

1 实验名称: 负反馈放大电路的研究

2 实验目的

- (1) 研究负反馈对放大器各项性能指标的影响
- (2) 理解电路中引入负反馈的意义和方法
- (3) 进一步熟悉放大电路中 A_u , f_L , f_H , 及 R_i , R_o 的测量方法

3 实验原理

反馈指将放大器输出端的信号（电压或电流）通过反馈网络按一定的方式回送到放大器的输入端，并与输入信号一起参与输入端的控制，这个过程就是反馈，如图 1 所示为反馈放大器的方框图 根据反馈的极性不同，反

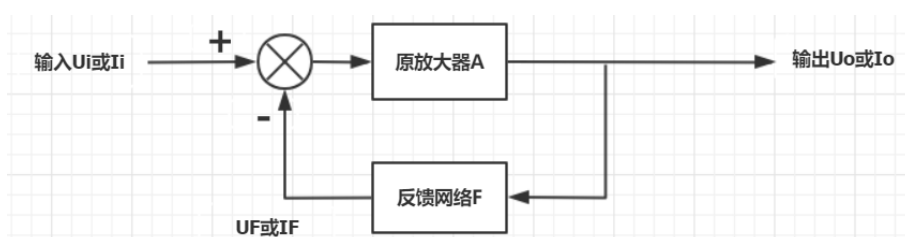


图 1: Figure example 1

馈可以分为正反馈和负反馈. 正反馈引入的反馈信号增强输入信号的作用，从而使放大电路的放大倍数得到提高；负反馈反馈信号削弱输入信号的作用，使放大倍数降低在放大电路中，负反馈能提高电压放大倍数的稳定性，减少非线性失真，抑制干扰，扩展通频带，改变输入、输出电阻等，但在一般多级放大器中，应尽量避免和克服寄生反馈，防止寄生反馈给放大器带来负作用。根据输出端反馈信号的采样方式，反馈又可分为电压负反馈（反馈网络并联接在输出端，反馈信号正比于输出电压）及电流负反馈（反馈网络串联接在输出端，反馈信号正比于输出电流）。从输入端看，反馈信号 I_F ，与输入信号 I_i 并联相接的称为并联负反馈；反馈信号 U_F ，与输入信号 U_i 串联相接的称为串联负反馈。本实验研究电压串联负反馈和电流串联负反馈对放大器电路性能的影响。

- (1) 负反馈使放大器的电压放大倍数下降，即

$$A_{uf} = \frac{A_u}{1 + A_u F} \quad (1)$$

式中 A_u ——无反馈时开环电压放大倍数；

$A_u F$ ——有反馈时闭环电压放大倍数；

F ——反馈系数。

由式 (1) 可知， $(1 + A_u F)$ 越大，负反馈越强，当 $A_u F \gg 1$ 时，上式可写成

$$A_{uF} \approx \frac{1}{F} \quad (2)$$

即在深度负反馈情况下，电压放大倍数只与反馈网络有关，而与原放大器的电压放大倍数无关。

(2) 负反馈展宽了放大器的通频带, 即

$$f_H = (1 + A_u F) f'_H \quad (3)$$

$$f_L = \frac{f'_L}{1 + A_u F} \quad (4)$$

(3) 负反馈提高了放大器电压增益的稳定性. 加入负反馈后, 稳定性的改善程度由放大倍数的相对变化量表示:

$$\frac{\Delta A_u F}{A_u F} = \frac{\Delta A_u}{A_u} \frac{1}{1 + A_u F} \quad (5)$$

由式(5)可以看出, 引入负反馈后, 增益的稳定度值减小, 稳定性提高。

(4) 负反馈改善了放大器的非线性失真。

(5) 负反馈影响了输入电阻和输出电阻。

负反馈对输入电阻的影响与反馈网络在放大器输入端的连接方式有关, 而与输出端的连接方式无关, 串联负反馈输入电阻增大到基本放大器的 $(1 + A_u F)$ 倍; 并联负反馈则使输入电阻减小到基本放大器的 $\frac{1}{1 + A_u F}$ 倍。

负反馈对输出电阻的影响与反馈网络在放大器输出端的取样方式有关, 而与输入端连接方式无关, 电压负反馈使放大器的输出电阻减小到基本放大器的 $\frac{1}{1 + A_u F}$ 倍, 电流负反馈则使输出电阻增大到基本放大器的 $(1 + A_u F)$ 倍。

4 实验电路

电路图中, 若将 5 和 12 连接, 即接通 R_{f2} 则有 1、2 极极间反馈, 若断开则无极间反馈

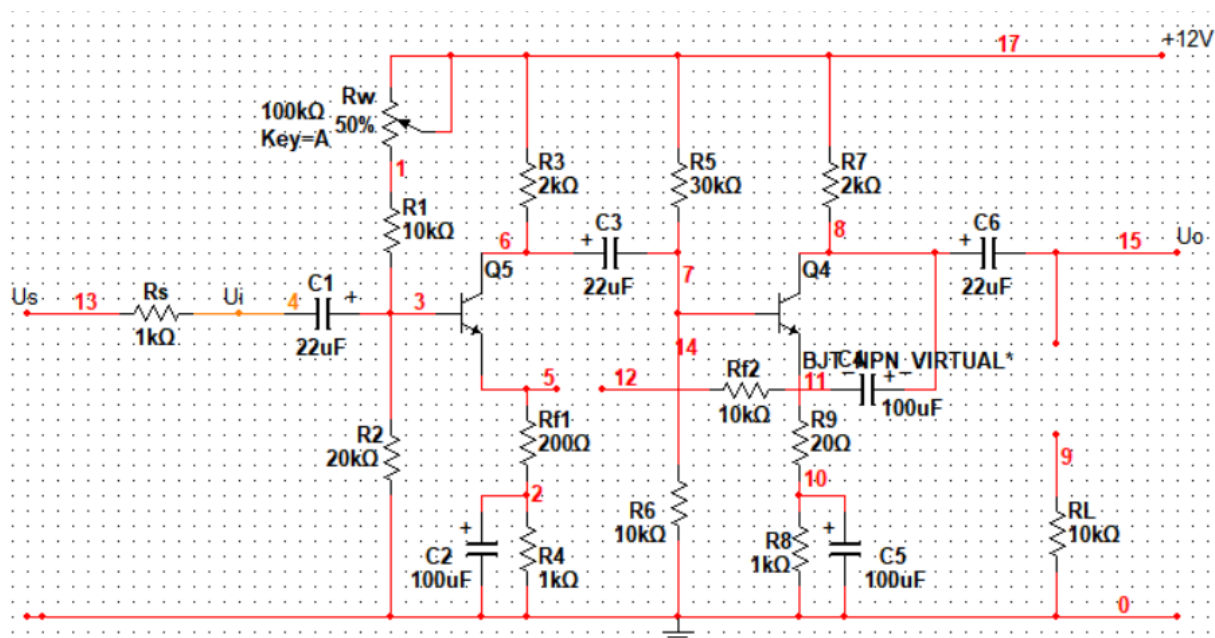


图 2: Figure example 2

5 实验内容及步骤

5.1 静态工作点的测量与研究

(1) 按照图 2 连接电路, 断开 R_{f2} , 接通直流电源, 调节 R_W 使 $I_{C1} = 2mA (U_{R3} = 4V)$ 。记录 U_{CQ}, U_{C2Q} 的数值。

(2) 保持电路及输入电压不变, 上下调节信号发生器的频率 f 使得此时的输出电压 $U'_o = 0.707U_o$, 此时的高低频率分别为 f_H, f_L

5.2 负反馈放大电路的数据测量

5.2.1 测量无反馈放大电路数据

(1) 输出电压及放大器放大倍数

断开 R_{f2} , 接通电源, 在放大器的输入端加 $f = 1kHz$, 的正弦信号, 将双踪示波器接在 U_i 端, 调节输入电压 U_s , 使 U_i 的有效值为 $5mV$, 测量此时的 U_o, U_s 的值, 记录到表 2

(2) 接通负载 R_L , 测量有负载时的输出电压 U_{oL} , 计入表 2

(3) f_H, f_L 的测量

断开负载, 保持电路及输入电压不变, 上下调节信号发生器的频率 f 使得此时的输出电压 $U'_o = 0.707U_o$, 此时的高低频率分别为 f_H, f_L

5.2.2 测量有反馈放大电路数据

(1) 输出电压及放大器放大倍数

接通 R_{f2} , 接通电源, 在放大器的输入端加 $f = 1kHz$, 的正弦信号, 将双踪示波器接在 U_i 端, 调节输入电压 U_s , 使 U_i 的有效值为 $20mV$, 测量此时的 U_o, U_s 的值, 记录到表 2

(2) 接通负载 R_L , 测量有负载时的输出电压 U_{oL} , 计入表 2

(3) f_H, f_L 的测量

断开负载, 保持电路及输入电压不变, 上下调节信号发生器的频率 f 使得此时的输出电压 $U'_o = 0.707U_o$, 此时的高低频率分别为 f_H, f_L

6 数据处理

I_{C1}	U_{R3}	U_{C1Q}	U_{C2Q}
2mA	4V	8.01V	7.66V

表 1: 静态工作点数据表

U_s	U_i	U_o	f_L	f_H	R_i	R_o	A_u	U_{oL}
5.30mV	5.00mV	1.57V	42Hz	300kHz		1.98kΩ	314	1.31V
20.00mV	21.74mV	857mV	49.3Hz	1.445MHz		350Ω	43	828mV

表 2: 负反馈放大电路数据测量

(1) 计算输入输出电阻 R_i 与 R_o

有级间反馈时:

$$R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} \times R_s = \quad k\Omega$$

$$R_o = \left(\frac{U_o}{U_{oL}} - 1 \right) \times R_L = 1.98k\Omega$$

无负载时:

$$R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} \times R_s = \quad k\Omega$$

$$R_o = \left(\frac{U_o}{U_{oL}} - 1 \right) \times R_L = 350\Omega$$

(2) 计算电压放大器的倍数有反馈时:

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = 314$$

无负载时:

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = 43$$

填入表格 2

7 实验设备和器材

- | | |
|-------------|-----|
| (1) 双踪示波器 | 1 台 |
| (2) 函数信号发生器 | 1 台 |
| (3) 直流稳压电源 | 1 台 |
| (4) 模拟电路实验箱 | 1 台 |

- (5) 万用表 1 只
(6) 三极管 NPN9011、电阻器、电容器 若干

8 误差处理

输入电阻的理论值

$$R_{i0} = R_2 || (R_1 + R_w) || (r_e + R_{f1}) =$$

$$\delta_{R_i} = \frac{R_{i0} - R_i}{R_i} =$$

$$R_{if} = R_i \times (A_u F + 1) =$$

$$\delta_{R_{if}} = \frac{R_{if0} - R_{if}}{R_{if}} =$$

输出电阻的理论值

$$R_o = R_7 = 2k\Omega$$

$$\delta_{R_o} = \frac{R_{o0} - R_o}{R_o} = 1\%$$

$$R_{of} = R_o \times \frac{1}{A_u F + 1} = 318\Omega$$

$$\delta_{R_{of}} = \frac{R_{of0} - R_{of}}{R_{of}} = 9.1\%$$

有负载的通频带

$$f_{Lf0} = f_L \times \frac{1}{1 + A_u F} = 5.61Hz$$

$$f_{Hf0} = f_H \times (1 + A_u F) = 1.570MHz$$

$$\delta_{f_{Hf}} = \frac{f_{Hf0} - f_{Hf}}{f_{Hf}} = 7.6\%$$

(1) 其中有负载时, 低频 f_L 误差较大, 但是在实际试验中, 频率过低的情况下, 示波器采集不到清晰的信号, 因此在测试截止前时的频率被认为是低频 f_H

(2) 误差可能是器件老化造成。

9 结论

馈对放大器电路性能的影响。

(1) 负反馈使放大器的电压放大倍数下降, 即

$$A_{uf} = \frac{A_u}{1 + A_u F}$$

$$A_{uF} \approx \frac{1}{F}$$

(2) 负反馈展宽了放大器的通频带, 即

$$f_{Hf} = (1 + A_u F) f_H$$

$$f_{Lf} = \frac{f_L}{1 + A_u F}$$

(3) 负反馈影响了输入电阻和输出电阻。

串联负反馈输入电阻增大到基本放大器的 $(1 + A_u F)$ 倍, 电压负反馈使放大器的输出电阻减小到基本放大器的 $\frac{1}{1 + A_u F}$ 倍,

10 思考题

(1) 在两级电压串联负反馈电路中, 若反馈电压取自 T_2 的发射极, 会有什么结果?

若反馈电压取自 T_2 的发射极, 则为并联-并联分馈电路, 有如下结果:

$$R_{of} = \frac{R_o}{(1 + A_u F)}$$

$$R_{if} = \frac{R_i}{(1 + A_u F)}$$

$$A_{uf} = \frac{A_u}{(1 + A_u F)}$$

(2) 反馈电路为什么能改善放大器的波形失真?

因为利用负反馈降低增益灵敏度的作用, 就能使放大器在更宽频率范围内维持增益不变, 从而有效地扩展了放大器的通频带。

(3) 如何判断电路是否有自激振荡? 有自激振荡时采取哪些措施?

如果在放大器的输入端不加输入信号, 输出端仍有一定的幅值和频率的输出信号, 这种现象就是自激振荡。

可以采用频率补偿 (又称相位补偿) 的方法, 消除自激振荡。常用补偿方法有电容滞后补偿, 即在放大电路中选择时间常数最大的回路内对地并联一个小电容, 这样当相移处于 180° 度时, 其高频放大倍数幅值下降到 0 以下。