

实验三 负反馈放大电路

一、实验目的

- 1、熟悉负反馈放大电路性能指标的测试方法。
- 2、通过实验深入理解负反馈对放大电路性能的影响。

二、原理简介

1、电路原理

在放大器中采用负反馈电路，其目的是为了改善放大器的工作性能，提高放大器的输出信号质量。在引入负反馈电路之后，放大器的增益要比没有负反馈时的增益小，但是可以改善放大器的许多性能，主要有四项：减小放大器的非线性失真、扩宽放大器的频带、降低放大器的噪声和稳定放大器的工作状态。若加入反馈后，放大器的净输入信号减小，从而使输出信号减小，这样的反馈称为负反馈；反之，若使放大器的净输入信号增加，这样的反馈称为正反馈。在放大电路中，按反馈的极性、采样方式和与输入端的连接方式可将反馈分为以下四种形势：电压串联、电压并联、电流串联、电流并联。

电压串联负反馈放大电路如图 3-1 所示。电路通过电阻 R_f 和第一级射极电阻 R_{e1} 引入交流电压串联负反馈。电压负反馈的重要特点是电路的输出电压趋于稳定，因为无论反馈信号以何种方式引回到输入端，实际上都是利用输出电压 U_o 本身通过反馈网络对放大电路起自动调整作用。当 U_i 一定时，若负载电阻 R_L 减小而使输出电压 U_o 下降，则电路将进行如下的自动调整过程：

$$R_L \downarrow \rightarrow U_o \downarrow \rightarrow U_f \downarrow \rightarrow U_{be} \downarrow \rightarrow U_o \uparrow$$

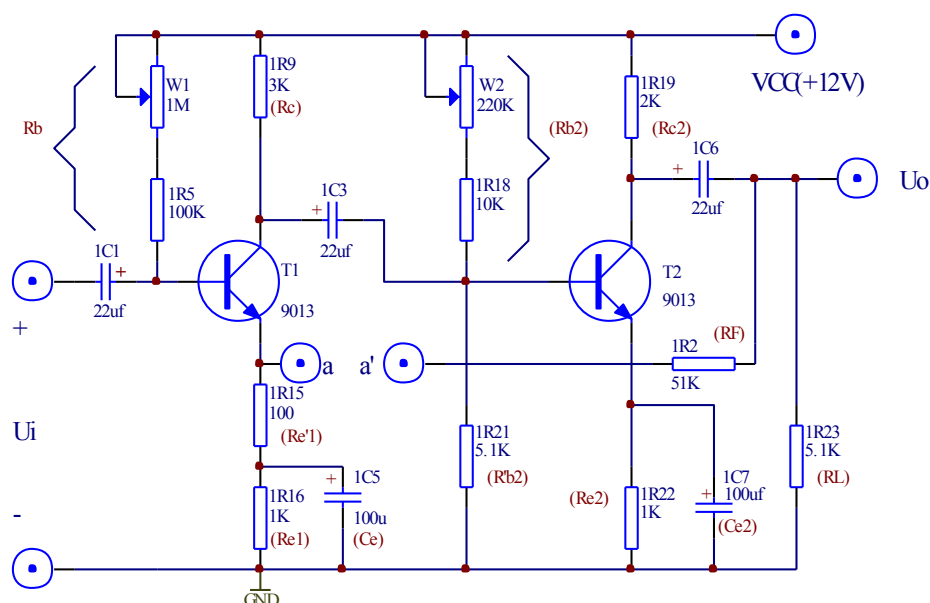


图 3-1

可见，反馈的作用牵制了 U_o 的下降，从而使 U_o 基本稳定，即电压串联负反馈能够稳定电压放大倍数。

(1) 负反馈降低了放大器的电压放大倍数

$$U_f = F U_o$$

F 称为反馈系数

$$F = \frac{R_{e'1}}{R_{e'1} + R_f}$$

若原放大器的电压放大倍数为 $A_u = U_o / U_i$ ，加入负反馈后的电压放大倍数 A_{uf} ，则

$$A_{uf} = \frac{A_u}{1 + A_u F} \quad (3-1)$$

$1 + A_u F$ 为衡量反馈强弱的物理量，称为反馈深度。

通过上面的分析可知，引入负反馈会使放大器放大倍数降低，但负反馈虽然使放大倍数下降，却改善了放大器的很多其他性能，因此负反馈在放大器中仍获得广泛的应用。

(2) 负反馈提高了放大器放大倍数的稳定性

电源电压、负载电阻及晶体管参数的变化都会使放大器的增益发生变化，加入负反馈后可使这种变化相对变小，即负反馈可以提高放大倍数的稳定性。如果 $AF \gg 1$ ，则 $A_f \approx 1/F$ ，由此可知，深度负反馈的放大器的放大倍数是由反馈网络确定的，而与原放大器的放大倍数无关。

为了说明放大器放大倍数随着外界变化的情况，通常用放大倍数的相对变化量来评价其稳定性。

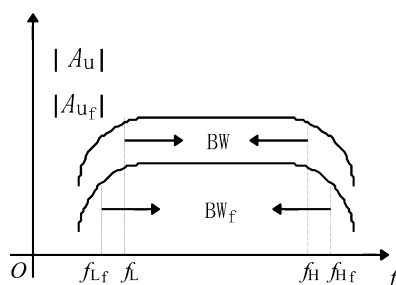
$$\frac{dA_{uf}}{A_{uf}} = \frac{dA_u}{A_u} \frac{1}{1 + A_u F} \quad (3-2)$$

这表示有负反馈使放大倍数的相对变化减小为无反馈时的 $\frac{1}{1 + A_u F}$ 。

(3) 负反馈展宽了放大器的频带

阻容耦合放大器的幅频特性是中频范围放大倍数较高，在高低频率两端放大倍数较低，开环通频带为 BW，引入负反馈后，放大倍数要降低，但是高、低频各种频段的放大倍数降低的程度不同。

如图 3-2 所示，对于中频段由于开环放大倍数较大，则反馈到输入端的反馈电压也较大，所以闭环放大倍数减小很多。对于高、低频段，由于开环放大倍数较小，则反馈到输入端的反馈电压也较小，所以闭环放大倍数减小很少。因此，负反馈的放大器整体幅频特性曲线都下降。但中频段降低较多，高、低频段降低较少，相当于通频带加宽了。



此外，负反馈还可以减小放大器非线性失真、抑制干扰、改变放大器的输入、输出电阻。一般而言，串联负反馈可以增加输入阻抗，并联负反馈可以减小输入阻抗；电压负反馈将减小输出阻抗，电流负反馈将增加输出阻抗。

三、实验内容和步骤

1、调整静态工作点

电路如图 3-1 所示，连接 a，a' 点使放大器处于闭环工作状态。输入端对地短路 ($U_i=0$)，经检查无误后，方可接通电源，调整 W1、W2 使 $I_{C1}=I_{C2}=2\text{mA}$ 时，测量各级静态工作点，填入表 3-1 中。

表 3-1

待测参数	U_{C1} (V)	U_{B1} (V)	U_{E1} (V)	U_{C2} (V)	U_{B2} (V)	U_{E2} (V)
测量值						

2、观察负反馈对放大倍数的影响

在输入端加入 $U_i=2\text{mV}$ ， $f=1\text{KHz}$ 的正弦波信号，分别测量电路在开环(a 与 a’ 断开且将 a’ 接地) 与闭环工作时 (a 与 a’ 点连接) 的输出电压 U_o ，同时用示波器观察输出波形, 注意波形是否失真，并计算电路在开环与闭环工作时的电压放大倍数，记入表 3-2 中, 并验证式 3-1 的正确性。

表 3-2

工作方式 待测参数	U_o (V)	A_u 或 A_{uf}
开环		
闭环		

3、观察负反馈对放大倍数稳定性的影响

改变电源电压将 V_{cc} 从 12V 变到 10V，在输入端加入 $U_i=2\text{mV}$ ， $f=1\text{KHz}$ 的正弦波信号，分别测量电路在开环与闭环工作状态时的输出电压，注意波形是否失真，并计算电压放大倍数相对变化量，记入表 3-3 中，并验证式 3-2 的正确性。

表 3-3

工作方式 待测参数	$V_{cc}=12\text{V}$		$V_{cc}=10\text{V}$	
	U_o (V)	A_u 或 A_{uf}	U_o (V)	A_u 或 A_{uf}
开环				
闭环				

4、幅频特性测量

$V_{cc}=12\text{V}$ (不接负载)，在输入端加入 $U_i=2\text{mV}$ ， $f=1\text{KHz}$ 的正弦波信号, 然后调节信号源频率使 f 下降（保持 U_i 不变）测量 U_o ，且在电压放大倍数下降到中频电压放大倍数的 0.707 倍时所对应的频率点附近时，多测几点，找出下限频率，同理使 f 上升，找出上限频率，求出放大器的带宽 $BW=f_H-f_L$ ，并对开环、闭环状态进行比较。

表 3-4

f(Hz)	
U_o (V)	
A_{uf}	

5、测量两级放大器的输入电阻和输出电阻

采用实验 1 的方法，在电容 1C1 左侧串联电阻 1R1，在 1R1 接入 $f=1\text{kHz}$ 、 $U_i=10\text{mV}$ 的正弦信号，分别测出电阻 1R1 两端对地信号电压 U_i 及 U'_i ，将测量数据及实验结果填入表 3-5 中。测出负载电阻 R_L 开路时的输出电压 U_∞ ，和接入 R_L 时的输出电压 U_o ，将测量数据及实验结果填入表 2-5 中。

表 3-5

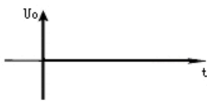
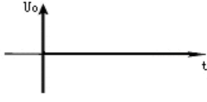
U_i (mV)	U'_i (mV)	R_i (Ω)	U_∞ (V)	U_o (V)	R_o (Ω)

6、用示波器观察负反馈对放大器非线性失真的改善（选做）

在上述实验基础上，信号频率取 1kHz，当放大器开环时，适当加大输入信号，使输出电压波形出现轻度非线性失真，观察并绘出输出电压波形。

在放大器闭环的情况下，再适当加大输入信号，使输出信号幅值应接近开环时的输出信号失真波形幅度，观察并绘出输出电压波形，开环、闭环状态进行比较。

表 3-6

条件	放大器输出波形 u_{o2}
接入负反馈前	
接入负反馈后	

四、实验器材

- 1、实验箱
- 2、数字万用表
- 3、函数信号发生器
- 4、交流毫伏表
- 5、双踪示波器

五、实验预习要求

- 1、阅读相关教材。

六、实验报告要求

- 1、整理实验数据，填入表中并按要求进行计算。
- 2、总结负反馈对放大器性能的影响。

七、思考题

- 1、本实验电路中引入了哪些反馈？分析它们的组态和对放大器性能的影响。