$	$I_{CQ}(\text{mA})$
仿真值				
理论估算值				
测量值				



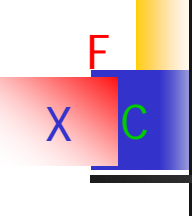
## 提示

### 提示1：

- 若  $V_{CEQ} < 0.5V$ ，则说明三极管已经**饱和**；
- 若  $V_{CEQ} \approx +V_{CC}$ ，则说明三极管已经**截止**；
- 若  $V_{BEQ} > 2V$ ，估计该晶体管已被**击穿**。

### 提示2：

- 为了保证最大失真输出，往往把静态工作点设置在交流负载线的中点；
- 对于小的输入信号（如多级放大电路前置级输入信号），由于输出信号的动态范围也很小，所以失真不是主要问题，而要考虑的是降低噪声和减小直流损耗，到达此目的的最好办法是尽量压低静态工作点，使其在靠近截止区。
- 因而，合适的静态工作点要根据电路的实际需要而设置。



# DG4000函数发生器



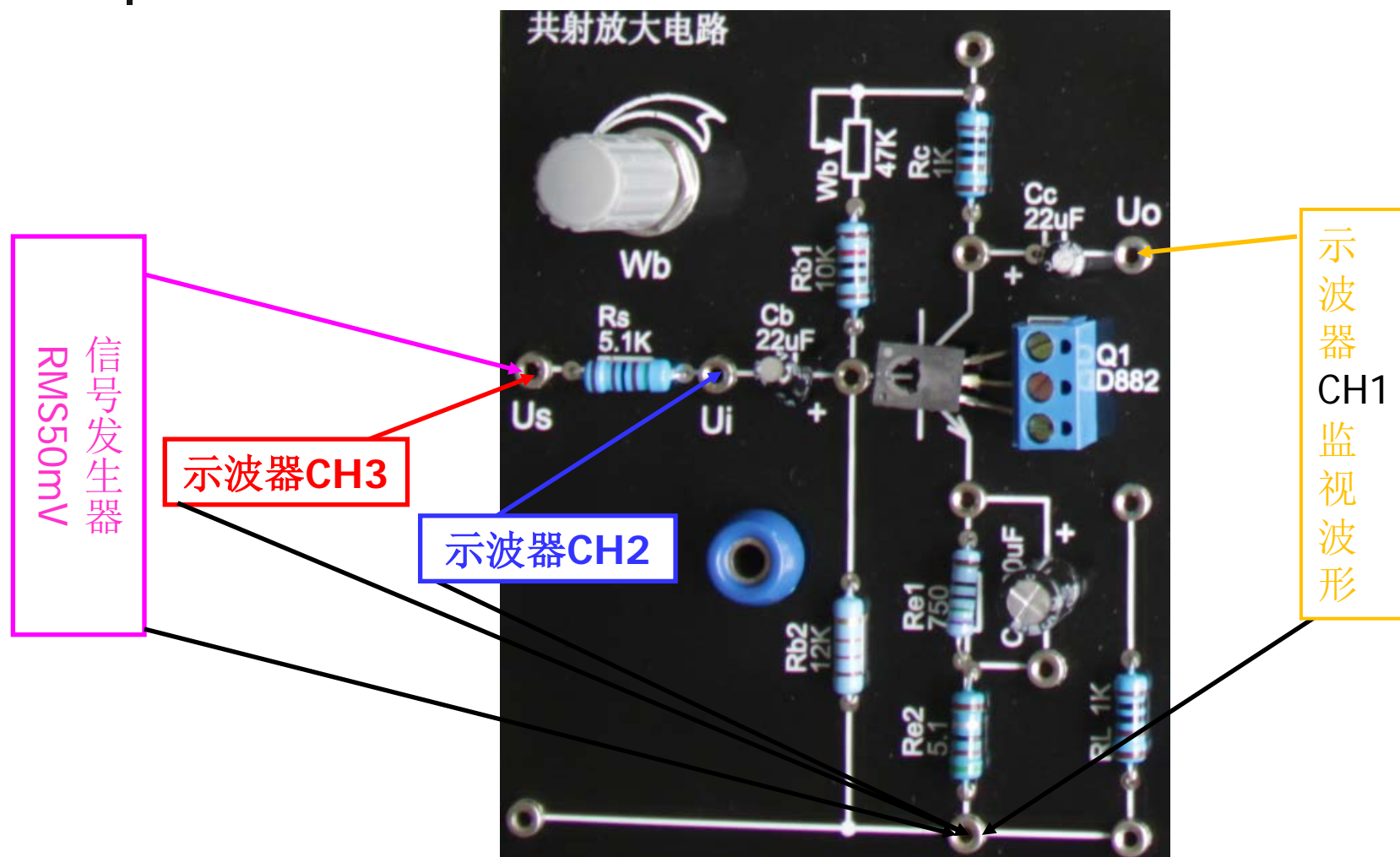


# MSCO4054示波器



**注意：**触发信源选择、Cursor和自动测量情况

## 2. 测量电压放大倍数电路板 ( $R_L=\infty$ 、 $R_L=1\text{ k}\Omega$ )



因模电实验室的函数发生器和示波器零参考已经接在一起，理论上只要函数发生器的零参考线接上了，示波器的零参考线就不要接了。实际由于外部的干扰，还需把所有的零参考应该在同一节点上。

## 2. 测量放大电路的电压放大倍数 $A_v$ (P285)

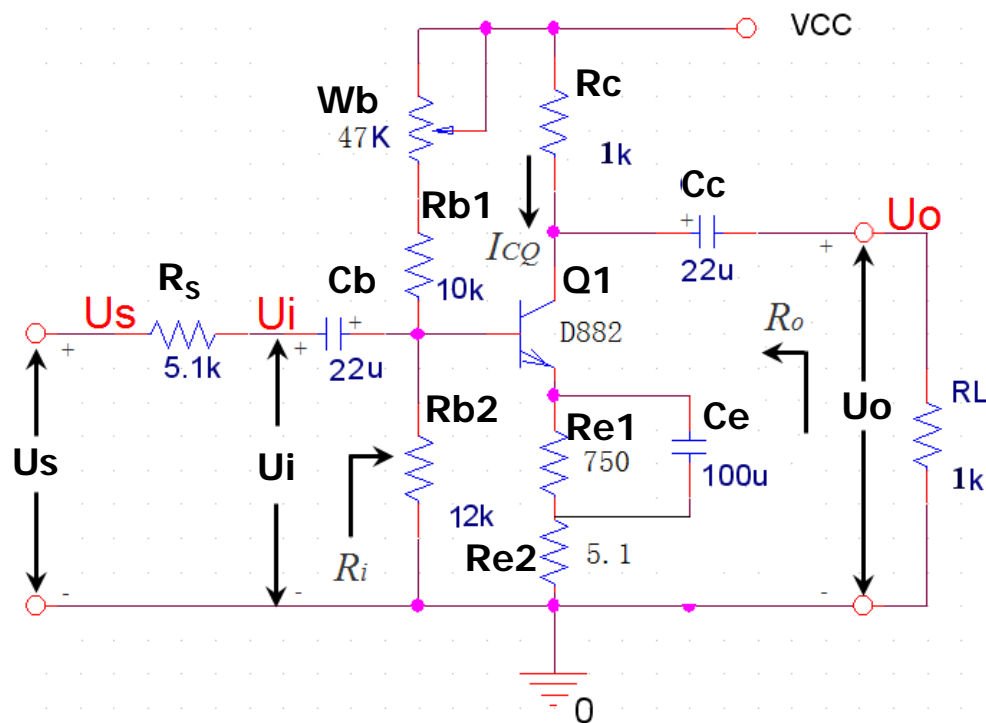
保持静态工作点不变，  
S端输入频率约为1kHz、  
有效值约为50mV的  
正弦波信号  $U_s$ 。如下测量：  
(在输出不失真的情况下；  
 $U_s$ 可以尽可能的大)

a)  $R_L$ 开路，输出端接示波器  
CH1通道，监视  $U_o$  波形

( $U_{o0}$ (开路))，当波形无失真现象时，用CH2通道测量  $U_i$ 、用CH3通道测量  $U_s$ ，同时观测相位关系，将其测量的电压有效值或峰峰值记录在下表中，并计算电压放大倍数  $A_v$ 。

**注意：**触发源的选择！

**注意：**小信号干扰大不利于测量



## 2.测量放大电路的电压放大倍数 $A_v$ 续

b) 接入 $R_L=1k$ ，采用上述方法分别测量 $U_s$ 、 $U_i$ 、 $U_o$ （带载）电压有效值或峰峰值，同时观测相位关系，将其值记录在下表中，并计算 $R_L=1k$ 时的电压放大倍数 $A_v$ 。

所有被测量表示RMS或峰峰值要**保持一致**！

测试条件	实测值(有效值或峰峰值)					理论值	仿真值
	$U_s$ ( mV )	$U_i$ ( mV )	$U_{oo}$ 或 $U_o$ ( V )	$U_{omax}$ ( V )	$A_v$	$A_v$	$A_v$
$R_L=\infty$							
$R_L=1k\Omega$							

**注意：1.** 输入放大器的函数信号发生器**正弦波**信号**幅度适中**和**频率适中**；示波器耦合选择。

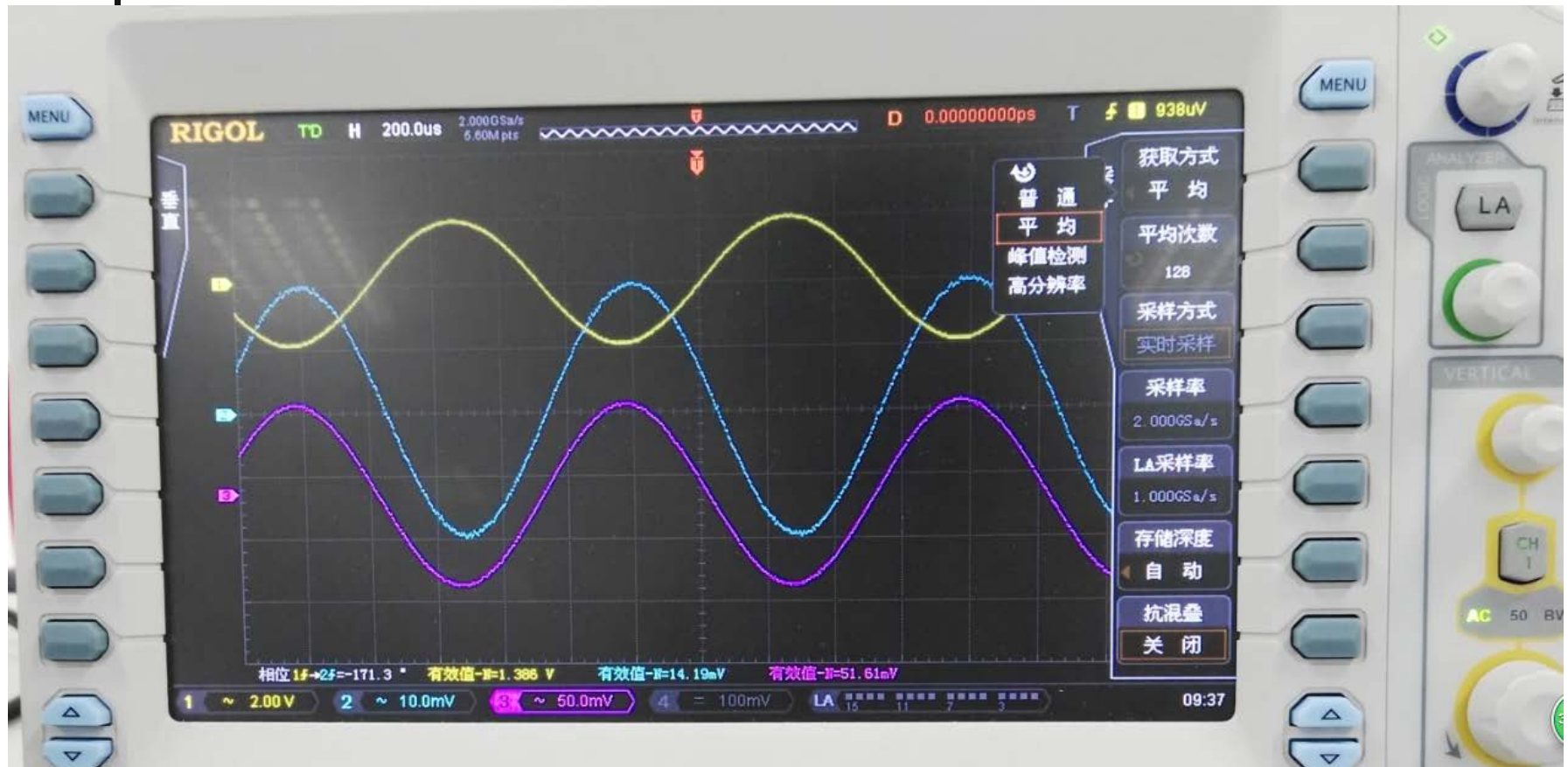
**2.** 记录波形时请标注相关参数，并且请简要说明。



# 调试时选择普通反应快些



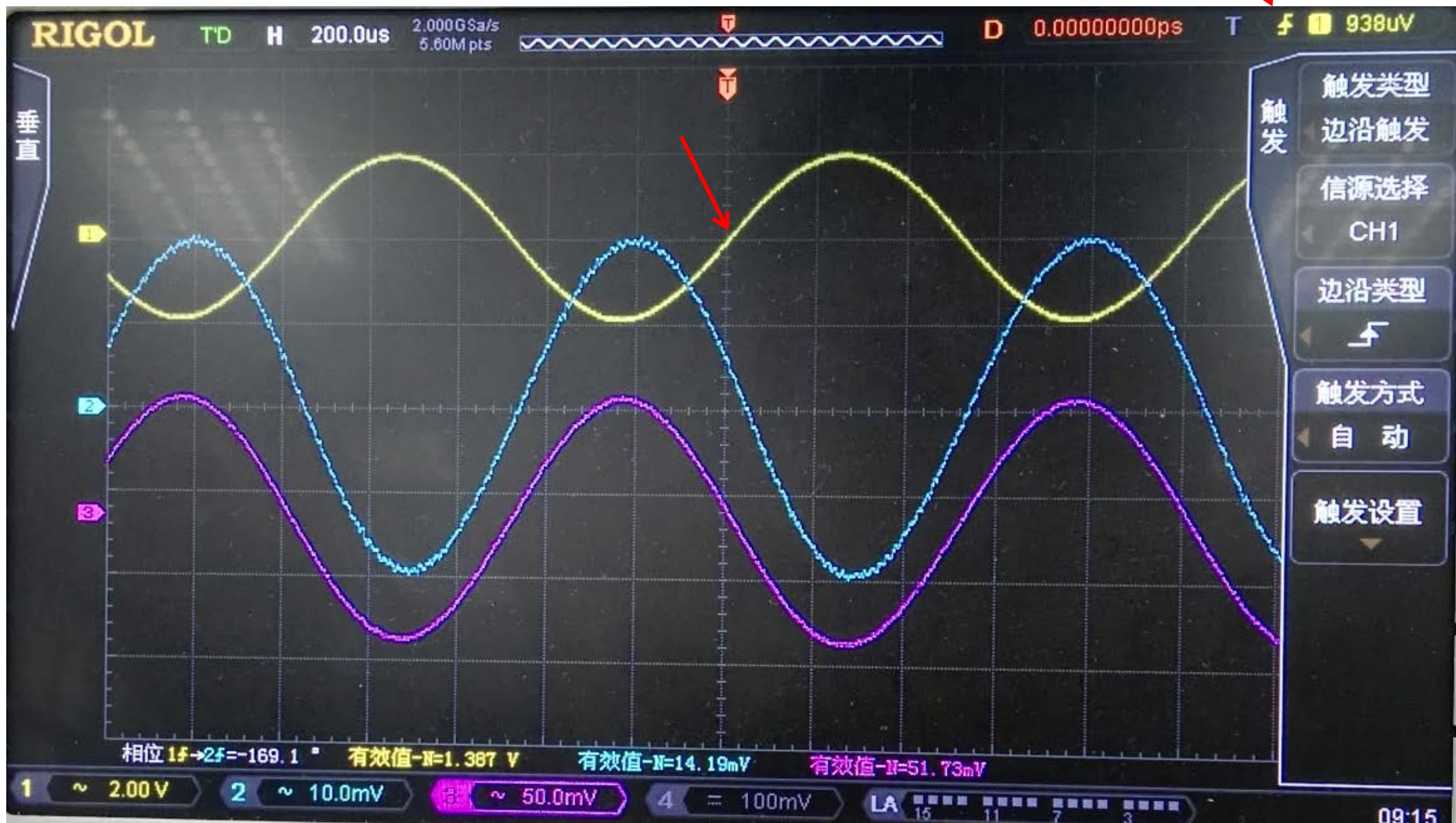
# 验收说明及参考,触发选择—CH1,有效值--交流耦合



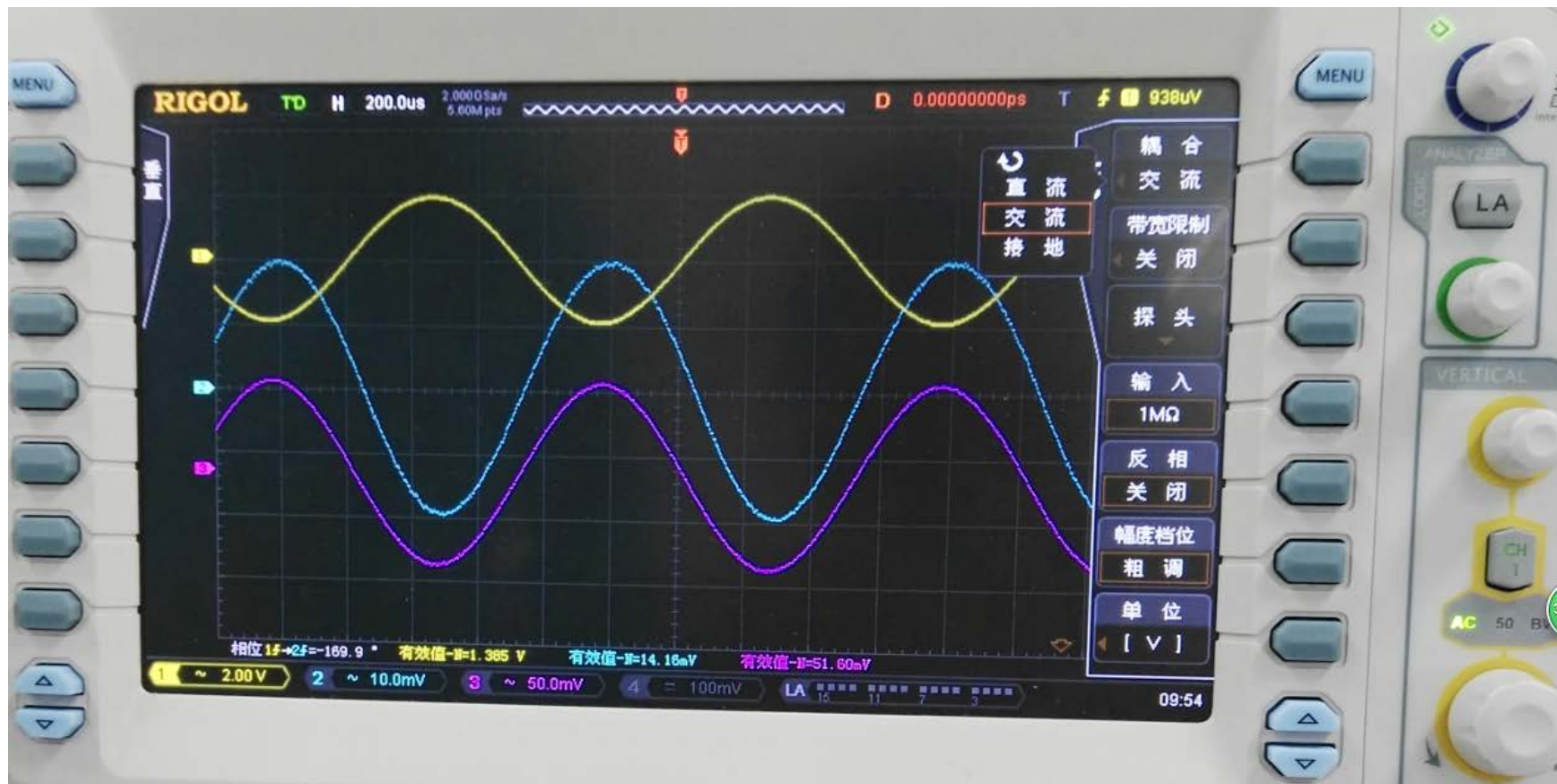
多踪信号其中有一大信号**CH1**，其他小信号，采用了**平均**，触发信号选择了**CH1**。此时自动测量，就比较准确。  
**注意**：平均慎用，反应慢，且小信号**触发**下误差可能会很大。

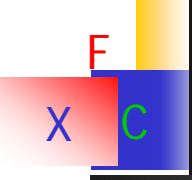


# 触发选择—CH1—边沿类型—上边沿

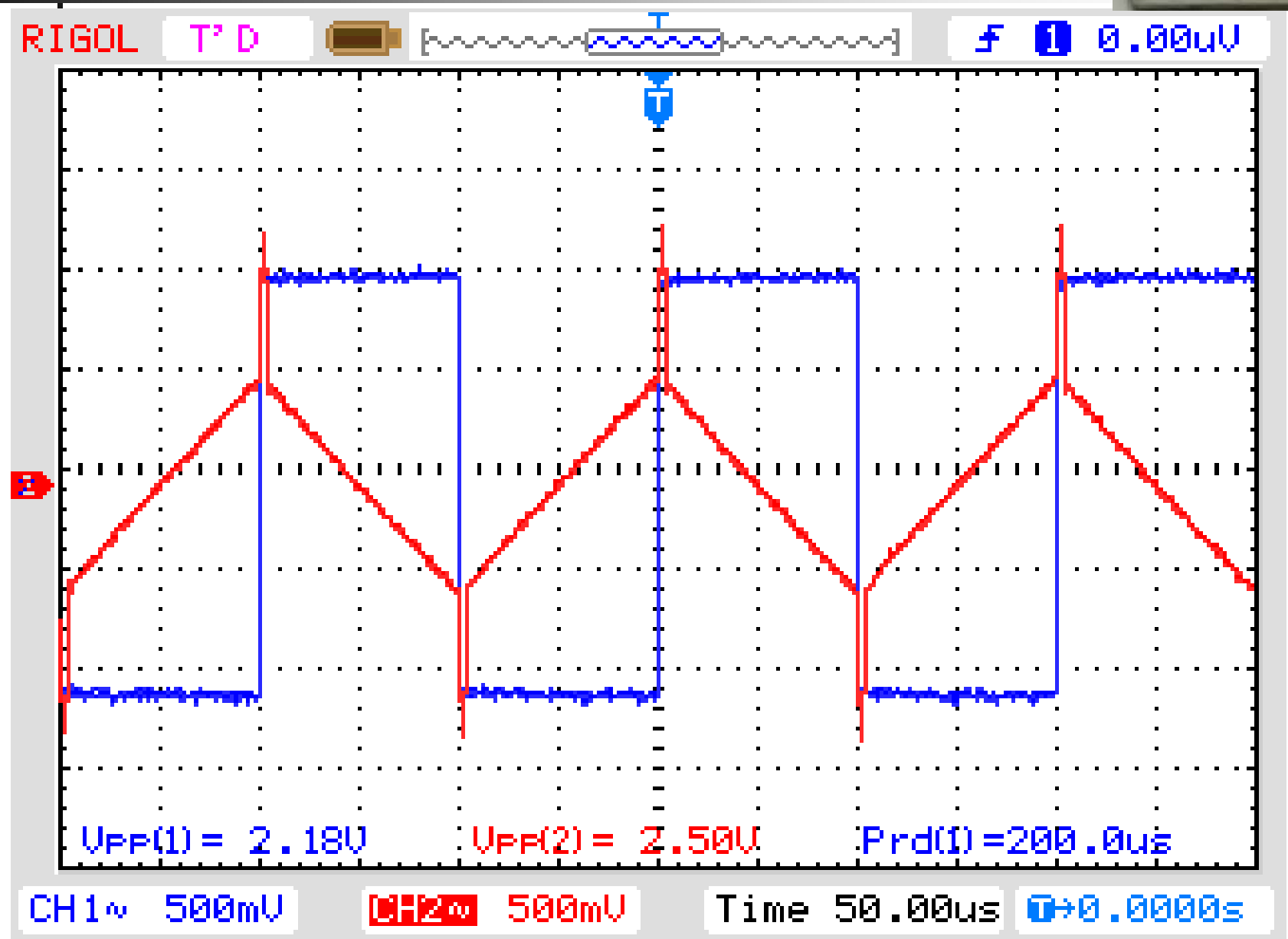
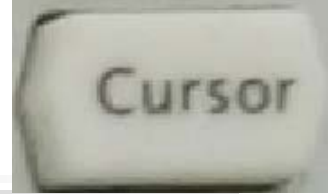


# 有效值--交流耦合



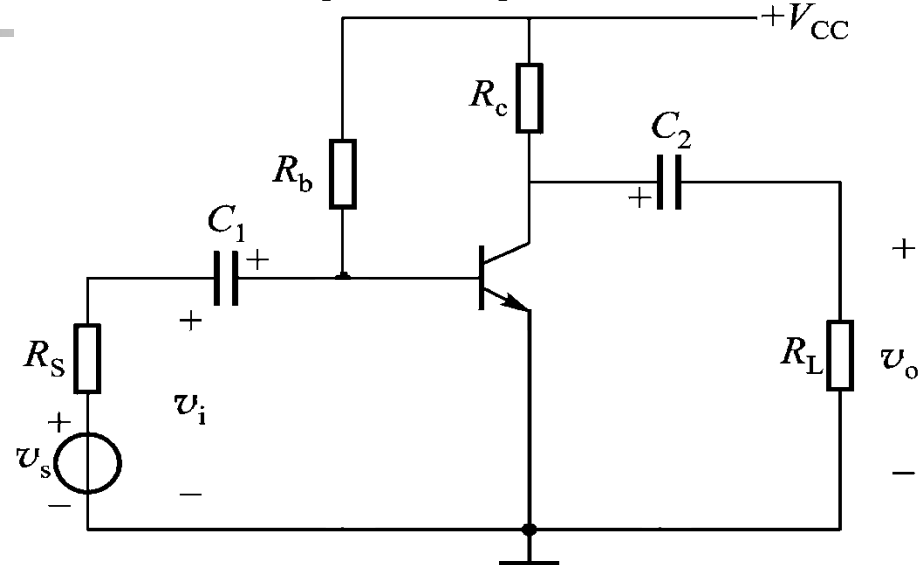
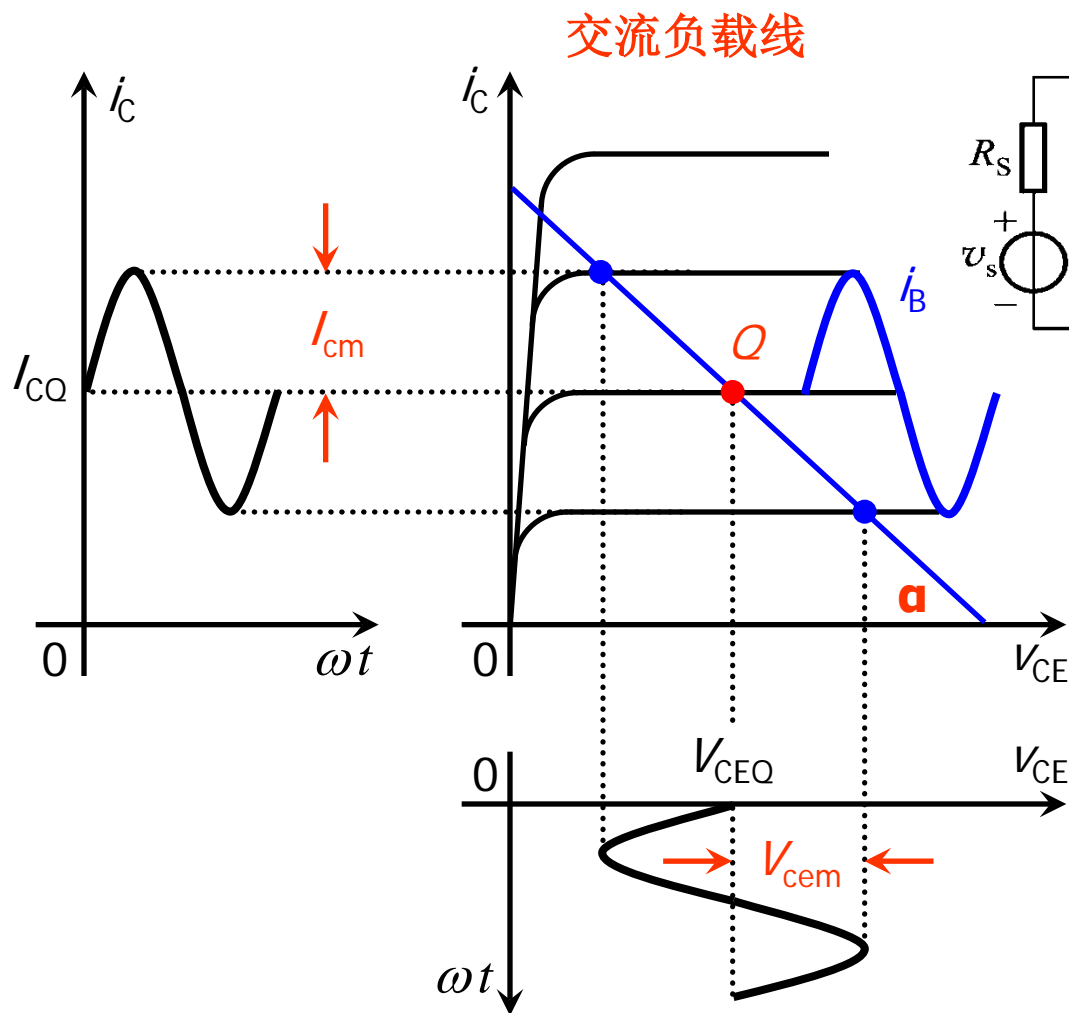


# 下图测量显示准确吗？建议Cursor



# 了解最大不失真输出幅度（估算）

$$\Delta v_{CE} = -\Delta i_C (R_C // R_L)$$



最大不饱和失真

$$V_{cem1} = V_{CEQ} - V_{CES}$$

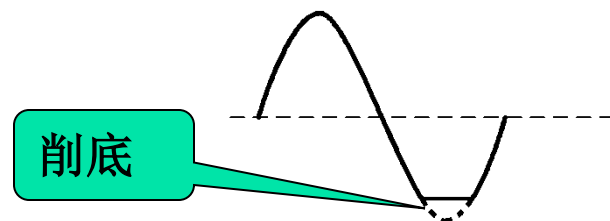
最大不截止失真

$$V_{cem2} = I_{CQ} / \tan \alpha$$

### 3. 测量 $R_L = \infty$ 时的最大不失真输出电压 $U_{omax}$ ( P285 )

测量方法：

- 1) 负载开路，保持输入信号频率不变，逐渐增大输入信号幅度，直至**输出刚出现失真**。（饱和）
- 2) 用示波器测出此时的输出电压有效值，即为最大不失真输出电压  $U_{omax}$ （有效值或峰峰值）。
- 3) **选做--**若最大不失真输出达不到**设计指标**要求，请重新调整静态工作点。  
（**注意**：本次实验没有这个要求，只是观察  $I_{CQ} = 6mA$  下的最大不失真输出）



**注意**：保持静态工作点不变，（假设此时是合适的静态工作点）

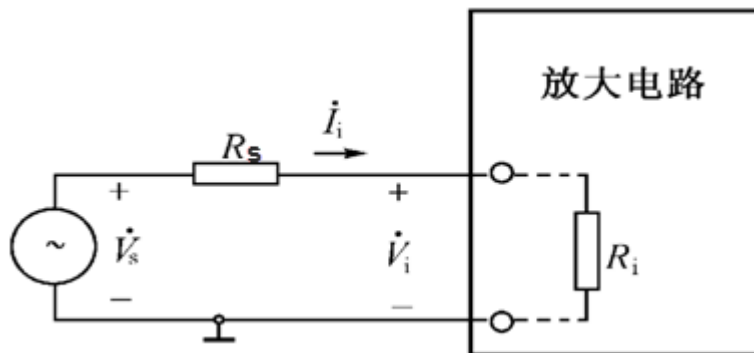
**问题2**：通过怎样调整到合适静态工作点，才能到达该**电路的**最大不失真输出。

## 4.1输入电阻的测量 ( U---V ) ( P286 )

(1) 放大电路的输入电阻 $R_i$ 的测量(  $R_L = \infty$ 、 $R_L = 1\text{ k}\Omega$  )

放大电路的输入电阻 $R_i$ 可用电阻分压法来测量，图中 $R_s$ 为已知阻值的外接电阻，分别测出 $U_s$ 和 $U_i$  (有效值或峰峰值)，则

$$R_i = \frac{\dot{V}_i}{\dot{I}_i} = \frac{\dot{V}_i}{(\dot{V}_s - \dot{V}_i) / R_s}$$



参考P287图8.34 测量输入电阻的电路

若 $R_s$ 为可变电阻，调节 $R_s$ 的阻值，使 $U_i = 1/2 U_s$ ，则 $R_i = R_s$ 。这种方法称为半压法测输入电阻。

**注意：保持静态工作点不变**

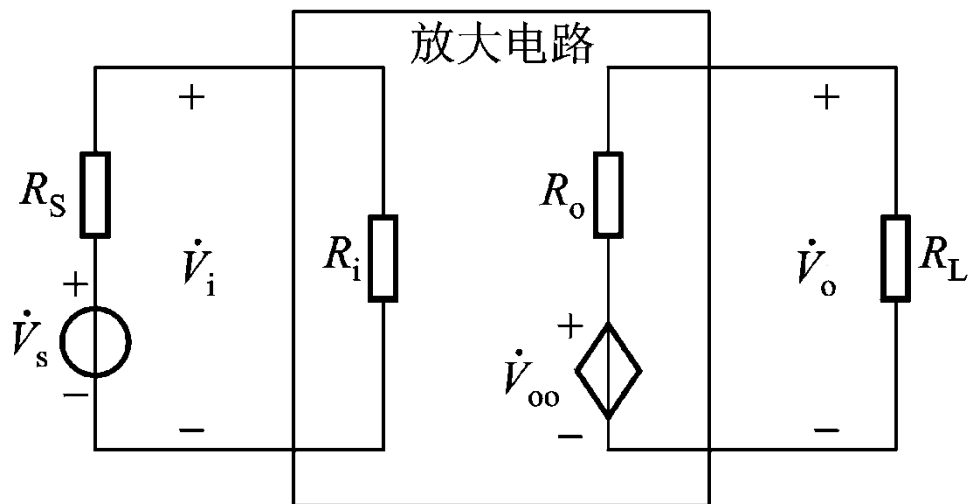
P288② 在测量输入电阻时，为什么不能直接测电阻 $R_s$ 两端的压降？



## 4.2 输出电阻的测量 ( U---V ) ( P287 )

### (2) 放大电路的输出电阻 $R_o$ 的测量(有效值或峰峰值)

放大电路的输出电阻可用增益**改变法**来测量，分别测出负载开路时的输出电压 $U_{oo}$ 和接入负载 $R_L$ 后的输出电压 $U_o$ ，则



$$\dot{V}_o = \frac{R_L}{R_o + R_L} \dot{V}_{oo}$$

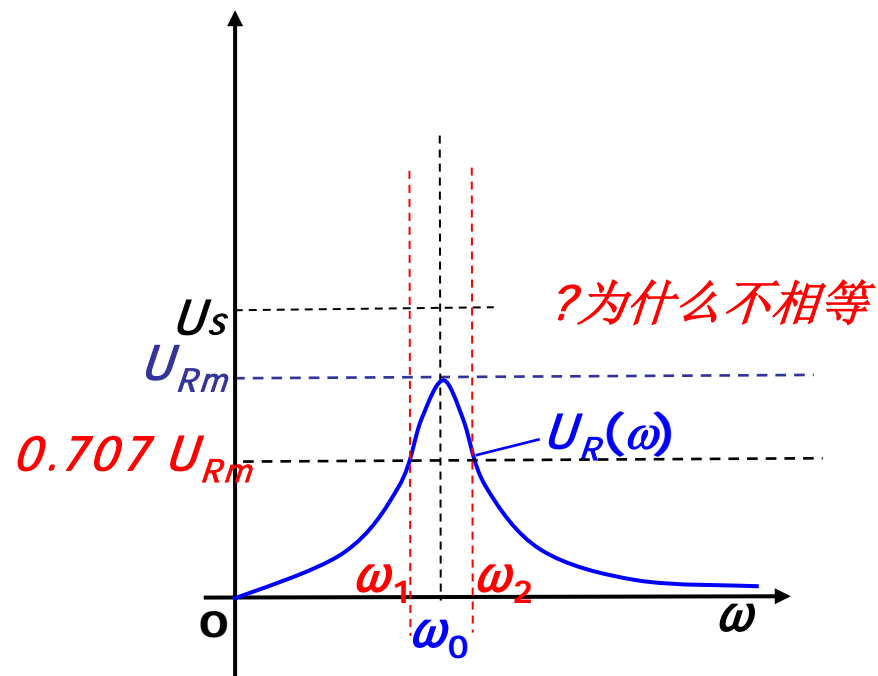
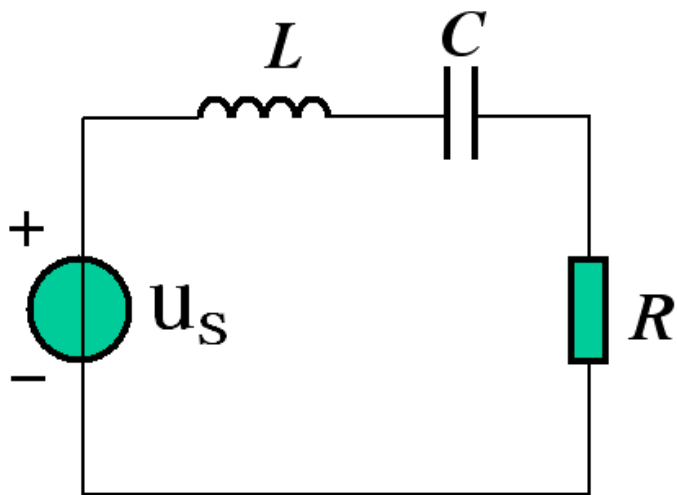
$$R_o = \left( \frac{\dot{V}_{oo}}{\dot{V}_o} - 1 \right) R_L$$

参考P287图8.35 测量输出电阻的电路

“!” 也可采用**半压法**测输出电阻。

**注意：**保持静态工作点不变

# 回顾秋学期实验RLC--- (频率特性)



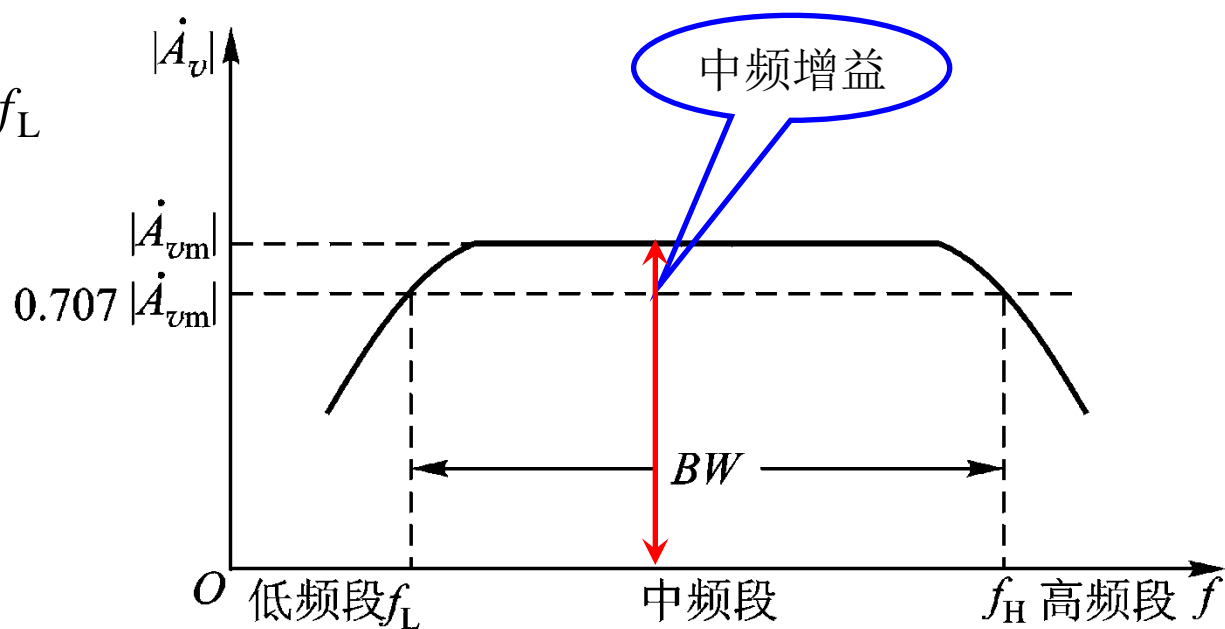
# 频率特性说明

- ✓ 当放大电路的信号频率很低或很高时，由于电路中存在的电抗元件、晶体管结电容和极间电容的影响，放大电路的电压放大倍数都要降低；  
只有在中频段范围内，放大倍数为常数。

- ✓ 通频带： $BW = f_H - f_L$

上限频率： $f_H$ ；

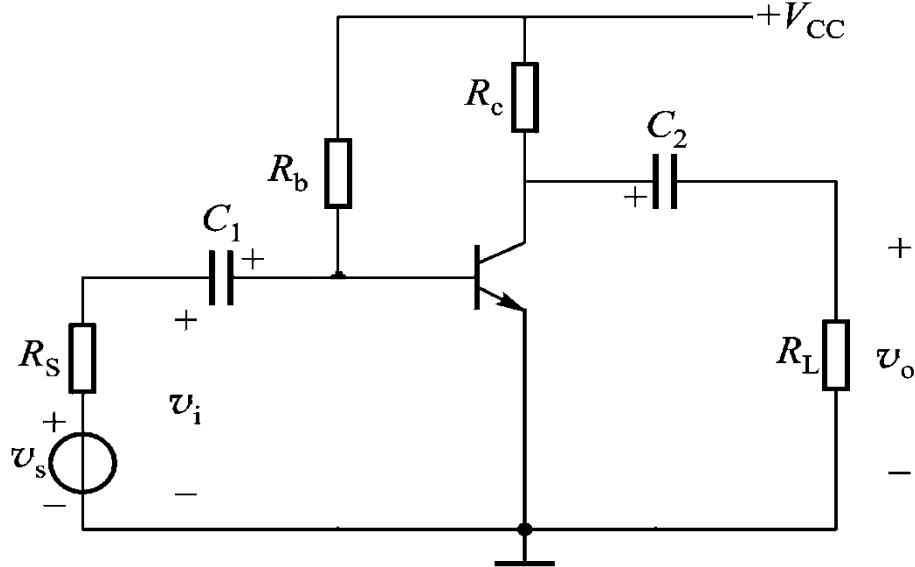
下限频率： $f_L$ ；



- ✓ 通频带越宽，表明放大电路对不同频率信号的适应能力越强。
- ✓ 频率引起的失真

P288④ 与负载开路相比，接上负载对放大电路的上下限频率有什么影响？

## 了解 $R_L$ 和 $R_S$ 对 $f_L$ 和 $f_H$ 的影响



$$f_L = \frac{1}{2\pi\tau_L} = \frac{1}{2\pi(R_c + R_L)C_1}$$

$$+ \quad f_H = \frac{1}{2\pi\tau_H} = \frac{1}{2\pi R_s' C_i}$$

$$- \quad R_s' = r_{b'e} // [r_{bb'} + R_s // R_b]$$

## 5. 测量上限频率和下限频率 ( $R_L = \infty$ 、 $R_L = 1\text{ k}\Omega$ ) ( P287 )

**注意：**保持静态工作点不变

- 1) 从函数信号发生器输出1kHz的正弦波，加到放大电路输入端。
- 2) 用示波器测输出电压，调节输入信号幅度，使输出  $V_o = 1\text{V}$  (有效值或峰峰值)。
- 3) 保持**输入信号幅度不变**，降低信号频率，使输出幅度下降至  $0.707 V_o$  时得到下限频率  $f_L$ 。
- 4) 保持**输入信号幅度不变**，增大信号频率，使输出幅度下降至  $0.707 V_o$  时得到上限频率  $f_H$ 。

P288③ 在测上、下限频率时，如何选择输入信号的大小？为什么使输出电压为1V？

测试条件	实测值		理论值		仿真值	
	$f_L$	$f_H$	$f_L$	$f_H$	$f_L$	$f_H$
$R_L = \infty$			/	/		
$R_L = 1\text{k}$			/	/		

# 失真

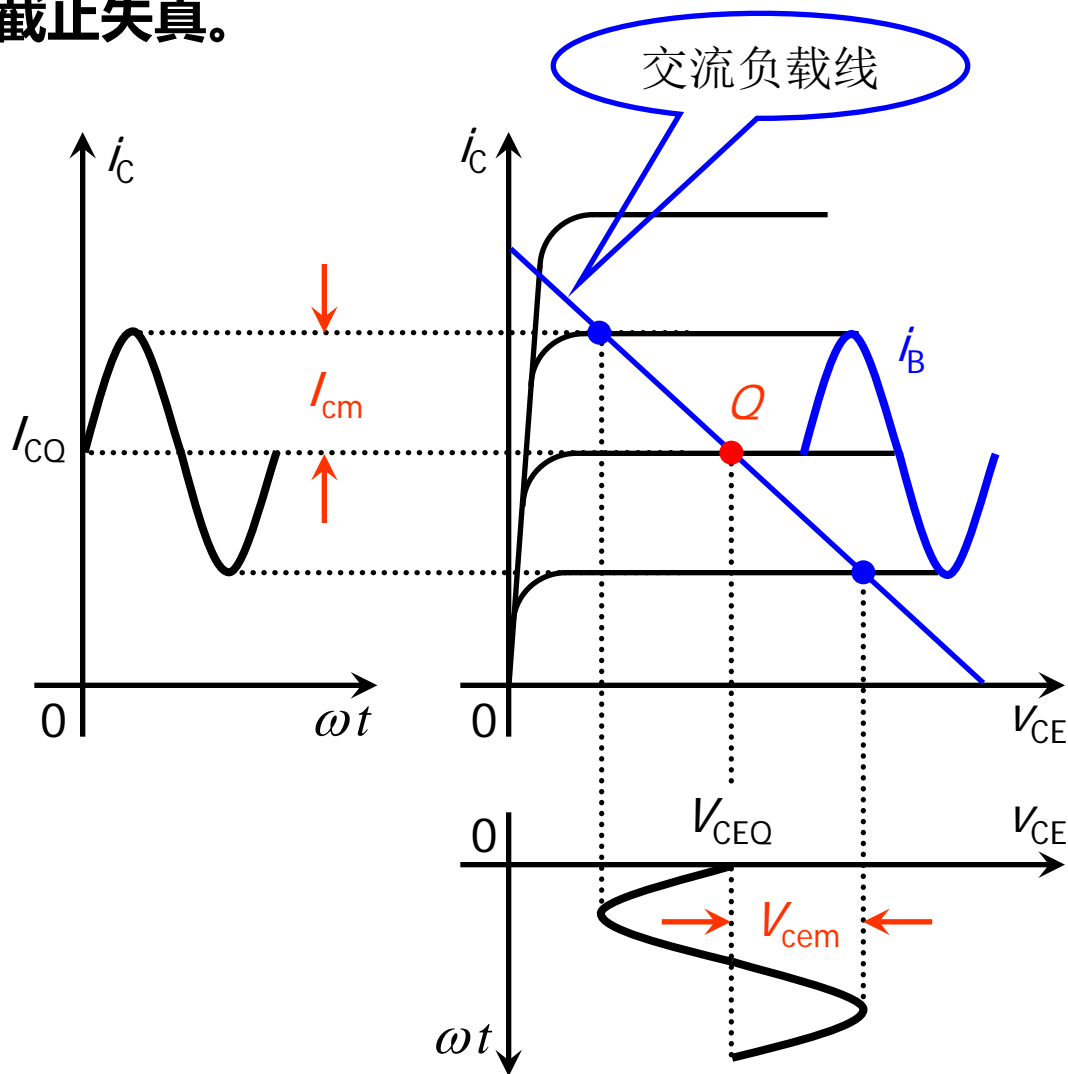
- ✓ 饱和失真：工作点进入饱和区后产生的失真；  
截止失真：工作点进入截止区后产生的失真。
- ✓ 饱和、截止失真都属于非线性失真，是由晶体管非线性特性引起的。



P288⑤ 截止失真和饱和失真在形状上有什么区别？

## 不失真输出示意图

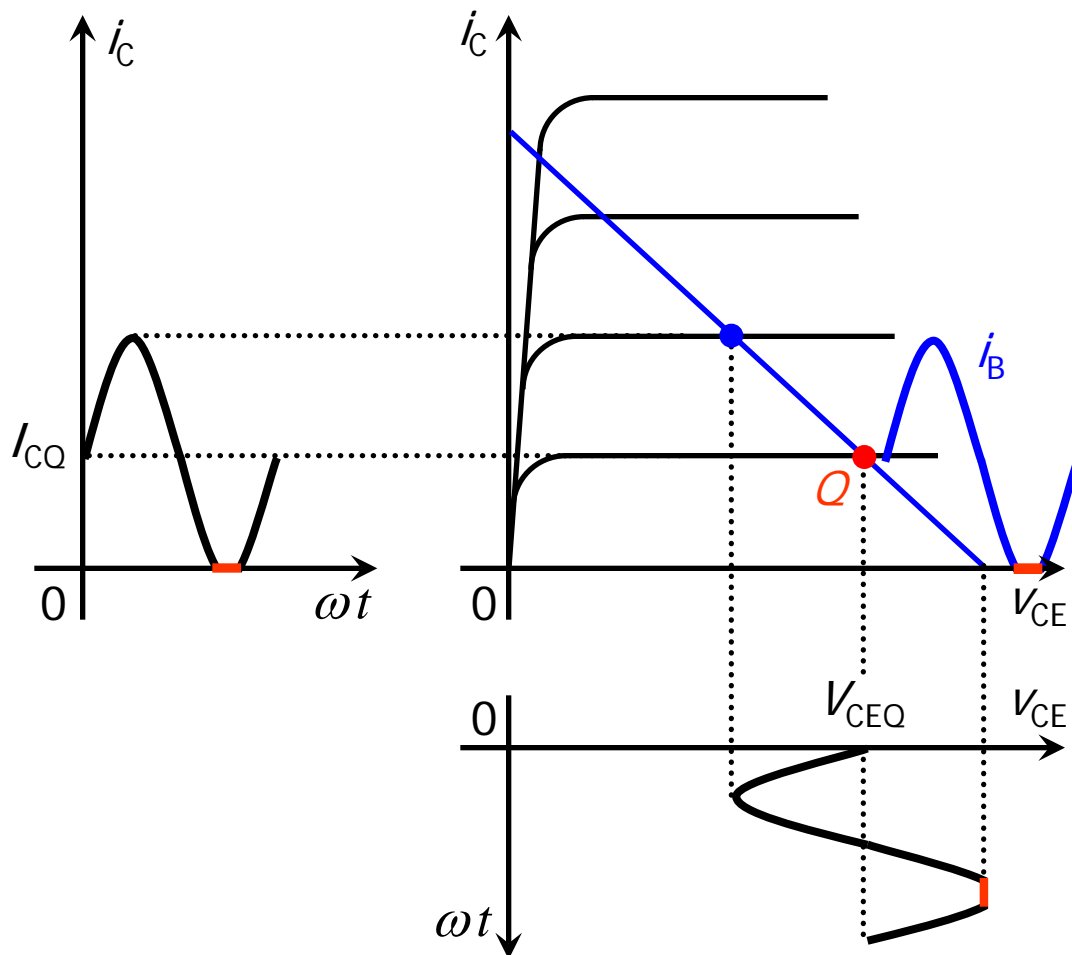
工作点在**交流负载线中点**时： $I_{CQ}$ 正常，当加大输入信号时， $V_o$ 同时出现饱和与截止失真。



## 截止失真示意图

截止失真的原因：静态工作点偏低；输入信号幅度太大。

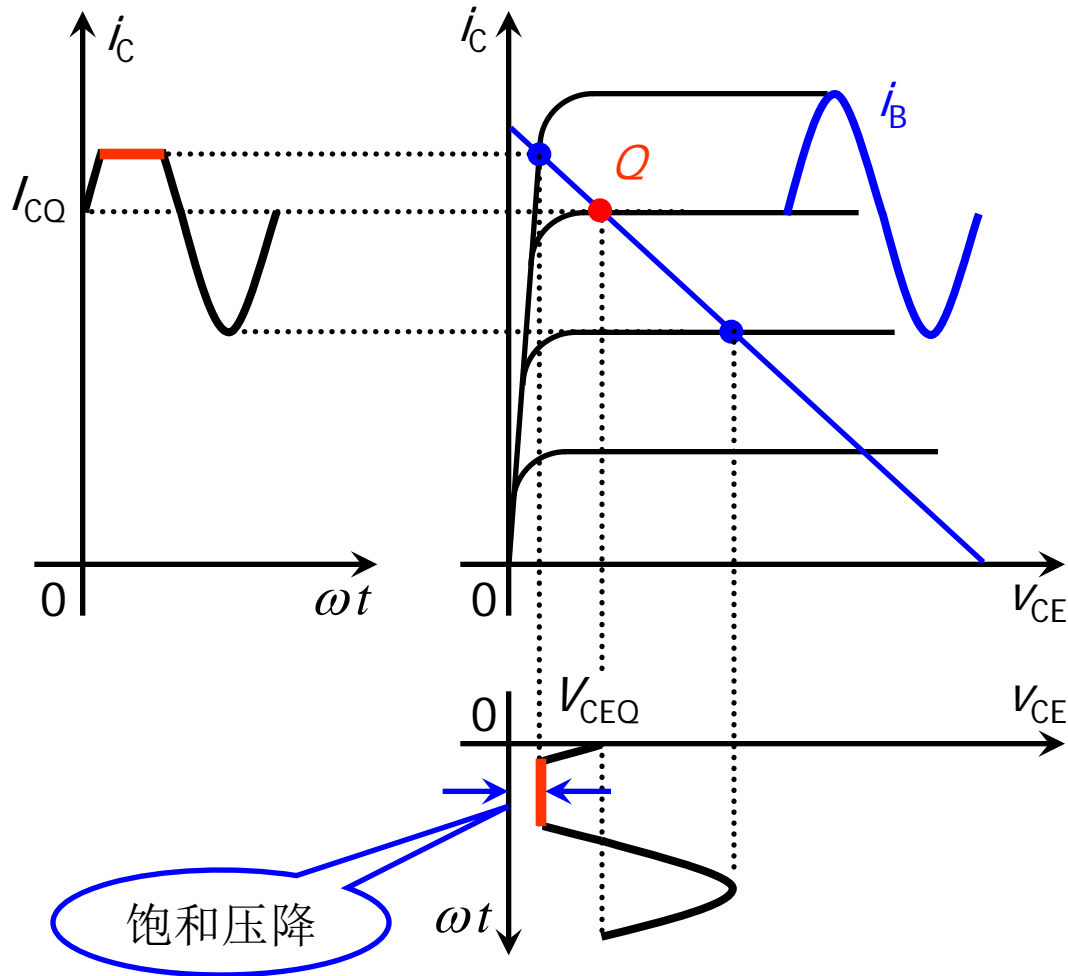
$I_{CQ} \downarrow$ ， $V_o$ 出现截止失真，形状为“缩顶”失真。





## 饱和失真示意图

饱和失真的原因：静态工作点偏高；输入信号幅度太大。  
 $I_{CQ} \uparrow$ ， $V_o$ 出现饱和失真，形状为“削顶”失真。





## 6.观察静态工作点对输出波形的影响

在前述静态工作点（参考  $I_{CQ} = 6 \text{ mA}$ ）且  $R_L = \infty$  的情况下，增大输入信号使输出电压保持没有失真（较大的输出电压利于失真的观察）。然后调节电位器  $W_b$ ，改变电路的静态工作点，使电路分别产生较为明显的截止失真或饱和失真，测出此时相应的集电极静态电流大小，记录示波器显示的失真波形。

说明截止失真与饱和失真的形状有何区别和集电极偏置电流的大小对放大电路输出动态范围的影响。

**问题3：**在测试放大器的各项参数时，为什么要用示波器监视输出波形不失真？

## 选做实验任务 ( $R_{e2}$ 被短接 )

$R_{e2}$  作用：提高输入阻抗；降低放大器的下限频率；改善非线性失真。  
请注意在  $R_L = \infty$  及  $R_L = 1K$  时，下述实验测量和观测到的数据的异同。

任务1,2,3,4,5静态电需保持不变。

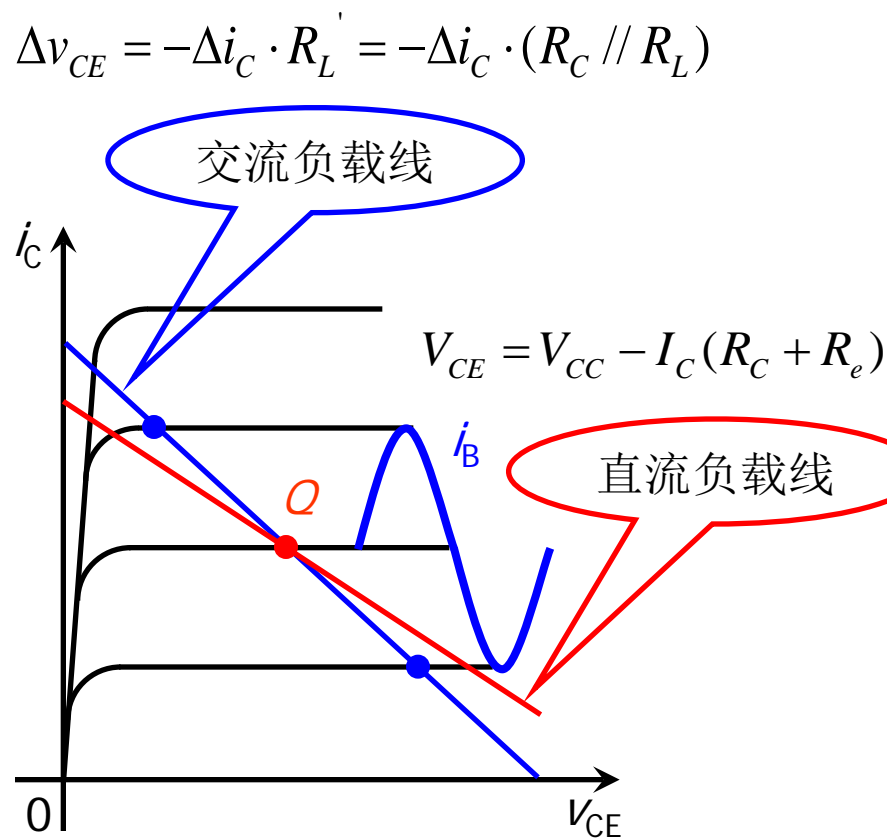
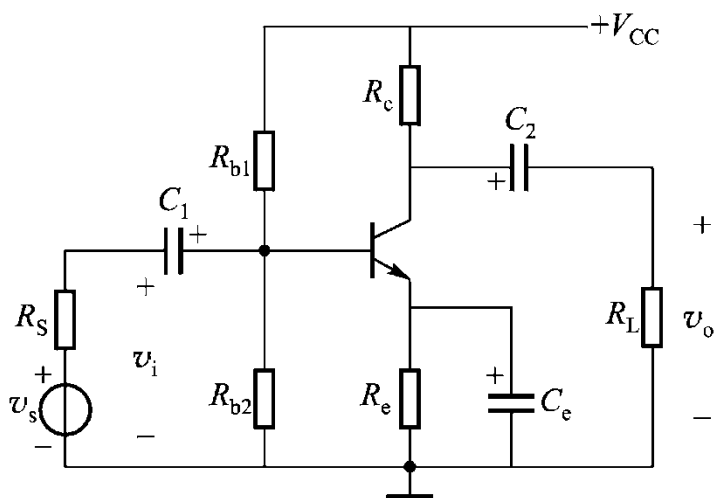
1.  $R_L = \infty$  及  $R_L = 1K$  时，静态工作点的调整和测量。调节  $W_b$ ，使Q点满足要求( ?  $I_{CQ} = 6mA$  参考)。测量各点的静态电压值
2.  $R_L = \infty$  及  $R_L = 1K$  时，电压放大倍数的测量。输入中频段正弦波，示波器监视输出波形，测出电压有效值或峰峰值。
3.  $R_L = \infty$  时，最大不失真输出电压约  $V_{omax}$  (有效值)  $\geq$  ? 2.7V。增大输入信号幅度，用示波器监视输出波形、测出最大不失真输出电压  $V_{omax}$ 。
4.  $R_L = \infty$  及  $R_L = 1K$  时，输入电阻和输出电阻的测量。采用分压法或半压法测量输入、输出电阻。
5.  $R_L = \infty$  及  $R_L = 1K$  时，测量上限频率和下限频率。在不失真的条件下，保持输入幅度不变，改变频率，来测量输出。
6.  $R_L = \infty$  时，观察静态工作点对输出波形的影响。饱和失真、截止失真、同时出现。

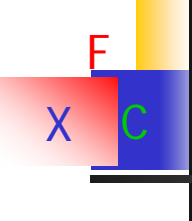
**注意：**RMS (有效值) 表示时示波器最好选择AC耦合，否则会有直流偏置被计数到RMS；如果有毛刺请选择峰峰值；所有被测量表示RMS或峰峰值要**保持一致**！

**注意：**示波器的输入耦合选择DC还是AC应该实际电路及其调试情况。

## 了解最大不失真（操作）

- ✓ 为使放大器不失真地放大，工作点必须选择合适。
- ✓ 初选静态工作点时，可以选取直流负载线的中点；  
当放大器输出端接有负载时，因交流负载线比直流负载线陡，所以放大器动态范围变小；  
当发射极接有电阻时，也会使信号动态范围变小。
- ✓ 要得到最佳静态工作点，还要通过调试来确定。





## 思考题

**问题1：** D882如何确定管脚？如何判断好坏？怎样查看其它元件是否异常？

**问题2：** 通过怎样调整到合适静态工作点，才能到达该电路的最大不失真输出。

**问题3：** 在测试放大器的各项参数时，为什么要用示波器监视输出波形不失真？



## 实验教程：思考与讨论

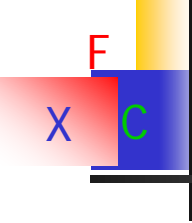
P288

- ① 静态工作电流 $I_{CQ}$ 为什么不直接测，而是通过测量 $V_C$ 或 $V_E$ 间接得到？
- ② 在测量输入电阻时，为什么不能直接测电阻 $R_s$ 两端的压降？
- ③ 在测上、下限频率时，如何选择输入信号的大小？为什么使输出电压为1V？
- ④ 与负载开路相比，接上负载对放大电路的上下限频率有什么影响？
- ⑤ 截止失真和饱和失真在形状上有什么区别？



## 课后作业

**本次需提交实验报告，要求请参看实验教材的要求和课件要求，及请回答教材和课件中思考问题。**



## 下次实验

- 实验13 基本运算电路设计P320