

# 实验三 负反馈放大电路

## 实 验 报 告

姓名： 李显昱

学号： 2018011498

班级： 自 83

日期： 2020.4.23

目录	1
----	---

## 目录

1 实验目的	2
2 实验内容	2
2.1 引入电压并联负反馈 . . . . .	2
2.2 负反馈放大电路的闭环测试 . . . . .	2
2.3 选做：电流并联负反馈放大电路研究 . . . . .	5
3 整体数据表格整理（仿真 + 硬件）	9
4 思考题	9
5 实验小结	14

## 1 实验目的

- (1) 熟悉负反馈放大电路的组态，深入理解负反馈对放大电路性能的影响；
- (2) 掌握负反馈条件下电路静态与动态的测量方法。

## 2 实验内容

### 2.1 引入电压并联负反馈

#### · 理论估算

根据电压并联负反馈放大电路组态进行计算，可得：

$$A_{usf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = \frac{R_f}{R_s}$$

所以由题意可得，因为  $A_{usf} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = -10$ ，所以  $R_s = 10k\Omega$ 。

#### · 仿真测量

如图 1 可得，当  $R_s = 9.2k\Omega$ ， $A_{usf} = -10.0054 \approx -10$ ，所以后面的仿真，都将取  $R_s = 9.2k\Omega$ 。

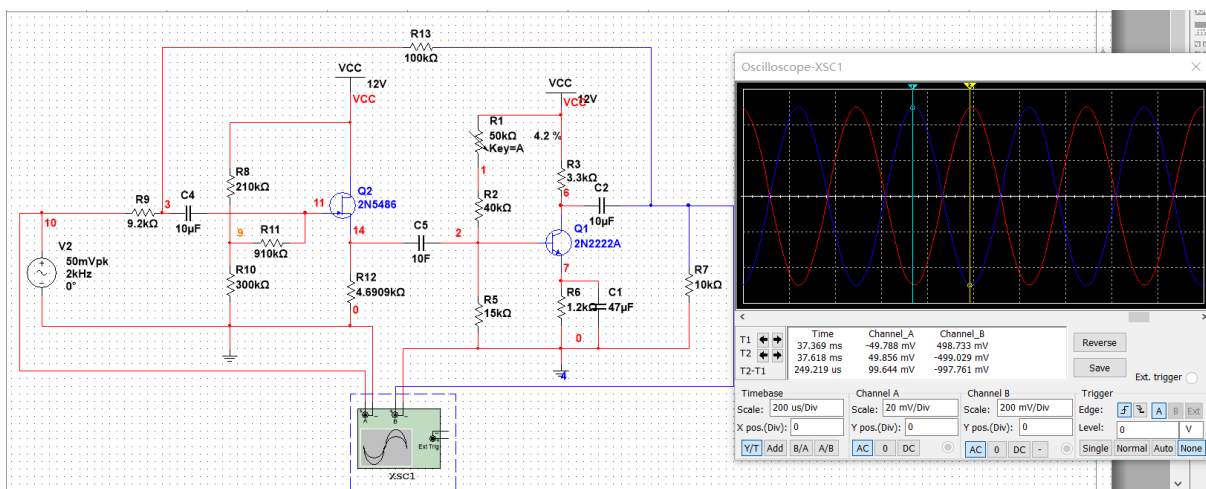


图 1:  $R_s$  仿真

### 2.2 负反馈放大电路的闭环测试

#### · 理论估算

开环时的输入电阻为：

$$R_i = R_{g1} // R_{g2} + R_{g3} = 1033.53k\Omega$$

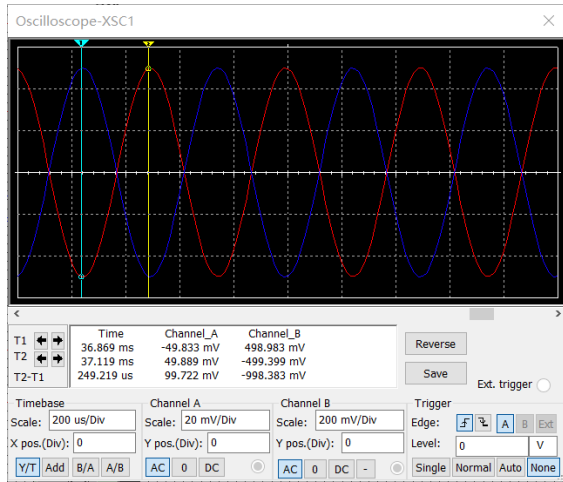
输出电阻为：

$$R_o = R_c = 3.3k\Omega$$

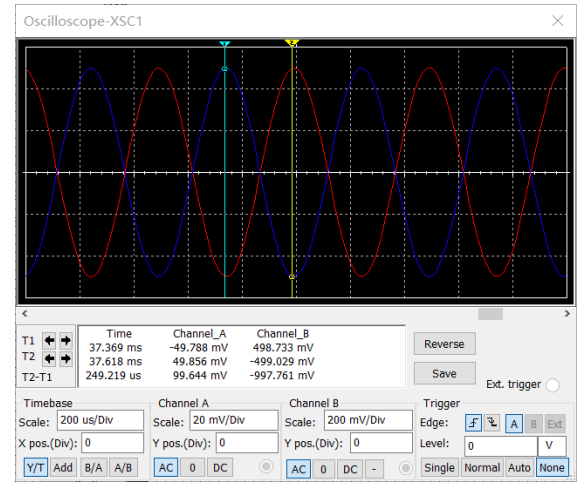
利用诺顿定理将电压源及其内阻等效并到  $R_i$  中可以得到  $R'_i = R_i // R_s = 9.90k\Omega$

开环时的放大倍数取实验二中的理论计算值  $\dot{A}_u = -144.41$ 。

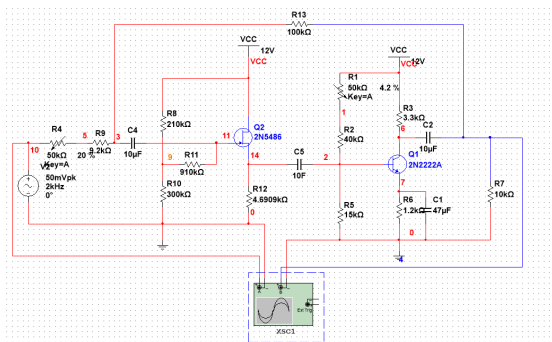




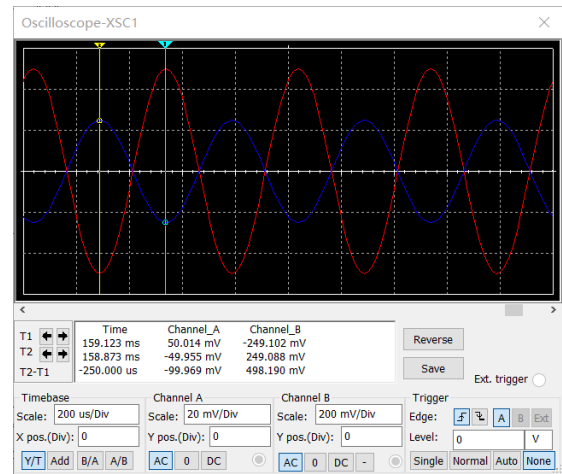
(a)



(b)

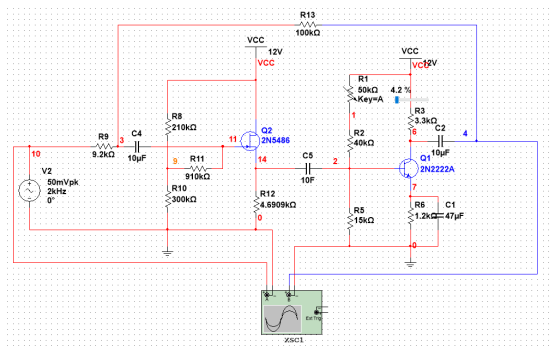
图 3:  $A_{usf}$  测量仿真示波器波形图

(a) 测量输入电阻电路

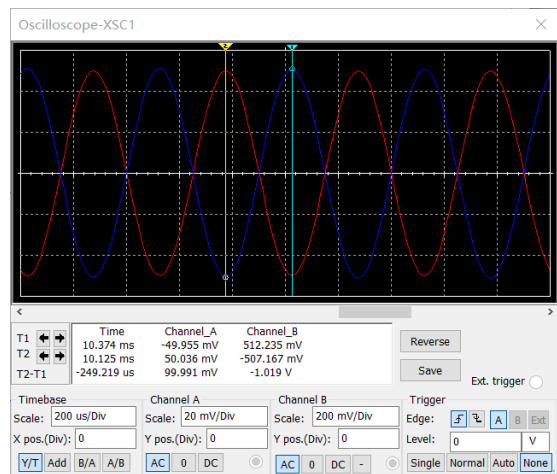
(b) 计算输入电阻所需  $U_{o2}$ 图 4: 负反馈放大电路测量输入电阻  $R_i$  示波器波形图

测得输出电阻:

$$R_{of} = 213\Omega$$



(a) 测量输出电阻电路



(b) 计算输出电阻所需  $U_o$

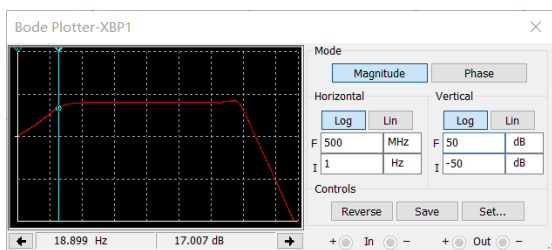
图 5: 负反馈放大电路测量输出电阻  $R_o$  示波器波形图

### · 仿真测量 $f_L$ 和 $f_H$

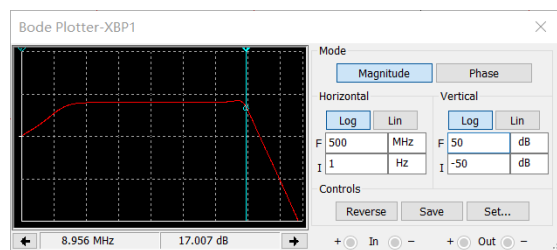
针对负反馈放大电路的  $f_L$  和  $f_H$  的测量, 如图 6(a)和图 6(b)可得:

$$f_L = 18.899Hz$$

$$f_H = 8.956MHz$$



(a)  $f_L$  的测量



(b)  $f_H$  的测量

图 6: 利用波特仪对负反馈放大电路的  $f_L$  和  $f_H$  的测量

在第六周的两级放大电路中的仿真过程中,可以得到没有加负反馈的两级放大电路的  $f_L = 224.187Hz$  且  $f_H = 551.92kHz$ , 通过对比可以发现  $f_L = 18.899Hz < 224.187Hz$  且  $f_H = 8.956MHz > 551.92kHz$ , 可以得到在引入负反馈之后, 频带展宽明显。

## 2.3 选做: 电流并联负反馈放大电路研究

### · 理论估算

$$\dot{F} = \frac{I_f}{I_o} = \frac{R_{e1}}{R_{e1} + R_f} = \frac{0.2}{0.2 + 2} = 0.091$$

$$\dot{A} = \frac{U_o R_g}{U_i R_c} \approx g_m R_{i2} \dot{A}_{u2} \cdot \frac{R_g}{R_c} = 2.85 \times 2.92 \times 9.37 \cdot \frac{910}{3.3} = 21502.8$$

$$1 + \dot{A}\dot{F} = 1957.75$$

$$R_{if} = \frac{R_g}{1 + \dot{A}\dot{F}} = 464.8\Omega$$

$$R_{of} = R_c \approx 3.3k\Omega$$

· 仿真测量  $\dot{A}_{usf}$

如图 7 为测量电压放大倍数时的输入电流和输入电压。可以得到:

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_{oppk}}{\dot{U}_{ippk}} = \frac{707.746mV}{99.881mV} = 7.09$$

。

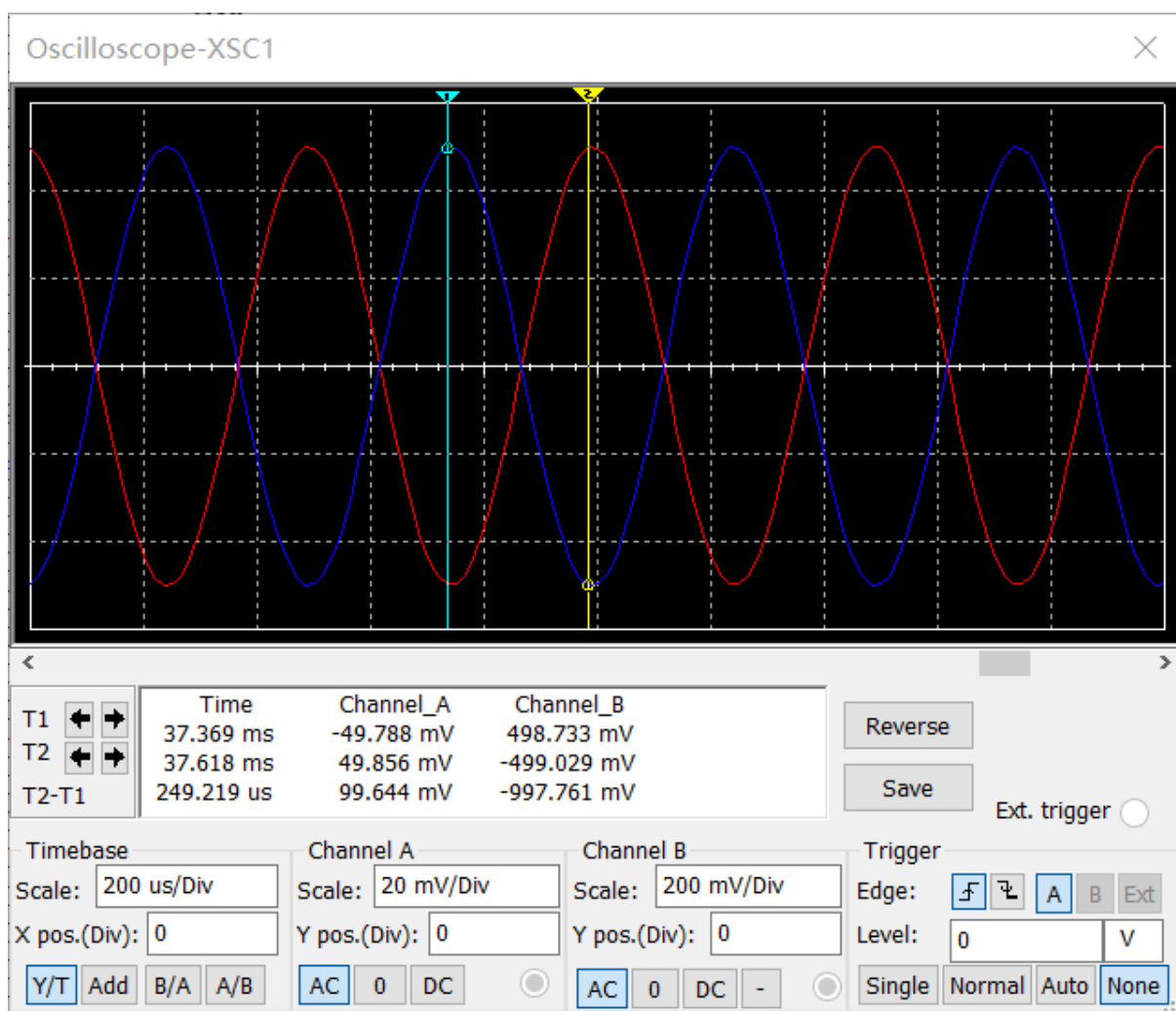
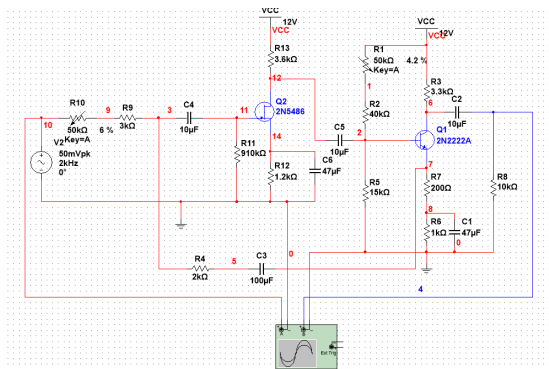


图 7:  $\dot{A}_{usf}$  测量仿真电路图

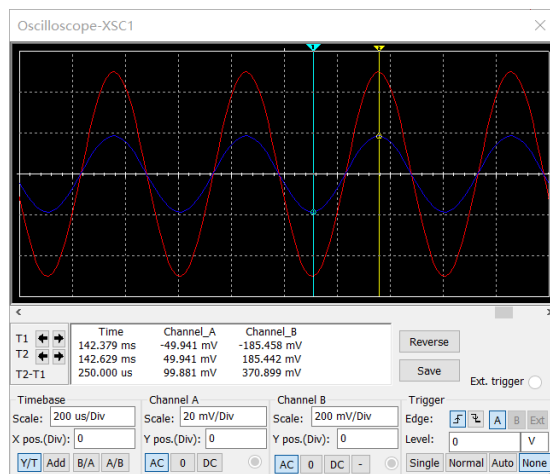
· 仿真测量  $R_{if}$

针对负反馈放大电路的输入电阻  $R_{if}$ ，通过图 7 可以看到在输入端未加电阻时，测量得到的输出电压为  $U_{o1} = 707.746$ ，再加有电阻之后，如图 8(b) 得到此时输出电压为  $U_{o2} = 370.899mV$ ，所以此时可测得输入电阻：

$$R_{if} = 0.31k\Omega$$



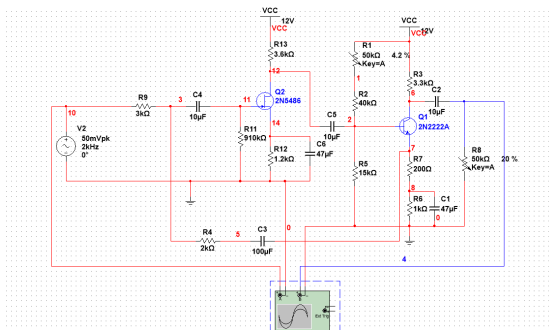
(a) 测量输入电阻电路

(b) 计算输入电阻所需  $U_{o2}$ 图 8: 负反馈放大电路测量输入电阻  $R_i$  示波器波形图

#### · 仿真测量 $R_{of}$

针对负反馈放大电路的输出电阻  $R_{of}$ ，通过图 9(b) 可以看到在输入端未加电阻时，测量得到的输出电压为  $U_{o'} = 940.916mV$ ，再加有电阻之后，如图 7 得到此时输出电压为  $U_{ol} = 707.746mV$ ，所以此时可测得输出电阻：

$$R_{of} = 3.29k\Omega$$



(a) 测量输出电阻电路

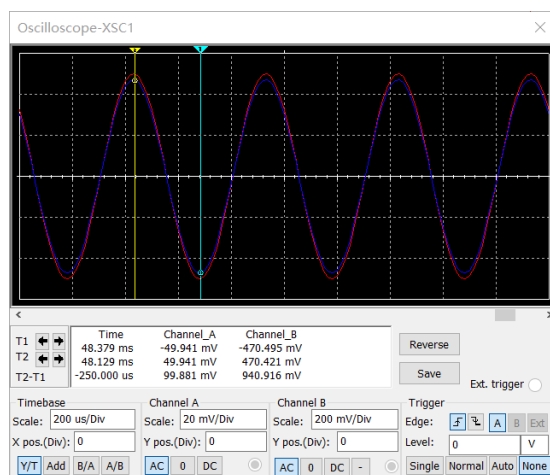
(b) 计算输出电阻所需  $U_{o'}$ 图 9: 负反馈放大电路测量输出电阻  $R_o$  示波器波形图

图 10 为电压并联负反馈放大电路的面包板实物连线图。



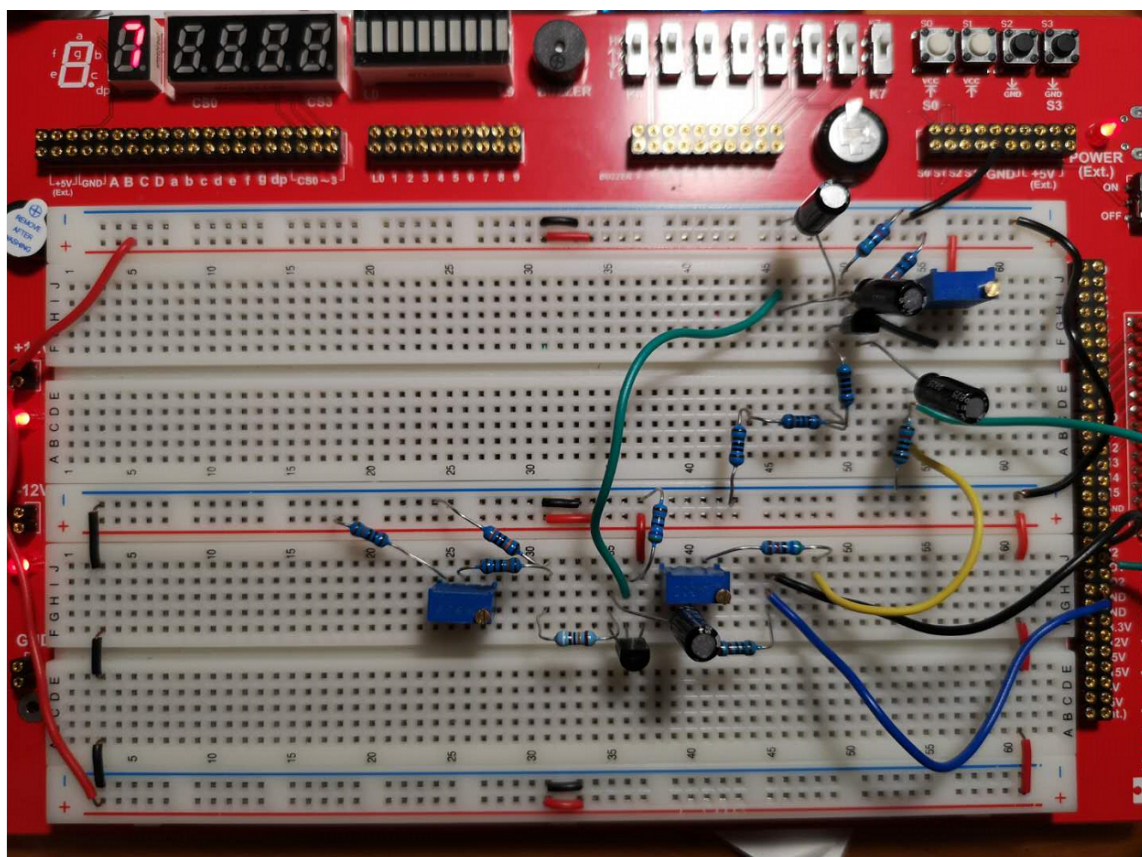


图 10: 面包板电路图

表 1: 电压并联负反馈放大电路动态特性测量

	$R_s/k\Omega$	$\dot{A}_{usf}$	$R_{if}/\Omega$	$R_{of}/\Omega$	$f_L/Hz$	$f_H/MHz$
理论值	10	-10	693	231		
仿真值	9.2	-10.0054	772	213	18.899	8.956
实测值	9.91	-9.40	737	186	51	

表 2: 电压并联负反馈放大电路电压放大倍数的测量

	$\dot{U}_{oppk}/mV$	$\dot{U}_{ippk}/mV$	$\dot{A}_u$
理论值			-10
仿真值	-997.761	99.722	-10.0054
实测值	-940	100	-9.40

表 3: 电压并联负反馈放大电路动态特性 (输入电阻) 的测量

	$R_1/k\Omega$	$U_{o1}/mV$	$U_{o2}/mV$	$R_{if}/\Omega$
仿真值	10	997.761	498.190	772
实测值	1.197	940	845	737

表 4: 电压并联负反馈放大电路动态特性 (输出电阻) 的测量

	$R_L/k\Omega$	$U'_o/V$	$U_{oL}/V$	$R_{of}/\Omega$
仿真值	10	1019	997.761	213
实测值	1.0	952	803	186

表 5: 选做: 电流并联负反馈放大电路动态特性测量

	$\dot{A}_{usf}$	$R_{if}/k\Omega$	$R_{of}/k\Omega$
理论值		464.8	3.3
仿真值	7.09	0.31	3.29
实测值	7.57	0.401	3.76

表 6: 选做: 电流并联负反馈放大电路电压放大倍数的测量

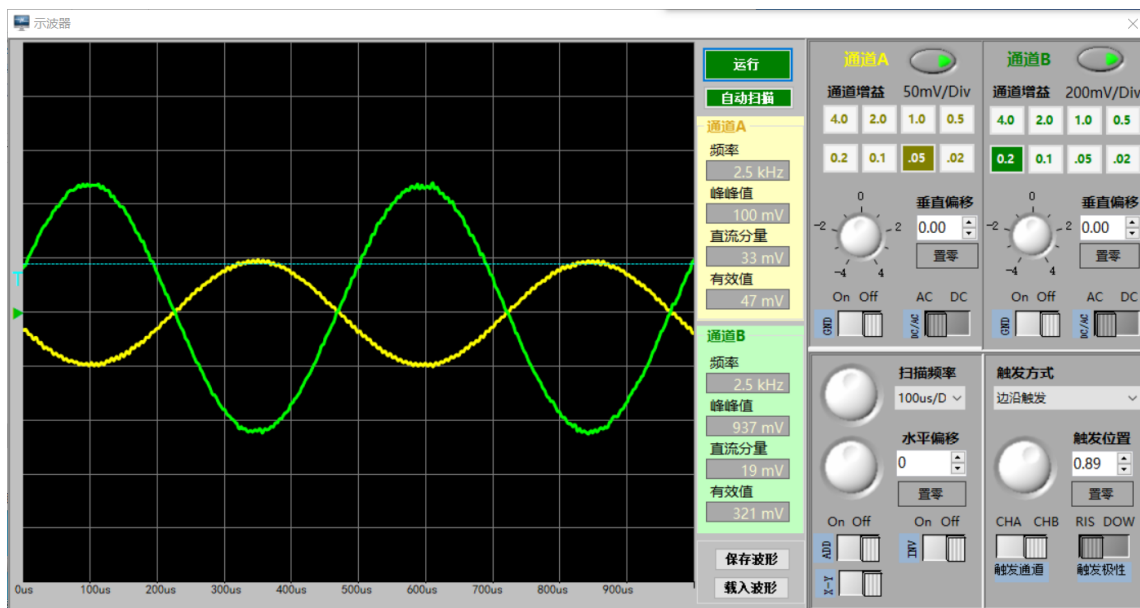
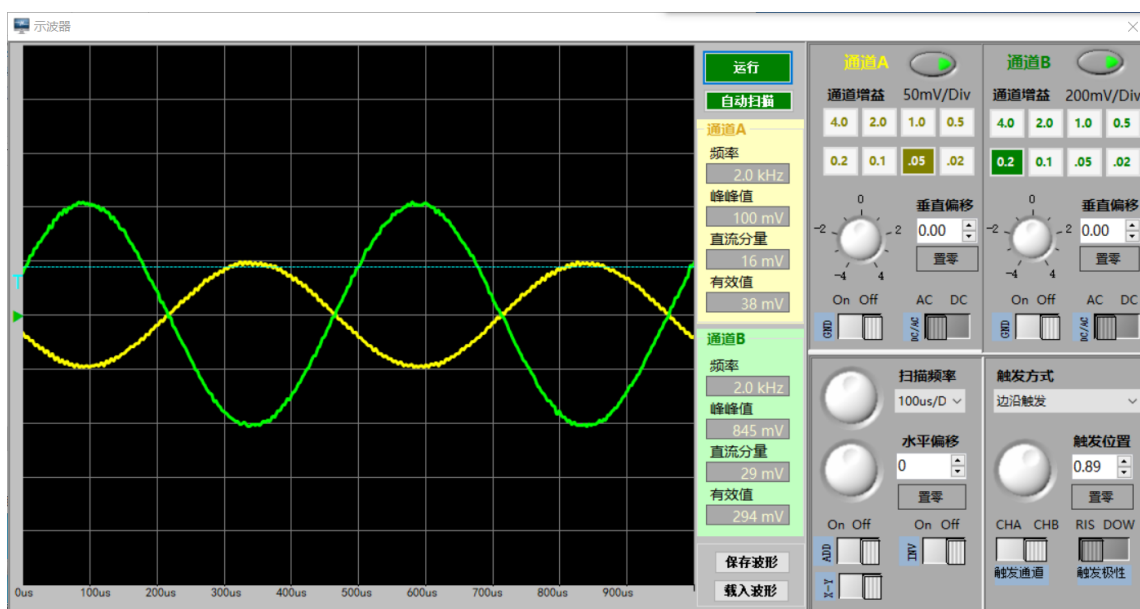
	$\dot{U}_{oppk}/mV$	$\dot{U}_{ippk}/mV$	$\dot{A}_u$
仿真值	707.746	99.881	7.09
实测值	734	97	7.57

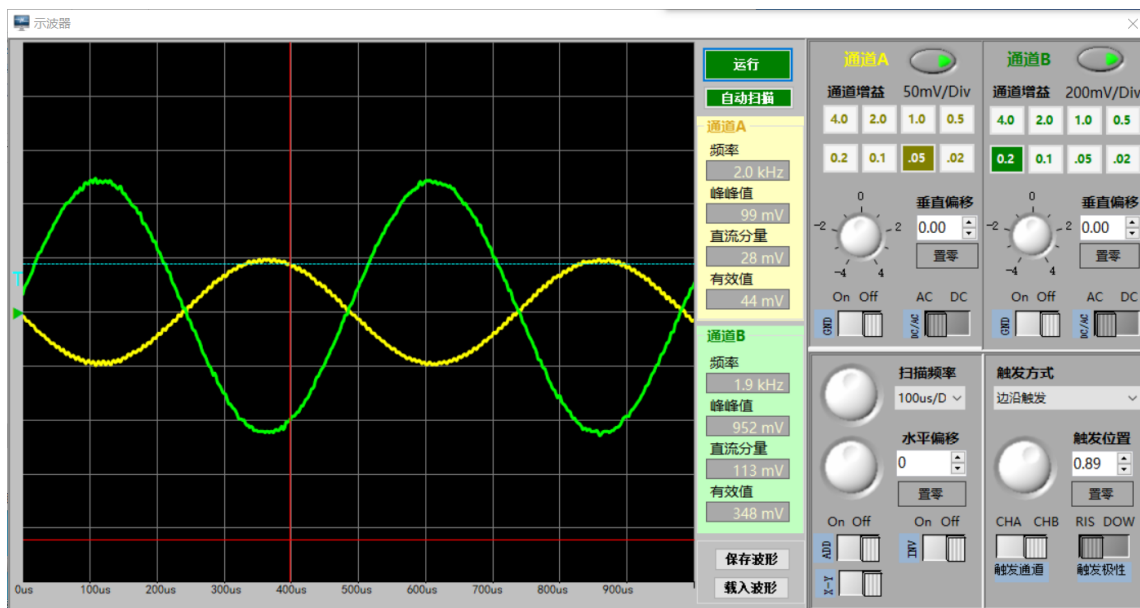
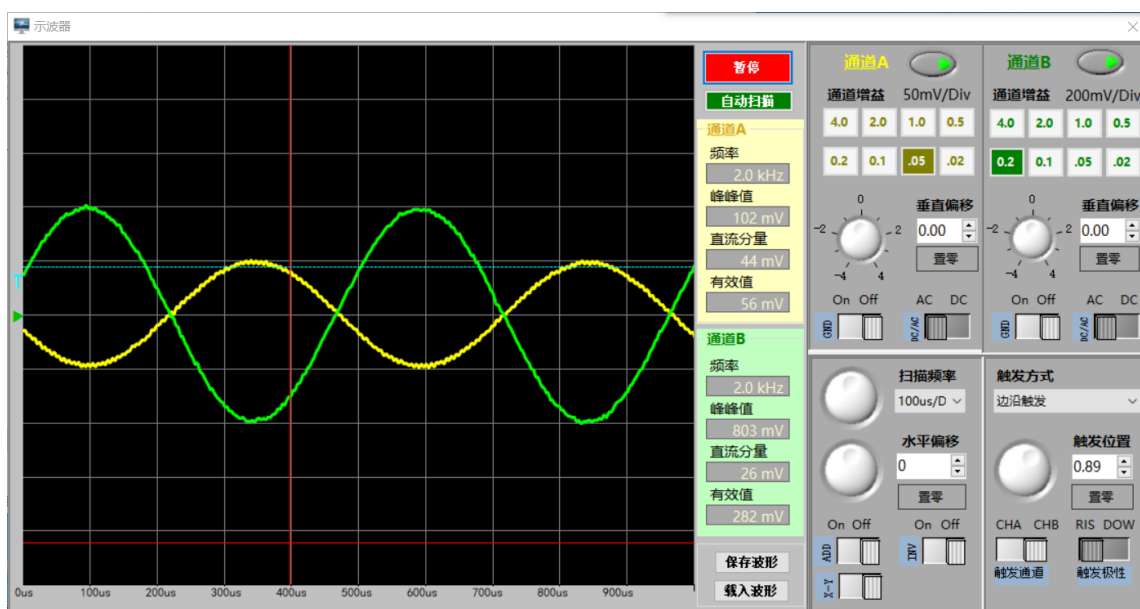
### 3 整体数据表格整理（仿真 + 硬件）

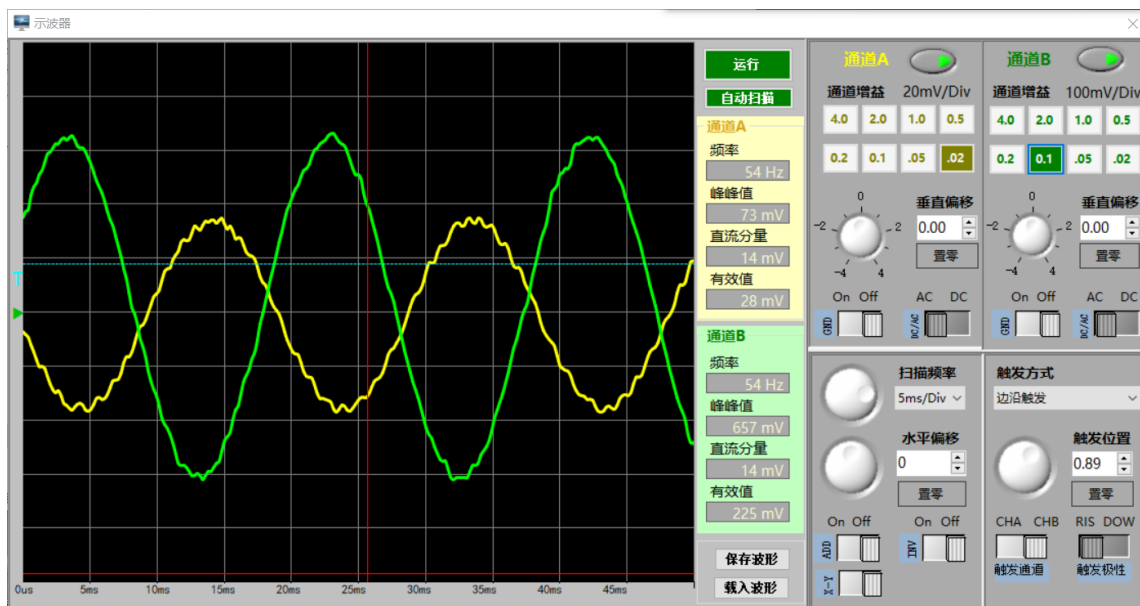
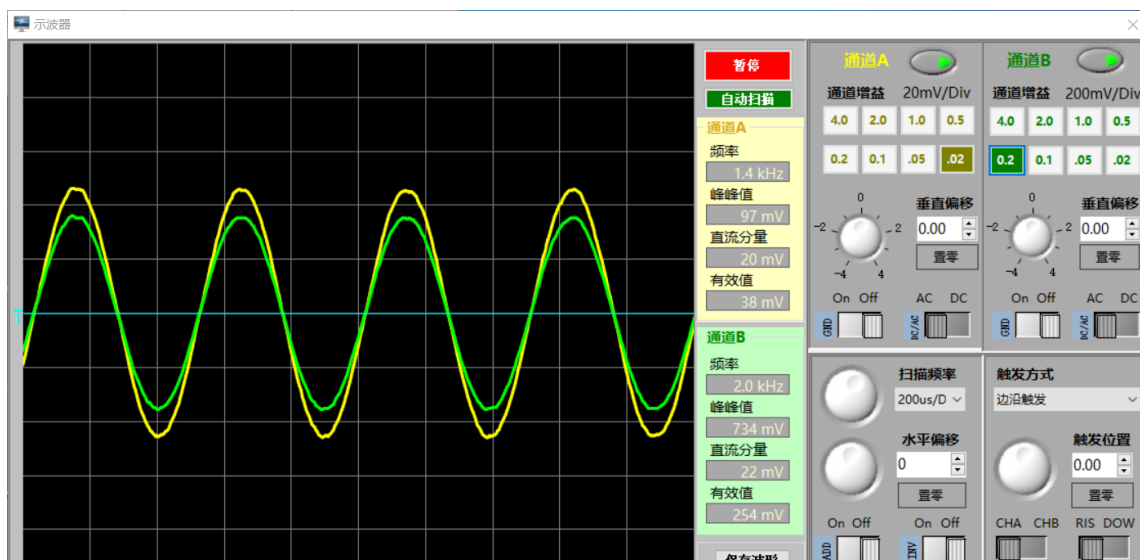
#### 4 思考题

1. 在两级放大电路中，第一级为场效应管放大电路，输入电阻很大，引入并联负反馈后，输入电阻很小，为什么？

答：第一：并联负反馈的理论中推导时电源为恒流源，所以实验中通过电压源和电压源内阻利用诺

图 11: 电压并联负反馈放大电路:  $A_{usf}$ 图 12: 电压并联负反馈放大电路:  $R_{if}U_{o2}$

图 13: 电压并联负反馈放大电路:  $R_{of}U_{o'}$ 图 14: 电压并联负反馈放大电路:  $R_{of}U_{ol}$

图 15: 电压并联负反馈放大电路:  $f_L$ 图 16: 选做: 电流并联负反馈放大电路:  $A_{usf}$

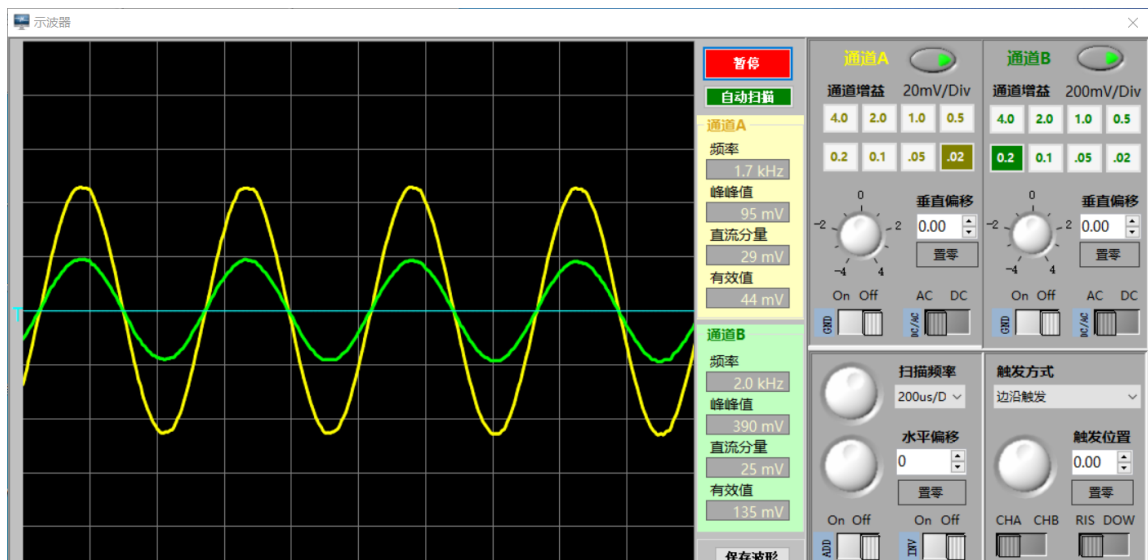


图 17: 选做: 电流并联负反馈放大电路:  $R_{if}U_{o2}$

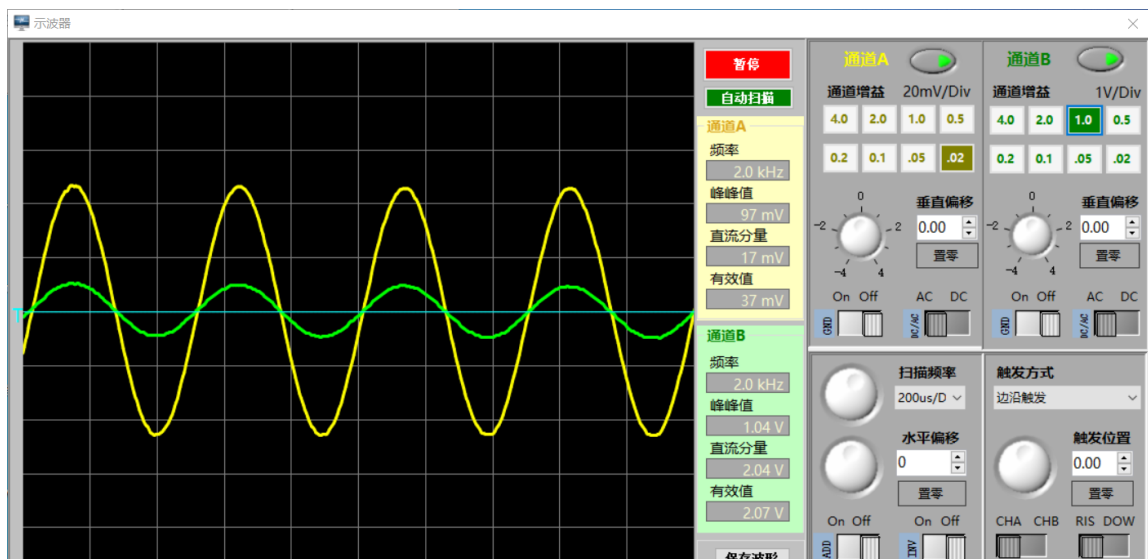


图 18: 选做: 电流并联负反馈放大电路:  $R_{of}U_{o'}$

表 7: 选做: 电流并联负反馈放大电路动态特性 (输入电阻) 的测量

	$R_1/k\Omega$	$U_{o1}/mV$	$U_{o2}/mV$	$R_{if}/k\Omega$
仿真值	6	707.746	370.899	0.31
实测值	3.007	734	390	0.401

表 8: 选做: 电流并联负反馈放大电路动态特性 (输出电阻) 的测量

$R_L/k\Omega$	$U'_o/V$	$U_{oL}/V$	$R_{of}/k\Omega$	
仿真值	10	940.916	707.746	3.29
实测值	10	1010	734	3.76

顿定理进行等效, 随后等效内阻再与输入回路并联, 因为场效应管放大电路输入电阻很大, 所以并联后电阻即约等于等效内阻。第二: 根据负反馈效应, 有关系:

$$R_{if} = \frac{R_i}{1 + \dot{A}\dot{F}}$$

因为  $1 + \dot{A}\dot{F}$  在深度负反馈的时候很大, 所以引入并联负反馈后, 输入电阻变小很多。

## 2. 在选做电路中, 引入电流并联负反馈前后, 输出电阻为什么基本不变?

答: 从图中可以看出, 输出端和反馈引出端不是一个端, 一个处于集电极, 一个处于发射极。在交流通路中, 反馈回路与一个受控电流源串联。而利用加压求流法计算输出电阻时, 与反馈回路串联的受控电流源上没有电流, 相当于断路, 导致反馈回路不影响输出电阻大小。所以引入电流并联负反馈不影响输出电阻, 所以输出电阻基本不变。

## 5 实验小结

这是第一次拿到口袋仪器完整的进行一次实验, 在做此次硬件实验的时候也完成了前两个实验的硬件部分, 感觉在实验中, 因为设置的输入信号过小, 信号受外界干扰还是比较强的。但总体还是比较顺利地完成了三个实验。这个过程中, 对口袋仪器地使用更加熟练了, 不再是纸上谈兵了。

感谢老师、助教们与同学们的帮助!