

<实验一>

单级交流放大电路

班 级：微电

学 号：

姓 名：



1. 实验目的

1. 熟悉电子器件和模拟电路实验箱，
2. 掌握放大电路静态工作点的调试方法及其对放大电路性能的影响。
3. 学习测量放大电路 Q 点， A_u 、 r_o 。

2. 实验器材

1. 示波器
2. 信号发生器
3. 数字万用表

3. 实验预习内容

3.1 三极管及单管放大电路工作原理。

三极管是电流放大器件，有三个极，分别叫做集电极 C，基极 B，发射极 E。分成 NPN 和 PNP 两种。这里仅以 NPN 三极管的共发射极放大电路为例来说明一下三极管放大电路的基本原理：

放大电路中负载所获得的能量不是来源于信号源，而是来源于为电路供电的直流电源，即放大的本质是能量的转换和控制。在下图所示的基本共射放大电路中，设静态工作点合适，信号源为晶体管输入回路提供了基极动态电流 i_b ，于是产生了集电极动态电流 i_c ($i_c = \beta i_b$)，改变了集电极回路从 V_{CC} 获取的电流， R_c 上的电压产生相应的变化，使得管压降产生相反的变化，这个变化就是输出电压。放大电路通过晶体管将直流源的直流功率转换为交流功率输出，并由输入信号控制直流电源为输出提供交流功率的大小。其他放大电路的原理相类似。

放大电路中就是靠晶体管和场效应管来实现能量的控制和转换的。

3.2 放大电路静态和动态测量方法。

静态分析：在分析放大电路的静态工作点时，首先要画出直流通路，然后通过估算法和图解法求出 Q 点。

①估算法：在估算法中，认为晶体管的 b-e 间的电压为已知量，常取硅管的 U_{BEQ} 为 0.7V，锗管的 U_{BEQ} 为 0.2V；集电极电流仅决定于基极电流， $I_{CQ} = \beta I_{BQ}$ ；即认为晶体管的直流模型如图 3.1 所示，图中二极管为理想二极管，他只表示电流的流向，导通时压降为 0。

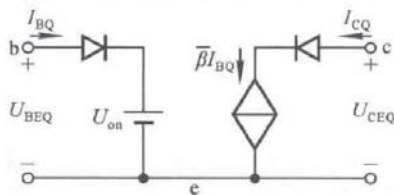


图 3.1

利用估算法求解静态工作点时，应首先画出放大电路的直流通路，然后列回路方程，并将 $I_{CQ} = \beta I_{BQ}$ 代入，解方程即可。

②图解法：在实测放大电路中晶体管输入、输出特性曲线的前提下，可用图解法求解静态工作点。对于如图 2（a）共射放大电路，首先在输入特性曲线坐标系中作输入回路负载线，与输入特性曲线的交点就是 Q 点，如图 2（b）所示，读其坐标值，得出 I_{BQ} 和 U_{BEQ} ；然后在输出特性坐标系中作输出回路负载线，它与 $I_B=I_{BQ}$ 的那条输出特性曲线的焦点就是 Q 点，如图 2（c）所示，读出坐标值，即为 I_{CQ} 和 U_{CEQ} 。图解法可以直观地描述出 Q 点在输出特性坐标系中的位置。如果实测特性曲线和作图都比较准确，所得结果应比较符合实际情况。

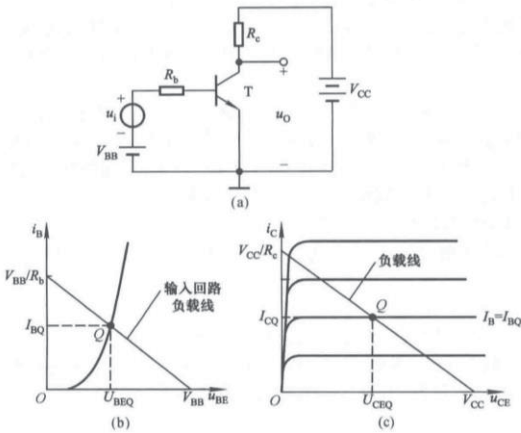


图 3.2

动态分析：电路的动态分析就是求解个动态参数和分析其波形。通常利用等效电路法求解 A_u 、 R_i 和 R_o ，利用图解法分析 U_{om} 和失真情况。

1. 双极型管和单极型管的 h 参数等效模型：h 参数等效模型是适于低频小信号的模型，双极型管和单极型管简化的 h 参数等效模型及其参数来源如表 3.1 所示

表 3.1 简化的 h 参数等效模型及其参数

| 放大管 | 低频小信号模型 | 参数来源 |
|-----------------------|---------|--|
| 双极型管 (NPN 和 PNP 管) | | <ol style="list-style-type: none"> 1. 实测 β 2. $r_{be} = r_{bb'} + (1+\beta) \frac{26 \text{ mV}}{I_{EQ}}$ |
| 单极型管 (结型、绝缘栅型场效应管) | | <ol style="list-style-type: none"> 1. N 沟道结型管的 $g_m = \frac{2}{U_{GS(sat)}} \sqrt{I_{DSS} I_{DQ}}$ 2. N 沟道增强型 MOS 的 $g_m = \frac{2}{U_{GS(sat)}} \sqrt{I_{DQ} I_{DQ}}$ |

2. 求解 A_u 、 R_i 和 R_o 的方法和步骤

在利用等效电路法求解 A_u 、 R_i 和 R_o 时，应首先画出放大电路的交流通路，并用晶体管简化的 h 参数等效模型取代其中的晶体管，从而得出交流等效电路；然后写出输入电压 U_i （或信号源电压 U_s ）和输出电压 U_o 的表达式，根据 A_u （或 A_{us} ）的定义，利用 $I_c = \beta I_b$ ，描述出 U_o 与 U_o （或 U_s ）的关系；进而得出 A_u （或 A_{us} ）的值；最后根据 R_i 和 R_o 的物理意义，观察交流等效电路，得出结论。

图 2（a）所示基本共射放大电路的交流等效电路如图 4 所示，因而：

$$U_i = I_b(R_b + r_{be}) = I_b(R_b + r_{be}), U_o = -I_c R_c = -\beta I_b R_c.$$

所以 A_u 、 R_i 和 R_o 为：

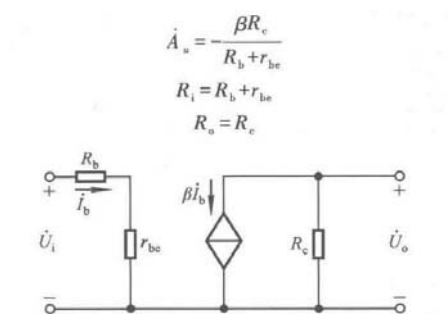


图 3.3

3. 求解最大不失真输出电压 U_o 的方法和步骤

图解法可以直观地描述出 Q 点在输出特性坐标系中的位置, 因而有利于判断电路在输入信号时是否会产生失真, 以及在输入信号增大时电路容易产生截止失真还是饱和失真, 故应用图解法可以方便地求解 U_{om} 。

对于图 2(a) 所示电路, 从图(c) 可知, 不产生饱和失真的最大输出电压的峰值为 $(U_{CEQ} - U_{CES})$, 不产生截止失真的最大输出电压的峰值为 $(V_{CC} - U_{CEQ})$ 。取 $(U_{CEQ} - U_{CES})$ 和 $(V_{CC} - U_{CEQ})$ 中小者除以 2 就是最大不失真输出电压。

四、实验内容及步骤

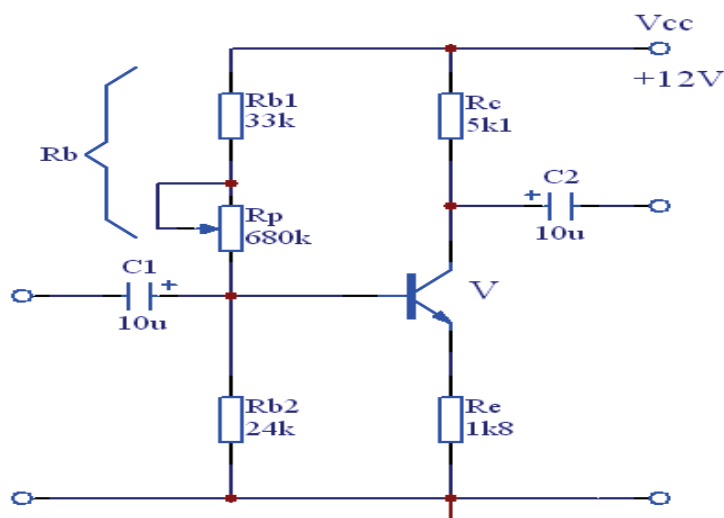


图 4.1 基本放大电路

1. 装接电路与简单测量

- (1) 用万用表判断实验箱上三极管 V 的极性和好坏, 电解电容 C 的极性和好坏。
- (2) 按图 1.1 所示, 连接电路(注意: 接线前先测量+12V 电源, 关断电源后再连线), 将 R_p 值调到最大位置。

2. 静态测量与调整

- (1) 接线完毕仔细检查, 确定无误后接通电源。改变 R_p , 记录 I_c 分别为 0.5mA、1mA、1.5mA 时的 I_b , 并计算三极管 V 的 β 值。

IB 计算方法: $I_B = I_{B1} - I_{B2} = U_{Rb1}/R_{b1} - U_{Rb2}/R_{b2}$

β 计算方法: $\beta = I_C/I_B$

I_B 和 I_C 一般可用间接测量法, 即通过测 U_C 和 U_B , R_C 和 R_b 、 R_{b2} 计算出 I_B 和 I_C 。

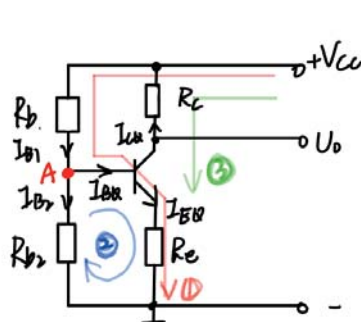
表 4.1

| 实测 | | | | 实测计算 | |
|-----------|------------|---------------|---------------|----------|----------|
| U_C (V) | I_C (mA) | U_{Rb1} (V) | U_{Rb2} (V) | I_B | β |
| 2.55 | 0.5 | 2.474 | 1.554 | 0.01022 | 48.92513 |
| 5.10 | 1.0 | 4.070 | 2.509 | 0.018792 | 53.21508 |
| 7.65 | 1.5 | 5.665 | 3.448 | 0.028 | 53.57143 |

β 平均值: 51.9126

(2) 调整 R_P 使 $U_E = 2.2V$, 计算并填表 4.2。

I_B 、 I_C 计算方法:



静态直流通路

回路①方程:

$$V_{CC} = R_b \cdot I_{B1} + U_{BEQ} + U_E$$

回路②方程:

$$U_{BEQ} + U_E = I_{B2} \cdot R_{b2}$$

A.K.KCL:

$$I_{B1} = I_{B2} + I_{BQ}$$

$$\text{求解 } I_{BQ} = I_{B1} - I_{B2}$$

回路③方程:

$$V_{CC} = I_{CQ} R_C + U_{CEQ} + U_E$$

$$\therefore \beta = \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}}$$

表 4.2

| 实测 | | | 实测计算 | | |
|--------------|--------------|---------------------|------------------|------------|---------|
| U_{BE} (V) | U_{CE} (V) | R_b (K Ω) | I_B (μ A) | I_C (mA) | β |
| 0.666 | 3.532 | 62.853 | 25.9 | 1.229 | 47.45 |

3. 动态研究

(1) 按图 1.2 所示电路接线, 调节 R_P 使 $U_C = 6V$ 。

(2) 将信号发生器的输出信号调到 $f = 1kHz$, 幅值为 500mV, 接至放大电路的 A 点, 经过 R_1 、 R_2 衰减, U_i 点得到接近 5mV 的小信号。

(3) 信号源频率不变, 逐渐加大信号源幅度, 观察 U_o 不失真时的最大值并填表 4.3。

估算 A_u :