

电流串联负反馈放大器的插接与测试实验报告

2200011477 李昊润 五班 1 号

2024 年 10 月 14 日

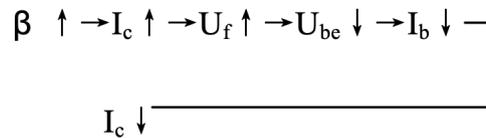
1 实验目的

1. 学会测量放大器输入输出阻抗的方法。
2. 了解电流串联负反馈对放大器性能的影响。

2 实验原理

在放大电路中，将输出信号通过取样，再送到输入端，并参与对放大的控制过程叫作反馈。

本次实验中采用图 *** 的电路，是一个静态工作点稳定电路，反馈为电流串联负反馈，其过程如下：



本次实验电路为简单的单级放大电路，开环放大倍数、闭环放大倍数、输入阻抗和输出阻抗的计算可根据微变等效电路法直接计算。

无反馈时的放大倍数、输入阻抗和输出阻抗计算公式如下：

$$\begin{cases} A = -\frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be}} \\ r_i = r_{be} // (R_{b1} + R_W) // R_{b2} \\ r_o = R_C // r_{ce} \approx R_C \end{cases} \quad (1)$$

有反馈时的放大倍数、输入阻抗和输出阻抗计算公式如下：

$$\begin{cases} A_f = -\frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_f} \\ r_i = (r_{be} + (1 + \beta)R_f) // (R_{b1} + R_W) // R_{b2} \\ r_o = R_C // \left[r_{ce} + (R_f // r_{be}) \left(1 + \frac{\beta r_{ce}}{r_{be}} \right) \right] \approx R_C \end{cases} \quad (2)$$

由上面公式可看出负反馈使电路的放大倍数下降，电流串联负反馈增大了输入电阻和输出电阻，从而改善了电路的性能。

3 实验仪器和设备

直流稳压电源，示波器，信号发生器，万用表，面包板，三极管、电阻、电容器、电位器等元器件。

4 数据记录和分析

4.1 无反馈测量

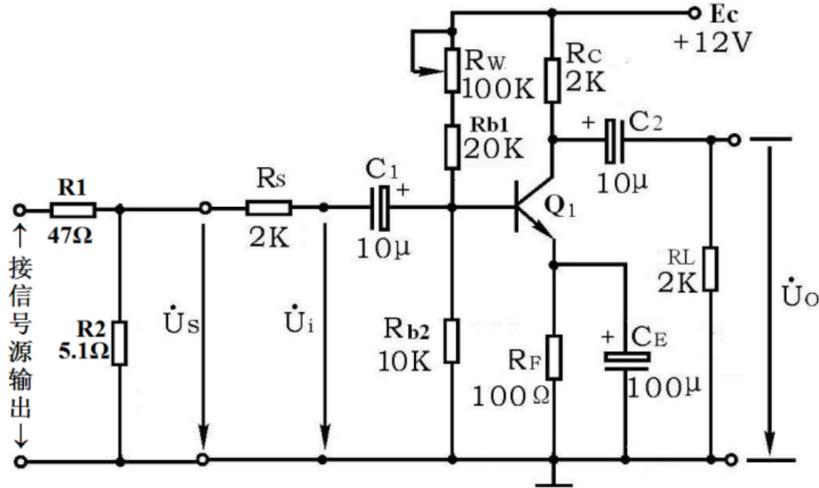


图 1: 无反馈电路图

计算开环放大倍数：电路图如图 1，测量 $u_i = 50 \text{ mV}$, $u_o = 3.12 \text{ V}$ ，计算开环放大倍数 A_0 ：

$$\begin{aligned} A_0 &= -\frac{u_o}{u_i} \\ &= -\frac{3.12 \text{ V}}{50 \text{ mV}} \\ &= -62.4 \end{aligned}$$

计算输入阻抗：电路图如图 1，测量 $u_i = 50 \text{ mV}$, $u_s = 86 \text{ mV}$, $R_s = 1.9950 \text{ k}\Omega$ ，计算输入阻抗 R_i ：

$$\begin{aligned} R_i &= R_s \left(\frac{u_i}{u_s - u_i} \right) \\ &= 1.9950 \text{ k}\Omega \times \left(\frac{50 \text{ mV}}{86 \text{ mV} - 50 \text{ mV}} \right) \\ &= 2.77 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

计算输出阻抗：电路图如图 2，测量 $u_{o\infty} = 6.4 \text{ V}$, $u_o = 3.12 \text{ V}$, $R_L = 1.9973 \text{ k}\Omega$ ，计算

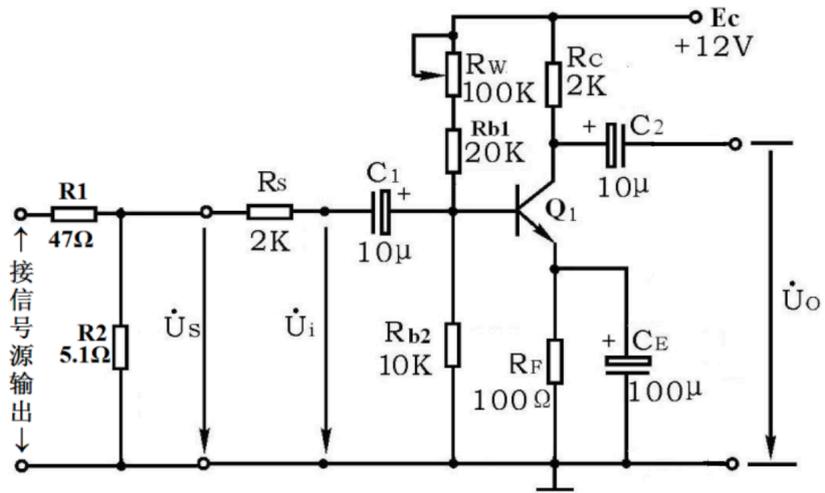


图 2: 无反馈电路图输出端开路

输入阻抗 R_o :

$$\begin{aligned}
 R_o &= R_L \left(\frac{u_{o\infty} - u_o}{u_o} \right) \\
 &= 1.9973 \text{ k}\Omega \times \left(\frac{6.4 \text{ V} - 3.12 \text{ V}}{3.12 \text{ V}} \right) \\
 &= 2.0997 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

4.2 有反馈测量

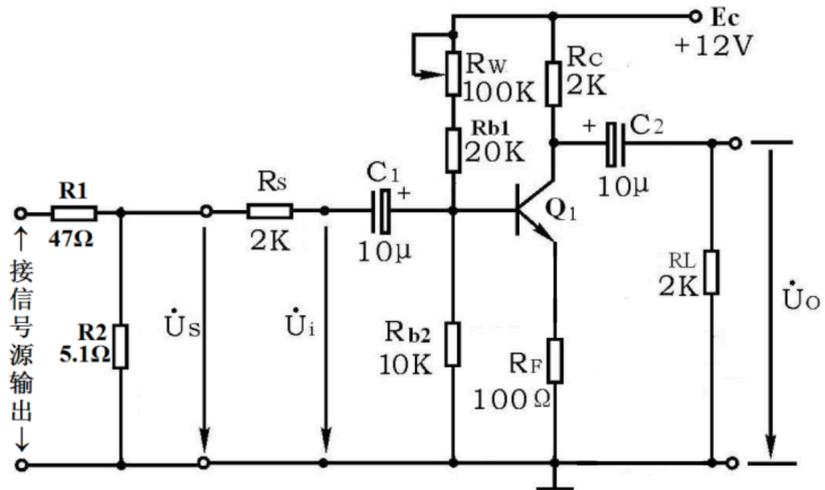


图 3: 有反馈电路图

计算闭环放大倍数: 电路图如图 3, 测量 $u_i = 116 \text{ mV}$, $u_o = 960 \text{ mV}$, 计算开环放大倍

数 A_F :

$$\begin{aligned} A_F &= -\frac{u_o}{u_i} \\ &= -\frac{960 \text{ mV}}{116 \text{ mV}} \\ &= -8.28 \end{aligned}$$

计算输入阻抗: 电路图如图 3, 测量 $u_i = 116 \text{ mV}$, $u_s = 144 \text{ mV}$, $R_s = 1.9950 \text{ k}\Omega$, 计算输入阻抗 R_{iF} :

$$\begin{aligned} R_{iF} &= R_s \left(\frac{u_i}{u_s - u_i} \right) \\ &= 1.9950 \text{ k}\Omega \times \left(\frac{116 \text{ mV}}{144 \text{ mV} - 116 \text{ mV}} \right) \\ &= 8.265 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

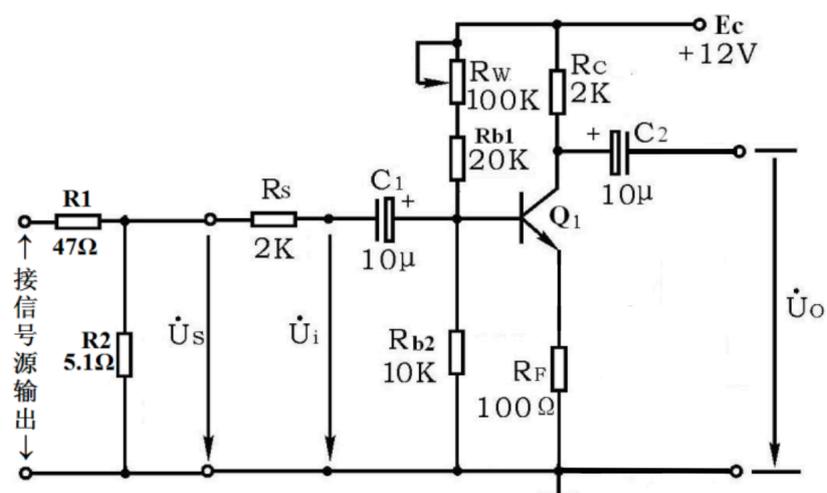


图 4: 有反馈电路图输出端开路

计算输出阻抗: 电路图如图 4, 测量 $u_{o\infty} = 1.6 \text{ V}$, $u_o = 960 \text{ mV}$, $R_L = 1.9973 \text{ k}\Omega$, 计算输入阻抗 R_{oF} :

$$\begin{aligned} R_{oF} &= R_L \left(\frac{u_{o\infty} - u_o}{u_o} \right) \\ &= 1.9973 \text{ k}\Omega \times \left(\frac{1.6 \text{ V} - 960 \text{ mV}}{960 \text{ mV}} \right) \\ &= 1.3315 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

4.3 理论值计算

随堂测量参数: 三极管放大倍数 $\beta \approx h_{FE} = 365$, 电位器阻值 $R_W = 79 \text{ k}\Omega$, 输出电流取经验值 $I_E \approx I_C = 3 \text{ mA}$ 。进而计算晶体管输入电阻 r_{be} :

$$\begin{aligned} r_{be} &\approx r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{U_T}{I_E} \\ &= 50 \Omega + (1 + 365) \times \frac{26 \text{ mV}}{3 \text{ mA}} \\ &= 3.222 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

根据公式 (1) 计算无反馈时的放大倍数、输入阻抗和输出阻抗：

$$\begin{cases} A = -\frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be}} = 113.3 \\ r_i = r_{be} // (R_{b1} + R_W) // R_{b2} = 2.38 \text{ k}\Omega \\ r_o = R_C // r_{ce} \approx R_C \approx 2.0000 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

根据公式 (2) 计算有反馈时的放大倍数、输入阻抗和输出阻抗：

$$\begin{cases} A_f = -\frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_f} = -9.17 \\ r_i = (r_{be} + (1 + \beta)R_f) // (R_{b1} + R_W) // R_{b2} = 7.396 \text{ k}\Omega \\ r_o = R_C // \left[r_{ce} + (R_f // r_{be}) \left(1 + \frac{\beta r_{ce}}{r_{be}} \right) \right] \approx R_C \approx 2.0000 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

4.4 列表比较

物理量	实验计算	理论计算
开环放大倍数 (A_0)	-62.4	-113.3
开环输入阻抗 (R_i)	2.77 k Ω	2.38 k Ω
开环输出阻抗 (R_o)	2.0997 k Ω	2.0000 k Ω
闭环放大倍数 (A_F)	-8.28	-9.17
闭环输入阻抗 (R_{iF})	8.265 k Ω	7.396 k Ω
闭环输出阻抗 (R_{oF})	1.3315 k Ω	2.0000 k Ω

通过列表将实验计算与理论计算所得各物理量进行比较，发现开环放大倍数 (A_0) 和闭环输出阻抗 (R_{oF}) 两个物理量偏离较大，其中关于开环放大倍数在课上询问老师得知有的电路本身误差较大，容易导致该值偏差较大；分析闭环输出阻抗可能是因为实验中所用三极管 CE 间内阻阻值并没有非常大，且由于示波器仪器原因导致开环时无法控制 $u_i = 50 \text{ mV}$ ，以及在理论计算中取了两次近似等多方面原因叠加导致。

5 问题讨论

实验中 r_{ce} 为三极管 CE 间内阻，通常情况下阻值很大，所以在实验中两个输出电阻几乎相等。