

浙江大学实验报告

2024/3/19

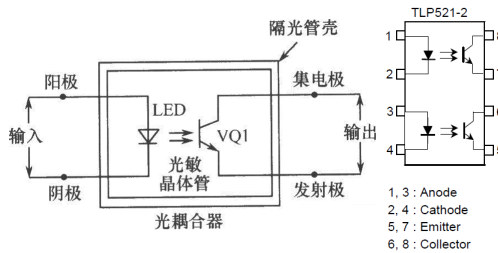
Lab4 光耦合电路及其应用实验

一、实验目的

1. 熟悉光耦合器件的结构、种类及其工作原理；
2. 掌握常用光耦合器件的使用方法；
3. 掌握基本光耦合器件应用电路的设计与调试方法。

二、实验内容与原理

(0) 光耦合器件基本原理



光电耦合器是一种把发光元件和光敏元件封装在同一壳体内，中间通过电→光→电的转换来传输信号的半导体光电子器件。

本实验所使用的TLP521-2具体结构如上右图所示：使用二极管发光控制NPN三极管的导通与否/电流大小。具体光电耦合的性质将在下面进行细致讨论。

推荐使用参数如下：

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply Voltage	V _{CC}	—	5	24	V
Forward Current	I _F	—	16	20	mA
Collector Current	I _C	—	1	10	mA
Operating Temperature	T _{opr}	-25	—	85	°C

(1) 光耦合器件的电流传输比测试和开关时间测试

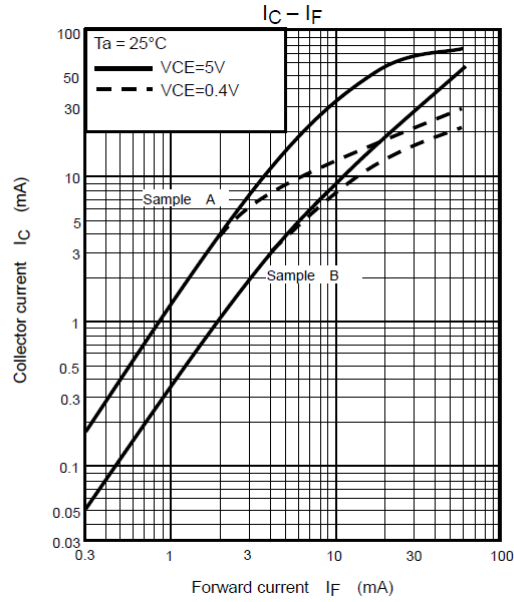
电流传输比

电流传输比为： $CTR(\%) = \frac{I_C}{I_F}$

Coupled Electrical Characteristics (Ta = 25°C)

Characteristic	Symbol	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit	
Current transfer ratio	I_C / I_F	$I_F = 5 \text{ mA}, V_{CE} = 5 \text{ V}$ Rank GB	50	—	600	%	
			100	—	600		
Saturated CTR	$I_C / I_F (\text{sat})$	$I_F = 1 \text{ mA}, V_{CE} = 0.4 \text{ V}$ Rank GB	—	60	—	%	
			30	—	—		
Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE} (\text{sat})$	$I_C = 2.4 \text{ mA}, I_F = 8 \text{ mA}$	—	—	0.4	V	
			$I_C = 0.2 \text{ mA}, I_F = 1 \text{ mA}$ Rank GB	—	0.2		—
				—	—		0.4

说明书所给的参考图如下:

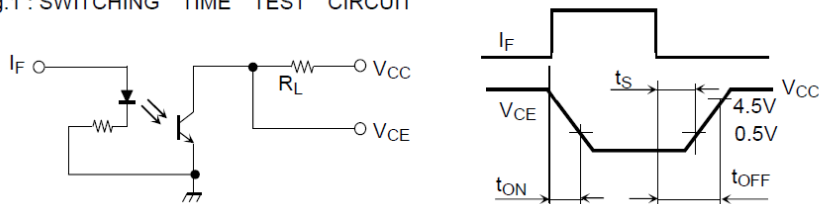


开关时间测试

Switching Characteristics (Ta = 25°C)

Characteristic	Symbol	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
Rise time	t_r	$V_{CC} = 10 \text{ V}$ $I_C = 2 \text{ mA}$ $R_L = 100 \Omega$	—	2	—	μs
Fall time	t_f		—	3	—	
Turn-on time	t_{on}		—	3	—	
Turn-off time	t_{off}		—	3	—	
Turn-on time	t_{ON}	$R_L = 1.9 \text{ k}\Omega$ (Fig.1) $V_{CC} = 5 \text{ V}, I_F = 16 \text{ mA}$	—	2	—	μs
Storage time	t_s		—	15	—	
Turn-off time	t_{OFF}		—	25	—	

Fig.1: SWITCHING TIME TEST CIRCUIT



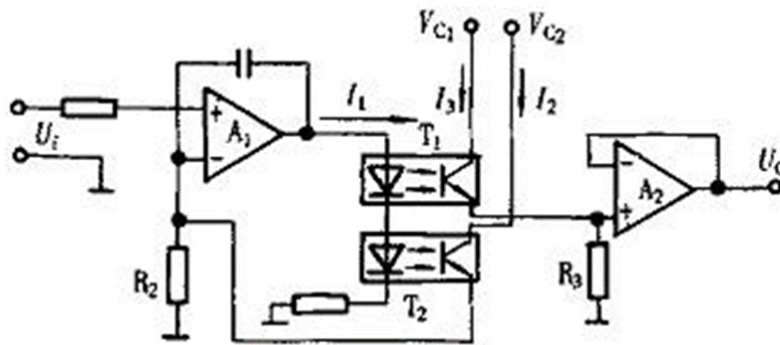
开关时间的定义如上，做实验验证上述数据。

(2) 模拟量线性光耦隔离电路

Part 1

设计一单极性模拟量线性光耦隔离电路。要求输入模拟量电压范围为2~10V，对应的输出模拟量电压为2~10V。并测试此电路的电压传输特性和电压阶跃响应。

使用补偿式线性放大电路解决这一问题：



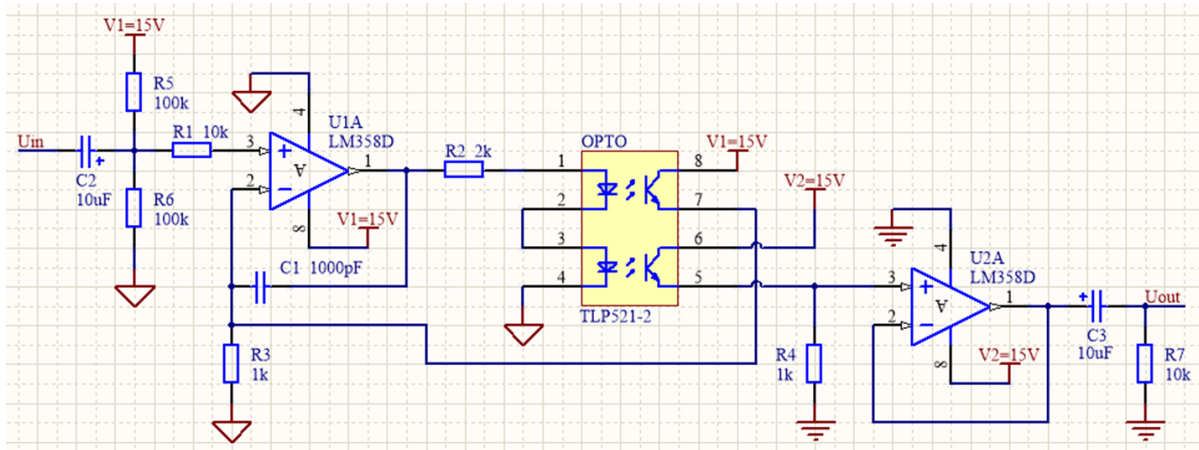
- 使用两个运放搭建实验电路
 - 第一个运放工作在负反馈状态（即正向输入端与反向输入端虚短，电位一致）
 - 第二个运放是电压跟随器，稳定光耦合管的非线性输出
- 使用两个基本一致（在同一芯片中）的光耦合管，使得三极管端输出保持一致
 - T1作为输出
 - T2作为反馈

根据以上性质可以得出输入与输出的关系：

$$\dot{A}_v = \frac{I_3 \times R_3}{I_2 \times R_2} = \frac{R_3}{R_2}$$

Part 2

学会使用PSpice构建原件，并进行仿真，使用HCNR200，搭建一个去除直流分量的电路，具体示意图如下：

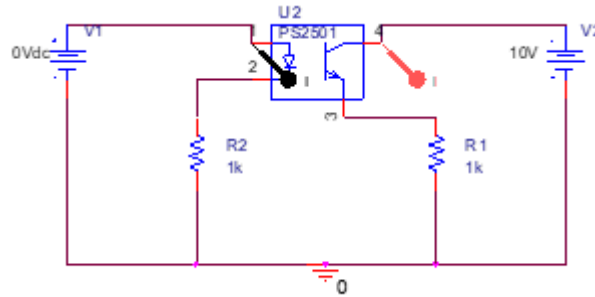


三、实验过程

(1) 光耦合器件的电流传输比测试和开关时间测试

电流传输比

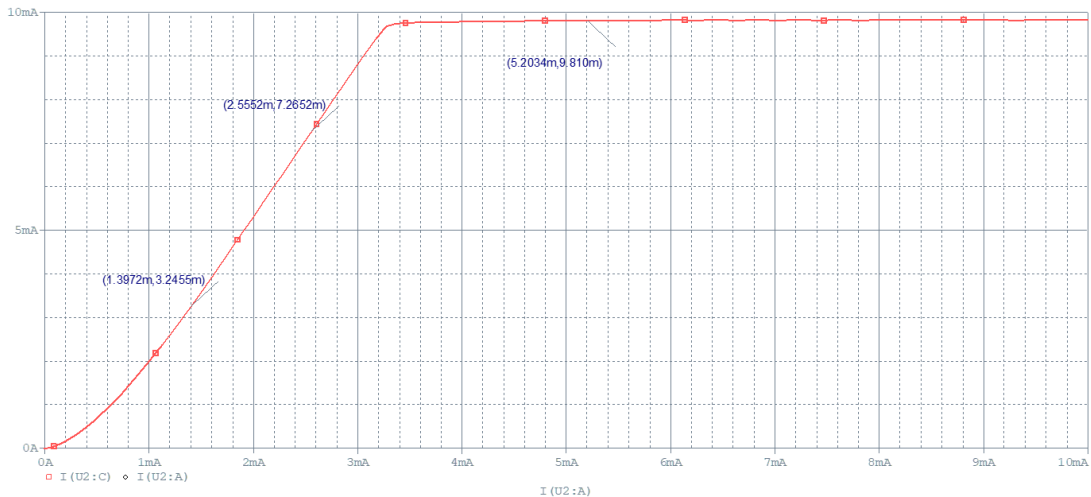
1. 使用OrCAD搭建仿真电路。



对V1进行电压扫描，以改变发光二极管的电流大小。

使用两个电流探针观察输入和输出电流之比。

得到仿真图像后，设定x轴为 I_F 的值，得到 $I_C - I_F$ 曲线



得到三组数据：

I_F/mA	I_C/mA	CTR
1.3972	3.2455	232%
2.5552	7.2652	284%
5.2034	9.810	/

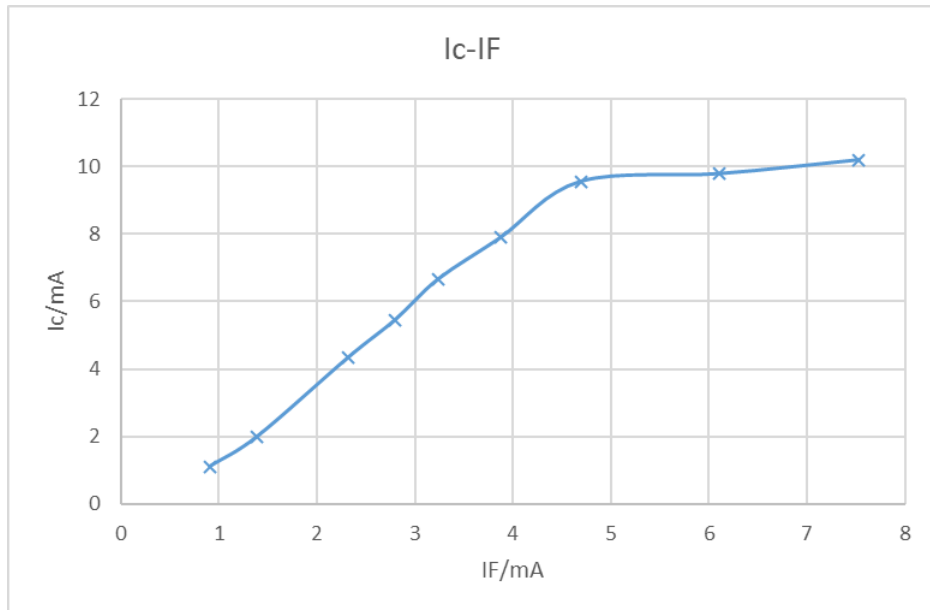
实验总结

- 可以看到CTR的性质并不具有很好的线性性质，在光耦合正常处于放大状态下，CTR仍然会随着 I_F 的增大而增大。
- 当 $I_C = 0.981mA$ 时， $V_{CE} = 0.2V$ ，进入饱和状态，因此集电极电流基本保持不变。
- 可以得知在该工作状态下， $CTR \approx 250$

2. 搭建实验电路，因为本实验要求测量电流，示波器两端共地，使用CH1、CH2并联在电阻两端的方法，通过电阻两端的电压大小反映电阻阻值

记录数据如下，由于，电阻大小均为1k，所以可以直接将电压数值等同于电流（单位为mA）

V_F	$(V_{FR}) I_F/mA$	$(V_{CR}) I_C/mA$	CTR
2	0.905	1.1	121.55%
2.5	1.39	1.99	143.17%
3.5	2.32	4.34	187.07%
4	2.8	5.46	195.00%
4.5	3.24	6.67	205.86%
5	3.87	7.89	203.88%
6	4.69	9.56	203.84%
7.5	6.11	9.79	160.23%
9	7.53	10.2	135.46%



实验结论

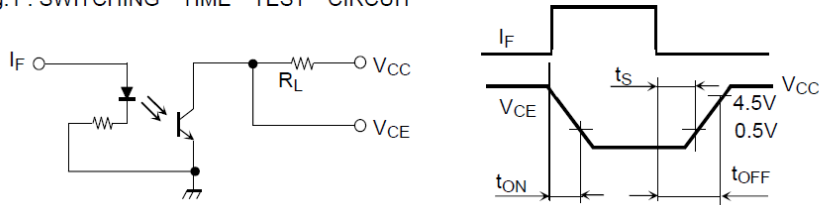
- 得到与仿真基本一致的实验数据，CTR在150~200%左右。
- 根据记录数据，也可以得出发光二极管正常工作时的压降为1.3V左右。
- 实际使用时，三极管的饱和压降似乎可以非常接近于0（上述最后一个实验数据）。

开关时间测试

Switching Characteristics (Ta = 25°C)

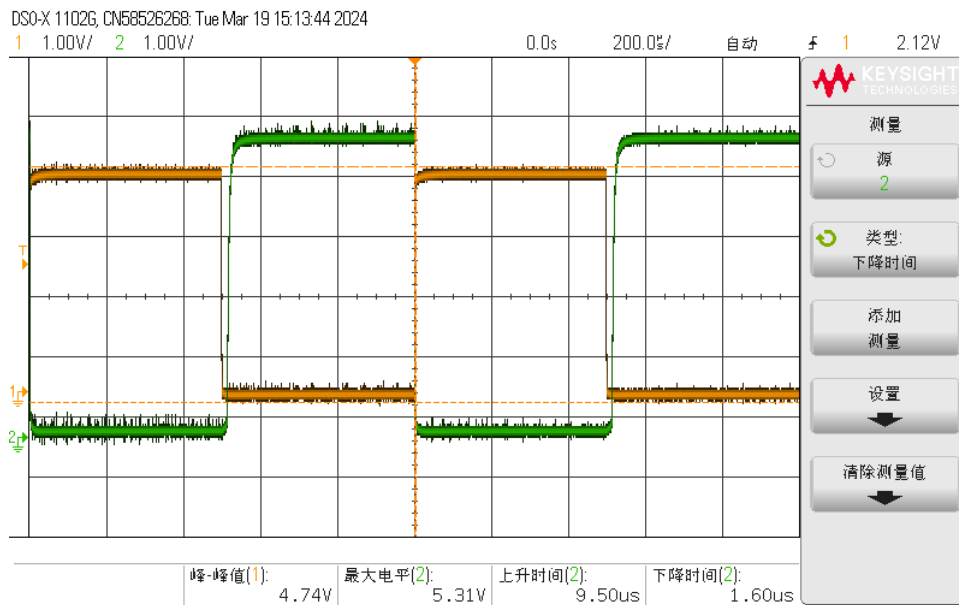
Characteristic	Symbol	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
Rise time	t_r	$V_{CC} = 10\text{ V}$ $I_C = 2\text{ mA}$ $R_L = 100\Omega$	—	2	—	μs
Fall time	t_f		—	3	—	
Turn-on time	t_{on}		—	3	—	
Turn-off time	t_{off}		—	3	—	
Turn-on time	t_{ON}	$R_L = 1.9\text{ k}\Omega$ (Fig.1) $V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_F = 16\text{ mA}$	—	2	—	μs
Storage time	t_s		—	15	—	
Turn-off time	t_{OFF}		—	25	—	

Fig.1 : SWITCHING TIME TEST CIRCUIT



- 按照手册中的电路图搭建实验电路，其中左端电阻选用1k，右端电阻选用2k，CH1连接在输入，CH2连接在三极管CE两端；
- 输入10Hz，Vpp为5V的矩形波。

示波器显示如下图所示：

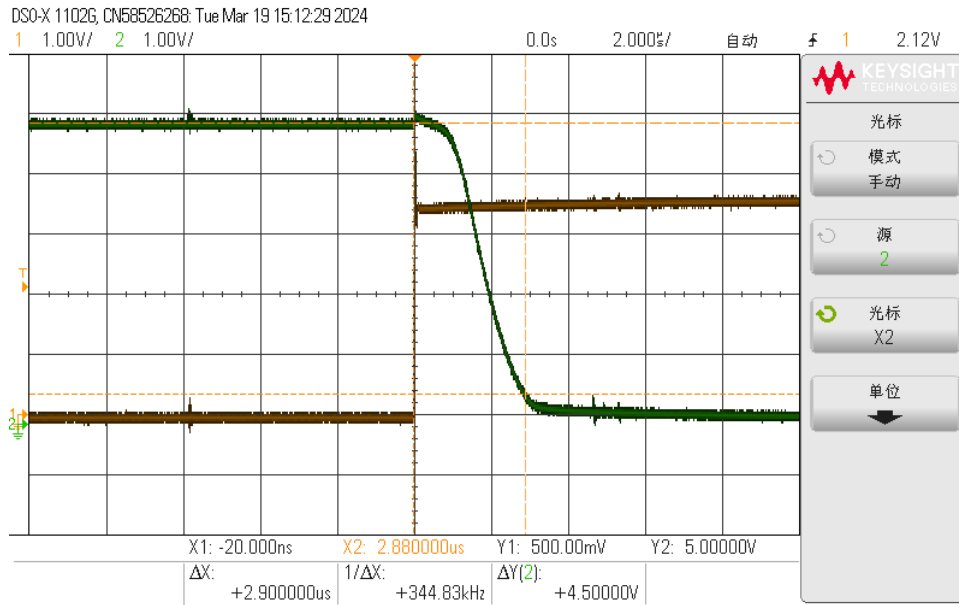


$$t_r = 9.5\mu\text{s}, t_f = 1.6\mu\text{s}$$

当二极管导通发光，三极管导通，压降减小。

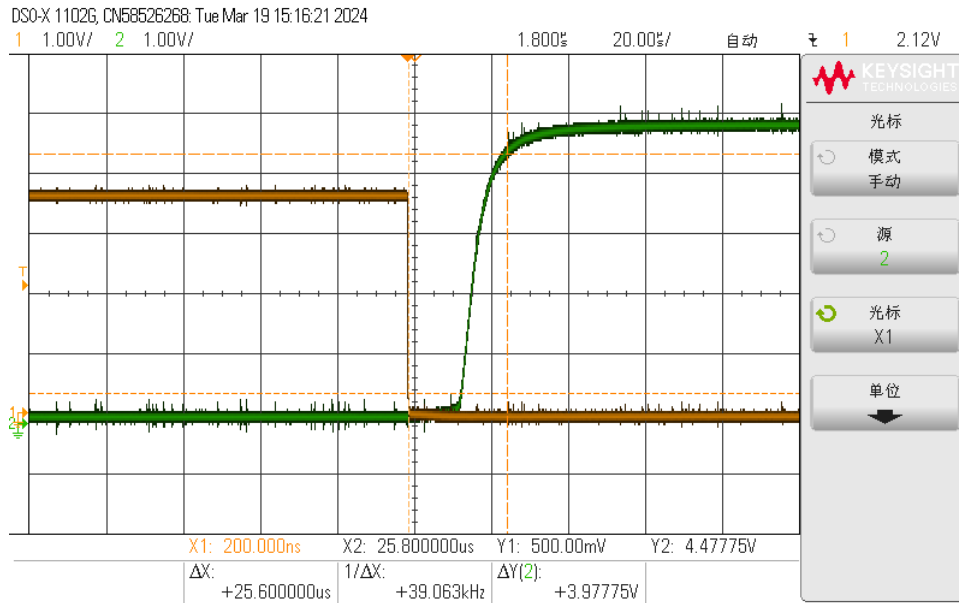
使用cursor测量各位置数据

测量 t_{on}



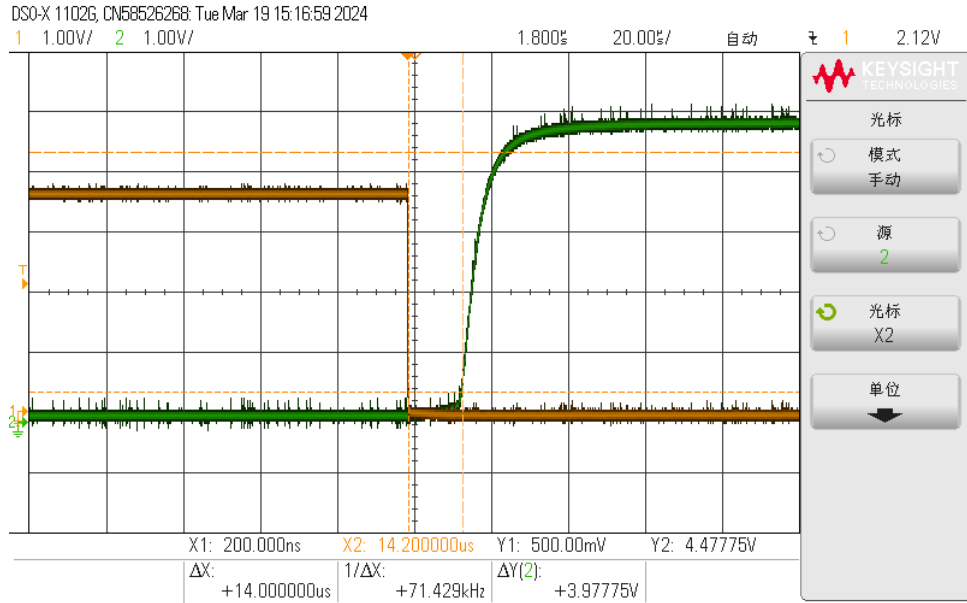
$$t_{on} = 2.9\mu S$$

测量 t_{off}



$$t_{off} = 25.6\mu S$$

测量 t_s



$$t_s = 14\mu S$$

实验总结

- 数据记录如下: (单位均为 μS)

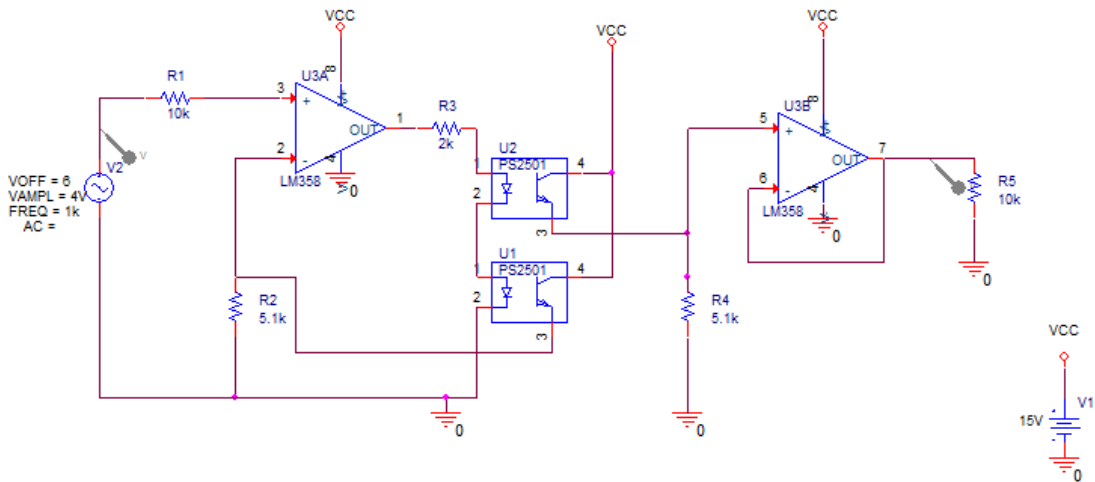
	t_r	t_f	t_{on}	t_s	t_{off}
Manual	2	3	2	15	25
实际使用	9.5	16	2.9	14	25.6

可以看到实际使用数据与手册中的记录基本相符合

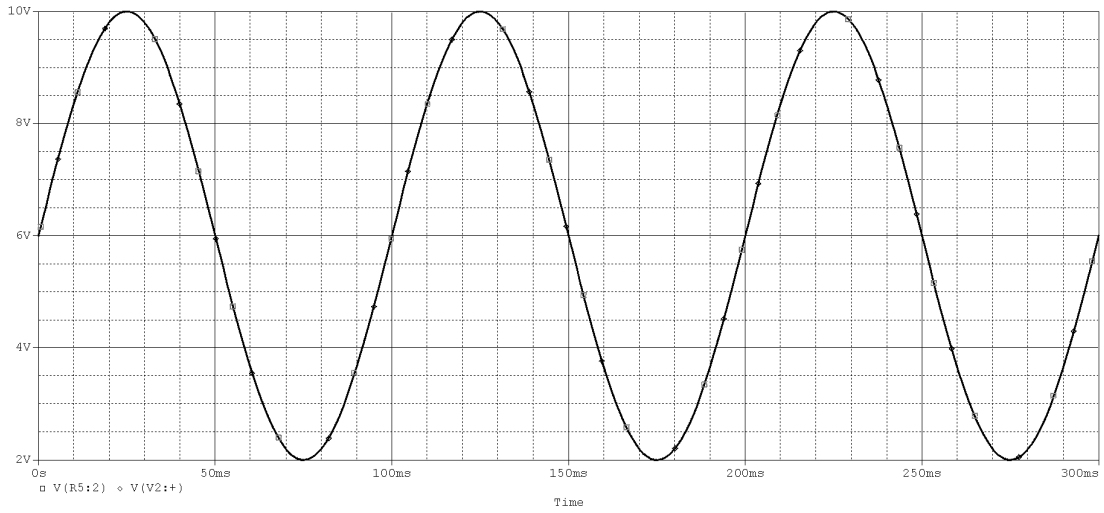
- 光耦合器件的开关性质会比理想状态有所延迟, 但是数量级在 μS 左右, 可以忽略不计。
- 三极管的导通反应时间比截止迅速

(2) 模拟量线性光耦隔离电路

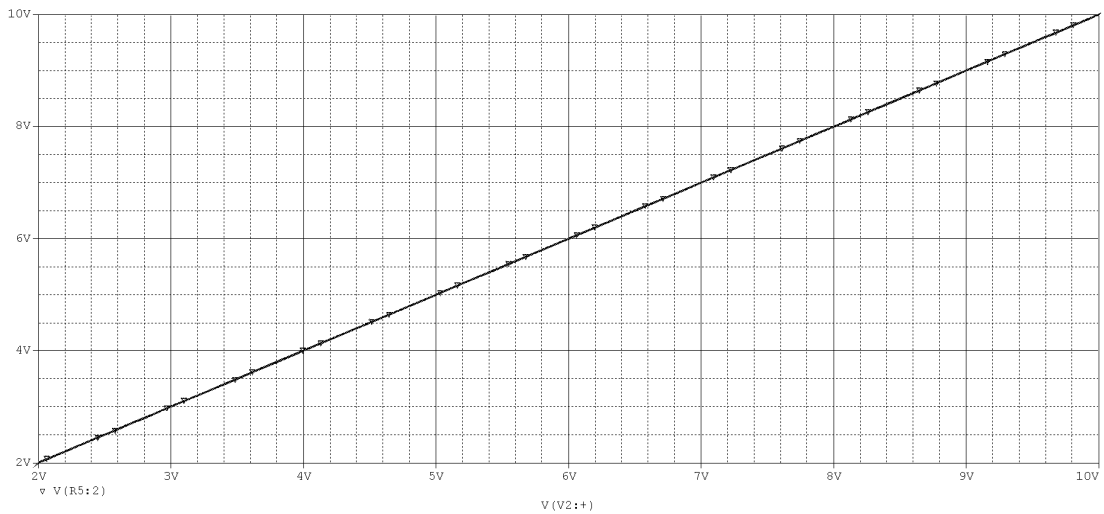
1. 使用OrCAD搭建线性光耦隔离电路, 并进行仿真



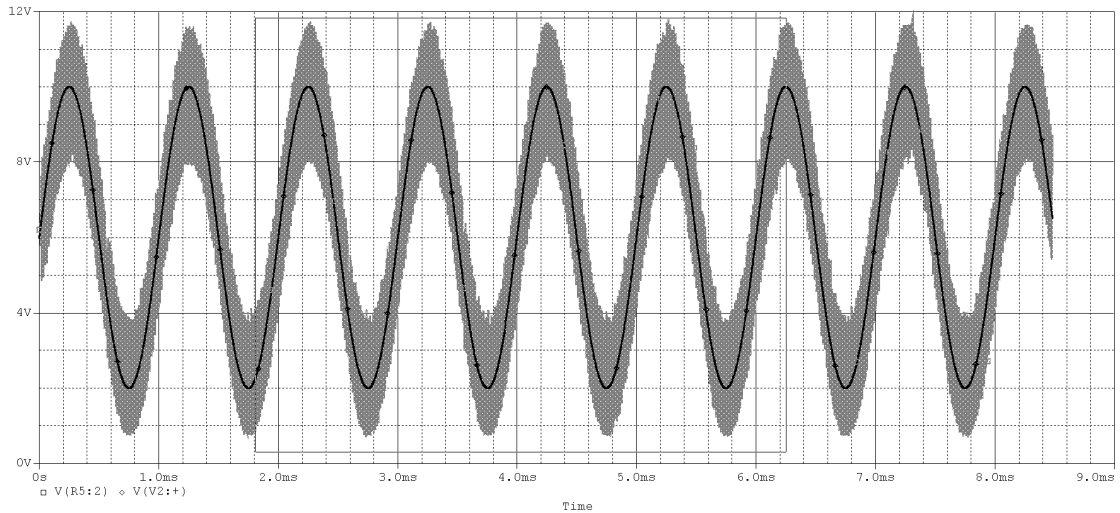
由于 R_2 和 R_4 相等所以输入和输出电压应保持一致, 则输入输出电压比为1。



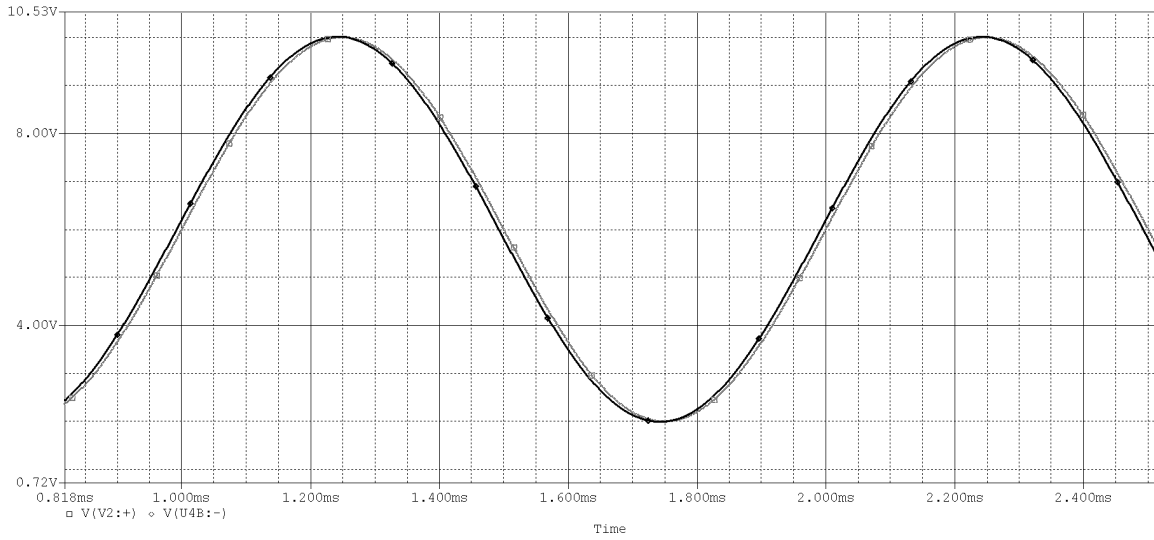
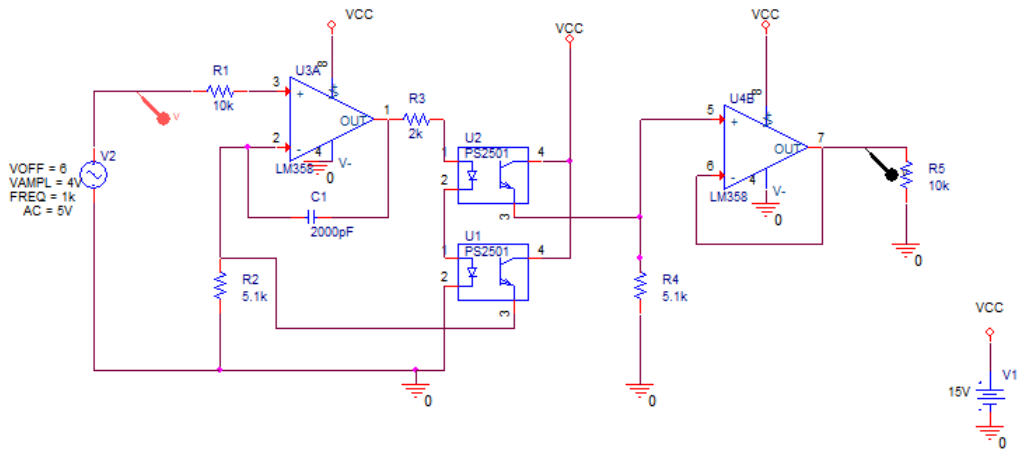
可以看到输入输出两条曲线重合，此时输入电源的频率为10Hz，电压传输性质如下：



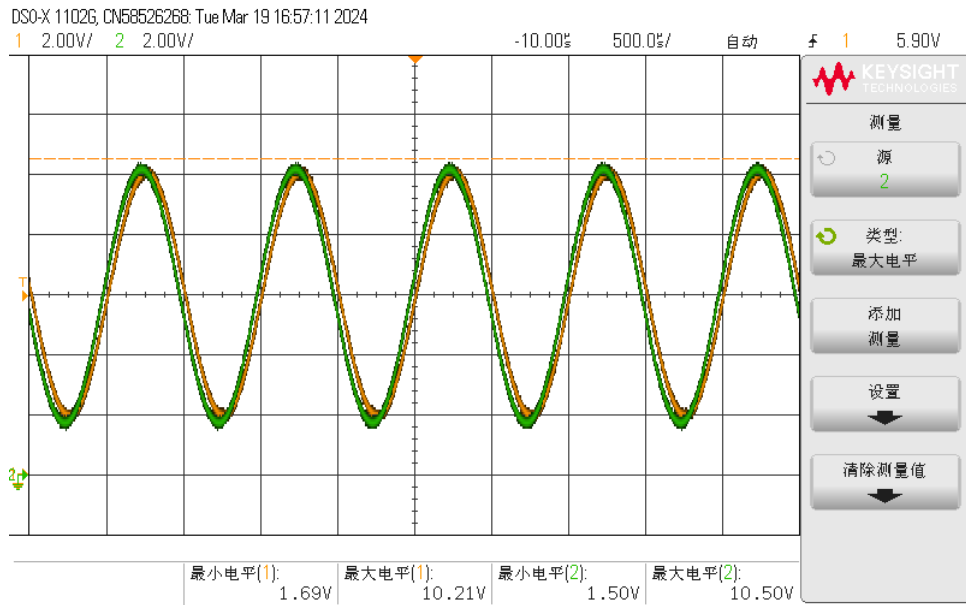
当电源频率增加到1kHz时，可以观察到输出电压失真。



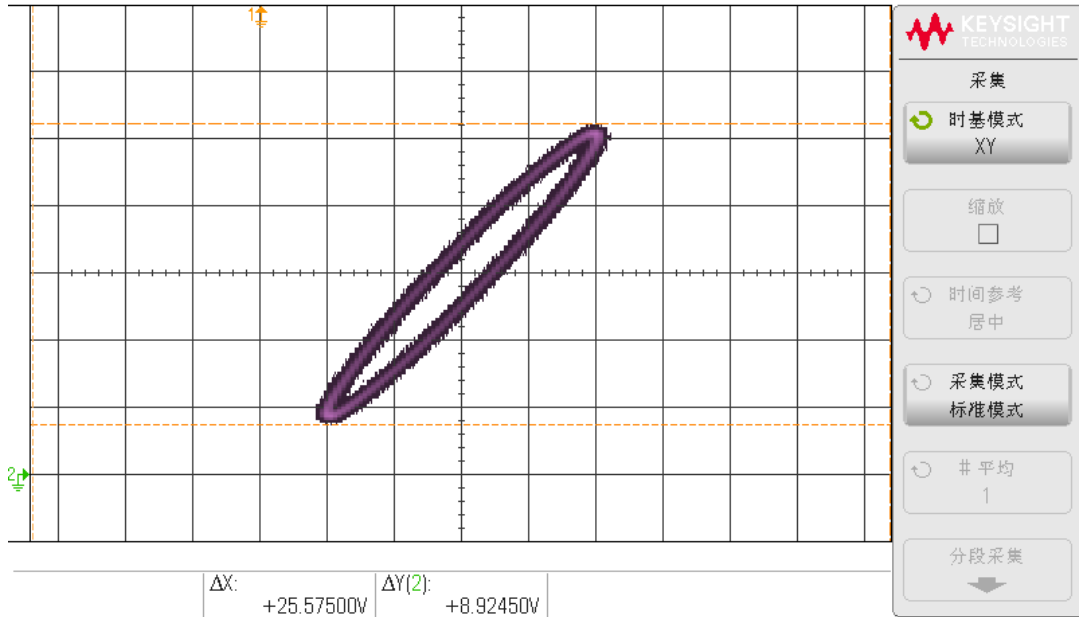
2. 在负输入端增加一个小电容（2000pF），可以看到失真现象有所改善，但是输出电压相位有偏移和滞后。小电容的作用是使输出电压在幅频保持不变的同时，将输出电压的相位滞后，从而避免产生自激振荡：



2. 搭建实验电路同仿真电路，输入Vpp为8V，偏置为6V，f为1kHz的电压使用示波器观察输入输出结果：



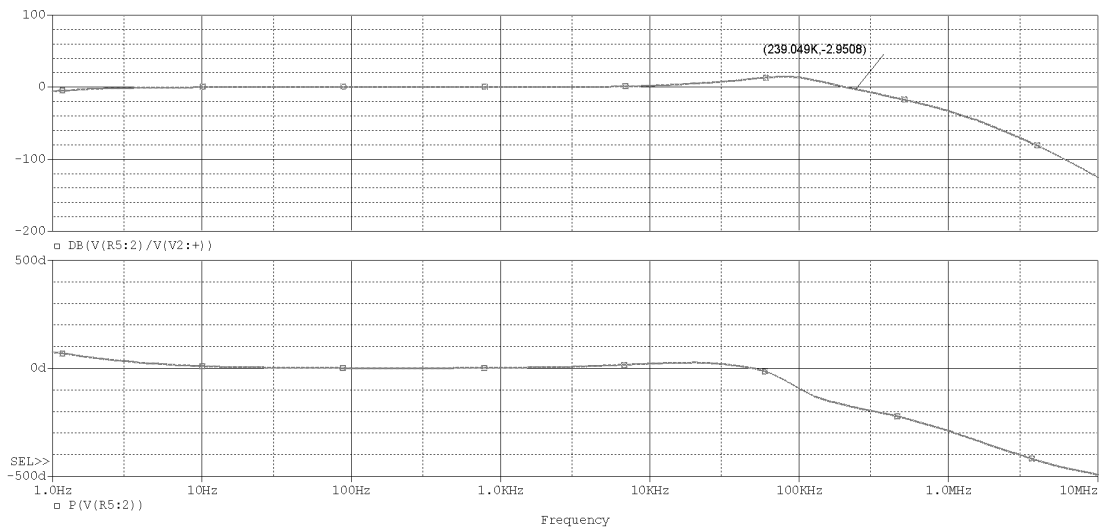
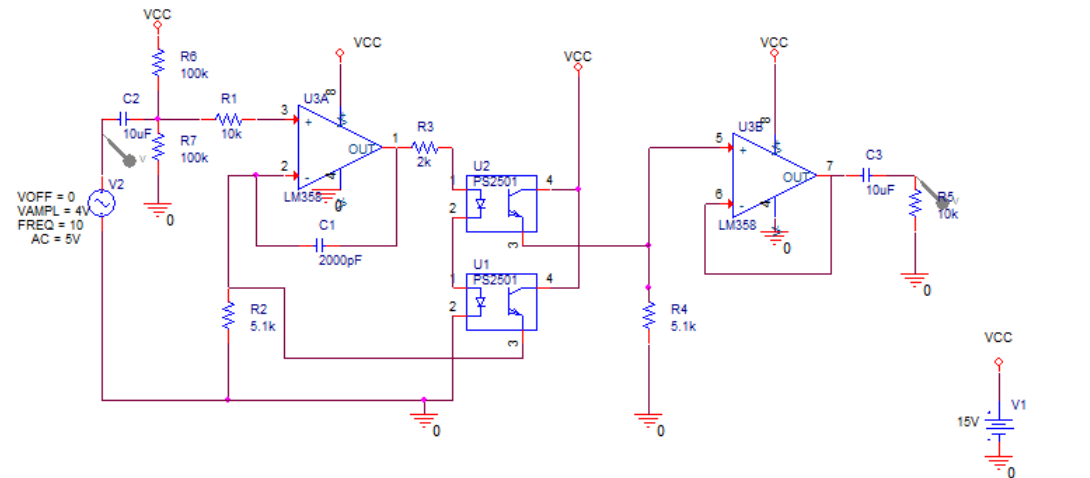
输入输出电压基本一致。电压传输特性如下：



可见输入输出电压有一定的相位差。但是幅值基本一致

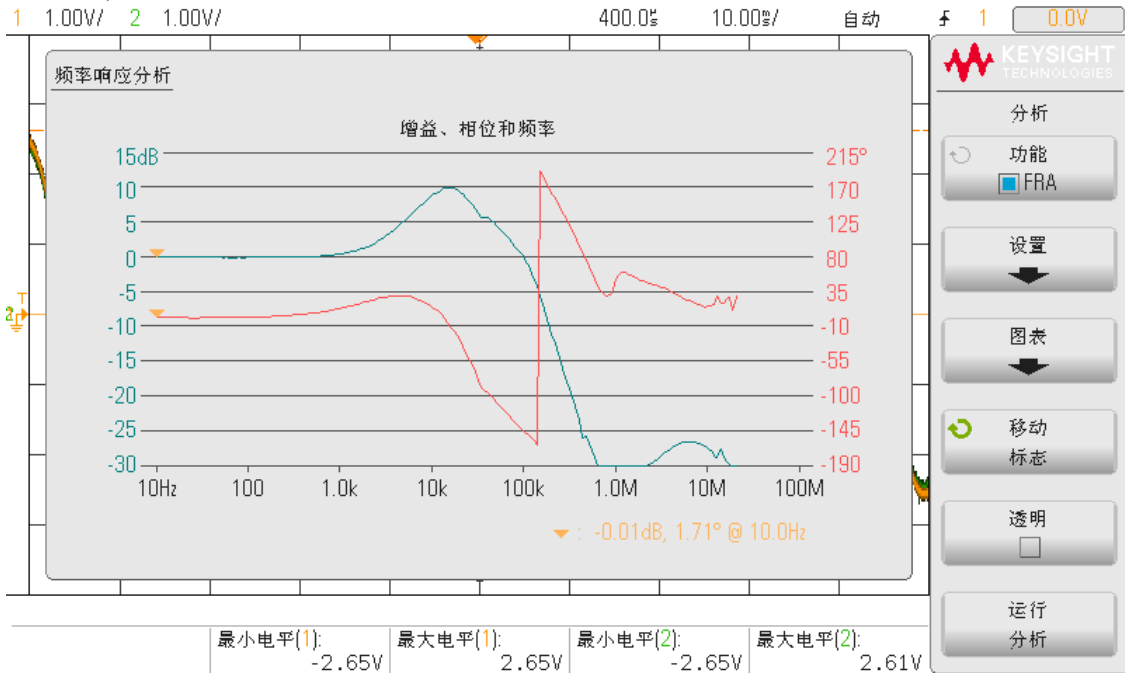
3. 由于现在的电路无法输入小于0的电压，因此修改电路为下图：

在输入端增加一个电容滤除直流成分，后增加一个直流偏置；在输出部分增加一个电容，滤除直流成分，还原原输入信号。



频率扫描，得到幅频相频特性曲线，可知该电路的带宽约为240kHz。

4. 搭建实验电路，测量频率响应图线：

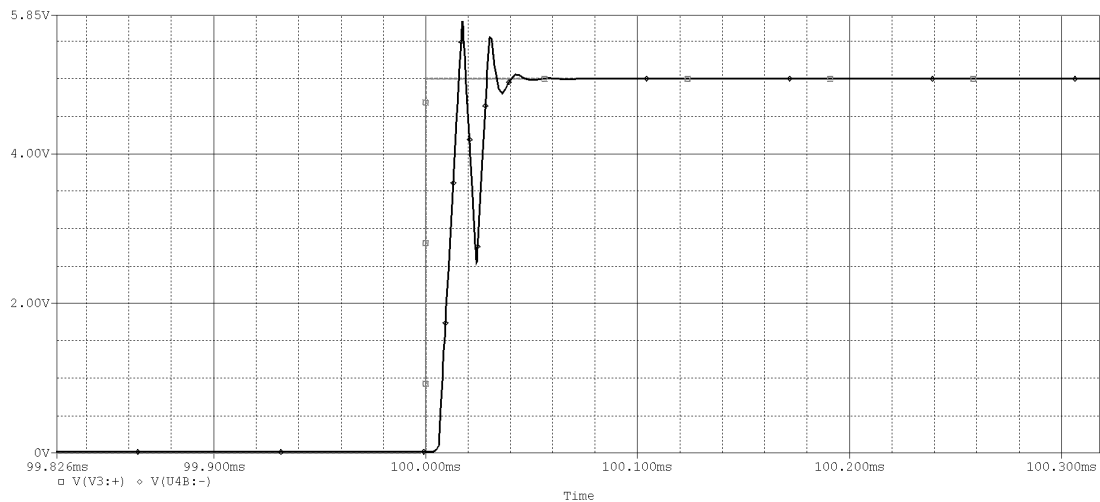


可以看到输出结果与仿真电路基本一致。由于电容的加入，所以幅频、相频曲线均有一段先上升后下降的过程。

5. 输入阶跃响应，观察输出性质：

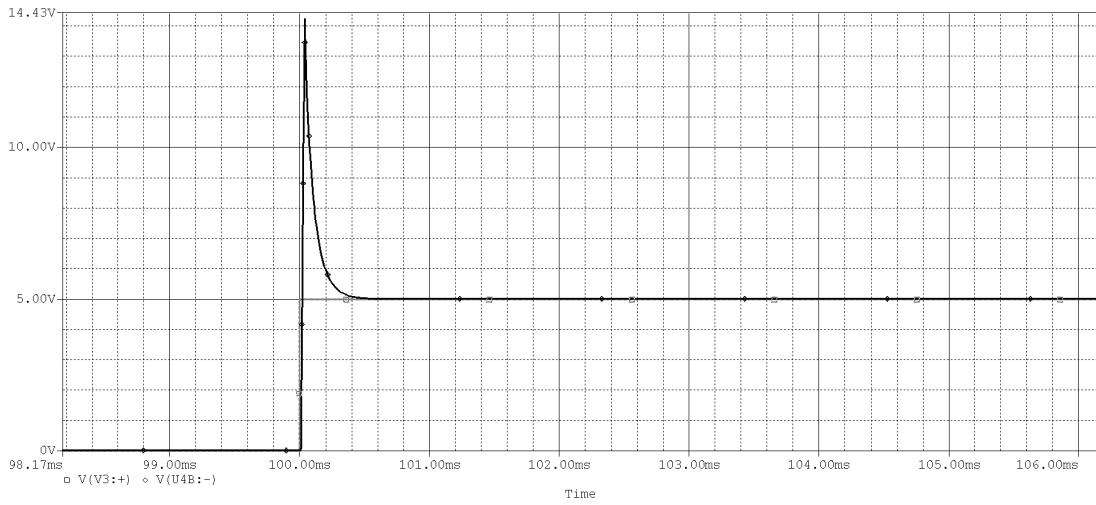
V1 = 0
V2 = 5V
TD = 0
TR = 0.0001uS
TF = 0.000001uS
PW = 0.05S
PER = 0.1

输入如上脉冲信号，观察输出性质：

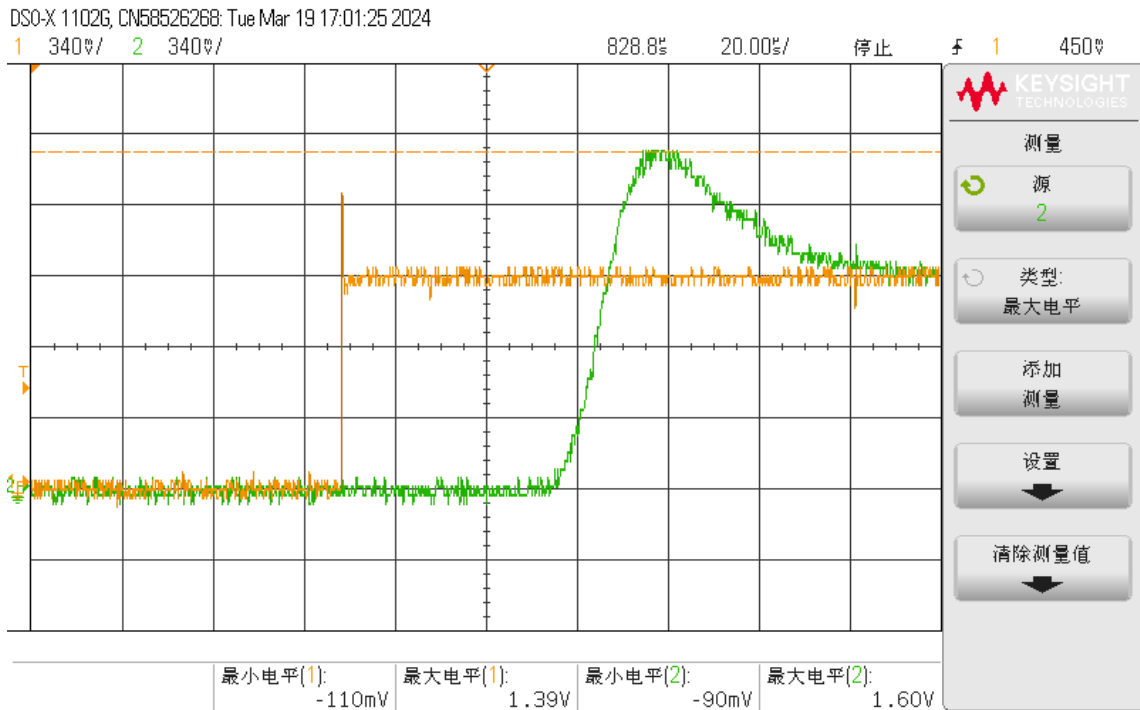


可见输出部分，刚刚输出时有一定的震荡，随后稳定输出。且有一定的延时。

将第一个运放的负反馈接入电容更换为更大的电容，则得到没有震荡，但激越更明显的波形：



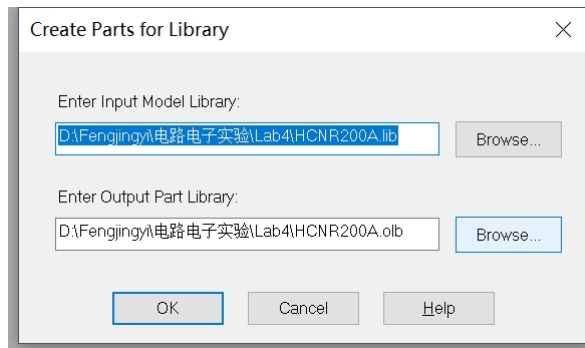
6. 搭建实验电路，重复上述实验：



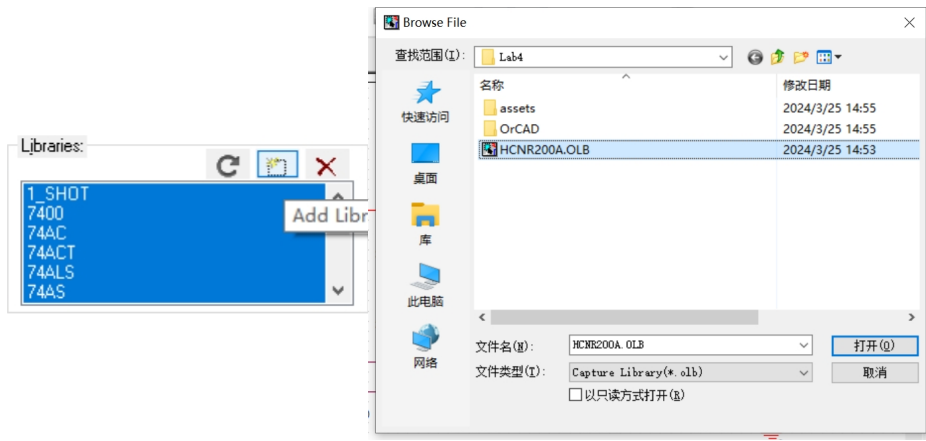
o 实验电路有比仿真电路更明显的延时，但是结果基本一致（实验中选取得小电容为0.01uF）

(3) 新建元器件

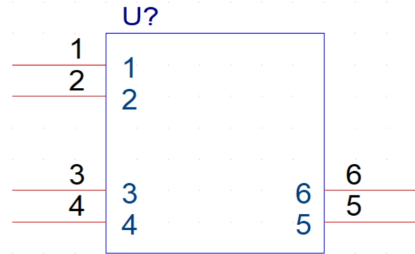
1. 编辑HCNR200元器件参数
2. 将其改为lib文件，并使用Model Editor软件打开，导出olb文件：



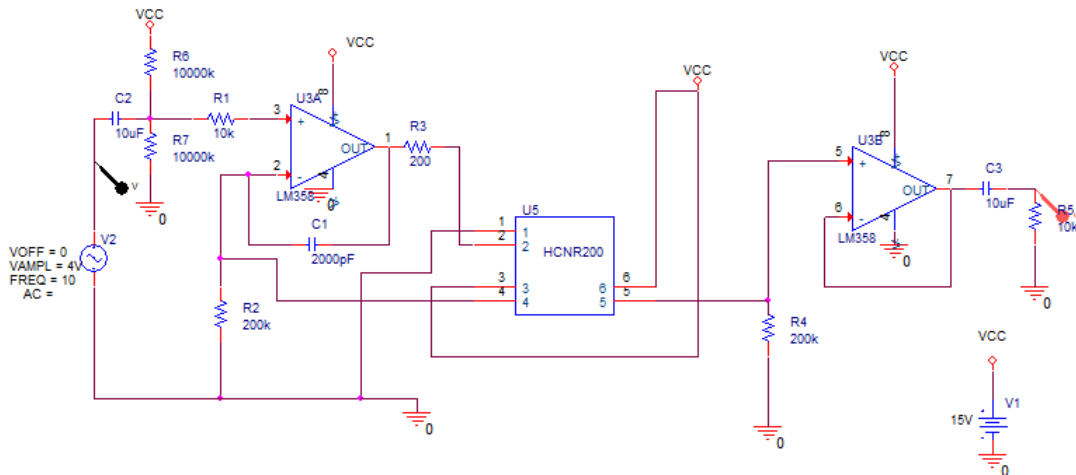
3. 使用OrCAD，导入该元器件



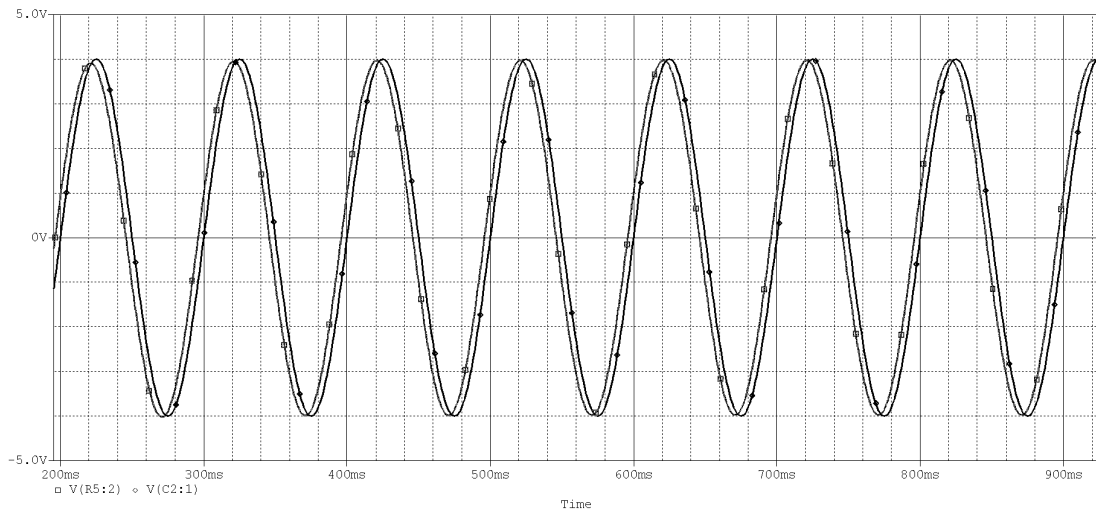
4. 使用OrCAD软件编辑芯片，使其更像实际芯片



5. 调节电路参数使得最后输出结果符合预期，实验电路图如下：

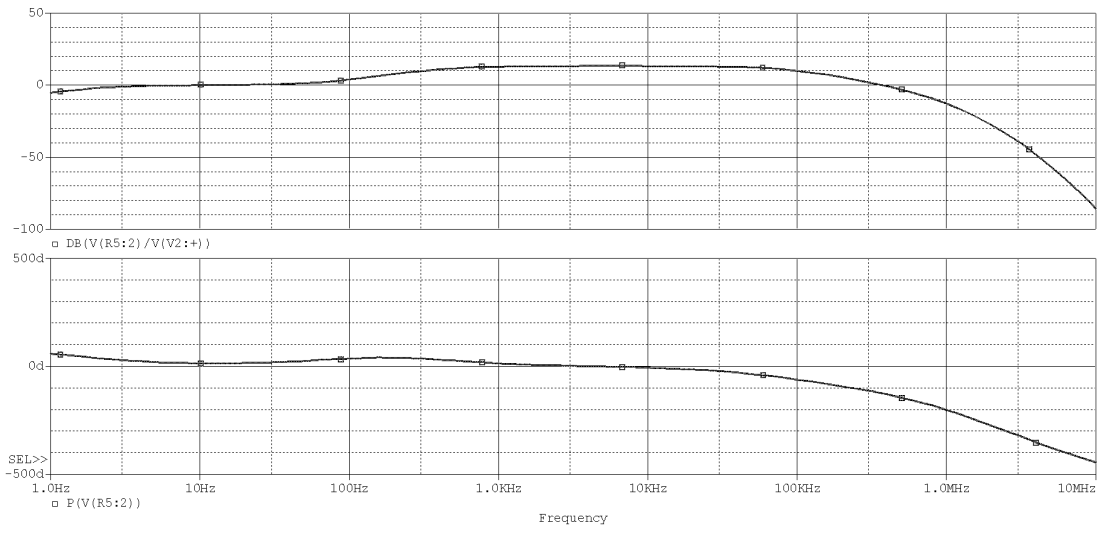


输入4V，10Hz正弦波，得到如下图线：



实验结果符合预期，但是可以看到输出图线相位有所提前

幅频相频曲线如下图：



阶跃响应如下:

