

## 实验六 单管放大电路

### 1. 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。
- (3) 了解发射极（源极）负反馈电阻对放大电路性能的影响。

### 2. 实验原理

首先介绍双极型三极管的共发射极放大电路的原理。

无特指的情况下，一般将双极型三极管称为晶体管。实验电路如图 5.15 所示。图中可变电阻  $R_W$  是为调节晶体管直流工作点而设置的。

#### (1) 直流工作点的估算与调整

晶体管的静态工作点一般指集电极电流  $I_{CQ}$  和集电极与发射极之间的电压  $V_{CEQ}$ 。晶体管处于正常放大状态时，基极电流  $I_B = I_C / \beta$ ，当  $\beta$  值较高的时候，基极电流较小，图 5.15 电路中的基极静态电压近似由基极偏置电路  $V_{CC}$ 、 $R_{B1}$  和  $R_{B2}$  的值决定，即

$$V_{BQ} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC}, \text{ 发射极电压}$$

$V_{EQ} = V_{BQ} - V_{BE}$ ，其中  $V_{BE}$  可以近似为 0.6V~0.7V 的常数。集电极电流近似为  $I_{CQ} \approx I_{EQ} = V_{EQ} / (R_{E1} + R_{E2})$ ，接下来确认晶体管集电极与发射极电压差  $V_{CEQ} \approx V_{CC} - (R_C + R_{E1} + R_{E2})I_{CQ}$ ，确认晶体管工作于放大区。

可见，直流工作点与电路元件参数  $V_{CC}$ 、 $R_C$ 、 $R_{B1}$ 、 $R_{B2}$ 、 $R_{E1}$ 、 $R_{E2}$  有关。合理的电路设计，可以减小晶体管的  $\beta$  值对电路工作点的影响。在实际工作中，一般是通过改变上偏置电阻  $R_{B1}$ （调节  $R_W$ ）来调节直流工作点的。 $R_W$  调大， $I_{CQ}$  减小（工作点降低）， $R_W$  调小， $I_{CQ}$  增加（工作点升高）。

为了方便，通常采用间接测量方法测量  $I_{CQ}$ ，即先测出晶体管发射极的对地电压  $V_E$ ，再利用  $I_{CQ} \approx I_{EQ} = V_E / (R_{E1} + R_{E2})$  算出  $I_{CQ}$  来。

#### (2) 放大电路的电压增益、输入电阻和输出电阻

图 5.15 所示的放大电路的动态负载电阻  $R_L' \approx R_C // R_L$ （忽略晶体管的输出电阻  $r_{ce}$ ），放大

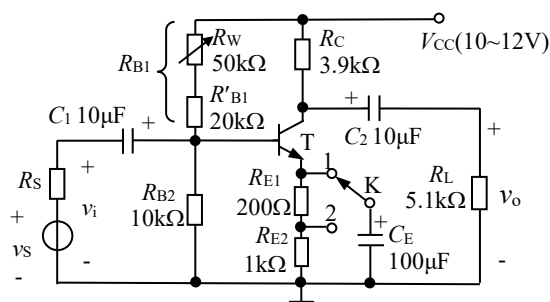


图 5.15 单管共发射极放大电路

电路的电压增益  $A_v$ 、输入电阻  $R_i$  和输出电阻  $R_o$  分别为

$$\begin{cases} A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}} \\ R_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be} \\ R_o \approx R_C \end{cases} \quad (5.14)$$

在室温条件下，式(5.14)中晶体管的输入电阻  $r_{be} = r_{bb'} + (\beta + 1)V_T/I_{EQ} \approx r_{bb'} + (\beta + 1) \times 26(\text{mV})/I_{CQ}(\text{mA})$ 。

很明显，当晶体管和负载电阻 ( $R_C$ 、 $R_L$ ) 选定后，电压增益和输入电阻主要决定于直流工作点  $I_{CQ}$ 。 $I_{CQ}$  增加， $r_{be}$  减小，电压增益增加，输入电阻下降。反之  $I_{CQ}$  下降， $r_{be}$  加大，电压增益下降，输入电阻增加。电路的输出电阻近似等于集电极电阻  $R_C$ ，几乎与  $I_{CQ}$  无关。

如果将发射极旁路电容  $C_E$  改为与电阻  $R_{E2}$  并联， $R_{E1}$  成为交流负反馈电阻，电路的电压增益  $\dot{A}_v$ 、输入电阻  $R_i$  和输出电阻  $R_o$  分别变为

$$\begin{cases} \dot{A}_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = -\frac{\beta R'_L}{r_{be} + (\beta + 1)R_{E1}} \\ R_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (\beta + 1)R_{E1}] \\ R_o \approx R_C \end{cases} \quad (5.15)$$

可见，发射极负反馈电阻  $R_{E1}$  使电压增益下降，输入电阻增加，对输出电阻基本没有影响。当满足  $(\beta + 1)R_{E1} \gg r_{be}$  时， $\dot{A}_v \approx -\frac{R'_L}{R_{E1}}$ ，即电压增益决定于集电极负载电阻与发射极负反馈电阻之比，基本上与晶体管参数无关。所以引入  $R_{E1}$  使增益下降，但提高了增益的稳定性。

**NMOS 场效应管的共源极放大电路的原理是类似的。**

NMOS 场效应管可以近似认为是压控电流源，当工作在饱和区时，其漏极电流和栅源电压之间的关系近似为：

$$I_D = \frac{1}{2} k_n (V_{GS} - V_{TH})^2$$

如果先确定工作点  $I_{DQ}$ ，电路参数可以如下确定： $V_{DSQ}$

$$\approx V_{DD} - (R_D + R_{S1} + R_{S2})I_{DQ}, \quad V_{SQ} \approx (R_{S1} + R_{S2})I_{DQ}$$

通过漏极电流和栅源电压之间关系，确定  $V_{GSQ}$ ，从而静态栅极电压

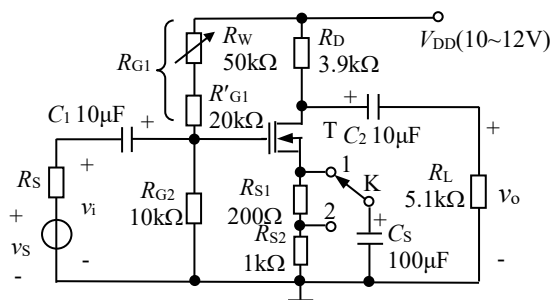


图 5.16 单管共源极放大电路

$V_{GQ}=V_{GSQ}+V_{SQ}$ 。栅极电压通过偏置电阻确定，和双极型三极管放大电路类似，在实际工作中，一般是通过改变上偏置电阻  $R_{G1}$ （调节  $R_W$ ）来调节直流工作点。

### 共源极放大电路的电压增益、输入电阻和输出电阻

图 5.16 所示的放大电路的动态负载电阻  $R_L' \approx R_C // R_L$ （忽略晶体管的输出电阻  $r_{ds}$ ），当漏极旁路电容接于 1 点时，电路中没有交流负反馈作用，放大电路的电压增益  $A_v$ 、输入电阻  $R_i$  和输出电阻  $R_o$  分别为

$$\begin{cases} A_v = \frac{V_o}{V_i} = -g_m R_L' \\ R_i = R_{G1} // R_{G2} \\ R_o \approx R_D \end{cases} \quad (5.16)$$

式(5.16)中晶体管的跨导  $g_m = k_n (V_{GS} - V_{TH}) = \sqrt{2k_n I_D}$ ，电压增益受直流工作点  $I_{DQ}$  影响。 $I_{DQ}$  增加，跨导增加，电压增益增加。电路的输出和输出电阻近似等于偏置电阻的交流等效电阻和漏极电阻  $R_C$ ，几乎与  $I_{DQ}$  无关。

如果将漏极旁路电容改为与电阻  $R_{S2}$  并联， $R_{S1}$  成为交流负反馈电阻，和双极型三极管共源极放大电路类似的分析可以得出电压增益  $\dot{A}_v$  将下降，输入和输出电阻维持不变。

## 3. 实验内容

### （1）双极型三极管的共发射极放大电路

#### ①直流工作点的调整

按照图 5.15 插接电路，调节  $R_W$ ，使  $I_{CQ}=1.0\text{mA}$ ，测量相应的  $V_{CEQ}$ ， $V_{BEQ}$  的值。在此工作点下进行下面的实验内容。

#### ②无交流负反馈的条件下的电路特性

将开关 K 置于 1 端，在  $I_{CQ}=1.0\text{mA}$  情况下，测量放大电路的输出波形和电压“增益”（输入信号  $v_i$  为正弦电压，峰峰值为 40mV，频率为 1kHz）。

#### ③射极负反馈电阻对动态特性的影响

将开关 K 置于 2 端，即电容  $C_E$  改为与  $R_{E2}$  并联，测量此时放大电路的输出波形、电压增益，与②的测试结果相比较，总结发射极负反馈电阻对电路动态特性的影响。测量电路的输入电阻和输出电阻。

### （2）MOSFET 的共源极放大电路

### ①直流工作点的调整

按照图 5.16 插接电路, 调节  $R_W$ , 使  $I_{DQ}=1.0\text{mA}$ , 测量相应的  $V_{DSQ}$ ,  $V_{GSQ}$  的值。在此工作点下进行下面的实验内容。

### ②无交流负反馈的条件下的电路特性

将开关 K 置于 1 端, 在  $I_{DQ}=1.0\text{mA}$  情况下, 测量放大电路的输出波形和电压“增益”(输入信号  $v_i$  为正弦电压, 峰峰值为  $100\text{mV}$ , 频率为  $1\text{kHz}$ )。

### ③射极负反馈电阻对动态特性的影响

将开关 K 置于 2 端, 即电容  $C_S$  改为与  $R_{S2}$  并联, 测量此时放大电路的输出波形、电压增益, 与②的测试结果相比较, 总结源极极负反馈电阻对电路动态特性的影响。测量电路的输入电阻和输出电阻。

## 4. 注意事项

- (1) 注意所使用的三极管的管脚, 并特别留意使用的电解电容的极性。
- (2) 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。
- (3) 调整工作点时对  $I_{CQ}$  (或  $I_{DQ}$ ) 的测量采用间接测量法进行, 即通过测量集电极 (或漏极) 负载电阻上的直流电压的方法计算得到。

## 5. 预习要求

- (1) 了解双极型晶体管、MOSFET 的基本特性和共发射极、共源极放大电路的基本原理。
- (2) 进行相关理论计算或仿真分析。设 9014 型双极型晶体管的主要参数为:  $\beta=300$ 、 $V_{BE}=0.65\text{V}$ , 2N7000 型 MOSFET 的  $k_n=48\text{mA/V}^2$ ,  $V_{TH}=1.33\text{V}$ ; 计算实验电路的主要性能指标或利用电路仿真软件对实验电路进行仿真, 以备与实验测试结果进行分析对比。
- (3) 复习放大电路电压增益、输入电阻、输出电阻的测试方法。
- (4) 自行拟定实验方案, 绘制电路图, 拟定各项测试的操作步骤, 设计实验数据记录表格。

## 6. 实验报告要求

- (1) 总结和分析发射极 (源极) 负反馈电阻对放大电路动态特性的影响。
- (2) 总结放大电路主要性能指标的测试方法。

## 7. 思考题

(1)测量放大电路输入电阻时,若串联电阻的阻值比其输入电阻的值大得多或小得多,对测量结果会有什么影响?请对测试误差进行简单的分析。

(2)在本实验中的共发射极(源极)放大器中,宗宏承同学想只要输入信号小,放大器就可以近似线性化,而发射极(源极)反馈电阻实际上减小了  $be$  结( $GS$  极)上的电压,放大器失真减小。因此,他将输入信号用两个电阻分压再接入无负反馈的放大器,通过调节电阻的分压比使得整体的增益和带有负反馈的放大器增益一致。他认为:这种先衰减再放大的放大器和带有负反馈的放大器的失真性能一样。你是否同意这个判断,并给出你的分析。