

## 一. 实验目的.

- 1) 研究负反馈对放大器放大倍数的影响
- 2) 研究负反馈对放大器通频带和非线性失真改善.
- 3) 进一步掌握多级放大电路静态工作点的调试方法.

## 二. 实验仪器

- 1) 数字示波器
- 2) 信号发生器
- 3) 数字万用表.

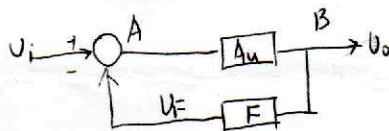
## 三. 实验原理

放大器中采用负反馈, 在降低放大倍数的同时也可在放大器的某些性能上大大改善.

负反馈的类型很多, 本实验以一个输出电压、一个输入串联负反馈的两级放大电路为例.

$C_F, R_F$  从第二级  $V_{T2}$  的集电极接到第一级  $V_{T1}$  的发射极构成负反馈.

### 1. 放大倍数和放大倍数稳定性.



负反馈放大器的放大倍数为  $A_{uF} = \frac{A_u}{1 + A_u F}$

式中  $A_u$  称为开环放大倍数, 反馈系数为  $F = \frac{R_{F1}}{R_{F1} + R_{F2}}$

反馈放大器的反馈放大倍数稳定性与无反馈放大器的反馈放大倍数稳定性有

如下关系 
$$\frac{\Delta A_{uF}}{A_{uF}} = \frac{\Delta A_u}{A_u} = \frac{1}{1 + A_u F}$$

式中  $\frac{\Delta A_{uF}}{A_{uF}}$  称为负反馈放大器的放大倍数稳定性,  $\frac{\Delta A_u}{A_u}$  称为无反馈放大器的放大倍数稳定性.

由上式可知, 负反馈放大器比无反馈放大器的稳定性提高了  $1 + A_u F$  倍.

### 2. 频率响应特性

引入负反馈后, 放大器的频率响应曲线上限频率  $f_{HF}$  比无反馈时的扩大  $1 + A_u F$  倍,

即  $f_{HF} = (1 + A_u F) f_{H1}$

而下限频率比无反馈时减小到  $\frac{1}{1 + A_u F}$  倍, 即  $f_{LF} = \frac{f_{L1}}{1 + A_u F}$

由此可见, 负反馈放大器的通频带变宽.

### 3. 非线性失真系数.

按定义  $D = \frac{U_d}{U_1}$ , 式中  $U_d$  为信号内容包含的谐波成分总和 ( $U_d = \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}$  即  $U_2, U_3, \dots$  分别称为二次, 三次, ... 谐波成分的总有效值),  $U_1$  为基波成分有效值.

在负反馈放大器中, 由非线性失真产生的谐波成分比无反馈时减小到  $\frac{1}{1+A_v F}$  倍, 即

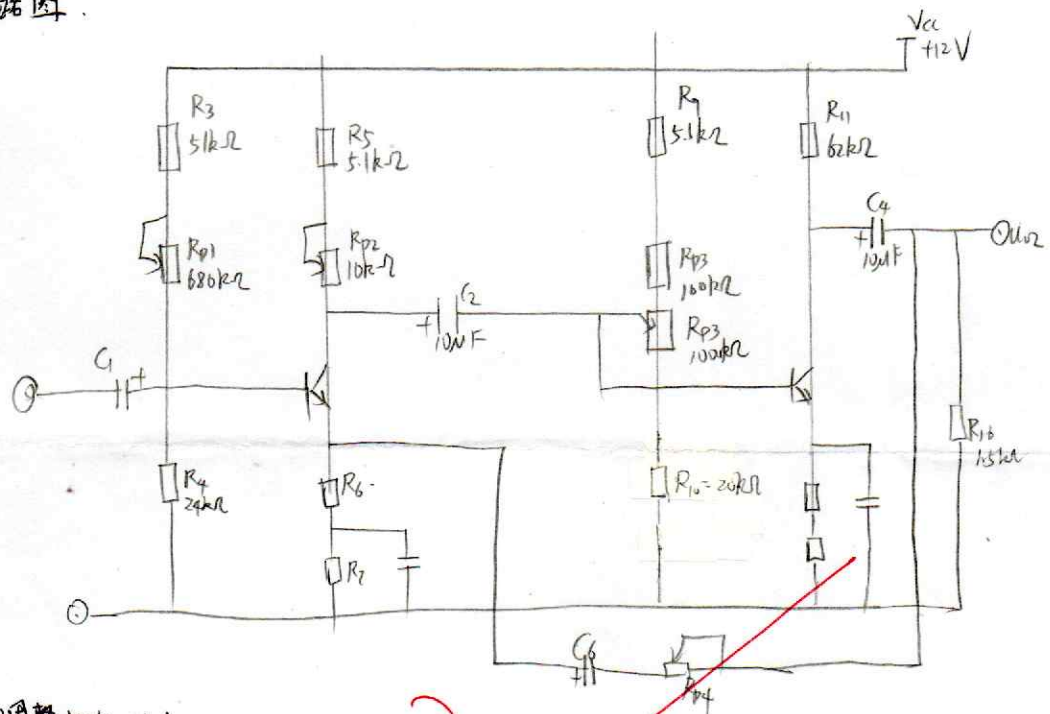
$$U_{dF} = \frac{U_d}{1+A_v F}$$

同时, 由于保持输出的基波电压不变, 因此非线性失真系数  $D$  也减小到  $\frac{1}{1+A_v F}$  倍, 即

$$D_F = \frac{D}{1+A_v F}$$

## 四. 实验内容

### 1. 实验电路图.



### 2. 调整静态工作点.

$I_{C1} (mA)$	$U_{CE1} (V)$	$I_{C2} (mA)$	$U_{CE2} (V)$
0.5382	5.017	0.9441	4.1722

### 3. 负反馈放大器开环和闭环放大倍数测试.

#### (1) 开环电路 ( $R_F$ 不接入)

输入端接入  $u_i = 1mV$ ,  $f = 1kHz$  的正弦波 (输入端叠减法).

调整接线和参数使输出不失真且无干扰.

#### (2) 闭环电路 (接入 $R_F$ )

调节  $R_F = 3k\Omega$ , 计算  $A_{vF}$  和  $R_o$ .

	$R_L(k\Omega)$	$U_i(mV)$	$U_o(mV)$	$A_{uf}$
开环	$\infty$	1	321.68 V	<del>321.68</del> 321.68
	1.5	1	224.89 V	224.89
闭环	$\infty$	1	26.44	26.44
	1.5	1	26.32	26.32

$U_i = 1mV$        $R_L = 10.057k\Omega$        $R_o = 432.84k\Omega$        $R_{oi} = 45.85\Omega$

闭环  $R_o$  变小, 带负载能力变强.

$R_{p1} = 3.0259k\Omega$      $R_6 = 99.41\Omega$      $F = \frac{R_o}{R_{p1} + R_6} = 0.028$      $A_{up} = \frac{1}{F} = 31.745$

#### 4. 观察负反馈对非线性失真的改善

(1) 将  $R_f$  断开, 形成开环, 逐步加大  $U_i$  的幅度, 使输出信号适当出现失真



$U_i = 0.75mV$

(2) 将  $R_f$  接入, 形成闭环, 观察输出信号失真情况, 增加  $U_i$  幅度, 使输出信号

输出幅度接近开环时的输出信号失真幅度, 记录输入信号值  $U_i = 55.22mV$ .

远大于开环时的情况, 说明负反馈可改善电路的失真.

(3)  $R_o = 3k\Omega$  不变 ( $3.0259k\Omega$  近似值), 但  $R_f$  接入  $V_1$  的基极, 失真加剧



#### 5. 负反馈对输入电阻的影响

断开电阻  $R_L$ , 同时加正弦信号, 使  $U_s = 10mV$ ,  $f = 1kHz$ , 输出端空载, 测量开环和闭环时的

$U_s$  和  $U_i$ , 计算  $R_i$  的值, 比较负反馈对放大器输入的影响

$R_i = \left( \frac{U_i}{U_s - U_i} \right) R_s$

$R_s = 5.133k\Omega$

	$U_s(V)$	$U_i(V)$	$R_i(k\Omega)$
开环	10.31m	7.54m	13.97214
闭环	10.32m	8.23m	20.21272

#### 6. 测试放大器的频率特性.

(1) 将电路开环, 选择  $U_i$  适当幅度 (1kHz) 使输出信号在示波器上不失真清晰正弦波显示.

(2) 保持输入信号幅度不变, 逐步增加输入信号频率, 直到波形减小为原来的 70%

此时信号频率即为放大器的  $f_H$

3) 条件同上, 但逐渐减小输入信号频率, 测得放大器的  $f_L$ , 计算带宽  $BW$ .

4) 将电路开环, 重复 (1) ~ (3) 步骤, 并将结果记录如下.

	$f_H (Hz)$	$f_L (Hz)$	$f_{BW} (Hz)$
开环	44k	350	43.0k
闭环	1.1M	130.	1.1M

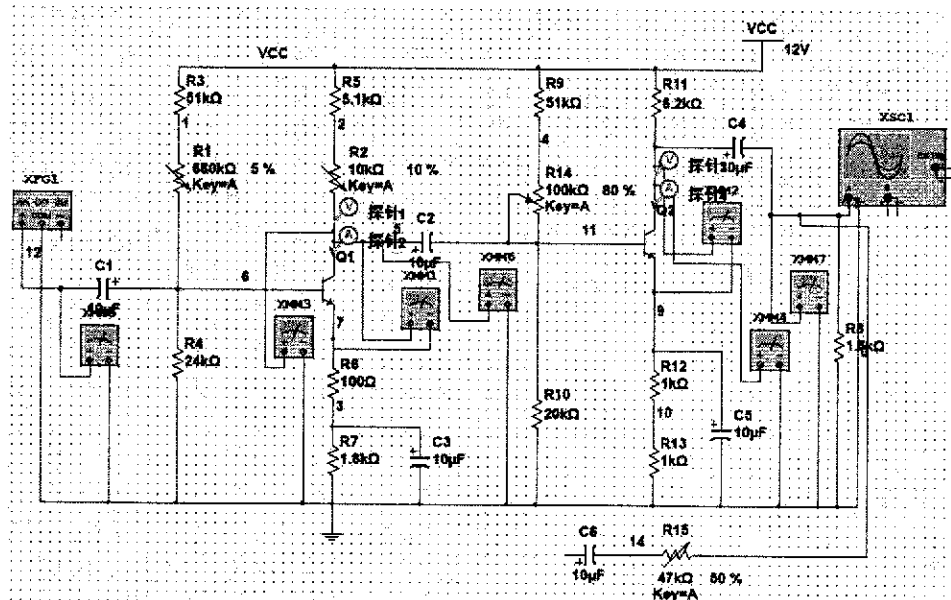
可以看到 (闭环 (负反馈)) 对使得电路的通频带大大扩充.

?





## 1. 实验电路图



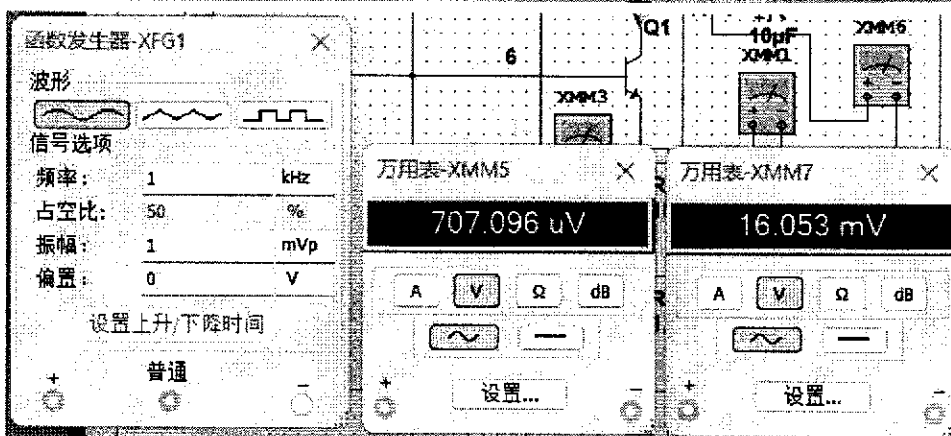
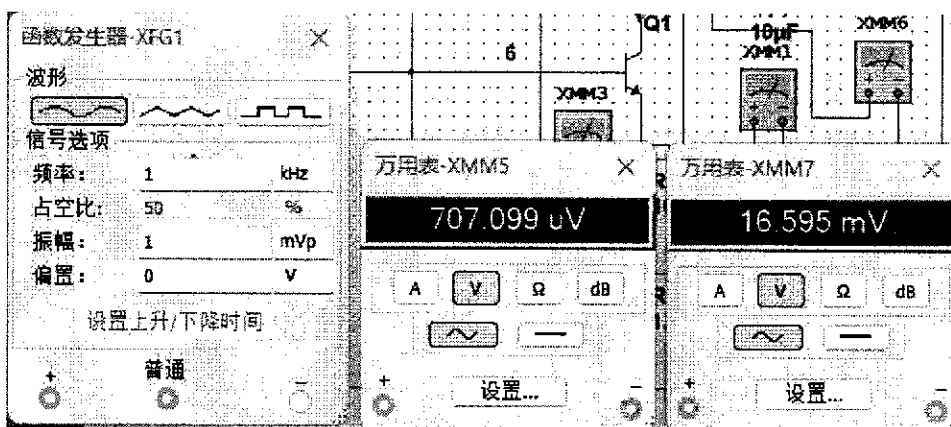
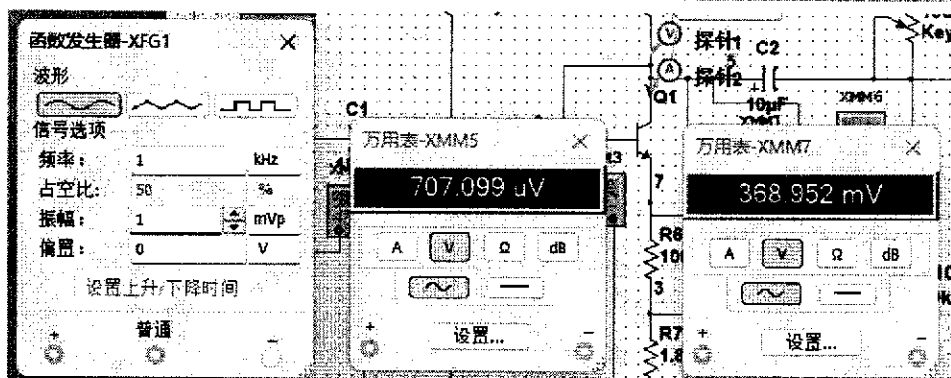
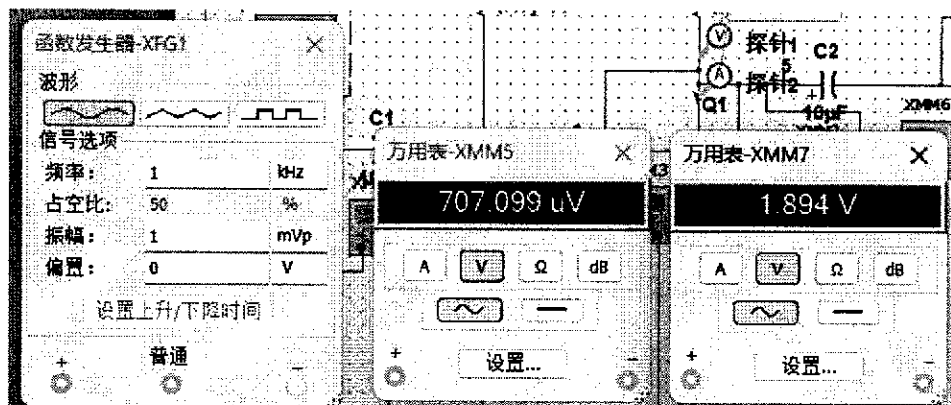
## 2. 静态工作点

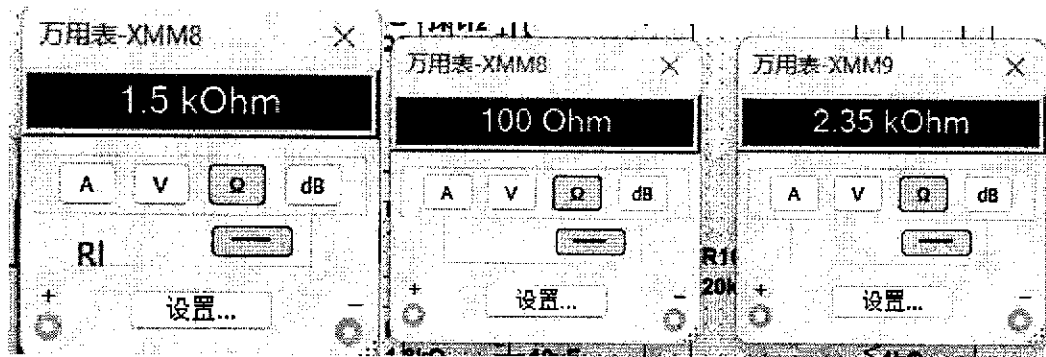
Variable	Operating point value
1 V <sub>1</sub>	0.00000
2 V <sub>2</sub>	0.00000
3 V <sub>3</sub>	0.00000
4 V <sub>4</sub>	0.00000
5 V <sub>5</sub>	0.00000
6 V <sub>6</sub>	0.00000
7 V <sub>7</sub>	0.00000
8 V <sub>8</sub>	0.00000
9 V <sub>9</sub>	0.00000
10 V <sub>10</sub>	0.00000
11 V <sub>11</sub>	0.00000
12 V <sub>12</sub>	0.00000

I <sub>c1</sub>	U <sub>ce1</sub>	I <sub>c2</sub>	U <sub>ce2</sub>
0.888m	4.876	0.858m	4.94

## 3. 开环及闭环放大倍数测试

	R <sub>i</sub>	U <sub>i</sub>	U <sub>o</sub>	A <sub>uf</sub>
开环	∞	0.707m	1.894	2678.925
	1.5k	0.707m	368.952	521.8557
闭环	∞	0.707m	16.595	23.4724
	1.5k	0.707m	16.053	22.7058





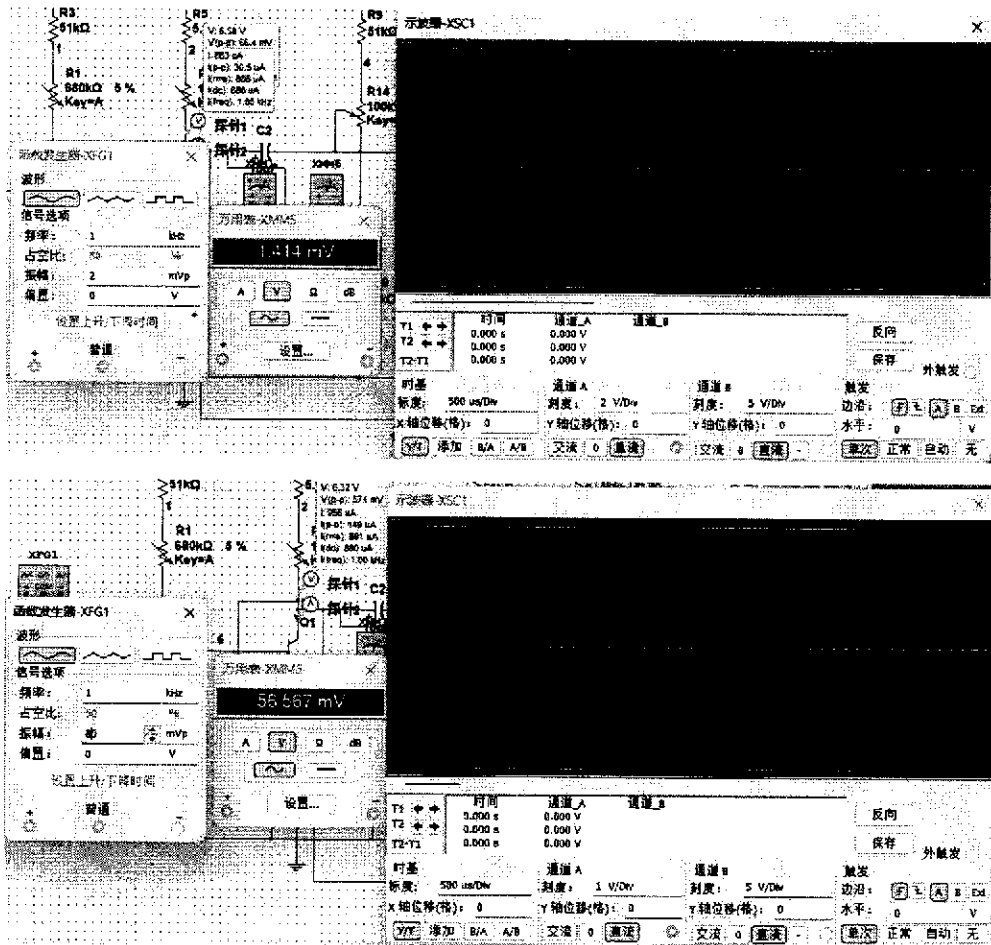
$R_o = 6.2001886424250308983282378195538k$

$R_{o \text{ 闭}} = 50.64473930106522145393384414125$

$F = 0.040816326530612244897959183673469$

$A_{uf} = 1/F = 24.5$

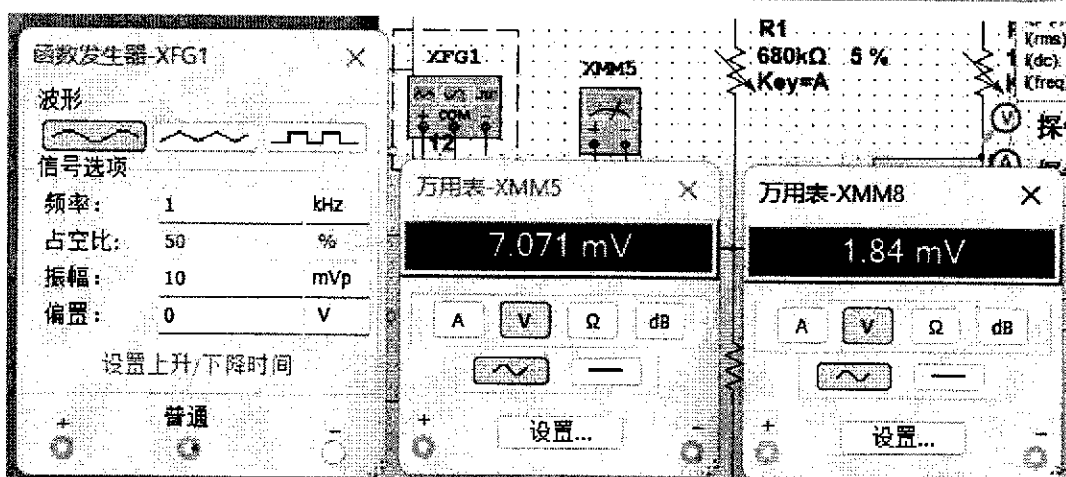
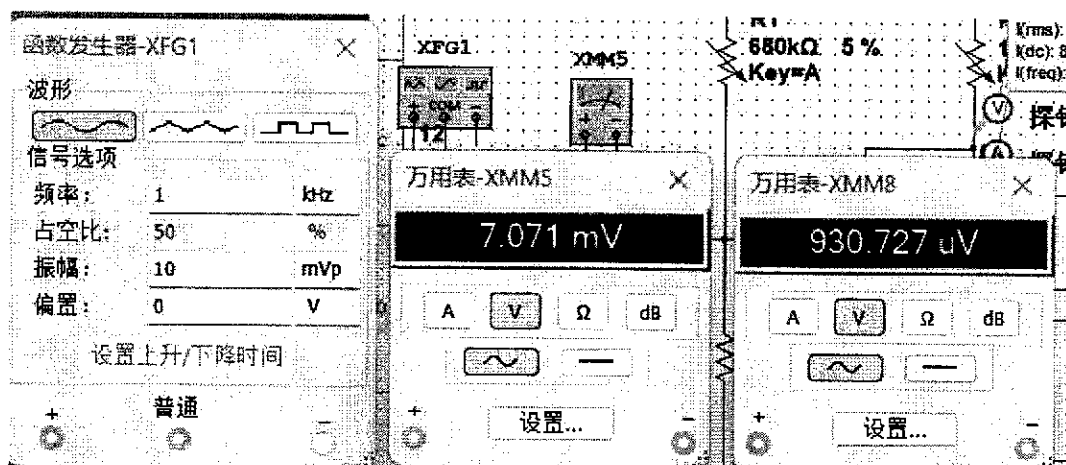
#### 4. 观察负反馈电路对非线性失真的反馈



可以看到在达到接近开环时输出信号失真幅度时的输入电压远大于开环时说明付反馈可以改善电路的非线性失真。

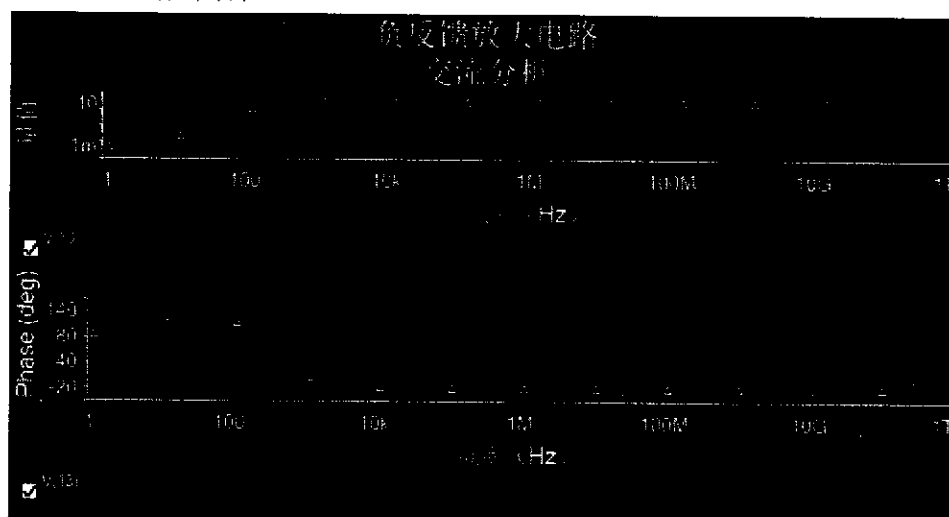
#### 5. 负反馈对输入输出电阻的影响





	Us	Ui	Ri
开环	7.071m	0.93m	7.7235k
闭环	7.071m	1.84m	17.939k

## 6. 放大器的频率特性



# 负反馈放大电路 交流分析

