

# 实验一 单管放大电路

## 1.1 实验目的

1. 掌握放大电路静态工作点的调整与测量方法；掌握放大电路主要性能指标的测量方法。
2. 理解静态工作点对放大电路动态性能的影响，测量与分析各电阻参数对放大电路静态工作点和动态特性的影响。
3. 掌握晶体管输出特性、放大电路静态工作点和动态参数的仿真测量方法。

## 1.2 实验内容

本次实验内容分为必做和选做两部分。在搭接与测量硬件电路前，要求先进行理论计算和电路仿真。测量结束后对实测值、仿真值、理论计算值进行对比，分析测量误差大小及产生误差的主要原因。

实验电路如图1所示。通过调节可变电阻 $R_W$ 改变电路静态工作点。按照“先静态后动态”的原则，先调整好静态工作点，再测量放大电路的各项动态参数。

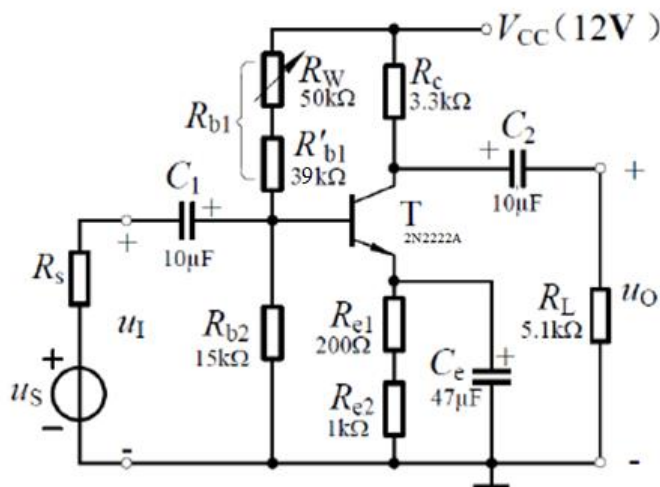


图1 单管共射放大电路

### 1. 晶体管输出特性曲线

测量晶体管2N2222A 输出特性曲线及在静态工作点附近的 $\beta$ 值。

## 2. 放大电路静态工作点

调节 $R_W$ ，使 $I_{CQ}=1\text{mA}$ ，测量 $U_{CQ}$ 、 $U_{EQ}$ 和 $R_{b1}$ 的值。

## 3. 放大电路的主要性能指标

在 $I_{CQ}=1\text{mA}$ 时，测量电压放大倍数 $\dot{A}_u$ 、输入电阻 $R_i$ 、输出电阻 $R_o$ 和幅频特性中的下限截止频率 $f_L$ 和上限截止频率 $f_H$ 。输入信号选有效值 $U_i \approx 5\text{mV}$ ，频率为 $10\text{kHz}$ 的正弦波。

## 4. 静态工作点对放大电路动态性能的影响

调节 $R_W$ ，使 $I_{CQ}=2\text{mA}$ ，测量 $R_{b1}$ 、 $\dot{A}_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ 、 $f_L$ 、 $f_H$ ，观察它们的变化。

## 5. 发射极电阻对动态性能的影响

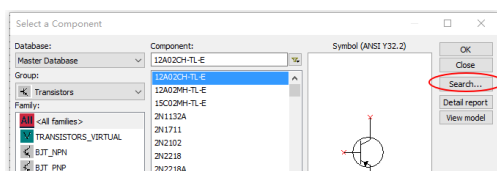
改接电容 $C_e$ ，使之与 $R_{e2}$ 并联，测量 $I_{CQ}=1\text{mA}$ 下的 $\dot{A}_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ ，与上面测量结果相比较，总结发射极电阻对电路动态性能的影响。

## 1.3 实验要求

1. 实验中要将直流电源、信号源、示波器等电子仪器和实验电路共地，以免引起干扰。
2. 测量电路性能指标要在输出电压不失真和没有明显干扰的情况下进行。

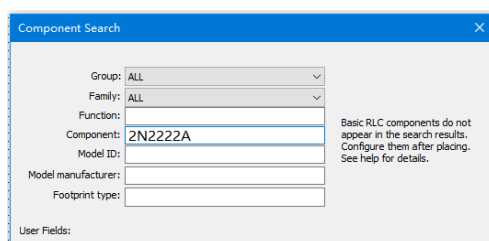
## 1.4 预习要求

1. 复习共射放大电路的基本工作原理。
2. 测量2N2222A的输出特性曲线及在静态工作点附近的 $\beta$ 值。（同学们可以使用实验室的学习机和示波器测量各自保管的2N2222A的 $\beta$ 值。测量方法见相关PPT。）
3. 估算图1单管共射放大电路的 $\dot{A}_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ 。  
估算中 $\beta$ 取实测值。设晶体管 $U_{BEQ} \approx 0.7\text{V}$ ， $r_{bb'}$ 取值为 $150\ \Omega$ 。
4. 利用Multisim对图1单管放大电路进行仿真。完成1.2节中的全部测试内容。其中三极管选用实际元件，型号为2N2222A（模型制造商ID: Zetex / Q2N2222A），将模型参数中的 $\beta$ （即BF）改为实测值；其它元件选用虚拟元件。使用Multisim软件的搜索功能，可以快速找到2N2222A。搜索方法见图2。
5. 拟定各项测量内容的操作步骤，设计好实验数据记录表格，表格中应含有“理论值、仿真值、实测值”等栏目。



1. 使用快捷键ctrl+W弹出选择器件窗
2. 点击窗中Search...按钮
3. 弹出搜索器件窗

图2a 点击搜索按钮



4. 在Component中填入器件名称，敲回车键搜索。

图2b 搜索器件

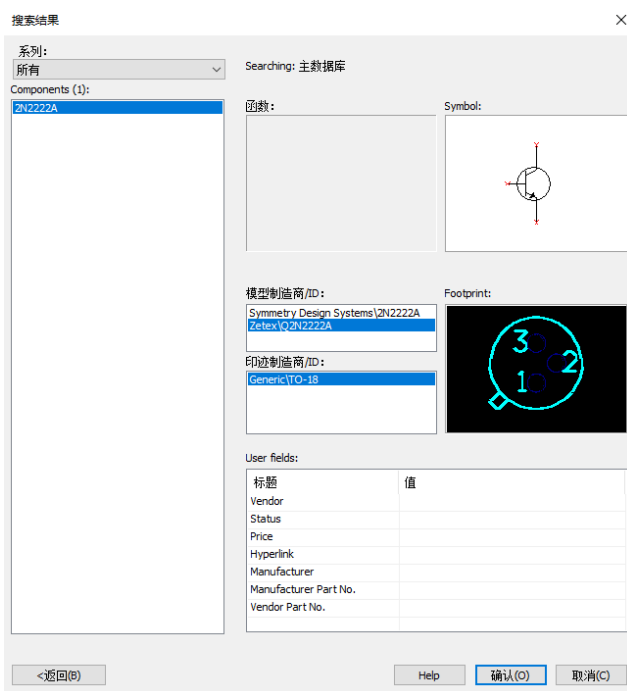


图2c 放置器件

5. 双击器件型号，放置图纸中。

## 1.5 实验报告

1. 整理实验数据，对数据进行理论分析，并将仿真数据、测量值与理论计算值进行比较，分析其误差及产生误差的主要原因。
2. 实验中若电路出现故障，请分析故障原因。
3. 总结、分析发射极电阻对放大电路动态参数的影响。
4. 总结放大电路主要性能指标的测量方法。
5. 回答思考题。

## 1.6 思考题

1.  $R_{b1}$ 为什么要由一个电位器和一个固定电阻器串联组成？
2. 测量放大电路 $R_i$ 时，若串联电阻的阻值比其 $R_i$ 的大得多或小得多，对测量结果会有什么影响？请对测量误差进行分析。
3. 能否用数字万用表测量图1所示放大电路的 $\dot{A}_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ ，为什么？
4. 设示波器探头 $\times 1$ 档的输入电阻为 $1\text{M}\Omega$ ，输入电容（包括电缆线的分布电容）为 $200\text{pF}$ ，用它来测量图1所示放大电路的高频截止频率 $f_H$ 。若设 $f_H$ 大约为 $4\text{MHz}$ ，试分析 $\times 1$ 档探头对测量结果所产生的影响。采取什么办法可消除或减少这种影响？

## 附录：放大电路的测量方法

### 一、静态工作点

测量静态工作点时，先移去信号源，并将输入端短路，输出端开路后，用万用表的直流电压档测量数据。

如图1所示，静态工作点包括晶体管的 $U_{BEQ}$ 、 $U_{CEQ}$ 、 $I_{BQ}$ 和 $I_{CQ}$ 。为使放大电路与测量仪表共地，应测量晶体管b、c、e三个极上的直流电位，计算后得到 $U_{BEQ}$ 和 $U_{CEQ}$ ；同理， $I_{BQ}$ 和 $I_{CQ}$ 也应该先测量电阻两端的电位，然后引用欧姆定律计算得到电流值。

### 二、动态参数

放大电路对不同频率信号的放大能力是不同的，图1中的放大电路只适用于放大某一个特定频率范围内的信号。因此，在测量放大电路动态参数时，首先应选取一个频率适中的小幅值信号，其次要选用适合的仪器观察输出信号的波形是否失真。

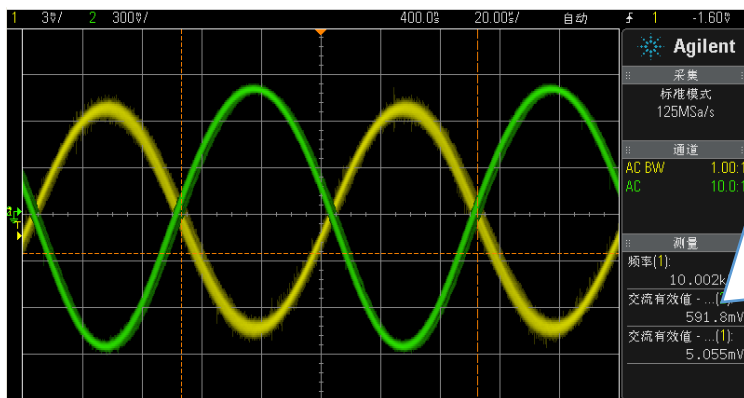
常用的测量仪器有信号发生器、示波器、交流毫伏表、失真度测量仪等。交流毫伏表是用来测量正弦信号的有效值。随着测量技术的发展，许多示波器带有交流毫伏表功能。

#### 1. 电压放大倍数

测量放大电路电压放大倍数时，应该选择放大电路通带内小信号作为输入信号，如输入信号的有效值 $U_i \approx 5\text{mV}$ ，然后用示波器观察输出信号的波形。在信号不失真的条件下测量输出电压 $U_o$ ，通过计算 $U_o / U_i$ 得到 $\dot{A}_u$ 值。

实验中，使用TFG6920型信号发生器产生正弦信号。

使用DSO-X2014A数字示波器测量正弦电压信号时，可用示波器“Mess”功能，直接读出被测电压信号的有效值，如附图1所示。



在“测量类型”菜单中选取“交流有效值-N个周期”，直接读出电压信号的有效值。

附图1 示波器测量方式的设定

## 2. 输入电阻

输入电阻 $R_i$ 表示从放大电路输入端看进去的等效电阻，即

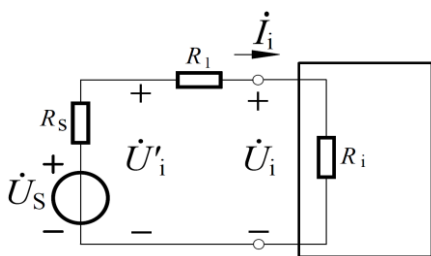
$$R_i = \frac{U_i}{I_i}$$

### (1) 常用测量方法

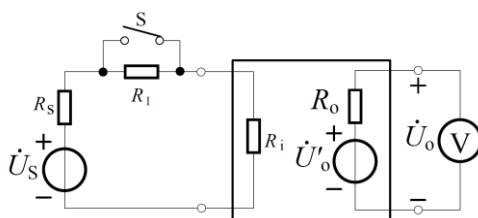
常用测量输入电阻的原理电路如附图2所示。在被测电路的输入回路中串入一个已知电阻 $R_1$ ，在输入端加入正弦小信号，用示波器分别测量电阻 $R_1$ 两端对地的电压有效值，则可求出输入电流，由此推出输入电阻为

$$R_i = \frac{U_i}{U_1 - U_i} R_1$$

为减小测量误差，选取的 $R_1$ 的阻值应与 $R_i$ 接近。



附图2 测量输入电路的原理电路



附图3 高输入电阻的测量方法

### (2) 高阻值输入电阻的测量方法

如果电路的输入电阻很高（如场效应管放大电路），串入的电阻 $R_1$ 的阻值也很大，同时测量仪表的等效电阻和电路的输入电阻 $R_i$ 可以比拟，此时会引起很大的测量误差。因此不能直接在输入端进行测量。解决此问题的方法如附图3所示。

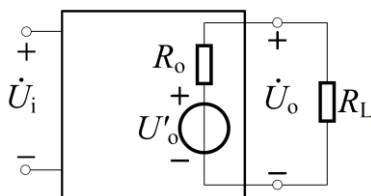
在输入回路串入一个已知电阻 $R_1$ （与输入电阻 $R_i$ 接近）和开关 $S$ ，测量仪表（如示波器）接于电路的输出端。分别测量开关 $S$  闭合与断开时的输出电压有效值 $U_{o1}$ 和 $U_{o2}$ ，设

信号源内阻 $R_s$ 可以忽略，则输入电阻为

$$R_i = \frac{U_{o2}}{U_{o1} - U_{o2}} R_1$$

测量中应注意，由于增加了 $R_1$ ，原来不振荡的电路有可能产生振荡，因此需要监视输出信号的波形。

### 3. 输出电阻



附图4 测量输出电阻的原理图

在输入端加正弦小信号，将负载电阻 $R_L$ 开路，测量电路的开路输出电压 $U'_o$ 然后接入合适的负载电阻 $R_L$ ，测量带载输出电压 $U_{oL}$ 。输出电阻为

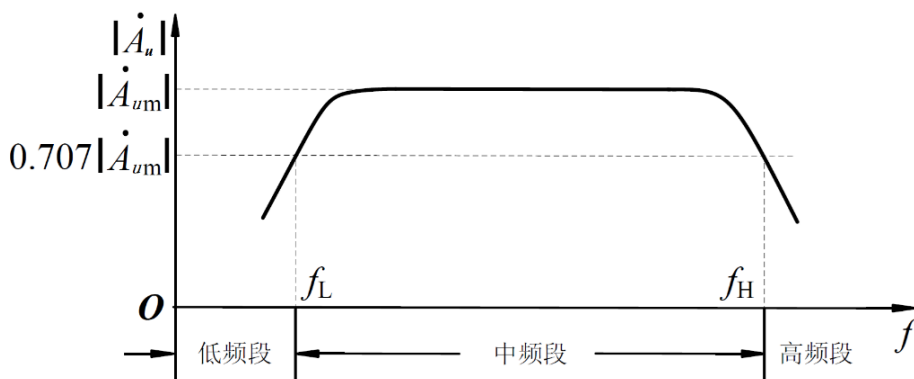
$$R_o = \left( \frac{U'_o}{U_{oL}} - 1 \right) R_L$$

为减小测量误差， $R_L$ 的阻值应与 $R_o$ 接近。但是，当被测电路（如稳压电源、由集成运放组成的运算电路等）的输出电阻 $R_o$ 很小时，就不能采用此方法，否则会使输出电流过大，造成元件的损坏。

测量中应注意，输出负载电阻的变化可能会引起输出信号的失真。

### 4. 幅频特性

附图5为某放大电路放大倍数的幅频特性曲线。



附图5 放大电路的幅频特性

实验中测量幅频特性曲线的常用方法有逐点法和扫频法。常用测量仪器有示波器和扫频仪。这里仅介绍使用示波器逐点测量幅频特性曲线的方法。

将信号源加至被测电路的输入端，改变信号的频率，保持输入电压幅值不变，用示波器测量电路的输出电压。将所测各频率点的电压放大倍数绘制成曲线，即为被测电路电压放大倍数的幅频特性曲线。

实验中使用逐点法的原理，测出放大电路的下限截止频率 $f_L$ 和上限截止频率 $f_H$ 即可。