

## 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：

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

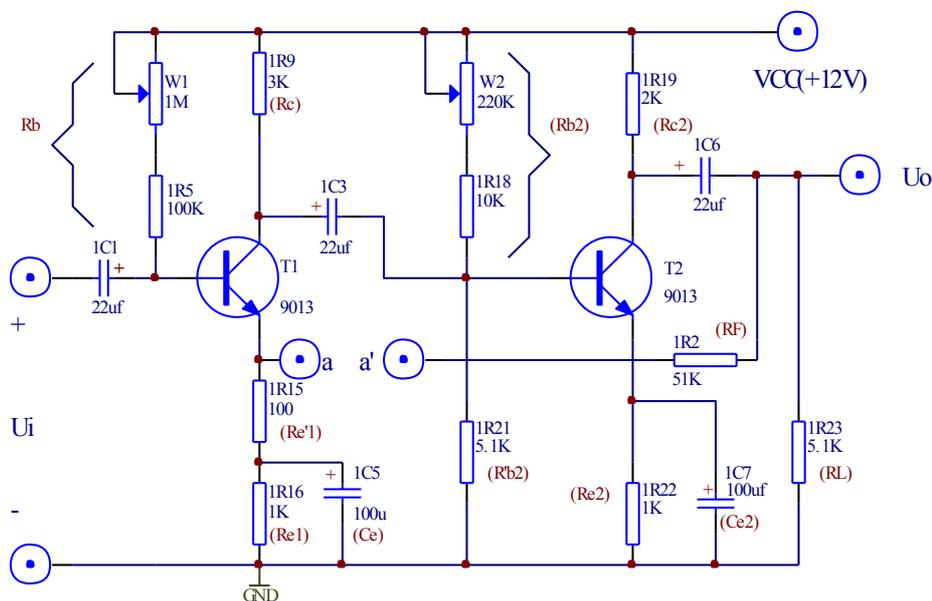


图 3-1

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

$$F = \frac{R_{e1}'}{R_{e1}' + R_f}$$

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。

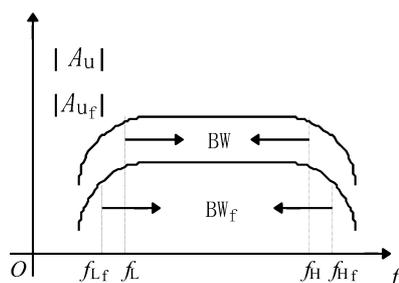
$$\frac{dA_{uf}}{A_{uf}} = \frac{dA_u}{A_u} \frac{1}{1 + A_u F} \quad (3-2)$$

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)	
Auf	

## 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  $U_\infty$ ，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

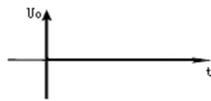
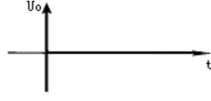
$U_i$ (mV)	$U'_i$ (mV)	$R_i$ ( $\Omega$ )	$U_\infty$ (V)	$U_o$ (V)	$R_o$ ( $\Omega$ )

#### 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。