



厦门大学
XIAMEN UNIVERSITY

电力电子技术A实验

实验课程主讲：李 杰

实验课程辅导：朱晋英、严新金



实验四 单极放大电路

实验目的

- 一、基本的实验原理及搭接、测量方法
- 二、放大电路交流参数的测量

实验目的:

- ① 学习用仿真软件对电路进行仿真
- ② 学会在面包板上搭接电路以及放大电路的静态、动态调试方法
- ③ 掌握放大电路的静态工作点、电压放大倍数、输入电阻、输出电阻和通频带测量方法
- ④ 研究负反馈对放大器性能的影响、了解射级输出器的基本性能
- ⑤ 了解静态工作点对输出波形的影响和负载对放大倍数的影响

一、基本的实验原理及搭接、测量方法

1. 单极放大电路简单原理

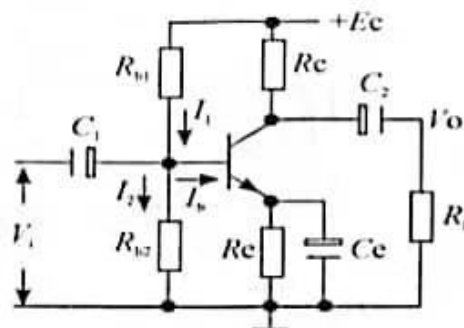


图2 单级阻容耦合放大器

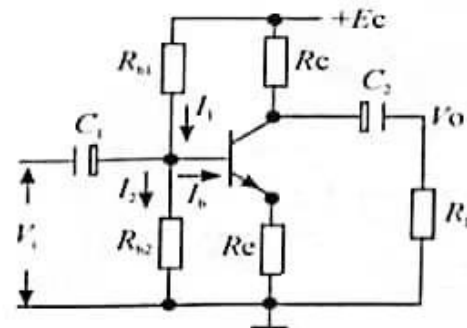


图3 单级电流串联负反馈放大器

表1 基本放大器和电流串联负反馈放大电路主要性能表

主要性能	基本放大电路	电流串联负反馈放大电路
电压增益	$A_v = -\frac{\beta R'_c}{r_{be}}$	$A_{vf} = -\frac{\beta R'_c}{r_{be} + (1+\beta)R_e}$ (注1)
输入电阻	$R_i = R_{b1} // R_{b2} // r_{be}$	$R_{if} = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be} + (1+\beta)R_e]$ (注2)
输出电阻	$R_o = r_{ce} // R_c \approx R_c$	$R_{of} \approx R_c$ (注3)
增益稳定性	较差	提高
通频带	较窄	展宽
非线性失真	较大	减小

注1: $r_{be} = r_{bb} + (1+\beta) \frac{26(\text{mV})}{I_{EQ}(\text{mA})}$

注2: 当 $(1+\beta)R_e \gg r_{be}$ 时, $r_{be} + (1+\beta)R_e \approx \beta R_e$, 则 $A_{vf} = -R'_c/R_e$ 。

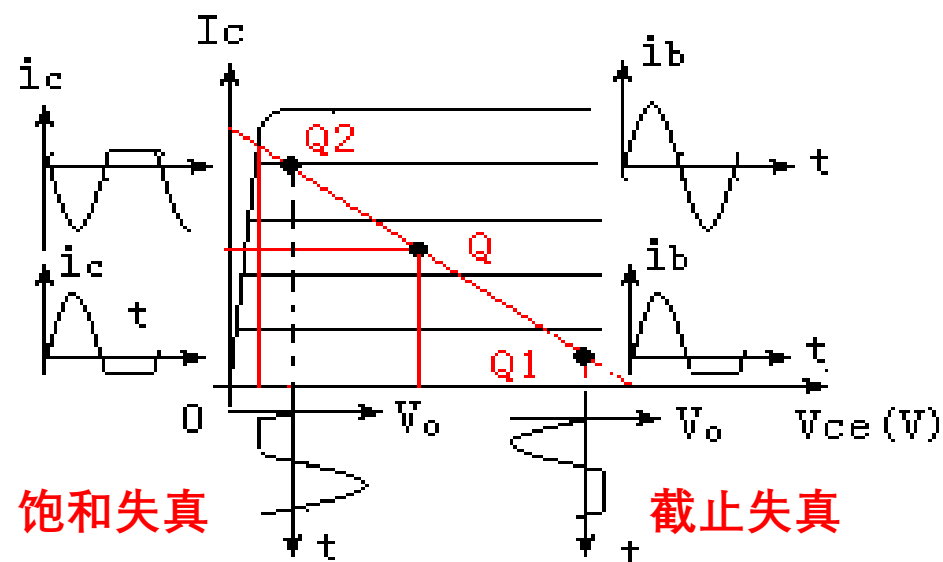
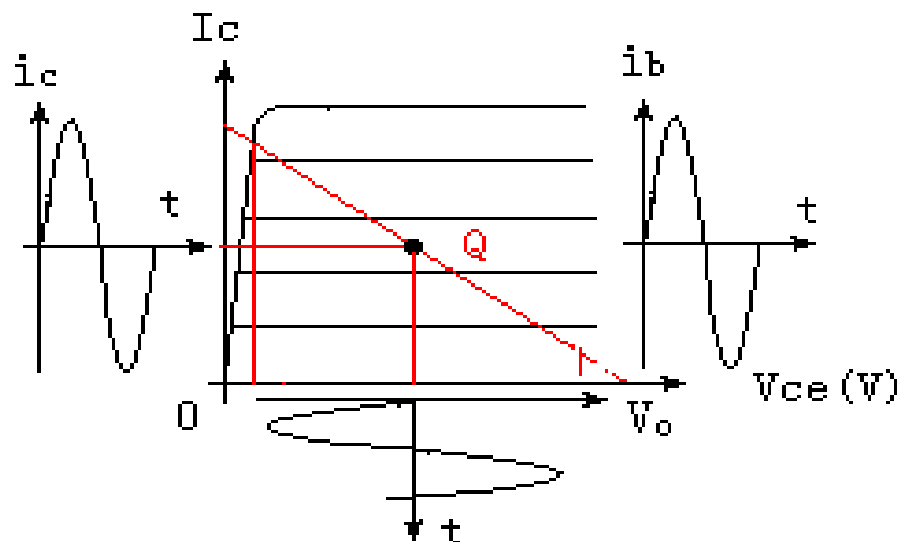
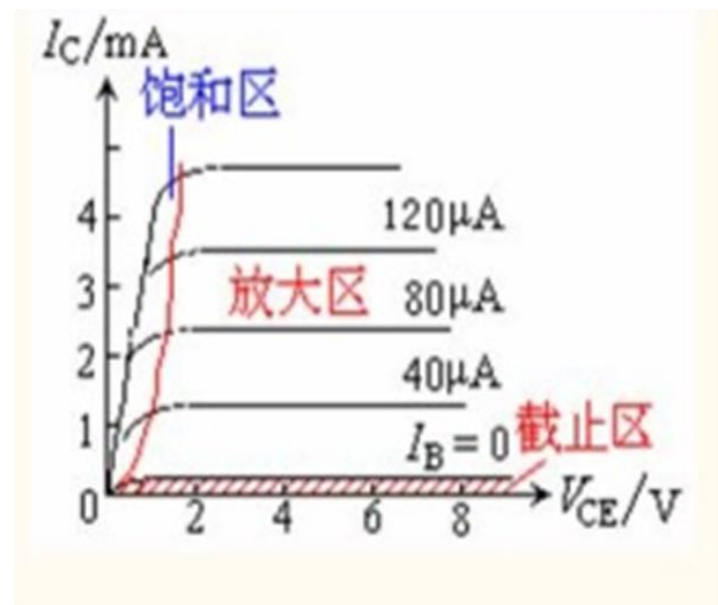
注3: 电流负反馈的输出电阻为 R_c 与从晶体管集电极看进去的等效电阻相并联。电流负反馈的效果仅使后者的增大, 但与 R_c 并联后, 总输出电阻仍然没有多大变化。

一、基本的实验原理及搭接、测量方法

2. 静态工作点的测量、调试

(1) 定义：静态工作点是指放大器不输入信号且输入端短路（输入端接地）时，三极管 I_{CQ} 、 V_{BEQ} 、 V_{CEQ} 值称为静态工作点。

(2)、静态工作点对放大器的影响：
Q点要选择适中

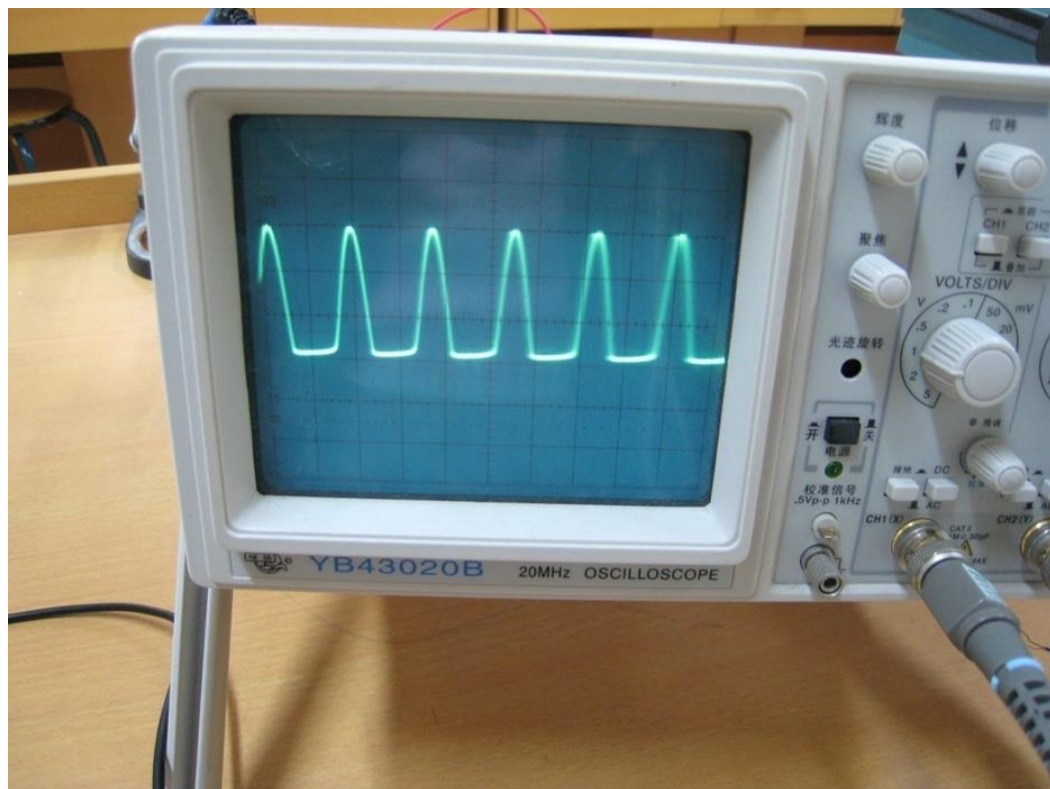


一、基本的实验原理及搭接、测量方法

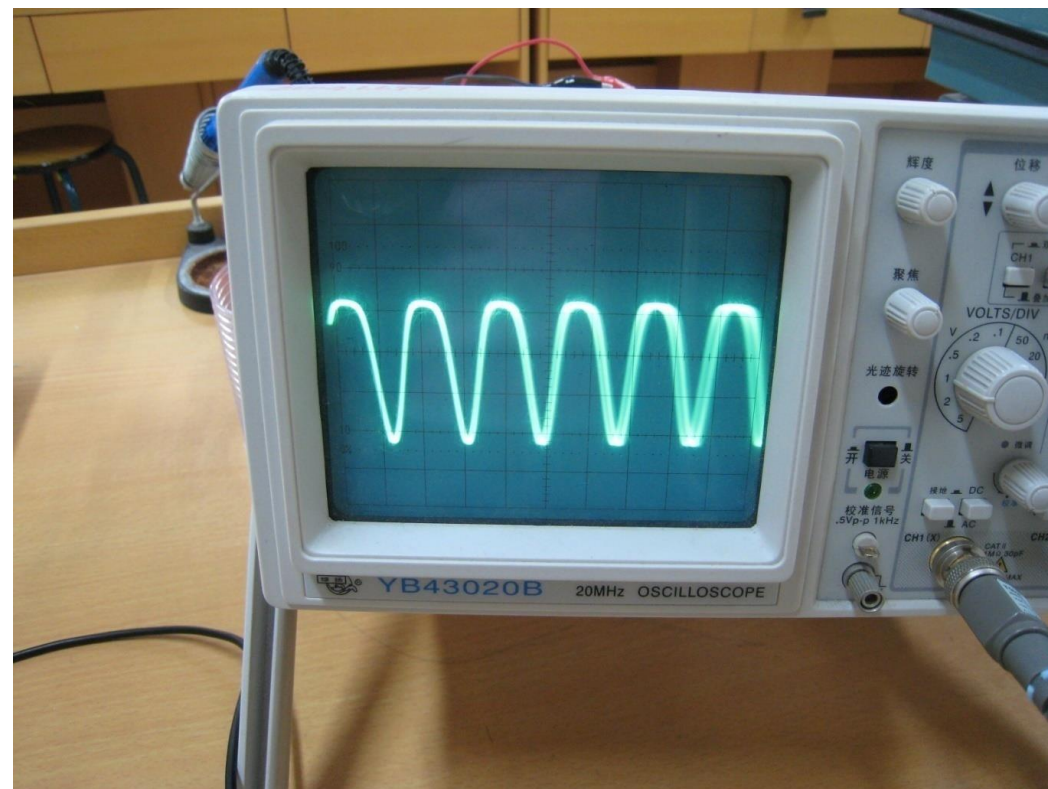


厦门大学
XIAMEN UNIVERSITY

饱和失真

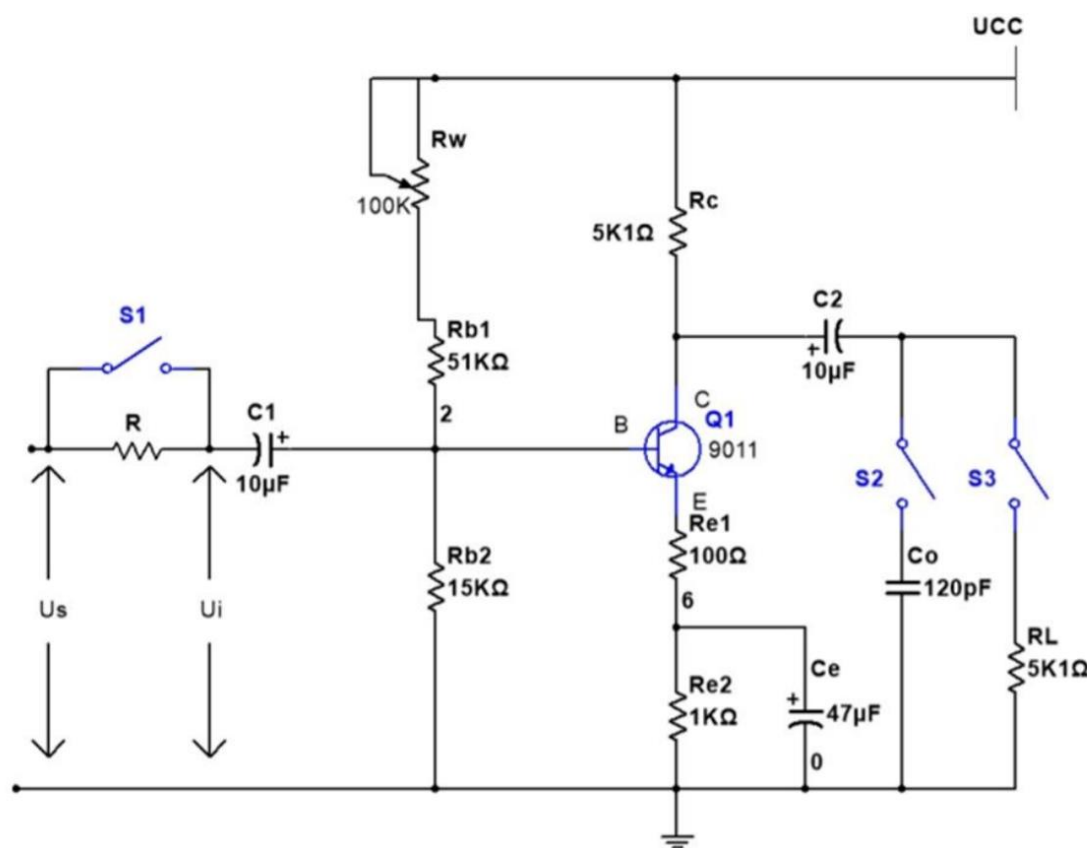


截止失真



一、基本的实验原理及搭接、测量方法

3. 搭接电路及注意事项

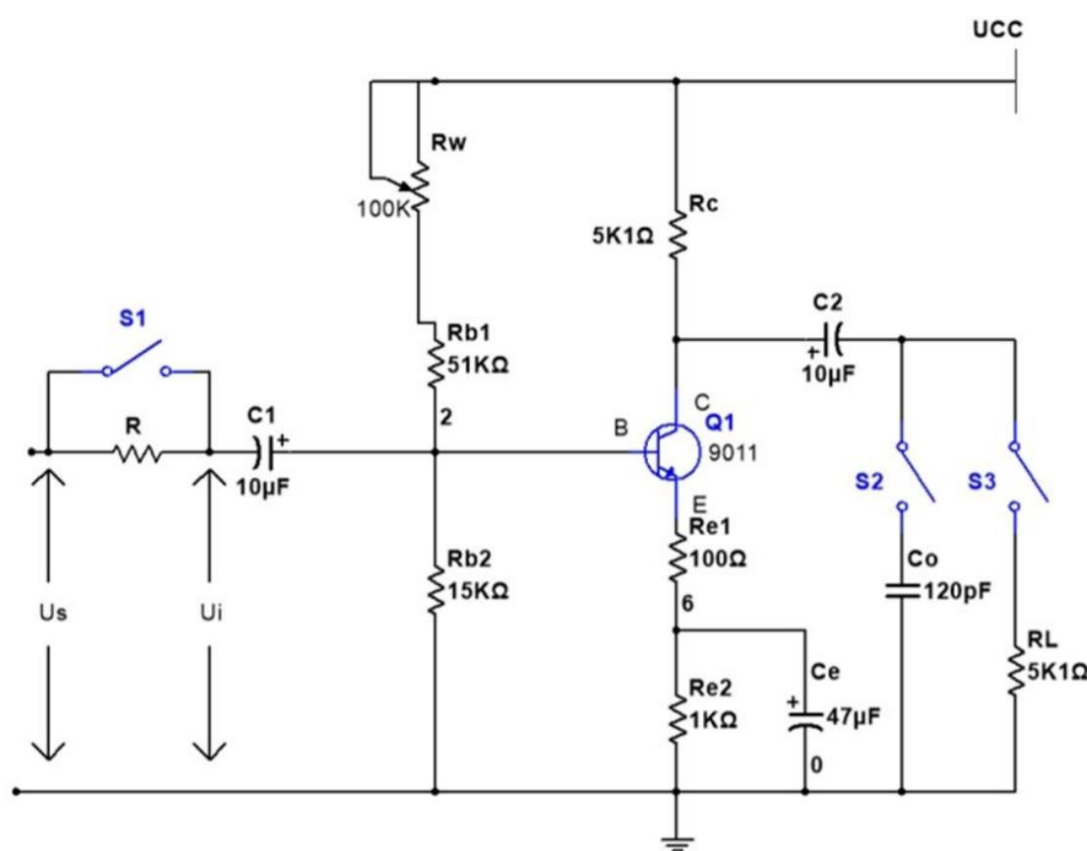


① 按图搭接电路

- a. 面包板结构要清楚
块块不连、五五相连、竖五相连
- b. 检查电位器好坏, 弄懂可变接法
- c. 三极管9011平面朝向我们, 从左到右为: E B C 三极, 管脚间错开一排;
- d. 电容长脚为正, 正极朝向三极管9011

一、基本的实验原理及搭接、测量方法

3. 搭接电路及注意事项



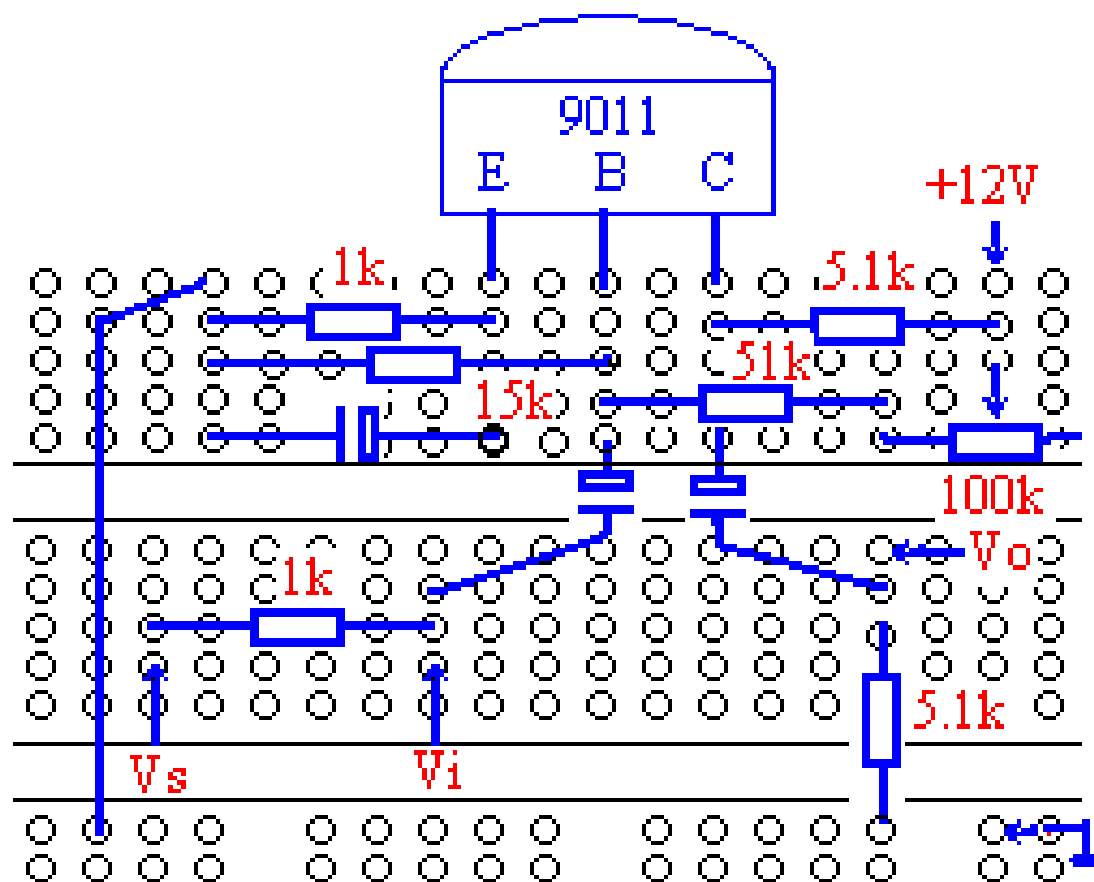
- e. 阻值不要搞错，正确区分红 / 橙两色色环以及前2环一样的电阻不要搞错，比如1k和10k，5.1k和51k的电阻)
- f. 可靠接触，管脚不要太深 / 太浅 (3cm管脚没入插孔)
- g. 不要错排。
- h. 电源、接地插孔的位置不要搞错，从小的金属插口接插，注意窄面包板的结构；
- i. 建议从电源（12v）开始，顺次搭接C/B/E 三路，导线区分颜色，合理使用。

一、基本的实验原理及搭接、测量方法

3. 搭接电路及注意事项

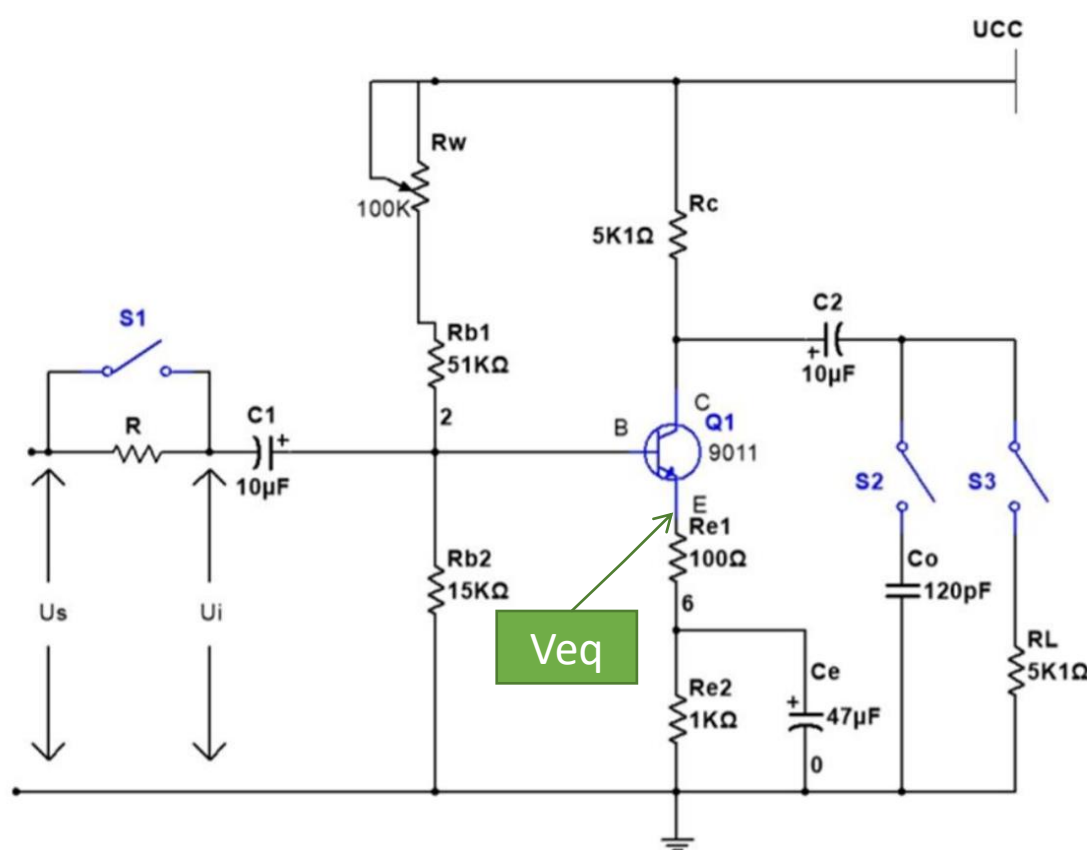
② 基本放大器接线图

务必不要按照这个图连接!!! 易出错!须锻炼根据电路图在面包板上连电路的基本功!



一、基本的实验原理及搭接、测量方法

3. 搭接电路及注意事项



③ 实际测量静态工作点

- 根据电路参数值合理估算各点的静态值。
- 调节100K的电位器，使得 $V_{eq}=1.3V$ 。记录b、c点对应直流电压。
- 静态工作点调好后，在后续的实验中一定不能再动,直到最后一步观察饱和失真和截止失真时再调节静态工作点。

静态工作点	$V_{EQ}(V)$	$V_{BQ}(V)$	$V_{CQ}(V)$	由测量计算		
				$I_{CQ}(mA)$	$V_{BEQ}(V)$	$V_{CEQ}(V)$
万用表测量值	1.3V					

实验内容1 静态工作点的测量



一、基本的实验原理及搭接、测量方法

3. 搭接电路及注意事项

④ 静态工作点测量中的注意事项和故障排除

- a. 测量之前，请先确认四位半红、黑表笔完好无中间断开，量程和档位选择正确（置DC档），并测量输入的12V电压，确保能正确显示12V（约）。并特别注意，在测量静态工作点时，不能在电路的输入端接入交流信号。
- b. 先根据实际电路图，测算基极和集电极的静态电压大致为2.0V和5.5V左右，当测量值偏离该值太多时，需考虑电路出错的可能。
- c. 若测量值始终为电源电压12v左右或者0v左右，考虑地线断路或者电源线断路（先确认已经打开电源开关）
- d. 若发射极和基极电压差值约等于0.7V，但集电极电压和测算值偏差太多，则检查发射极或者集电极电阻阻值是否正确、极性电容的极性是否接错（极性电容应该正端朝晶体管，若负端朝晶体管，会流过直流电流，导致集电极的直流电压值和测量值不符合）



二、放大电路交流参数的测量

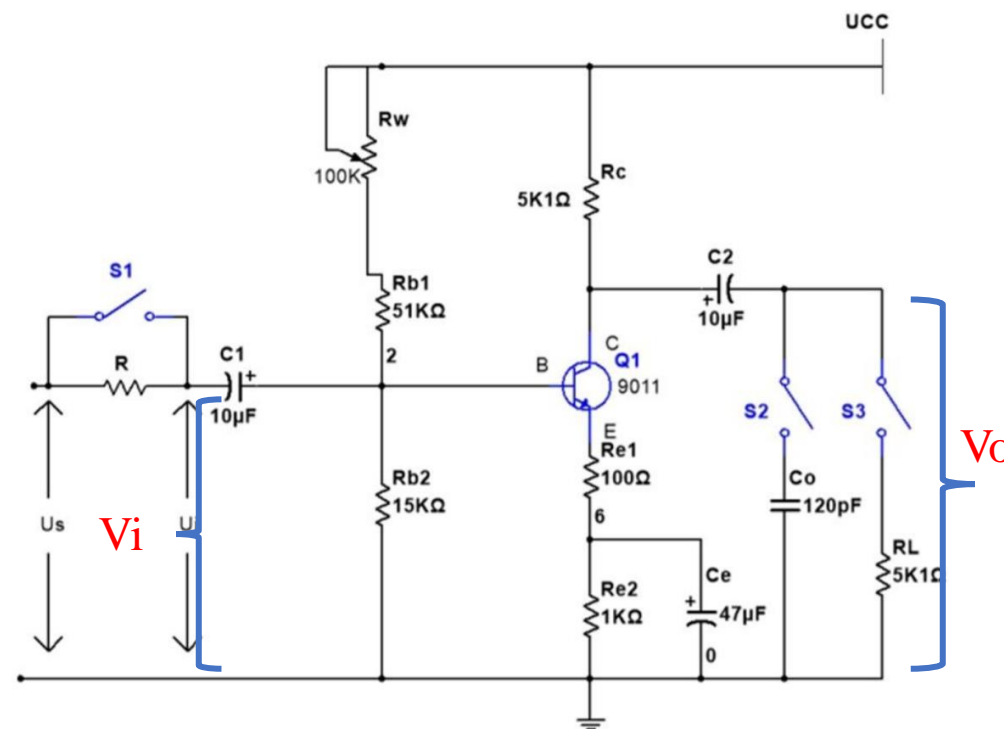
1. 放大倍数测量

1.1 定义:

$A_v = V_o / V_i$ 即在输出波形**不失真**条件下, 输出交流电压
输入交流电压的比值。

1.2 测量方法:

- I、令信号发生器输出正弦波 $f = 2\text{KHz}$, $V_i = 30\text{mV}$;
- II、将上述信号送放大器输入端;
- III、用示波器观察放大器输出端波形, 若输出波形出现失真, 应将 V_i 调小, 直至输出波形不失真。
- IV、在 V_o **不失真**条件下, 用四位半或数字万用表分别测量 V_i 、和 V_o , 则根据定义可计算出 A_v ;





二、放大电路交流参数的测量

2. 输入阻抗测量

- 当输入阻抗 R_i 较小时，忽略电压源的内阻，在输入端的前端串联一个电阻 R （取值大小与输入电阻相近），则 R 与 R_i 串联分压， R_i 上分得的电压即为 V_i 。
- 当输入阻抗 R_i 较大，与测量仪器的内阻在相近或同一数量级上时，直接测量 V_i 会带来较大误差。此时采用测量输出电压的方法换算求得输入电阻。
- 当输入阻抗 R_i 较小时，忽略电压源的内阻，在输入端的前端串联一个电阻 R （取值大小与输入电阻相近），则 R 与 R_i 串联分压， R_i 上分得的电压即为 V_i 。
- 当输入阻抗 R_i 较大，与测量仪器的内阻在相近或同一数量级上时，直接测量 V_i 会带来较大误差。此时采用测量输出电压的方法换算求得输入电阻。

二、放大电路交流参数的测量

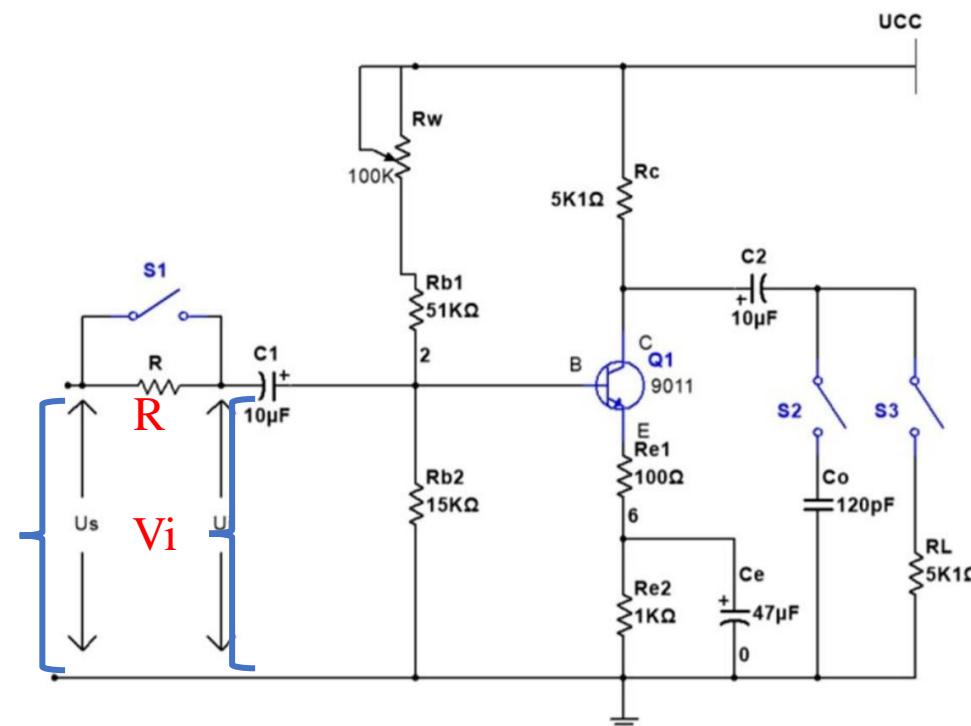
2. 输入阻抗测量

2.1 输入电阻定义：

放大器输入阻抗为从输入端向放大器看进去的等效电阻，
即： $R_i = V_i / I_i$ ；该电阻为动态电阻；

2.2 测量方法：

- I、令信号发生器输出正弦波： $f = 2\text{KHz}$ ， $V_s = 10\text{mV}$ ；
- II、在放大器输入端串入电阻 R （与 R_i 同数量级）；
- III、用示波器观察放大器输出端波形，若输出波形出现失真，应将 V_i 调小，直至输出波形不失真。
- IV、在 V_o 不失真条件下，用四位半或示波器分别测量 V_s 、
和 V_i ，则根据定义可计、算出 R_i ；



$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{V_s - V_i} \cdot R$$



二、放大电路交流参数的测量

3. 输出阻抗测量

3.1 输出阻抗定义：

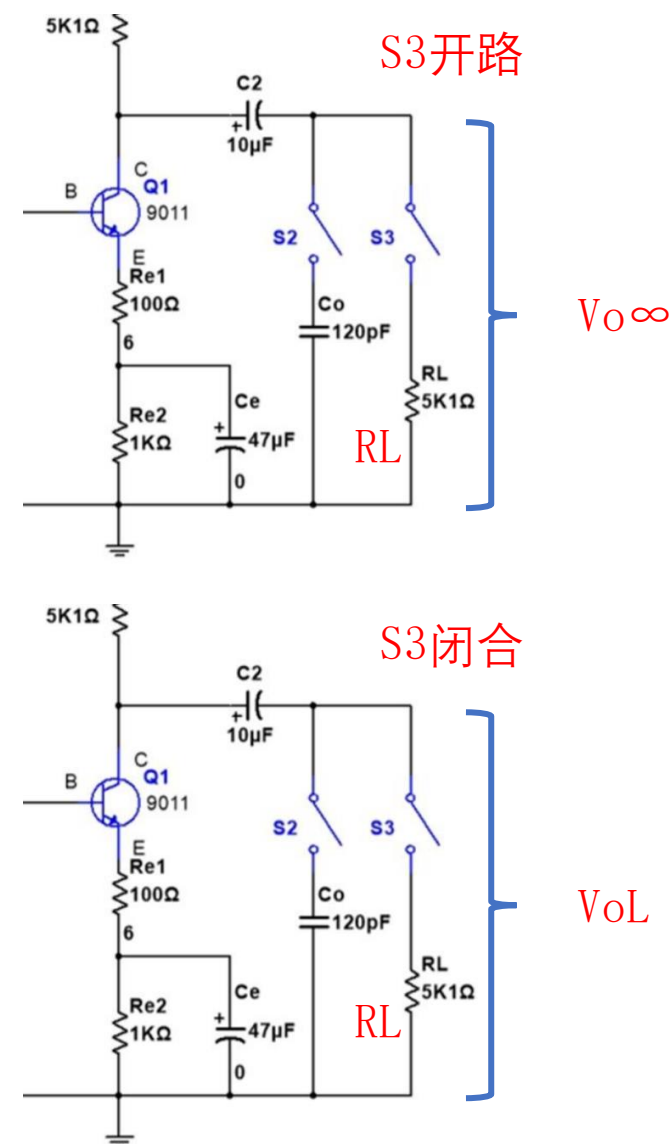
放大器输出阻抗为从输出端向放大器看进去的等效电阻，

即： $R_o = V_o / I_o$ ；该电阻为动态电阻；

3.2 测量方法：

- I、令信号发生器输出正弦波： $f = 2\text{KHz}$ ， $V_s = 10\text{mV}$ ；
- II、用示波器观察放大器输出端波形，若输出波形出现失真，应将 V_i 调小，直至输出波形 **不失真**。
- III、在 V_o **不失真** 条件下，用数字万用表或示波器分别测量 $V_{o\infty}$ 、和 V_{oL} ，则根据定义可计算出 R_o ；

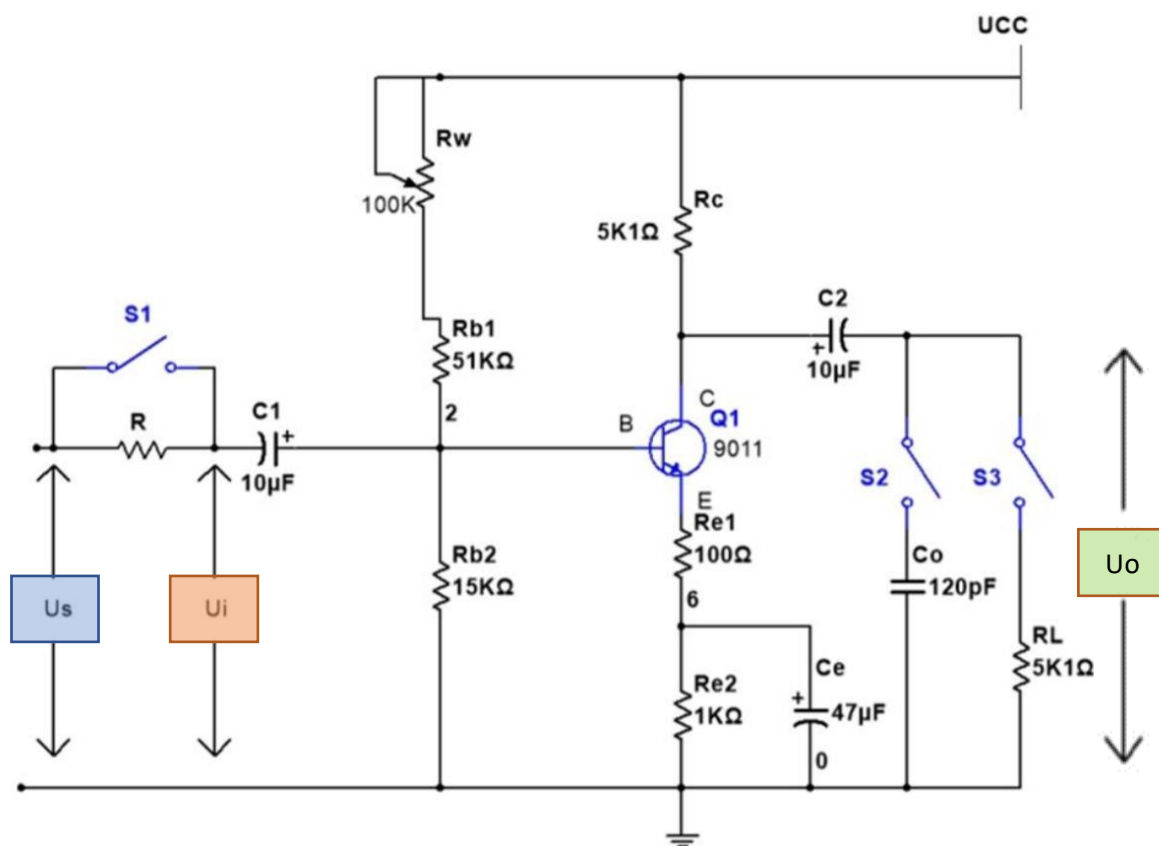
$$R_o = \frac{V_o}{I_o} = \frac{V_{o\infty} - V_{oL}}{V_{oL}} R_L = \left(\frac{V_{o\infty}}{V_{oL}} - 1 \right) \cdot R_L$$





二、放大电路交流参数的测量

各测量点位置



实验内容2：动态参数测量

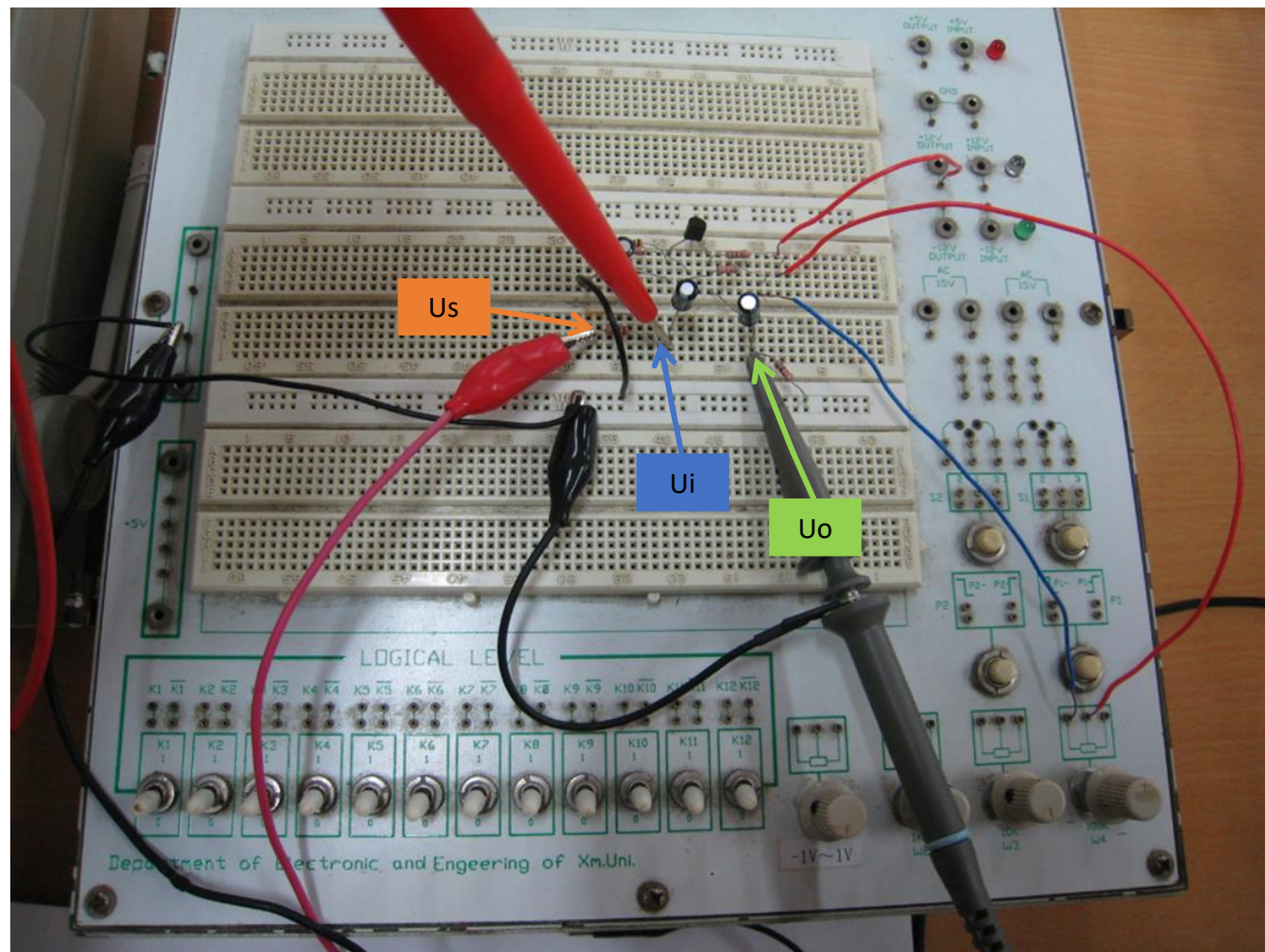
测 量				计 算			
Us	Ui	UO ∞	UoL	Av ∞	Av _L	Ri	Ro

二、放大电路交流参数的测量



厦门大学
XIAMEN UNIVERSITY

放大电路各仪器连接示意图





二、放大电路交流参数的测量

测量过程中的注意事项及故障排除

- ① 示波器要始终观察输入 / 输出信号，保证输出不失真。CH1/CH2探头夹一根导线后再连接到电路中。CH1 看输入，CH2看输出，注意探头与示波器的衰减率匹配(探头拨动挡位和示波器衰减比例都设置为x1)
- ② 可能的错误：
 - $V_s=v_i$ 的错误：检查信号是否在R的右端（靠近晶体管那端）加入的。
 - $V_o=V_{oL}$ 的错误：检查带载时，所接负载电阻两端是否分别和C2负端及地正确连接，没有出现插孔错排现象；或者接地时，所用的面包板窄板插孔和实际所用的地线区域电气上有否连通（参看面包板结构描述的部分）



二、放大电路交流参数的测量

测量过程中的注意事项及故障排除

③ 输出信号失真的解决：

- 检查输入信号幅度是否位给定值；若超过，则调小信号发生器的输出信号幅度到给定值。
- 撤掉交流信号，重新检查静态工作点是否正确；若已经发生变化，重新调整回原来的值。

④ 请注意四位半测量值（有效值）和示波器测量值（峰峰值）之间的区别：

$$V_{\text{有效值}} = \frac{V_{\text{峰-峰值}}}{2\sqrt{2}}$$

二、放大电路交流参数的测量



实验过程中示波器无波形显示的解决办法

重点！本学期必须掌握！！！！

- ① 对示波器 重新自检，使示波器良好显示波形；将探头接上待测信号，观察是否可以显示波形；
(确认示波器状态是否良好)
- ② 设置信号发生器的输出信号；将信号发生器的输出直接接到示波器观察探头，检查是否有输出信号；
(确认信号发生器正常输出)
- ③ 在放大电路不输入交流信号的情况下，**检查放大电路的静态工作点**是否改变，如发生改变，则调整电位器或者检查电路，必要时测量三极管静态参数，使放大电路静态工作点正确；
(保证电路完好)
- ④ 放大电路输入正确的交流信号，用自检过的示波器探头连接输出端，观察是否有输出波形，如有，故障排除，否则，继续下一步，
- ⑤ **根据电路中信号的走向**，从R，C1，B极、C极、C2各端依次次检查，看看那个地方出错有错排等接触不良情况。



二、放大电路交流参数的测量

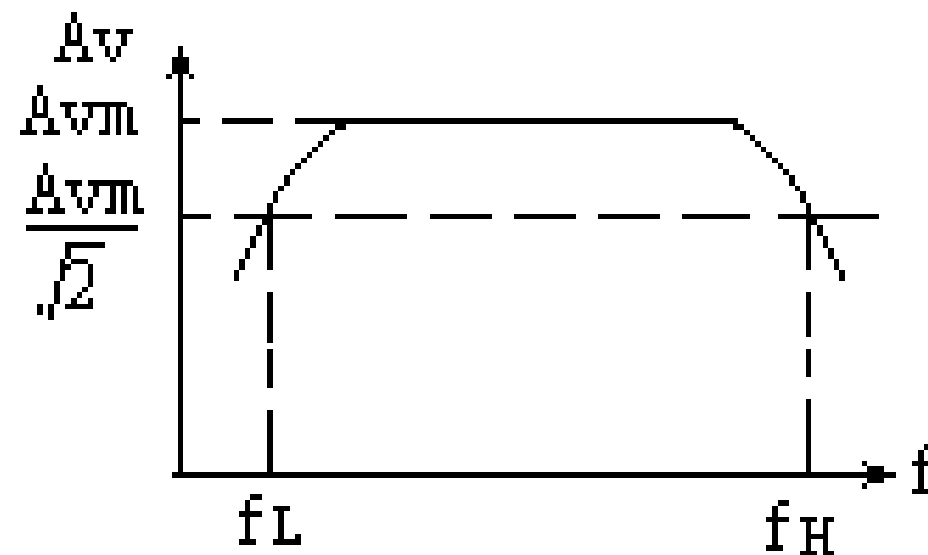
4. 频率特性测量

4.1 定义:

放大器的电压放大倍数与频率的关系曲线。通常将电压放大倍数下降到中频段 A_{vm} 的0.707倍时所对应的频率，称为放大器的上限频率 f_H 和下限频率 f_L ， f_H 与 f_L 之差称为放大器的通频带，即 $\Delta f_{0.7} = f_H - f_L$ 。

4.2 测量方法:

放大器频率特性测量装置图如图5所示，在保证输入 V_i ，不变情况下，改变输入信号频率（升高、下降），使输出 V_o 下降为中频时的0.707倍，则对应的频率即为 f_H 、 f_L 。

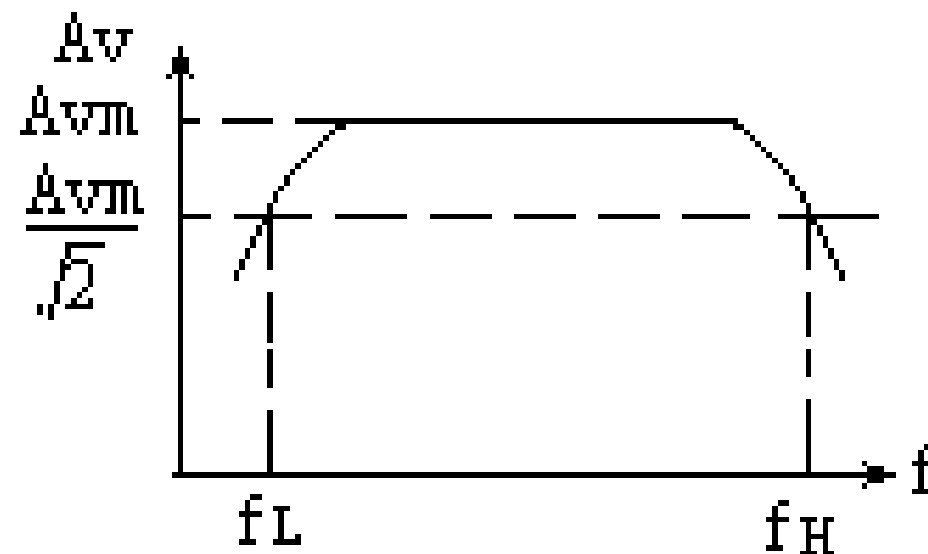




二、放大电路交流参数的测量

注意事项

- 若增加或减小输入信号的频率时，放大器的输出信号幅度保持不变：应该是信号发生器上输出的放大器的输入信号的频率增加、减少的不够，此时继续同方向调节频率直至输出信号幅度开始下降即可。

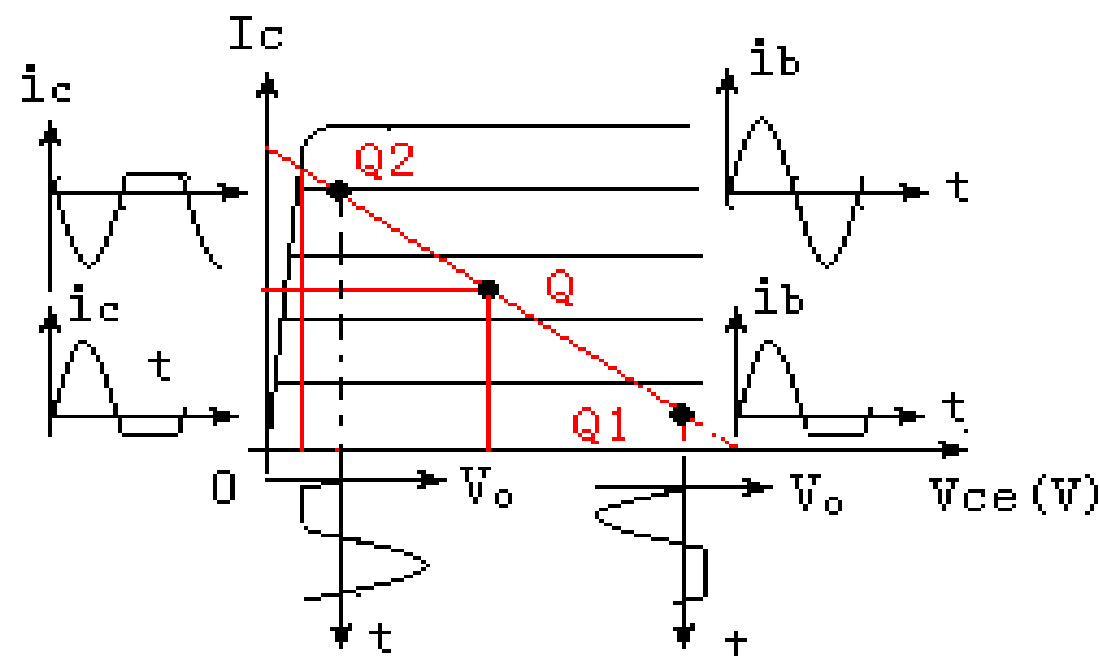


实验内容3：放大器上下限频率测量

	f_H (KHz)	f_L (Hz)	$B=f_H-f_L$ (KHz)
方法1			
方法2			

二、放大电路交流参数的测量

5. 静态工作点对波形失真的影响 (需要调节静态工作点)



- 5.1 将电阻 R 短路，负载电阻 R_L 开路，放大器输入 30mV ， $f=1\text{KHz}$ 的正弦信号。将上偏置电位器 R_W 的电阻调到最大，此时观察输出波形的失真情况，并记录：测量此时放大器的静态工作点，记录结果。
- 5.2 同理将上偏置电位器 R_W 的电阻调到最小，此时观察输出波形的失真情况，并记录：测量此时放大器的静态工作点，记录结果。

实验内容4：观察静态工作点对波形失真的影响（拍照）

实验四 单极放大电路

四、实验内容

1, 2, 3, 4

思考题