

实验四 电流串联负反馈放大器的插接与测试

CastleStar14654

实验日期: 2020 年 10 月 26 日 提交日期: 2020 年 11 月 2 日

1 实验目的

- 学会测量放大器输入输出阻抗;
- 搭建电流串联负反馈电路, 了解其对放大器性能的影响。

2 仪器设备

AFG3051C 任意波形发生器; TDS1012C 数字存储示波器; 面包板。

3DG6 (9013 代) 三极管 1 只; 100 Ω , 10 k Ω , 20 k Ω 电阻各 1 只; 2 k Ω 电阻 3 只; 100 k Ω 电位器 1 只; 10 μ F 电容 2 只; 100 μ F 电容 1 只; 导线若干。

3 实验原理

放大电路中, 反馈指的是将输出信号通过取样后送回输入端、参与对放大的控制过程。本实验搭建的电流串联负反馈电路图见图 1。其中, 电容 C_e 若接入, 则交流电路为普通放大电路; 电容 C_e 不接入时, 交流通路有负反馈功能。

做微变等效, 分别如图 2, 3 所示。其中, 三极管 c, e 两极间的内阻 r_{ce} 相比 r_{be} 很大。

对于无负反馈的情形 (图 2), 计算可得放大倍数、输入阻抗和输出阻抗分别为

$$A_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}}, \quad (1)$$

$$r_i = r_{be} \parallel (R_{b1} + R_w) \parallel R_{b2}, \quad (2)$$

$$r_o = R_c \parallel r_{ce}; \quad (3)$$

其中 $R'_L = R_c \parallel R_L$ 。

对于有负反馈的情形 (图 3), 计算可得放大倍数、输入阻抗和输出阻抗分别为

$$A_{uf} = -\frac{\beta R'_L}{r_{be} + (1 + \beta)R_f}, \quad (4)$$

$$r_{if} = (r_{be} + (1 + \beta)R_f) \parallel (R_{b1} + R_w) \parallel R_{b2}, \quad (5)$$

$$r_{of} = R_c \parallel \left(r_{ce} + R'_e + \frac{\beta r_{ce} R'_e}{r_{be} + (R_{b1} + R_w) \parallel R_{b2} \parallel R_s} \right); \quad (6)$$

其中 $R'_e = R_f \parallel (r_{be} + (R_{b1} + R_w) \parallel R_{b2} \parallel R_s)$ 。

可以发现, 引入负反馈后, 电路的放大倍数下降、输入电阻和输出电阻增大, 电路性能得到改善。

4 方法步骤

1. 按照电路图图 1 插接电路, $E_c = 12$ V。
2. 加 $f = 1$ kHz 的输入信号, 用示波器接收输出信号波形, 调节 R_w 以调整放大电路的静态工作点。逐步增加 u_i , 并调节 R_w 使得输出波形正负峰值附近同时开始削波并上下对称。
3. 测量无反馈时的 A_u, r_i, r_o 。

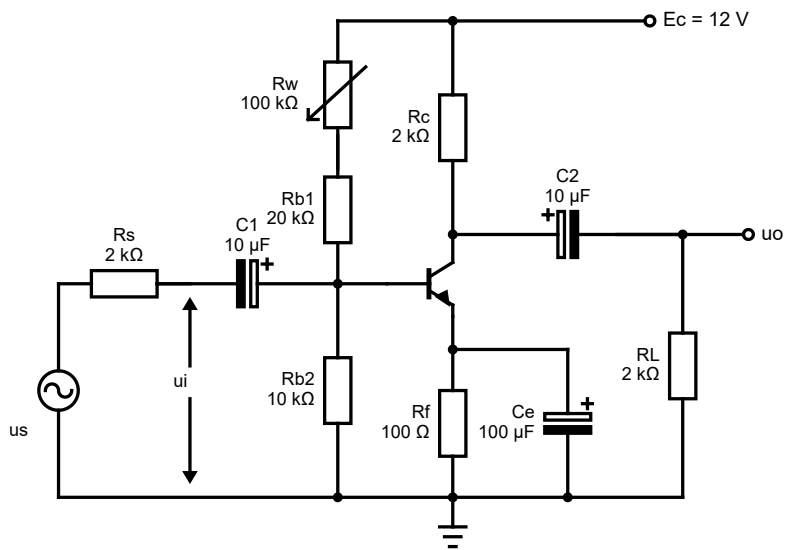


图 1: 实验的负反馈电路

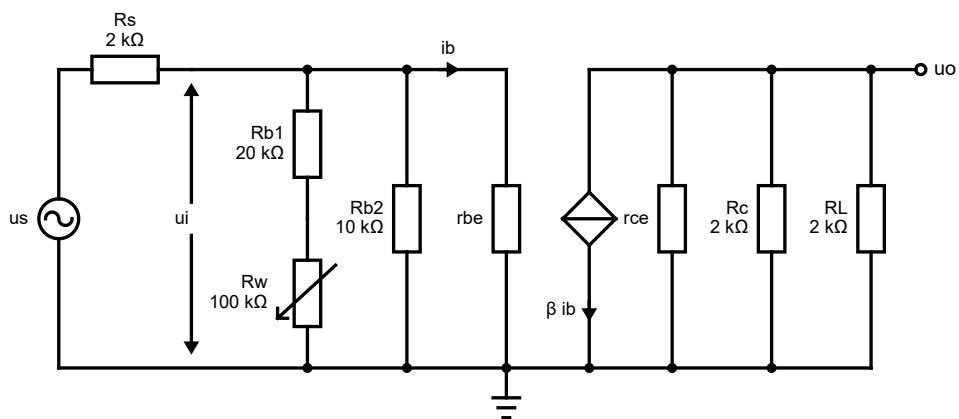


图 2: 无负反馈的微变等效电路

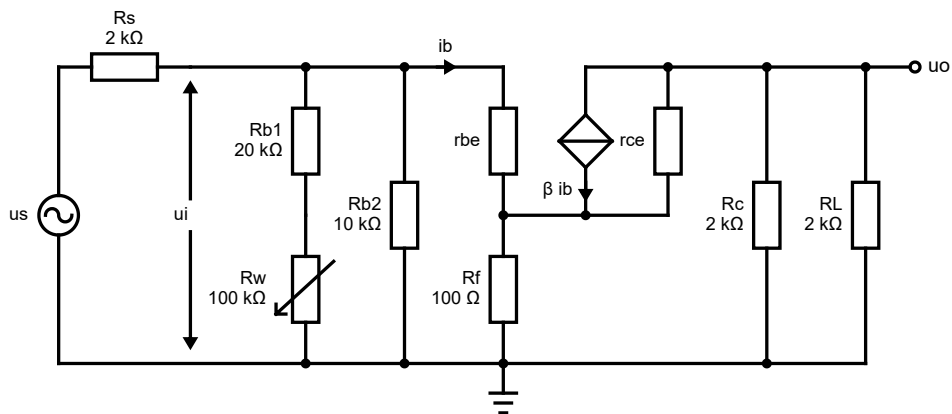


图 3: 有负反馈的微变等效电路

表 1: 直接测量值

	u_i (mV _{pp})	u_o	u_s (mV _{pp})	$u_{o\infty}$ (V _{pp})	R_s (k Ω)	R_L (k Ω)
无反馈	42.4	4.16 V _{pp}	85.6	7.92	1.9595	1.9607
有反馈	66.4	580 mV _{pp}		1.55		

表 2: 直接计算值

	A_o	R_i (k Ω)	R_o (k Ω)
无反馈	-98.1	1.92	1.77
有反馈	-8.73	6.78	1.93

- (a) 调节输入信号, 使波形不失真。测量放大器输出电压 u_o , 算出开环放大倍数 $A_u = \frac{u_o}{u_i}$ 。
- (b) 测量输入电压 u_i 和源电压 u_s , 用万用表测量电阻 R_s 大小, 得到输入阻抗 $r_i = \frac{R_s u_i}{u_s - u_i}$ 。
- (c) 断开负载 R_L , 测量开路输出电压 $u_{o\infty}$, 用万用表测量负载 R_L 大小。则输出阻抗 $r_o = R_L \times \left(\frac{u_{o\infty}}{u_o} - 1 \right)$ 。

4. 测量有反馈时的 A_{uf}, r_{if}, r_{of} 。断开 C_e , 重复上一步骤的测量。

5 数据分析

实验中测量与计算得到的数据分别见表 1, 2。

下面进行理论计算。测得三极管放大系数 $\beta = 277$, 则

$$r_{be} = 200 \Omega + (1 + \beta) \times \frac{26 \text{ mV}}{I_{EQ}} = 2.8 \text{ k}\Omega, \quad (7)$$

(取 $I_{CQ} = 2.8 \text{ mA}$, 可得 $R_w = 90 \text{ k}\Omega$)。估算 $r_{ce} = \infty$ 。根据式 (1) 至 (6), 可得到

$$R'_L = 1.00 \text{ k}\Omega, \quad A_u = -98.9, \quad r_i = 2.1 \text{ k}\Omega, \quad r_o = 2.0 \text{ k}\Omega; \quad (8)$$

$$R'_e = 94.3 \Omega, \quad A_{uf} = -8.77, \quad r_{if} = 7.0 \text{ k}\Omega, \quad r_{of} = 2.0 \text{ k}\Omega. \quad (9)$$

理论值和实验值均较为接近。

6 思考题

由式 (3) (6) 可以看到, 输出阻抗为 R_c 并联上含 r_{ce} 的一项。然而, 对于三极管, r_{ce} 很大, 因此两种情况下输出电阻都很接近 $R_c = 2 \text{ k}\Omega$ 。