

# 电子学基础实验报告

实验名称 单管放大电路

班 号 it51

实验日期 11月7日

实验者 金子潼

同 组 人 张耀楠

成绩评定:

92

教师签名:



评阅日期:

11.27



# 清华大学实验报告

系别 计算机系 班号 计51 姓名 金子童 (同组姓名 张耀楠)  
作实验日期 年 月 日 教师评定

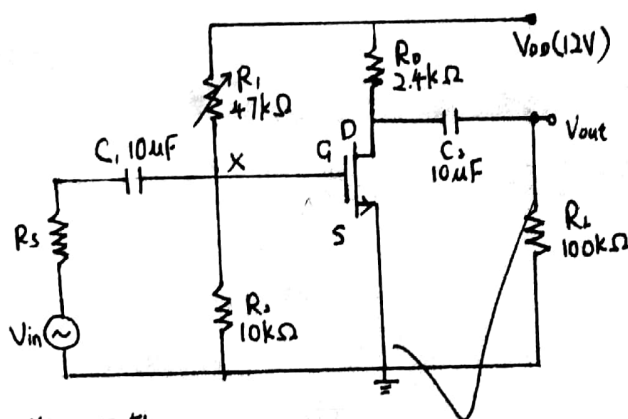
## 实验四 单管放大电路

- 一. 实验目的
1. 掌握放大电路直流工作点的调整与测量方法.
  2. 掌握放大电路主要性能指标的测量方法.

## 二. 实验电路与实验原理.

为了将模拟系统中微弱的电信号增强到可以检测和利用的程度, 常常用放大电路. 对于放大电路, 有两点基本要求: 一是信号的失真小, 二是信号的功率被放大. 这既可以体现在信号的电流被放大, 又可以体现在信号的电压被放大.

本实验采用 MOSFET 搭建放大电路. 它是电压控制元件.



### 1. 静态工作点的估算与调整

上图中的栅极电压由电阻  $R_1$  和  $R_2$  决定. 静态时栅极电流为零, 可以得到

$$V_X = V_{GS} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD}$$

放大电路要求  $M_1$  工作在饱和区. 那么

$$V_{DS} = V_Y > V_{GS} - V_{TH} = V_{Dsat}$$

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2$$

如果  $I_D$  或  $R_D$  增加,  $R_D$  上的压降将增大. 为了保证  $M_1$  仍然工作在饱和区, 要求

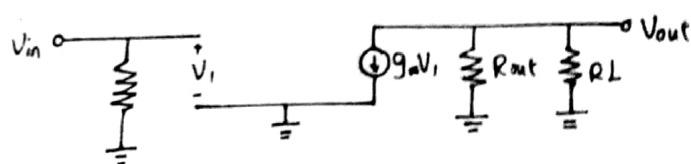
$$V_{DD} - R_D I_D > V_{GS} - V_{TH}$$

### 2. 放大电路的电压增益, 输入电阻和输出电阻.

上图的放大电路的输入电阻是从 X 点看进去的小信号电阻. 输出电阻是



从Y点看进去的小信号电阻. 图4.1所示的共源放大电路的小信号等效模型如图4.2所示.



由上图可知,  $V_{in} = V_i$ ,  $V_{out} = -g_m V_i (R_{out} // R_L)$ , 那么

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -g_m R_{out}$$

工作在饱和区的M<sub>1</sub>的  $g_m$  为

$$g_m = \sqrt{2\mu_n C_{ox} (W/L) I_D}$$

因此电压增益为

$$A_v = -\sqrt{2\mu_n C_{ox} (W/L) I_D} (R_{out} // R_L)$$

该放大电路的输入电阻为(在放大电路的工作频率范围内, 耦合电容的阻抗可以忽略).

$$R_{in} = R_i // R_s$$

该放大电路的输出电阻为

$$R_{out} = r_o // R_D$$

其中  $r_o$  为M<sub>1</sub>的输出电阻.

### 3. 放大电路的电压增益的幅频特性和频带.

放大电路一般含有电抗元件, 使得电路对不同频率的信号具有不同的放大能力. 即电压增益是频率的函数. 电压增益的大小与频率的函数关系即是幅频特性. 实验中, 常用逐点法或扫频法进行测量. 一般是保持输入信号幅度不变, 改变信号的频率, 逐点测量不同频率下的输出电压, 获得各频率点的电压增益, 即可描绘出电压增益的幅频特性曲线. 由该曲线即可确定放大电路的上、下限截止频率  $f_H$ ,  $f_L$  以及频带宽度  $BW = f_H - f_L$ .

注意输入信号不能太大.



### 三. 实验内容

#### 1. 直流工作点的调整

不接交流信号, 调节  $R_1$ , 使  $V_r = V_{DD}/2 = 6V$ , 记录此时的  $V_x$  值.

#### 2. 在 $V_r = 0V$ 的直流工作点测量电压增益

输入信号  $V_{in}$  为正弦电压, 峰值为  $50mV$ , 频率为  $1kHz$ , 观察  $V_{out}$  是否失真, 记录  $V_{out}$  的幅度, 计算出电压增益  $A_v$ .

#### 3. 放大电路的幅频特性

在上述工作点, 测量放大电路的幅频特性

#### 4. 直流工作点对电压增益的影响

输入信号  $V_{in}$  为正弦电压, 峰值为  $50mV$ , 频率为  $1kHz$ , 调节  $R_1$ , 在输出信号  $V_{out}$  波形不失真的情况下, 观察不同  $V_{out}$  时的电压增益  $A_v$ ,  $V_x$  和  $V_r$  值, 并找到增益最大的工作点, 记录下该点的  $V_x$  和  $V_r$  值.

### 四. 注意事项

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. 电路性能指标的测试要在输出电压波形不失真的没有明显干扰的情况下进行.

### 五. 实验数据

任务一:  $V_x = 3.473V$

任务二:  $V_{in} = 50.0mV$ ,  $V_{out} = 3.36V$ ,  $A_v = 67.2$

任务三:  $f_H = 52kHz$ ,  $f_L = 40Hz$

任务四:  $A_v = 90.4$ , 此时  $V_r = 5.67V$ ,  $V_x = 3.258V$

刚失真时,  $A_v = 89.6$ , 此时  $V_r = 5.17V$ ,  $V_x = 3.17V$

### 六. 报告要求

1. 分析直流工作点对放大电路的电压增益的影响.

本实验中, MOS管工作于饱和区.

在饱和区时, 需有

$$V_{GS} = V_G > V_{TH}, \quad V_{DS} = V_D > V_{GS} - V_{TH} = V_{DSAT}.$$

当  $M_1$  工作在饱和区时, 若忽略沟道调制效应, 直流工作点的选择对电压增益无影响. 即使考虑沟道调制效应, 直流工作点的选择对电压增益的影响也是可以忽略的.



## 2. 总结放大电路主要性能指标的测试方法.

输入电阻:  $R_{in} = R_1 // R_2$ . 所以可用欧姆表(或伏安法)测出  $R_1, R_2$  的阻值. 然后计算出  $R_{in}$  即可. 是接在漏端的外阻

输出电阻:  $R_{out} = r_o // R_o$ .  $R_o$  进行测量即可.  $r_o$  是考虑沟道长度调制效应得到的 MOS 管内阻, 可用加压求流, 加流求压等方法测得.

电压增益:  $A_v = -g_m(R_{out} // R_L)$ . 这是建立在高频信号的增益公式. 其中  $g_m = \sqrt{2\mu_n C_{ox}(W/L)I_D}$ . 取決与 MOS 管本身性质和外部电流  $I_D$ .  $R_{out}$  为输出电阻.  $R_L$  为外接电阻.

## 七. 误差分析

系统误差: ①. 仪器本身测量误差

②. 由于示波器调节不够准确带来的误差

③. 由于输入电压信号频率波动, 难以完全稳定带来的误差

④. 由于输入电压较小, 很难精确调至 50mV 带来的误差.

随机误差 ①. 由于读数不准引起的误差

②. 由于示波器调节较慢, 未等其完全稳定就记录数据, 带来的误差.

③. 由于接触不良带来的误差.

## 八. 思考题:

1. 假设图 4.1 所示放大电路的直流工作点已调至“最佳”状态. 列表说明此时若  $R_o, R_L$  各参量单独变化(增大或减小)对输出电压的动态范围有何影响.

参量	$R_o$ 增大	$R_o$ 减小	$R_L$ 增大	$R_L$ 减小
$V_{out}$	增大	减小	增大	减小

2. 是否可以用示波器测量在图 4.1 中的 Y 点直接测量放大电路的电压增益. 为什么?

不可以. 因为电容  $C_1$  对于不同频率的信号阻碍作用是不同的. 对于高频信号可以认为  $V_r = V_{out}$ . 但对于中低频信号  $V_r \neq V_{out}$ . 可以加长导线

3. 在图 4.1 所示的电路中, 一般是改变上偏置电阻  $R_1$  来调节工作点. 为什么?

改变下偏置电阻  $R_2$  来调节工作点可以吗? 调节  $R_o$  呢? 为什么?

因为调节上偏置电阻可以有效调节  $V_{gs}$  的电压, 即  $V_{GS}$  的值. 因为  $V_{gs} = V_{GS} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD}$ .

调节下偏置电阻  $R_2$  也可以. 但若让  $V_{gs}$  变化一定程度,  $R_2$  变化的幅度会更不确定. 也就更难调节  $V_{gs}$  到我们要的工作点.





而调节  $R_0$  是不行的. 调节  $R_0$  仅能改变  $V_{os}$ . 不改变  $V_{cs}$ . 若  $V_{cs} - V_{TH} < 0$ . 或过大. 放大电路仅调节  $V_{os}$  都无法正常工作.

4. 能否用数字万用表测量图 4.1 所示的放大电路的电压增益及幅频特性? 为什么?

不能. 因为电压增益和频率的动态变化范围过大. 在量程的选择上难以准确判断. 而且数字万用表不能实时反映电压增益和幅频特性. 会造成很大误差.


5. 为什么要让  $M_1$  工作在饱和区而不是线性区?

线性区电流与电压的关系近似线性. 电流  $I_D$  受输入电压  $V_{in}$  的变化影响较大.

而  $V_{out} = V_{DD} - I_D R_0$  也会受很大影响. 导致失真.

6. (自行思考) 实验时. 在其它操作都正确的情况下. 测得  $V_T$  恒为 12V. 而更换 MOS 管后.

$V_T$  就变为 6V 了. 可能是何原因?

猜测: 因为 MOS 管管脚为  形. 上端粗处可能卡在实验箱上. 导致下端无法很好

与底层电路板接触. 因此. 可能是 D 或 S 端接触不良. 导致此现象.

## 九. 实验结论.

放大电路直流通工作点的主要参数  $R_{in}$ ,  $R_{out}$  和  $A_v$  与  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_0$ ,  $R_D$ ,  $R_S$  有关. 在实际工作中一般通过上偏置电阻  $R_1$  来调节静态工作点. 动态参数主要借助示波器测量. 单管放大电路中直流工作点的设置会影响动态参数如电压增益. 输入电阻. 频带宽度等. 发射极负反馈电阻会对其造成影响. 但会稳定静态工作点.

## 十. 收获.

本次实验是我第一次搭建模拟电路. 其电路之复杂. 操作之精密都是我第一次领略. 本次实验做得不算顺畅. 因为 MOS 管的接触不良. 导致耽误了两个多小时的时间. 所幸最后结果还不错.

本次实验中. 我觉得收获最大的是要有耐心. 一个不耐烦导致的错误. 可能会耽误更多的时间. 另外. 细心也是我的收获之一. 模拟电路接线复杂. 一不小心就会实验错误. 相信在今后的实验中. 这两点也是我要保持的.

最后. 建议老师把模电实验的电路发到网上 (周上课. 经常会赶不上). 能提高很多同学们的效率.

谢谢老师!



系别 \_\_\_\_\_ 班号 \_\_\_\_\_

教师评定:

作实验日期 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

实验任务一.  $V_x = 3.473V$

实验任务二.  $A_v = 64.6$   $V_{in} = 50.0mV$   $V_{out} = 3.36V$   $A_v = 67.2$

实验任务三.  $f_H = 52kHz$   $f_L = 401Hz$

实验任务四.  $A_v = 90.4$  此时  $V_j = 6.67V$   $V_x = 3.258V$

失真时.  $A_v = 89.6$  此时  $V_j = 3.17V$   $V_x = 3.17V$

实验桌号: 7

实验仪器: 万用表

HPER0511A型电子基础实验箱

函数信号发生器

数字示波器

13015765

13014443

15016116

实验人 金子童 张耀楠

11.7

