

单元

负反馈放大电路的组装与测试

3

单元目标

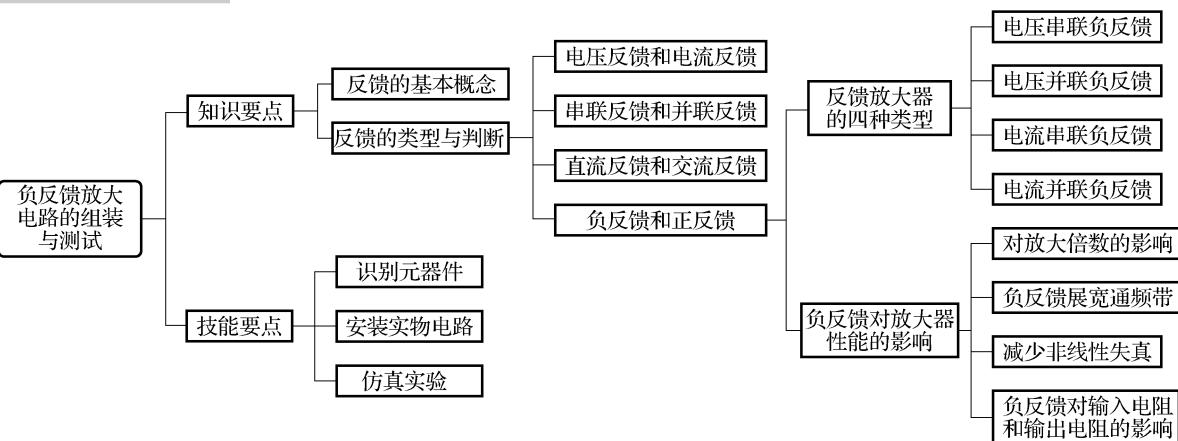
知识目标

理解负反馈放大电路中反馈的基本概念、作用、类型判别和对放大电路性能的影响。

能力目标

会搭建负反馈放大电路，并会用仿真软件进行仿真测试。

知识脉络图





引 入

许多电子设备对放大电路除了要求具有较高的增益外，对其他方面的性能要求也很高。例如，高保真音响放大器要求失真度要很低，精密测量仪器要求增益的稳定性和准确度要很高。因此，在实用放大电路中，总是要引入不同形式的反馈以改善各方面的性能。

在放大电路中，将输出量（电压或电流）的一部分或全部，经过一定的电路（反馈网络）反过来送回输入回路，并与原来的输入量（电压或电流）共同控制该电路，这种连接形式称为反馈。在电子电路中，反馈现象是普遍存在的。

反馈有正负之分。在放大电路中，通常引入负反馈以改善放大电路的性能，如在分压式偏置电路中利用负反馈稳定放大电路的工作点。此外，负反馈还可以提高增益的稳定性、减少非线性失真、扩展频带以及控制输入和输出阻抗等。当然，所有这些性能的改善是以牺牲放大电路的增益为代价的。至于正反馈，在放大电路中很少采用，常用于振荡电路中。

本章从反馈的基本概念和分类入手，抽象出反馈放大器的方框图，分析负反馈对放大器性能的影响，介绍负反馈放大器的分析计算方法，总结出引入负反馈的一般原则。

3.1

放大电路中的反馈

3.1.1 反馈的基本概念

1. 反馈放大电路的组成

含有反馈电路的放大器称为反馈放大器。根据反馈放大器各部分电路的主要功能，可将其分为基本放大电路和反馈网络两部分，反馈放大器组成如图 3-1 所示。整个反馈放大电路的输入信号称为输入量，其输出信号称为输出量；反馈网络的输入信号就是放大电路的输出量，其输出信号称为反馈量；基本放大器的输入信号称为净输入量，它是输入量和反馈量叠加的结果。在放大电路中，从输出端把输出信号的部分或全部通过一定的方式回送到输入端的过程称为反馈。输出回路中反送到输入回路的那部分信号称为反馈信号。为实现反馈，必须有一个既连接输出回路又连接输入回路的中间环节，称为反馈电路或反馈网络，一般由电阻、电容等元件组成。引入反馈的放大器称为反馈放大器，也称为闭环放大器；而

未引入反馈的放大器称为开环放大器，也称为基本放大器。

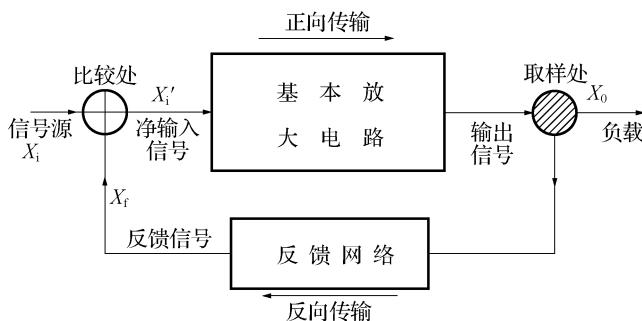


图 3-1 反馈放大器组成

2. 反馈放大器与基本放大器的区别

- (1) 输入信号是信号源和反馈信号叠加后的净输入信号。
- (2) 输出信号在输送到负载的同时，还要取出部分或全部再回送到原放大器的输入端。
- (3) 引入反馈后，使信号既有正向传输也有反向传输，电路形成闭合环路。

3.1.2 反馈的类型与判断

根据反馈信号是交流还是直流来分，可分为直流反馈和交流反馈。根据反馈极性的不同，可分为正反馈和负反馈。根据取样处的联结方式来分，可分为电压反馈和电流反馈。根据比较处的联结方式来分，可分为串联反馈和并联反馈。

(1) 正反馈和负反馈（按反馈极性分类）

根据反馈极性的不同，可分为正反馈和负反馈两类。如果反馈信号增强输入信号，即在输入信号不变时输出信号比没有反馈时大，导致放大倍数增大，这种反馈称为正反馈；反之，如果反馈信号削弱输入信号，即在输入信号不变时输出信号比没有反馈时小，导致放大倍数减小，这种反馈称为负反馈。

正反馈：反馈信号起到增强输入信号的作用。

负反馈：反馈信号起到削弱输入信号的作用。

判断方法：采用瞬时极性法判断是正反馈还是负反馈。

瞬时极性法：先在放大器输入端设定输入信号对地的极性为“+”或“-”，再依次按相关点的相位变化情况推出各点信号对地的交流瞬时极性，信号经共发射极放大器传递时，凡由集电极输出的信号与原输入信号反相，瞬时极性变号；由发射极输出的信号，则极性相同，其瞬时极性不变号。信号经耦合电容、电阻等元件传递时，一般只产生衰减而其瞬时极性不会改变。信号经变压器传递时，同名端的极性一致。再根据反馈到输入端的反馈信号对地的瞬时极性判断，若使原输入信号减弱则是负反馈，使原输入信号增强则是正反馈。

例 3-1 试判断图 3-2 所示电路的反馈是正反馈还是负反馈。

解：假定两级放大器输入端信号极性为上正下负，即 T_1 基极对地的极性为“+”，集电极倒相后对地极性为“-”，即 T_2 集电极输出为“+”，通过 R_f 反馈至 R_{e1} 的电压对地极性为“+”，则净输入量

$v_{be} = v_i - v_f = v_i - v_{el}$ 减小，可判断该反馈为负反馈。

例 3-2 判断图 3-3 所示电路中有无反馈存在，如有，属于何种反馈？

解：反馈元件 R_e 并联了旁路电容 C_e ，为交流信号提供了通路，消除了交流反馈的条件，所以放大器只有直流反馈。

用瞬时极性法判断如下：设 U_B 某一时刻上升 $\rightarrow U_{BE} \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow I_E \uparrow \rightarrow U_E \uparrow \xrightarrow{U_B \text{ 不变}} U_{BE} \downarrow$ ，故为负反馈。

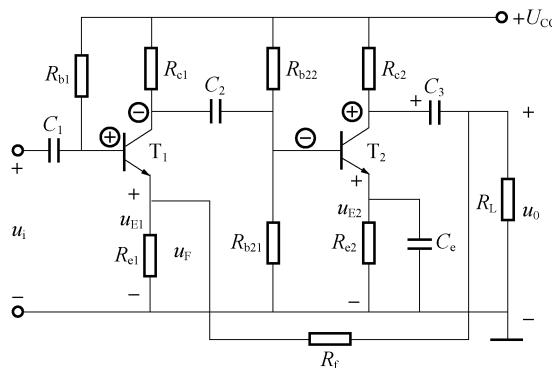


图 3-2 例 3-1 图

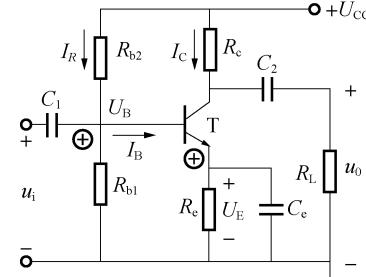


图 3-3 例 3-2 图

(2) 电压反馈和电流反馈（按反馈信号的输出端取样方式分类）

电压反馈：反馈信号取自输出电压，并与输出电压成正比，如图 3-4 (a) 所示。

电流反馈：反馈网络的输出信号与输出电流成正比，如图 3-4 (b) 所示。

判断方法：设想把输出端短路，如果反馈信号消失，则为电压反馈；如反馈信号依然存在，则为电流反馈。

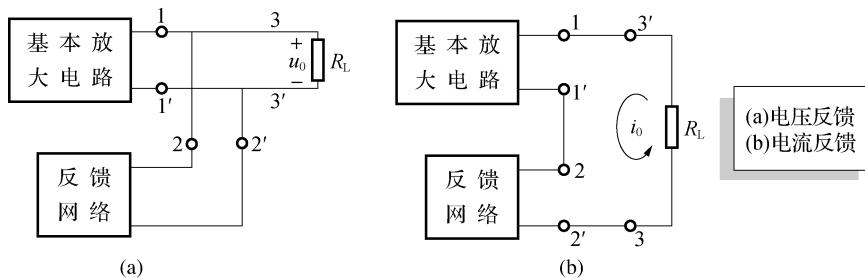


图 3-4 电压反馈和电流反馈

(3) 串联反馈和并联反馈（按反馈信号的输入端方式分类）

串联反馈：放大器的净输入电压 X'_i 是由信号源电压 X_i 与反馈电压 X_f 串联得到的，如图 3-5 (a) 所示。

并联反馈：放大器的净输入电压 X'_i 是由信号源电压 X_i 与反馈电压 X_f 并联得到的，如图 3-5 (b) 所示。

判断方法：把输入端短路，如果反馈电压为零，则为并联反馈；如果反馈电压仍存在，则为串联反馈。

(4) 反馈放大器的四种基本类型

反馈放大器的四种基本类型：①电压串联负反馈；②电压并联负反馈；③电流串联负反馈；④电流

并联反馈。四种反馈电路的基本类型如图 3-6 所示。

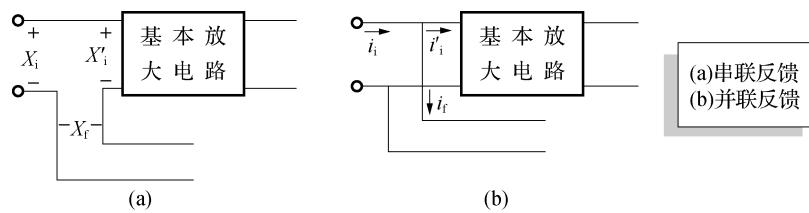


图 3-5 串联反馈和并联反馈

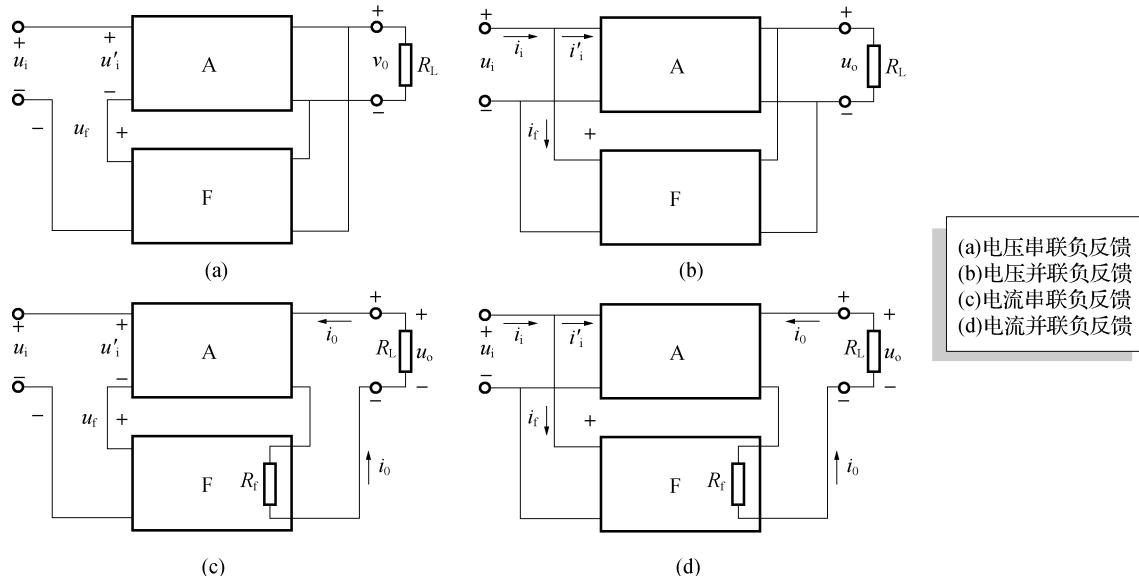


图 3-6 反馈放大器的四种基本类型

例 3-3 试判断图 3-7 所示电路的反馈类型。

解：(1) 判断思路

- ①分析电路中是否存在反馈。
- ②如果电路中确有反馈，判断其性质是正反馈还是负反馈。
- ③从输出回路分析反馈信号取自于输出电压还是输出电流，以此判断是电压反馈还是电流反馈。
- ④从输入回路分析反馈信号与原输入信号是串联还是并联，以此判断它是串联反馈还是并联反馈。

(2) 具体分析

- ①通过 R_e 的不仅有输出信号，而且也有输入信号。因而它能将输出信号的一部分取出来馈送给输入回路，从而影响原输入信号。由此， R_e 是该电路的反馈元件，电路存在着反馈。

②设信号源瞬时极性为上正下负，加到晶体管发射极电压也为上正下负，晶体管的发射极电压就是反馈信号电压，它使加到发射结的纯输入信号电压比原输入信号电压小，故是负反馈。

- ③将负载电阻短路，则输出回路并不因负载短路而使反馈电流消失，因此，从输入端看，反馈属电

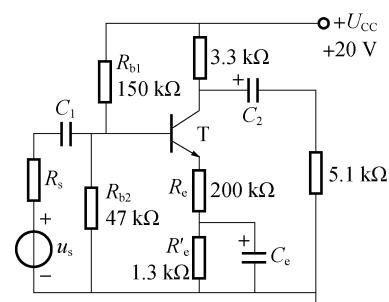


图 3-7 例 3-3 图

流反馈。

④如将输入端短接，则反馈电压依然存在，故为串联反馈。

根据以上分析， R_e 引入的为电流串联负反馈。

例 3-4 图 3-8 (a) 为另一负反馈放大电路，图 3-8 (b) 为它的交流通路，指出反馈类型。

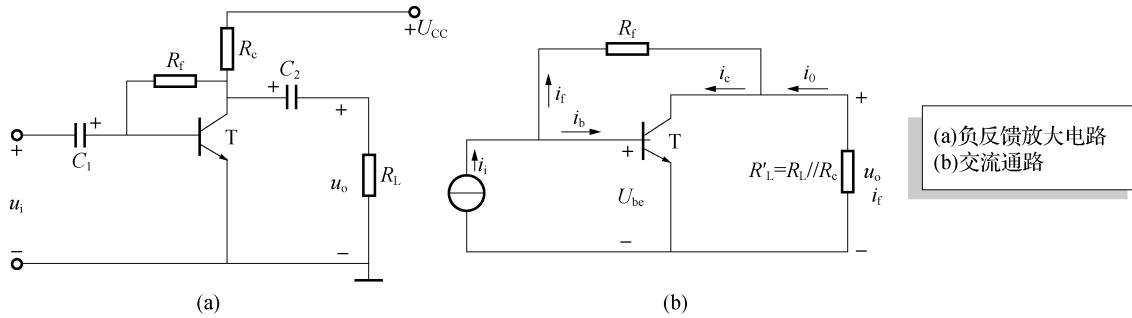


图 3-8 例 3-4 图

解：从输出端看，反馈信号取自输出电压，为电压反馈。从输入端看， R_f 与输入电路并联，为并联反馈。该电路是一个电压并联负反馈电路。



工作任务

一、任务内容

- 在理论学习的基础上进一步理解反馈的分类与判断。
- 分别测量电路无负反馈时和有负反馈时的输入、输出电压波形并进行对比。

二、任务实施

利用仿真软件 Multisim 实现整个电路的仿真测试，步骤如下：

- 启动仿真软件，用 Multisim 建立如图 3-9 所示的电流串联负反馈电路。
- 单击仿真电源开关，观察并记录输入、输出电压变化。
- 在输出端，将 R_L 短路，则 $X_{MM3}=0$ ，因为 R_{e1} 上的电压并没有消失，所以是电流反馈。
- 在输入端，反馈信号以电压的形式与原始信号电压、净输入电压三者串联在输入回路中，故为串联反馈。因此，它是电流串联负反馈放大电路。

图 3-9 是电流串联负反馈放大器的电路图。该电路实际上就是一个工作点稳定电路。被取样的信号是流过 R_L 的电流 I_o ， I_o 流过 R_{e1} 产生反馈电压送回到输入回路中去。反馈信号以电压的形式 U_{e1} 与原始输入电压 U_i 进行比较，产生净输入电压 U'_i 。

其基本关系式如下：

$$\text{开环放大倍数} = \frac{\text{被取样的 } X_o}{\text{比较产生的 } X'_i} = \frac{I_o}{U'_i} = A$$

称为开环互导放大倍数，其量纲是西门子 (S)。

$$\text{反馈系数} = \frac{\text{反馈信号 } X_{e1}}{\text{被取样的 } X_o} = \frac{U_{e1}}{I_o} = F$$

称为互阻反馈系数，其量纲是欧姆（ Ω ）。

$$\text{闭环放大倍数} = \frac{\text{被取样的 } X_o}{\text{参与比较的 } X_i} = \frac{I_o}{U_i} = \frac{A}{1+FA} = A_f$$

称为闭环互导放大倍数，其量纲是西门子（S）。

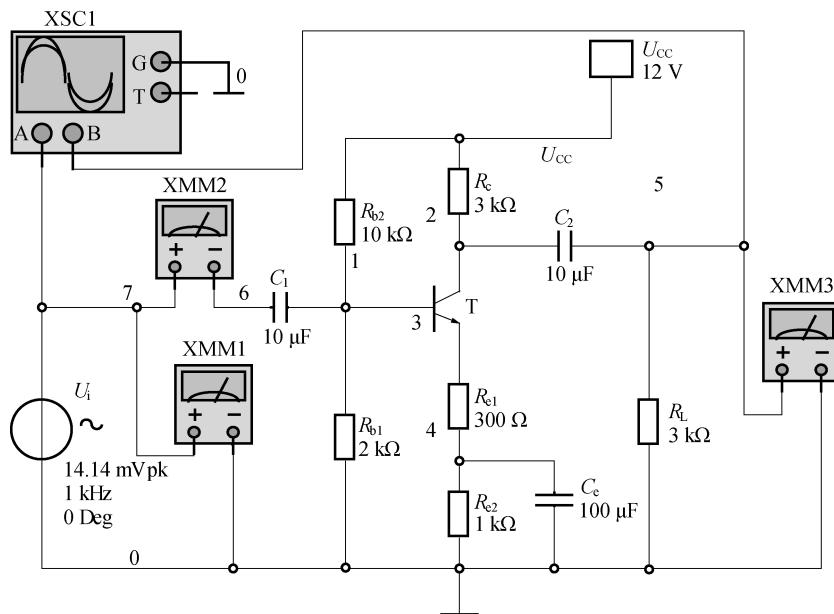


图 3-9 电流串联负反馈电路



常见问题

怎样判别负反馈和正反馈：可以从判别电路各点对“地”交流电位的瞬时极性入手，即用极性法进行判别。

3.2

负反馈放大器

3.2.1 负反馈对放大器性能的影响

放大电路中为什么要引入负反馈呢？它有哪些好处呢？这就需要了解负反馈对放大器性能的影响。

1. 降低放大器的放大倍数，提高放大信号的稳定性

负反馈虽然使放大器的放大倍数下降，即牺牲了增益，却能改善放大器其他方面的性能，如提高放大倍数的稳定性，扩展通频带，减小非线性失真，改变输入、输出电阻等。因此，在实用放大电路中常常引入负反馈。

开环放大倍数：在未接入反馈之前，电路未形成闭合回路时的放大倍数，这时 $X_i = X'_i$ 。

$$A = \frac{X_o}{X'_i} \quad (3-1)$$

反馈系数：接入负反馈后，将反馈信号 X_f 与输出信号 X_o 之比定义为反馈系数 F 。

$$F = \frac{X_f}{X_o} \quad (3-2)$$

闭环放大倍数：引入负反馈后，环路闭合后输出信号 X_o 与环路输入信号 X_i 之比。

$$A_f = \frac{X_o}{X_i} = \frac{X_o}{X'_i + X_f} = \frac{1}{\frac{X'_i + X_f}{X_o}} = \frac{1}{\frac{X'_i}{X_o} + \frac{X_f}{X_o}} = \frac{1}{\frac{1}{A} + F} \quad (3-3)$$

X'_i 表示净输入信号，它是输入信号与反馈信号的差值，即

$$X'_i = X_i - X_f \quad (3-4)$$

引入负反馈后，放大器的闭环放大倍数降低了，且降低为原放大倍数的 $\left(\frac{1}{1+AF}\right)$ 。

当 $AF \gg 1$ 时， $A_f \approx \frac{1}{F}$ 。说明闭环放大倍数仅与反馈系数有关，由于反馈环节一般都必须是由线性元件构成，性能稳定，因此闭环放大倍数稳定。

例 3-5 已知某电压串联负反馈放大电路的反馈系数 $F_v = 0.01$ ，输入信号 $u_i = 10 \text{ mV}$ ，开环电压增益 $A = 10^4$ ，求该电路的闭环电压增益 A_f 、反馈电压 u_f 和净输入电压 u_{id} 。

解：由式 (3-3) 可求得该电路的闭环电压增益为

$$A_f = \frac{A}{1+AF} = \frac{10^4}{1+10^4 \times 0.01} \approx 99.01$$

反馈电压为

$$u_f = Fu_o = FA_f u_i = 0.01 \times 99.01 \times 10 \text{ mV} \approx 9.9 \text{ (mV)}$$

净输入电压为

$$u_{id} = u_i - u_f = 10 \text{ mV} - 9.9 \text{ mV} = 0.1 \text{ (mV)}$$

2. 减小非线性失真

原理：在负反馈放大电路中，净输入信号 u'_i 是输入信号 u_i 与失真输出信号的反馈量 u_f 相减的结果，净输入信号 u'_i 的波形与原输出失真信号的畸变方向相反，从而使放大器的输出信号波形得以改善，如图 3-10 所示。

由图 3-10 (a) 可见，输入正弦波，经放大器，输出信号出现不对称失真（上大下小）。由图 3-10 (a) 可见，净输入量 u'_i (上小下大) 是输入量 u_i (上下一样大) 与失真输出信号的反馈量 u_f (上大下小) 相减的结果，其波形与原输出失真信号的畸变方向相反。因此，相当于放大器输入端输入的净输入量的不对

称与放大器的不对称正好相反，所以在一定范围内，二者可以互补，从而使非线性失真得以改善。

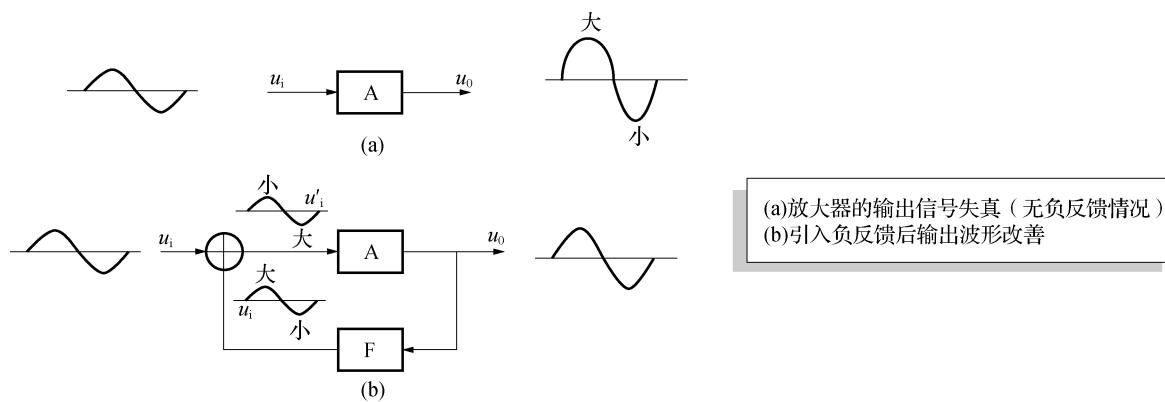


图 3-10 负反馈改善输出波形的原理

3. 负反馈展宽通频带

通频带是放大电路的重要技术指标，在一些要求有较宽频带的音、视频放大电路中，引入负反馈是展宽频带的有效措施之一。

放大器引入负反馈后，在中频区放大器的放大倍数下降得多；在高、低频区放大器的放大倍数下降得少，结果是放大器的幅频特性变得平坦，上限频率由 f_H 移至 f_{HF} ，下限频率由 f_L 移至 f_{LF} ，如图 3-11 所示。

4. 负反馈对输入电阻和输出电阻的影响

负反馈对输入电阻的影响与反馈加入的方式有关，即与串联反馈或并联反馈有关，而与电压反馈或电流反馈无关。

负反馈对输出电阻的影响与反馈采样的方式有关，即与电压反馈或电流反馈有关，而与串联反馈或并联反馈无关。

①对输入电阻的影响：串联负反馈使输入电阻增加，
并联负反馈使输入电阻减小。

②对输出电阻的影响：电压负反馈使输出电阻减小，
电流负反馈可以使输出电阻增加。电压负反馈可以使输出
电阻减小，这与电压负反馈可以使输出电压稳定是相一致的。输出电阻小，带负载能力强，输出电压的
降落就小。

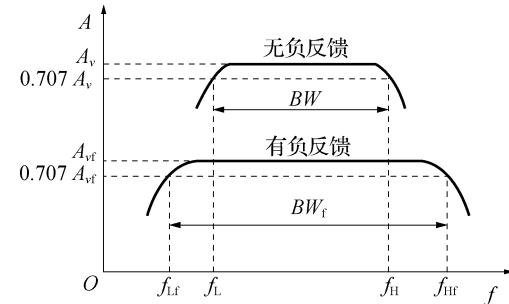


图 3-11 负反馈展宽通频带放大电路

3.2.2 深度负反馈放大器的估算

一般来说，电路和线性网络的分析理论也可以用于负反馈放大器的计算，因为负反馈放大器也是一种线性网络，只不过是带有源的，并带有反馈回路而已。但是，当电路比较复杂时，此类方法的计算量太大，很不方便，因此很少采用。我们从工程实际出发，讨论在深度负反馈的条件下，反馈放大电路增益的近似计算。

由于集成运算放大器等各类具有高增益的模拟集成电路的出现，在实际运用中，负反馈放大器往往满足深度负反馈的条件，同时引入深度负反馈也是改善放大器性能所必需的。一般情况下，大多数负反馈放大电路，特别是有集成运放组成的放大电路都能满足深度负反馈的条件。因此这里只讨论深度负反馈放大器的计算。

1. 深度负反馈放大器的特点

在深度负反馈情况下，放大器闭环增益近似为

$$\dot{A}_f = \frac{\dot{X}_o}{\dot{X}_i} = \frac{\dot{A}}{\dot{A} F} \approx \frac{1}{F}$$

由上式可知，在深度负反馈条件下， \dot{A}_f 值与 \dot{A} 无关，仅与 F 有关，因此只要求出 \dot{A}_f 就可以得到 F 。显然求 \dot{A}_f 的过程比较复杂，但求 F 则简单多了。不过负反馈有四种组态， F 也有四种形式，有时求解和转换运算还不尽方便。实际上还有更为简便的直接计算方法。

由于深度负反馈时 $1+AF \gg 1$ ，即可以认为 $AF \gg 1$ ，而 $X_f = AFX'_i \gg X'_i$ ， $X_i = X'_i + X_f \approx X_f$ ，因此有

$$X'_i = X_i - X_f \approx 0$$

上式表明，深度负反馈情况下放大器实际净输入信号 X'_i 近似为 0（但不绝对等于 0），这就意味着净输入电压或净输入电流近似为 0，同时与净输入电压相对应的输入电流和与净输入电流相对应的输入电压也近似为 0，即不管是串联反馈还是并联反馈，基本放大器的实际输入电压和电流均可认为近似等于 0。

因此，从电压的角度来看，由于基本放大器的输入电压近似为 0，即近似为短路，这种情况称为“虚短”（并非真正短路）；而从电流的角度来看，由于基本放大器的输入电流近似为 0，即近似为开路，这种情况称为“虚断”（并非真正开路）。

“虚短”和“虚断”的概念为深度负反馈放大器的分析和计算带来了极大的方便。具体方法是，在求解反馈放大器外电路各电压及相互间的关系时，可将基本放大器输入端短路；在求解反馈放大器外电路各电流及相互间的关系时，可将基本放大器输入端开路。这就完全回避了对基本放大器本身的复杂分析和计算，而只要对较简单的外电路进行分析和计算即可。

2. 深度负反馈放大器的近似计算

图 3-12 为电压串联负反馈放大器，假定满足深度负反馈的条件。

利用“虚短”的概念，若 $u'_i=0$ ，即将基本放大器输入端（两端）短路，则有

$$u_i = u_f$$

利用“虚断”的概念，若 $i_i=0$ ，即将基本放大器的输入端开路，则有

$$u_f = R_1 u_o / (R_1 + R_f)$$

因此

$$A_f = \frac{u_o}{u_i} = \frac{u_o}{u_f} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

图 3-13 为电压并联负反馈放大器，假定满足深度负反馈的条件。这里需要说明的是，由反馈理论可知，对于并联型反馈电路，其信号源适宜用电流源，但由于常用的信号源大多为电压源，因此该电路在电压源支路中串接一较大的电阻 R_1 来间接获得电流源的效果。实际上，由于并联负反馈电路的输入电阻一般很小，因此，所需 R_1 的值一般并不很大。

利用“虚短”的概念，可令 $u'_i=0$ ，即将基本放大器输入端（两端）短路，此时相当于基本放大器

输入端接地，这种情况称为“虚地”（并非真正接地）。容易得到

$$i_i = u_i / R_1$$

利用“虚断”的概念，可令 $i'_i = 0$ ，即将基本放大器的输入端开路，则有

$$i_f = i_i$$

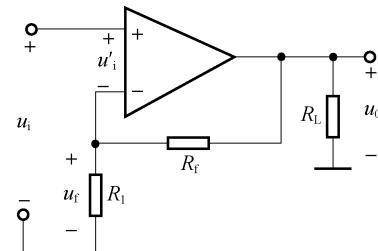


图 3-12 电压串联负反馈放大器

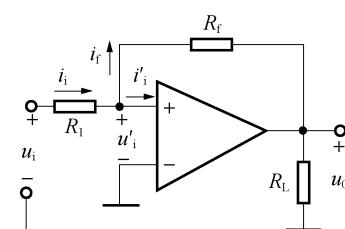


图 3-13 电压并联负反馈放大器

利用“虚地”的概念，即 $u'_i = 0$ ，有

$$u_o = -i_f R_f = -i_i R_f = -R_f u_i / R_1$$

$$A_f = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_f}{R_1}$$



工作任务

一、任务内容

- 在理论学习的基础上进一步理解负反馈的作用。
- 分别测量电路无负反馈时和有负反馈时的输入、输出电压波形并进行对比。

二、任务实施

利用仿真软件 Multisim 实现整个电路的仿真测试，步骤如下：

- 启动仿真软件，用 Multisim 建立如图 3-14 所示的电压串联负反馈电路。

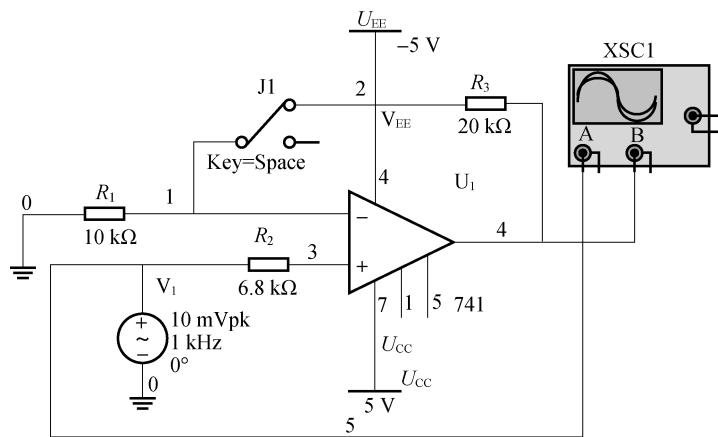


图 3-14 电压串联负反馈电路

2. 开关 J_1 连接下方的空白时, 电路无负反馈, 单击仿真电源开关, 观察并记录输入、输出电压波形; 开关 J_1 连接上方的线路时, 电路加入电压串联负反馈, 单击仿真电源开关, 观察并记录输入、输出电压波形。



常见问题解析

由仿真可得, 当电路中没有负反馈时, 输出电压的波形严重失真; 加入电压串联负反馈后, 输出电压的波形没有失真, 但幅值减小了。这与理论上引入负反馈后电路放大倍数降低, 非线性失真减少相符合。



任务实施

1. 任务内容

- (1) 进一步理解负反馈放大电路构成。
- (2) 仿真测试负反馈放大电路性能指标的影响, 为更好地理解负反馈放大电路打下基础。

2. 步骤

- (1) 启动 Multisim 软件, 建立如图 3-15 所示的实验仿真电路。
- (2) 任务实施电路。

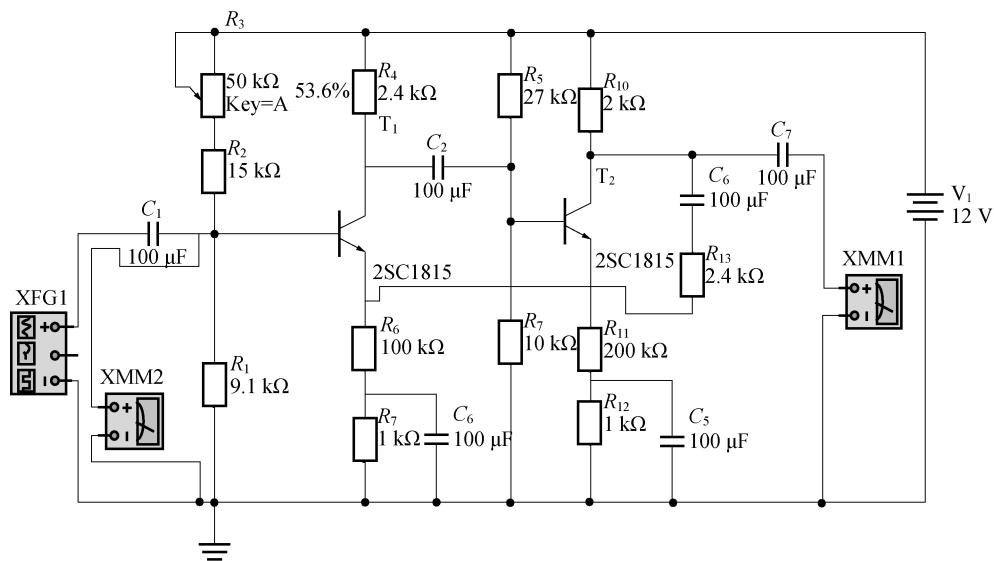


图 3-15 实验仿真电路

- (3) 单击仿真开关运行仿真, 观察万用表对各测试点读数变化过程。将测试静态工作点结果填入表 3-1 中, 仿真结果如图 3-16 所示。

表 3-1 各静态工作点测试结果

U_{B1}	U_{B2}	U_{E1}	U_{E2}	U_{C1}	U_{C2}

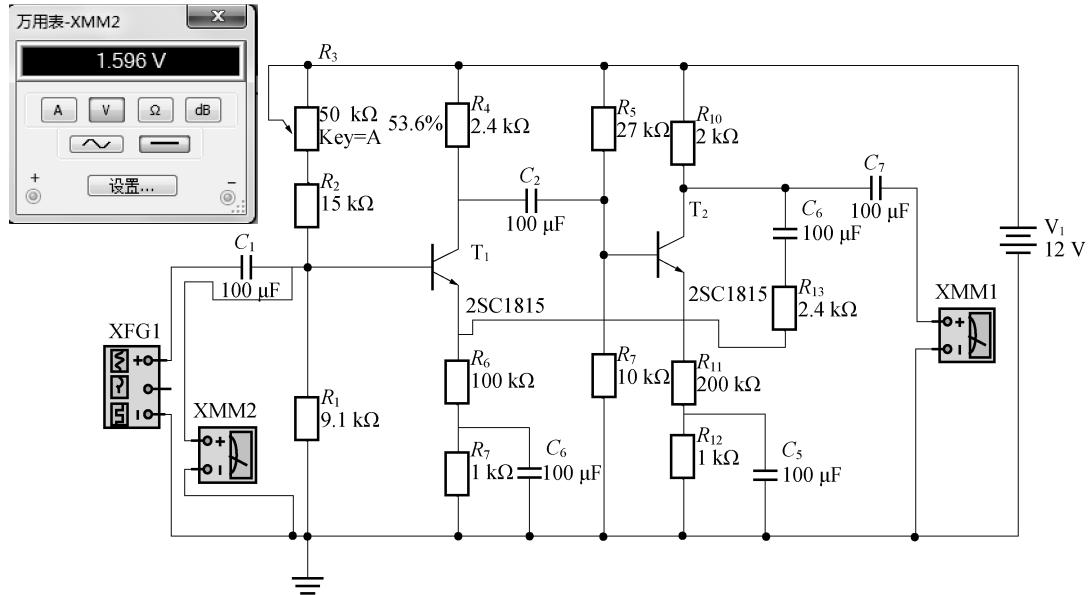


图 3-16 测试静态工作点仿真结果

(4) 单击仿真开关运行仿真，观察万用表对各测试点读数变化过程。将测试反馈深度的测量结果填入表 3-2 中，仿真结果如图 3-17 所示。

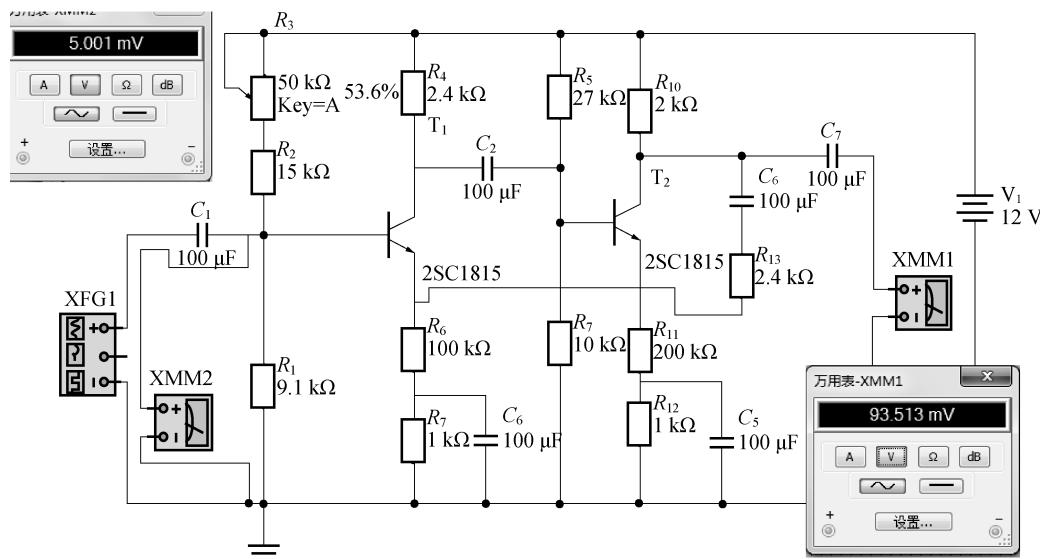


图 3-17 测试反馈深度仿真结果

表 3-2 反馈深度测试结果

U_{if}	U_{of}	A_f	反馈深度 F

(5) 单击仿真开关运行仿真，观察万用表对各测试点读数变化过程。将测试输出电阻的测量结果填入表 3-3 中，仿真结果如图 3-18 所示。

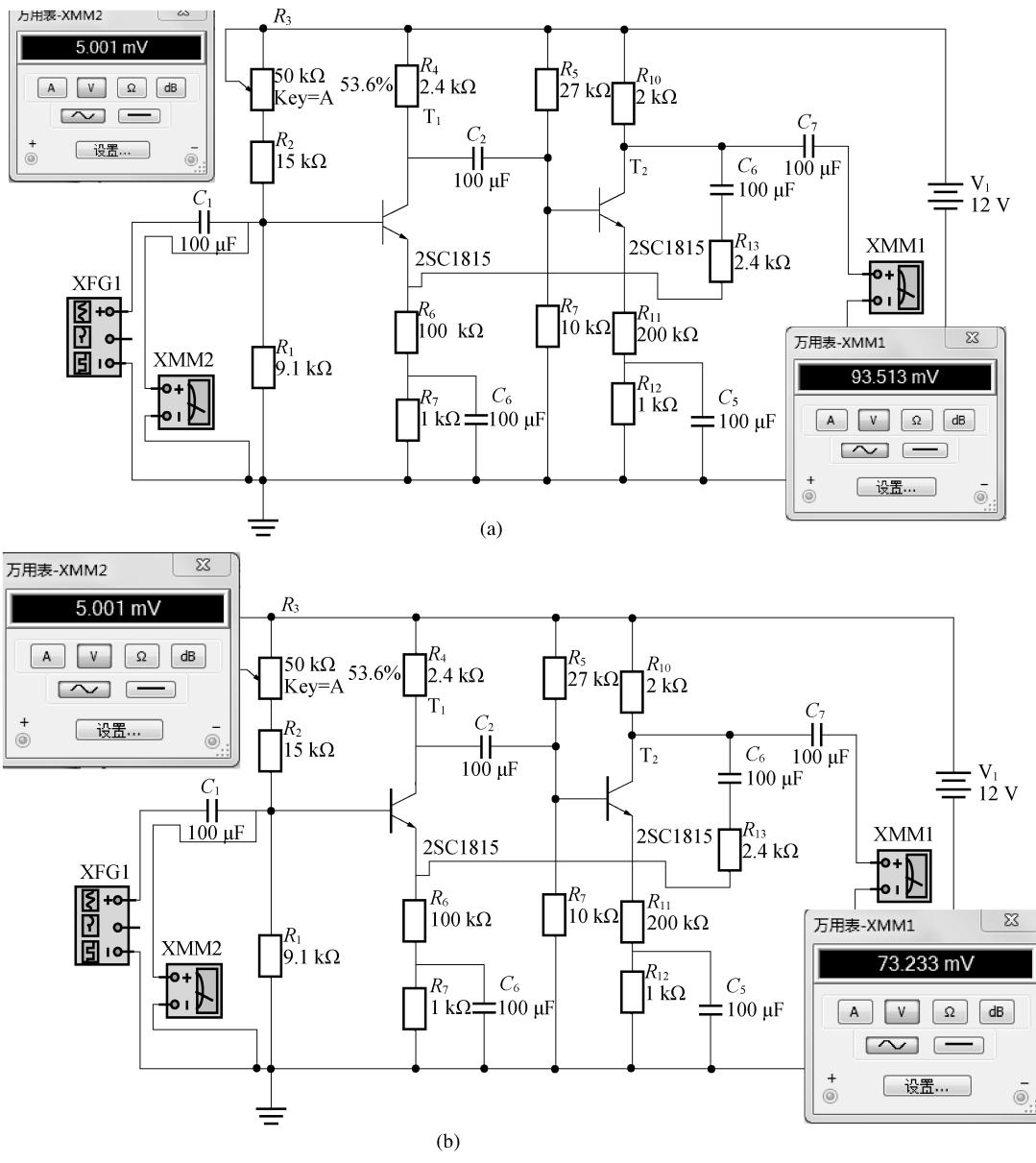


图 3-18 测试输出电阻仿真结果

表 3-3 输出电阻测试结果

闭环	U_{of}	U_{of}	R_{of}
	93.513 mV	73.233 mV	

(6) 单击仿真开关运行仿真，观察万用表对各测试点读数变化过程。将测试频特性及带宽的测量结果填入表 3-4 中，仿真结果如图 3-19 所示。

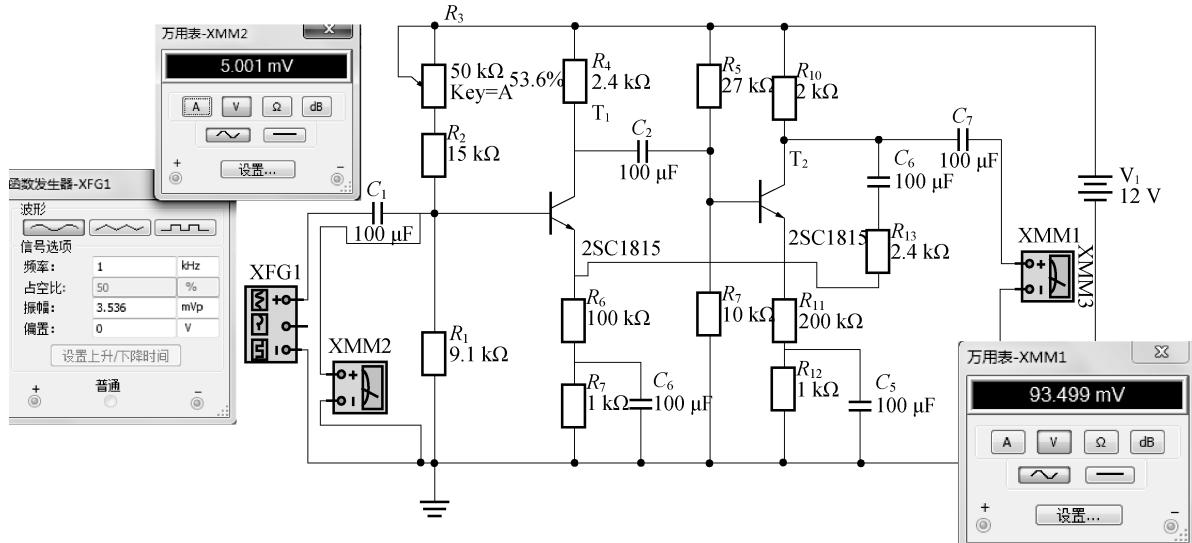


图 3-19 测试频特性及带宽仿真结果

表 3-4 频特性及带宽测试结果

频率值 (Hz)	$f_L/2$	f_L	f	$F_o/2$	f_o	$2f_o$	f	f_H	$10f_H$	总带宽
	10	20	100	500	1k	2k	2.5M	14.5M	145M	
U_o (mV)										

(7) 单击仿真开关运行仿真，幅频特性曲线的测量仿真结果如图 3-20 所示。

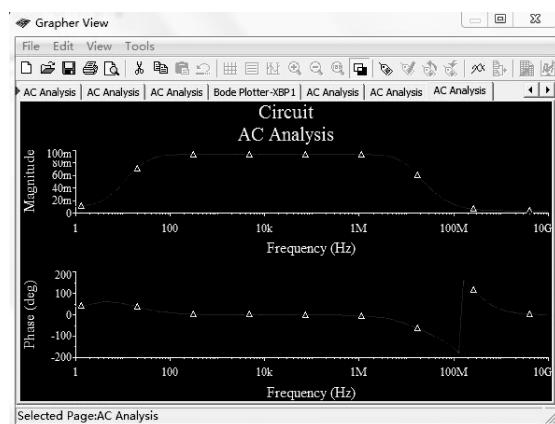


图 3-20 幅频特性曲线的测量仿真结果



单元总结

高保真音响放大器要求失真度要很低，精密测量仪器要求增益的稳定性和准确度要很高。因此，在实用放大电路中，总是要引入不同形式的反馈以改善各方面的性能。

单元主要知识点总结如下：

(1) 反馈的基本概念和类型，判断放大电路中是否存在反馈、反馈的类型以及它们在电路中的作用。

①正反馈和负反馈的判断法之一：瞬时极性法。在放大电路的输入端，假设一个输入信号的电压极性，可用“+”“-”或“↑”“↓”表示。按信号传输方向依次判断相关点的瞬时极性，直至判断出反馈信号的瞬时电压极性。如果反馈信号的瞬时极性使净输入减小，则为负反馈；反之为正反馈。

②四种组态电路的基本性质见表 3-5。

表 3-5 负反馈放大电路中各种信号量的含义

信号量或信号传递比	反馈类型			
	电压串联	电压并联	电流串联	电流并联
x_0	电压	电压	电流	电流
x_i, x_f, x_{id}	电压	电流	电压	电流
$A = x_0/x_{id}$	$A_v = u_0/u_{id}$	$A_r = u_0/u_{id}$	$A_g = i_0/u_{id}$	$A_i = i_0/i_{id}$
$F = x_f/x_0$	$F_v = u_f/u_0$	$F_g = i_f/u_0$	$F_r = u_f/i_0$	$F_i = i_f/i_0$
$A_f = x_0/x_i = \frac{A}{1+AF}$	$A_{vf} = u_0/u_i = \frac{A_v}{1+A_v F_v}$	$A_{rf} = u_0/i_i = \frac{A_r}{1+A_r F_g}$	$A_{gf} = i_0/u_i = \frac{A_g}{1+A_g F_r}$	$A_{if} = i_0/i_i = \frac{A_i}{1+A_i F_i}$
功能	u_i 控制 u_0 电压放大	i_i 控制 u_0 电流转换为电压	u_i 控制 i_0 电压转换为电流	i_i 控制 i_0 电流放大

(2) 负反馈对放大电路性能的影响见表 3-6，会根据实际要求在电路中引入适当的反馈。

表 3-6 负反馈对放大电路性能的影响

反馈类型	$x_i x_0$	稳定的增益	输入电阻 R_{if}	输出电阻 R_{of}	放大类型
电压串联	$u_i u_0$	A_{vf}	$(1+A_v F_v) R_i$ 增大	$R_o / (1+A_{ro} F_g)$ 减小	电压
电压并联	$i_i u_0$	A_{rf}	$R_i / (1+A_r F_g)$ 减小	$R_o / (1+A_{ro} F_g)$ 减小	互阻
电流串联	$u_i i_0$	A_{gf}	$(1+A_g F_r) R_i$ 增大	$(1+A_{gs} F_r) R_o$ 增大	互导
电流并联	$i_i i_0$	A_{if}	$R_i / (1+A_i F_i)$ 减小	$(1+A_{is} F_i) R_o$ 增大	电流

(3) 负反馈的一般表达式，会计算深度负反馈条件下的电压放大倍数。



思考与练习

一、单选题

1. 交流负反馈是指（ ）。
 - A. 只存在于阻容耦合电路中的负反馈
 - B. 交流通路中的负反馈
 - C. 放大正弦波信号时才有的负反馈
 - D. 变压器耦合电路中的负反馈
2. 负反馈能抑制（ ）。
 - A. 输入信号所包含的干扰和噪声
 - B. 反馈环内的干扰和噪声
 - C. 反馈环外的干扰和噪声
 - D. 输出信号中的干扰和噪声
3. 欲将电压信号转换成与之成比例的电流信号，应在放大电路中引入深度（ ）负反馈。
 - A. 电压串联
 - B. 电压并联
 - C. 电流串联
 - D. 电流并联
4. 为了将输入电流转换成与之成比例的输出电压，应引入深度（ ）负反馈。
 - A. 电压串联
 - B. 电压并联
 - C. 电流串联
 - D. 电流并联
5. 放大电路引入负反馈是为了（ ）。
 - A. 提高放大倍数
 - B. 稳定输出电流
 - C. 稳定输出电压
 - D. 改善放大电路的性能
6. 深度负反馈的条件是指（ ）。
 - A. $1+AF \ll 1$
 - B. $1+AF \gg 1$
 - C. $1+AF \ll 0$
 - D. $1+AF \gg 0$

二、填空题

1. 根据反馈信号在输出端的取样方式不同，可分为_____反馈和_____反馈；根据反馈信号和输入信号在输入端的比较方式不同，可分为_____反馈和_____反馈。
2. 负反馈对输入电阻的影响取决于_____端的反馈类型，串联负反馈能够输入电阻_____，并联负反馈能够输入电阻_____。
3. 电压负反馈能稳定输出_____，电流负反馈能稳定输出_____。

三、判断下列说法是否正确，对的打“√”，错的打“×”

1. 若放大电路的放大倍数为负，则引入的反馈一定是负反馈。 ()
2. 若放大电路引入负反馈，则负载电阻变化时，输出电压基本不变。 ()
3. 引入负反馈可以消除输入信号中的失真。 ()



思考与练习

四、分析题

如图 3-21 所示，判断图中电路引入了哪些反馈；指出反馈元件，说明是正反馈还是负反馈？是直流反馈还是交流反馈？若为交流反馈请说明反馈类型。

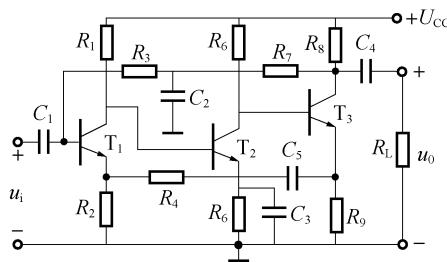


图 3-21 分析题图