

# 浙江大学实验报告

专业：电子信息工程  
姓名：  
学号：  
日期：2024.3.5  
地点：紫金港东三 406

课程名称：电路与电子技术实验 II 指导老师：张伟 成绩：  
实验名称：信号发生电路实验 同组学生姓名：无

- |               |               |
|---------------|---------------|
| 一、实验目的和要求（必填） | 二、实验内容和原理（必填） |
| 三、主要仪器设备（必填）  | 四、操作方法和实验步骤   |
| 五、实验数据记录和处理   | 六、实验结果与分析（必填） |
| 七、讨论、心得       |               |

## Lab2 信号发生电路实验

### 一、实验目的

#### （一）RC 正弦波振荡电路

- 掌握 RC 正弦波振荡电路的构成及工作原理；
- 学习 RC 正弦波振荡电路的设计与调试方法；
- 研究 RC 正弦波振荡电路的起振条件和稳幅特性。

#### （二）简单矩形波发生电路

- 学习矩形波发生器的设计与调试方法；
- 熟悉矩形波发生器的一些主要性能指标及其测量方法。

#### （三）方波—三角波发生电路：

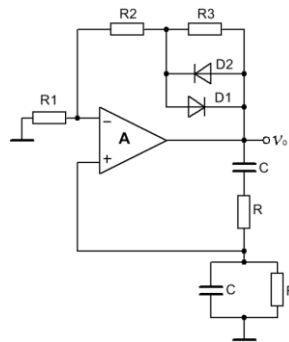
- 学习方波—三角波发生电路的设计方法与调试方法；
- 了解集成运算放大器的波形变换及非线性应用。

### 二、实验准备

- 学习相关信号发生电路的原理。
- 阅读运放芯片的说明书。
- 学会操作实验室配备的实验台。

### 三、实验内容与原理

#### (一) RC 正弦波振荡电路



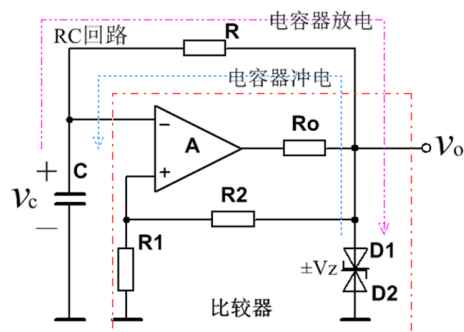
##### 实验原理

RC 串并联桥式正弦振荡器又称文氏电桥振荡器，由 RC 串并联选频网络 and 同相放大电路组成。RC 串并联选频网络将输出电压  $V_o$  反馈到集成运放的同相输入端，形成正反馈。根据产生振荡的相位条件，可得电路的振荡频率  $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$ 。电路中满足振荡频率的  $f_0$  的电流若被负反馈网络放大选中输出，则将自发生正弦波。此时负反馈网络的放大倍数应满足  $\dot{A}_v > 3$ 。  $\dot{A}_v = 1 + \frac{R_f}{R_1} > 3$ 。当输出电压放大到我们所需要的电压时，二极管的阻值减小，将负反馈放大倍数稳定在  $\dot{A}_v = 3$  左右，此时，电路稳定输出正弦波。

##### 实验内容

1. 根据实验板的元件参数，设计一 RC 正弦波振荡电路，要求此正弦波振荡器的振荡频率约为 1.5kHz。
2. 用 Cadence OrCAD 仿真软件对此电路进行仿真分析，并观测各点的电压和电流波形，电流波形包括运放的输出电流和二极管的电流。
3. 在实验板上完成此振荡电路的接线调试，用示波器观测各点的电压波形并与仿真结果进行比较。
4. 对理论值、仿真值与实测值进行比较，并分析产生偏差的原因。
5. 用 Cadence OrCAD 仿真软件研究输出正弦波的幅值大小受哪些参数影响。
6. 用 Cadence OrCAD 仿真软件仿真当  $A \cdot f_{BW} > 3f_0$  条件不满足时会产生什么现象。

#### (二) 简单矩形波发生电路



### 实验原理

简单矩形波发生电路由反相输入的滞回比较器和 RC 电路组成。RC 回路既作为延迟环节，又作为反馈网络，通过 RC 充、放电实现输出状态的自动转换。

$$V_p = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_o$$

$$V_{TH/TL} = \pm \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_Z$$

对于RC回路而言：

$$\because RC \frac{dU_c}{dt} + U_c = V_o$$

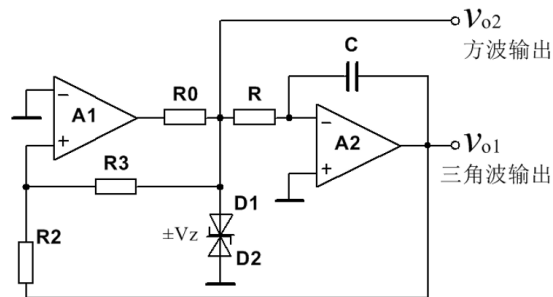
$$\therefore U_c = V_Z + (-V_T - V_Z)e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$T = 2RC \ln \left( 1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right)$$

### 实验内容

1. 根据实验板的元件参数，设计一简单矩形波发生电路，并计算此简单矩形波发生电路的产生的矩形波和冲放电波的幅值和振荡频率。
2. 用 Cadence OrCAD 仿真软件对此电路进行仿真分析，并观测各点的电压和电流波形。
3. 在实验板上完成此振荡电路的接线调试，用示波器观测各点的电压波形并与仿真结果进行比较。
4. 对理论值、仿真值与实测值进行比较，并分析产生偏差的原因。

### （三）方波—三角波发生电路



### 实验原理

常用的方波三角波发生电路是由集成运放组成的滞回比较器与积分器组成。由集成运放 A1 构成滞回比较器，控制三角波输出的幅值：

$$V_p = V_{o1} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} + V_{o2} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

$$V_{TL/TH} = \pm \frac{R_2}{R_3} V_Z$$

由集成运放 A2 构成反相积分器，控制三角波输出的频率：

$$T = 4 \frac{R_2 RC}{R_3}$$

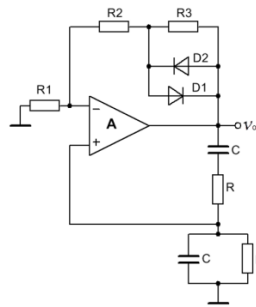
#### 实验内容

1. 根据实验板的元件参数，设计一方波—三角波发生电路，并计算此方波和三角波的幅值和振荡频率，稳压管采用 5.1V/1W。要求：输出频率 1kHz-10kHz；三角波  $V_{om} = \pm 8V$ 。
2. 用 Cadence OrCAD 仿真软件对此电路进行仿真分析，并观测各点的电压和电流波形，电流波形包括运放的输出电流和稳压管的电流。
3. 在实验板上完成此振荡电路的接线调试，用示波器观测各点的电压波形并与仿真结果进行比较，并测量方波的上升时间和下降时间。

### 四、实验过程与数据记录

#### （一）RC 正弦波振荡电路

1. 结合实验箱中元件数据，确定元件数据并搭建电路。



- 确定正弦波频率

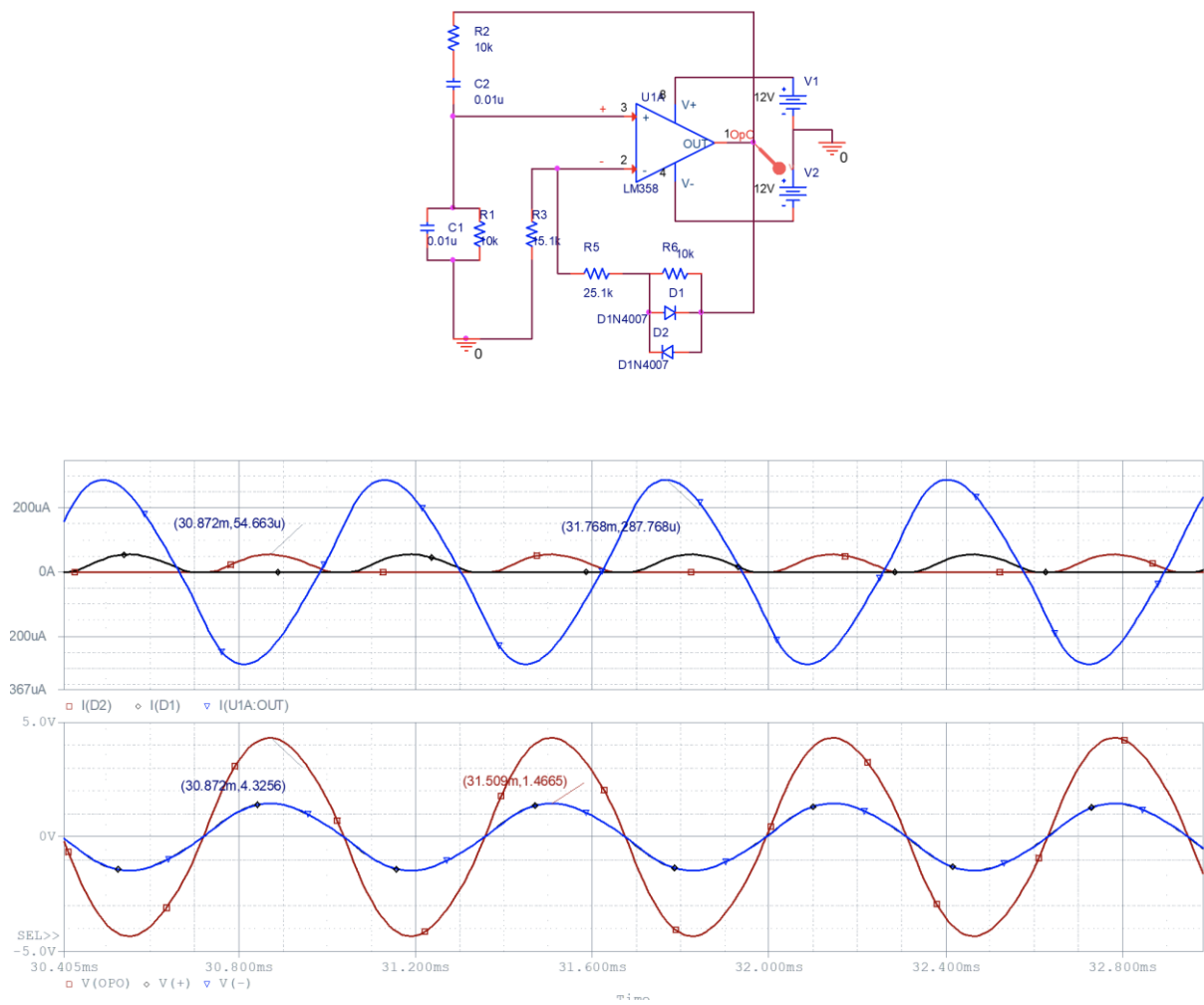
选择使用  $R = 10k\Omega$ ,  $C = 0.01\mu F$ ，则电路振荡频率为  $f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = 1.592kHz$

- 确定  $R_1$  与  $R_f$

$R_1$  和  $R_f$  由理论分析可知，应取  $R_f$  略大于  $2R_1$ ，则取  $R_f = 2.3R_1$ ，为了减小输入失调电流和漂移的影响，应取  $R = R_1 // R_f$ ，则计算得到， $R_1 \approx 1.43R$ ，根据实验箱中的电阻，取  $15.1k\Omega$ 。

$R_3$  取  $10k\Omega$ ，此时计算得到  $R_2 = 29.7k\Omega$ ，取  $25.1k\Omega$

2. 利用 OrCAD 搭建如下电路并进行仿真：



观察电压输出波形：

- 输出电压峰值为 4.3256V
- 运放正负脚输入电压满足虚短原则，两脚电压峰值一致为：1.4665V。
- 输出电压与输入电压比值为 2.95，满足深度负反馈放大倍数为 3 的理论计算。

观察电流输出波形：

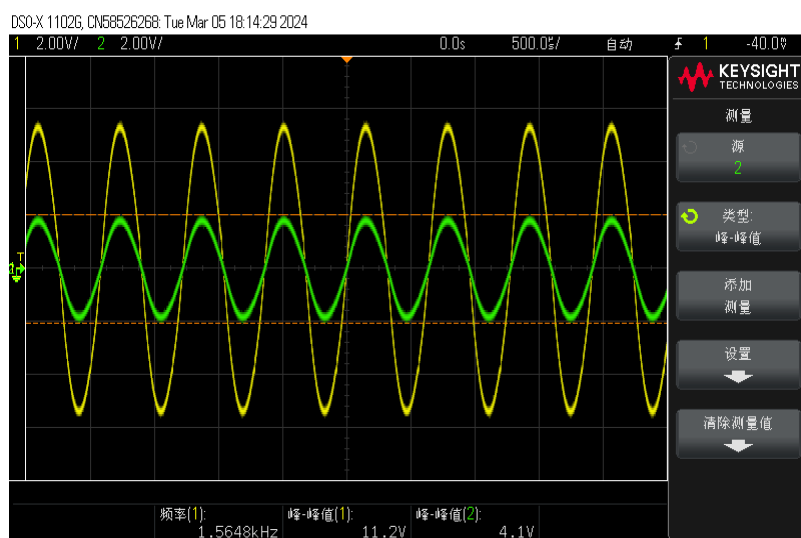
- 二极管 D1D2 轮流导通峰值电流约为 30.872uA
- 运放输出电流约为 287.789uA

使用Period( )函数计算，正弦波周期

Evaluate	Measurement	Value
<input type="checkbox"/>	Period_XRange(V(D2:1),28ms,36ms)	
<input checked="" type="checkbox"/>	Period(V(OpO))	608.64905u

则 $f = 1.643kHz$ 与理论 1.5kHz 比较接近。

3. 在实验板中搭建电路，使用示波器观察输出电压。



观察电压输出波形：

- 输出电压峰值为 5.6V。
- 运放正负脚输入电压满足虚短原则，两脚电压峰值一致为：2.1V。
- 输出电压与输入电压比值为 2.73，较为接近理论为 3 的放大倍数。
- 频率为 1.5648kHz，与理论计算 1.592kHz 更为接近。

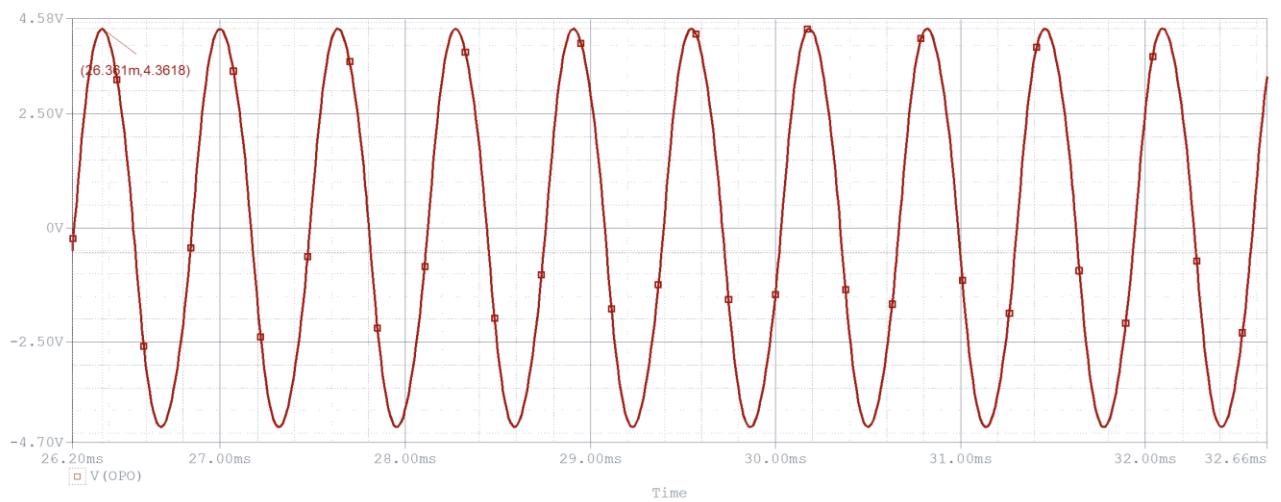
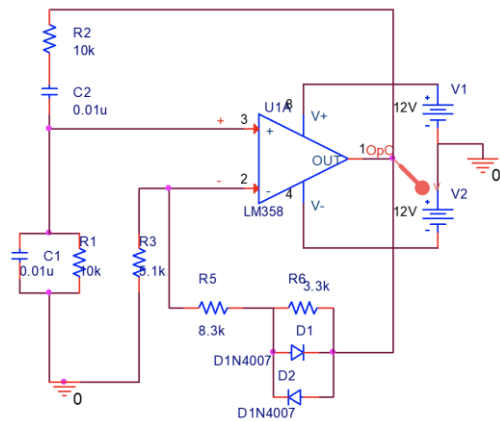
#### 4. 分析理论与实验中产生偏差的原因：

比较量	仿真	实验
输出电压峰值	4.3256V	5.6V
输入电压峰值	1.4665V	2.1V
负反馈放大倍数	2.95	2.73
输出频率	1.643kHz	1.592kHz

实验中所使用的元器件可能标称值与实际值有所偏差，导致两个电阻与两个电容实际大小并不相等，使得正弦波振荡周期不符合理论大小，同时改变 $f_+$ 的大小，进而改变负反馈的放大倍数，导致输出电压幅值也不相等。

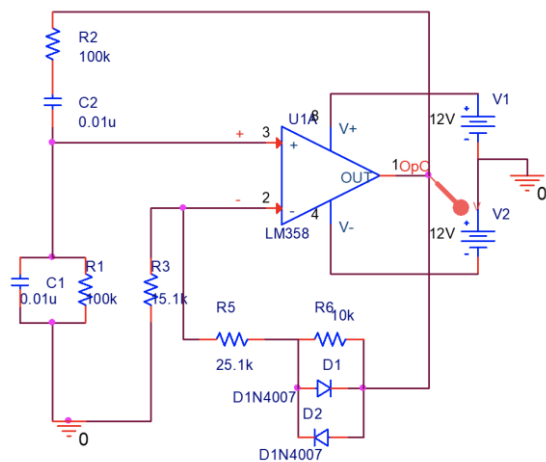
#### 5. 改变电路中的参数，观察正弦波大小受哪些因素影响。

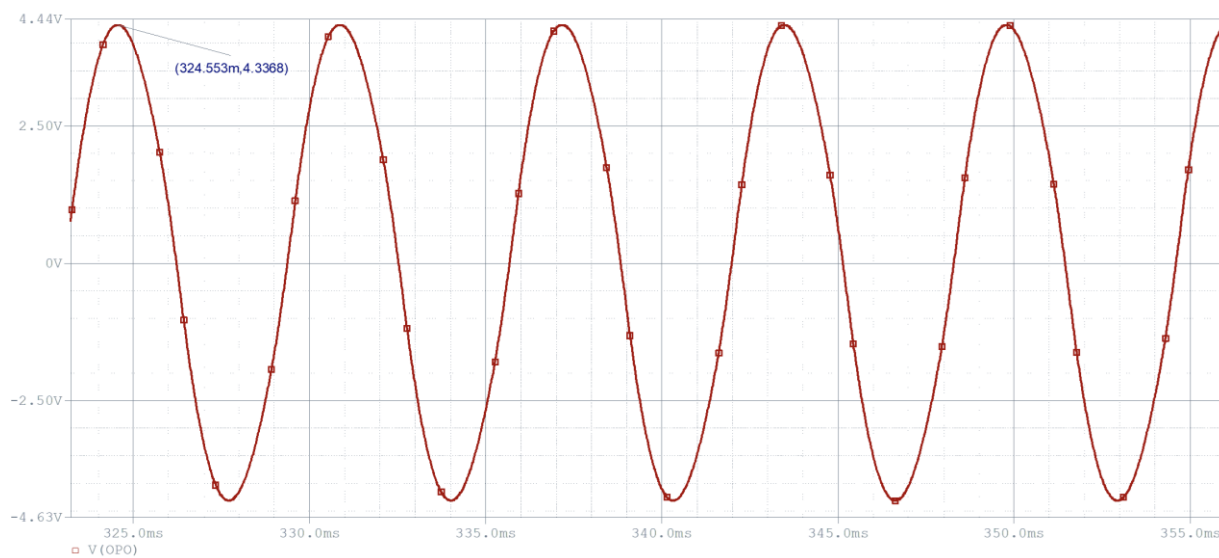
- 改变负反馈电路输入阻值的大小，不改遍负反馈的放大倍数



输出电压由 4.32V→4.36V，有一定的改变但是不明显。

- 改变正反馈输入电阻大小





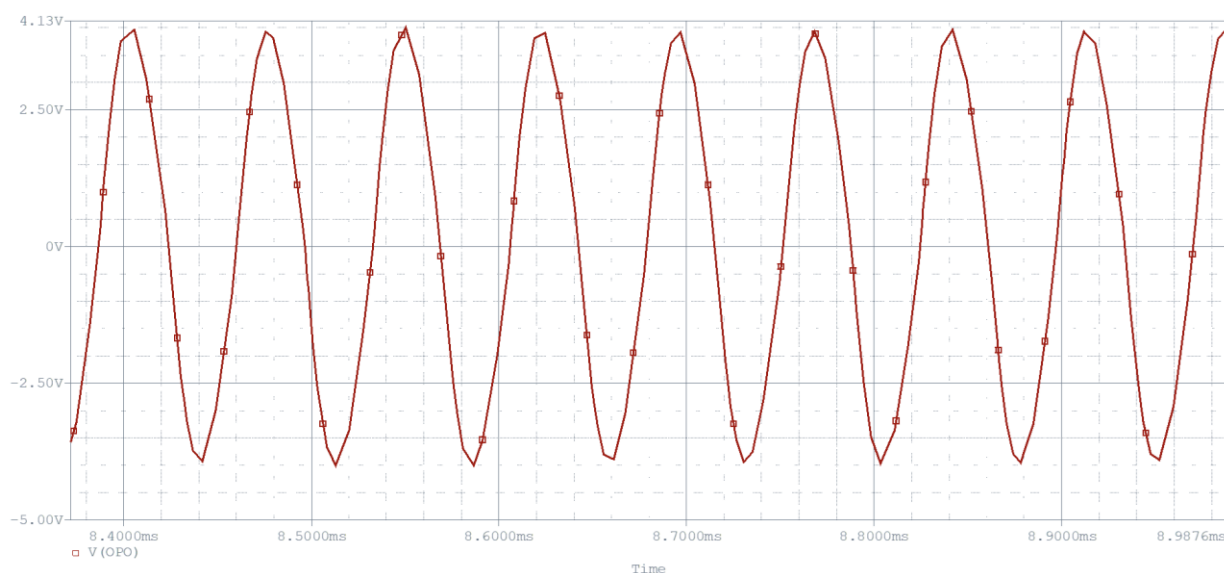
输出频率减小，电压幅值也没有发生变化

### 总结：

该电路由本身正反馈放大倍数与负反馈放大倍数决定，改变输入电阻的大小，几乎没有影响（分析可知运放本身的输入电阻非常大，所以输入电阻的改变很难影响输出幅值的大小）。若改变两端 RC 不相等等改变电路良好的正弦谱线输出，能够改变电路的输出电压。

### 6. 观察电路失真的情况：

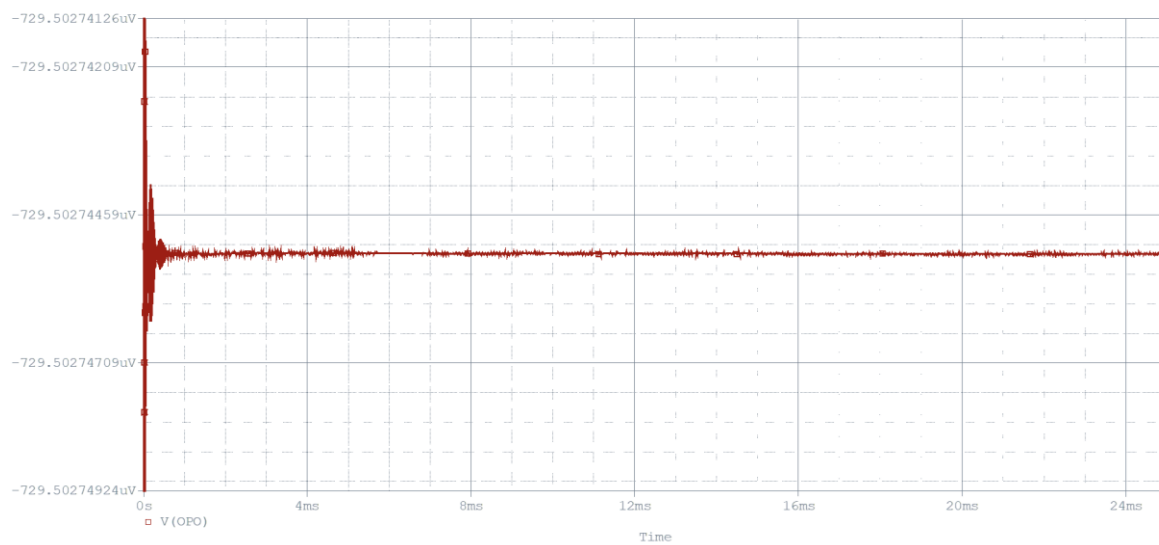
- 输出电压超过电路的压摆率  $SR=0.3V/\mu S$



此时  $R=10k\Omega$ ,  $C=1e-10F$ ,  $\delta = 4 > 0.3V/\mu S$ , 输出正弦波失真。



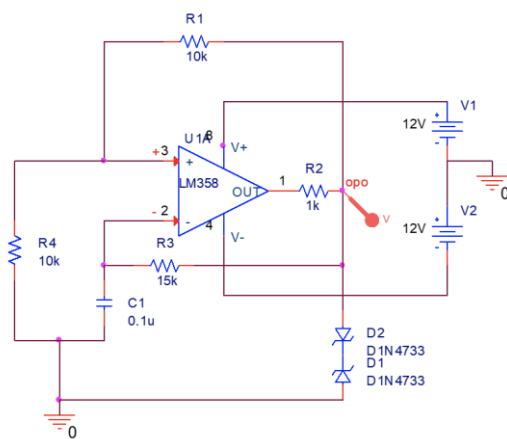
— 输出频率大于限制频率



当电路  $A_v \cdot f_{BW} > f_0 = 0.7\text{MHz}$ ，元件产生自激振荡，不再具有线性输出的性质。

## (二) 简单矩形波发生电路

1. 设计如下图电路，并进行理论计算：



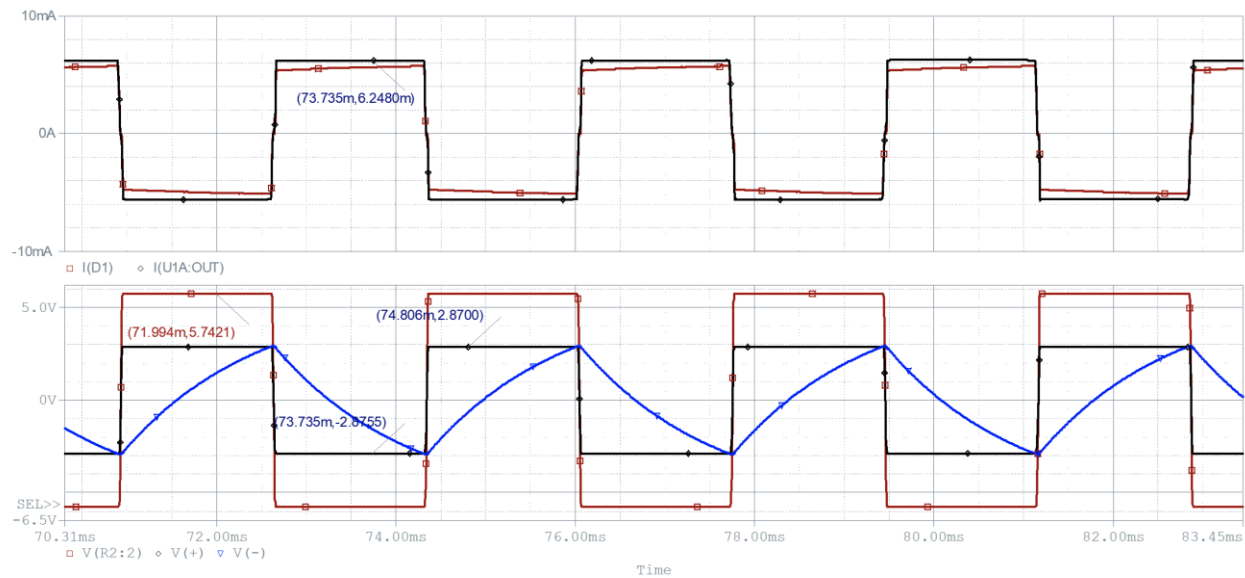
$$V_{TH} = \pm \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_Z = \pm 2.9V$$

$$T = 2RC \ln \left( 1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right) = 3.30\text{ms}$$

$$f = 303.4\text{Hz}$$

2. 通过 OrCAD 进行理论仿真



观察电压输出波形：

- 输出电压峰值为 5.7421V，与理论上 5.1V 稳压管加上 0.7V 正向导通电压相符合。
- 正脚输入作为滞回比较器， $V_T = 2.87V$ ，与理论值一致。
- 负脚作为积分电路，图线呈现出指数变化的形状。

观察电流输出波形：

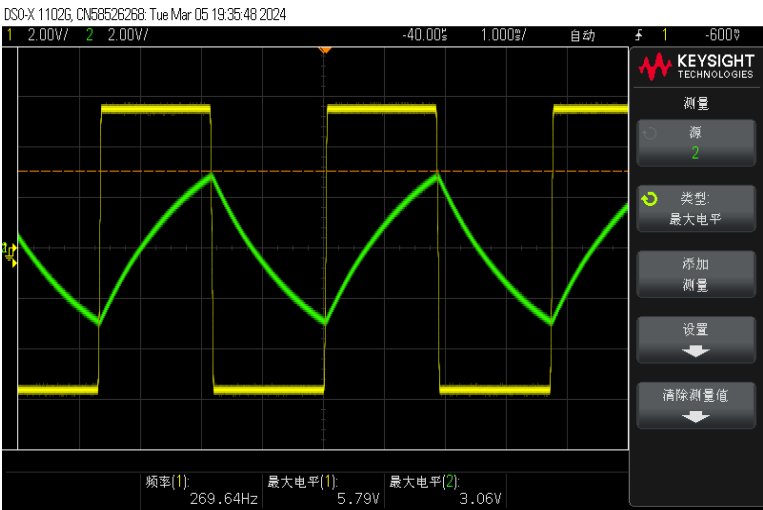
- 运放输出的电流少部分用于电容充放电，基本上用于稳定稳压管电流，从而使得稳压管正常工作。
- 在该状态下，稳压管稳定工作电流为 6.248mA。

使用 $Period()$ 函数计算，方波周期

	Evaluate	Measurement	Value
	<input type="checkbox"/>	Period_XRange(V(opo),66ms,78ms)	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Period_XRange(V(opo),72ms,85ms)	3.41096m

则 $f = 293.2Hz$ 与理论 303Hz 比较接近。

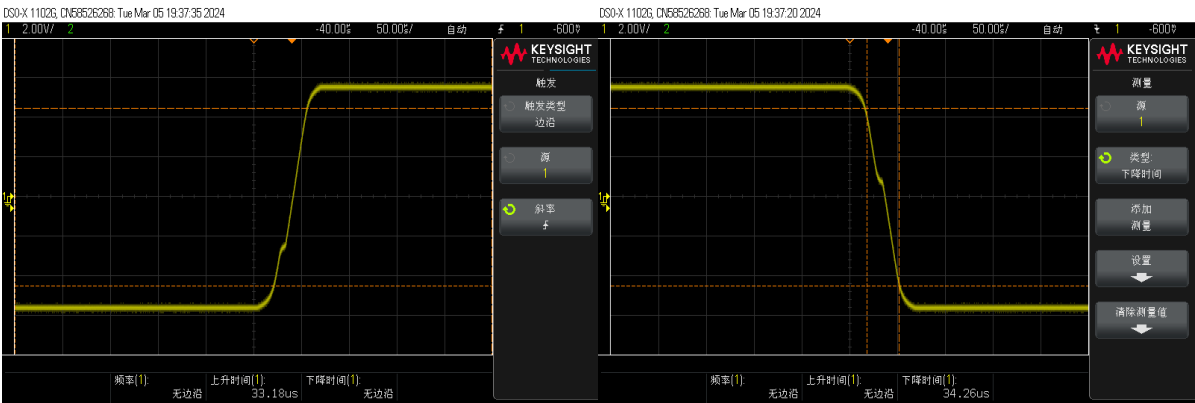
3. 搭建实验电路



观察电压输出波形：

- 输出电压为 5.79V，与理论上 5.1V 稳压管加上 0.7V 正向导通电压相符合。
- 正脚输入作为滞回比较器， $V_T = 3.06V$ ，与理论值基本一致。
- 负脚作为积分电路，图线呈现出指数变化的形状。
- $f = 269.64Hz$ ，与理论 303Hz 有些许偏差。

观察上升/下降沿变化：



上升/下降时间在 0.03mS 左右，可以忽略不计，说明该电路输出的方波性质很好。

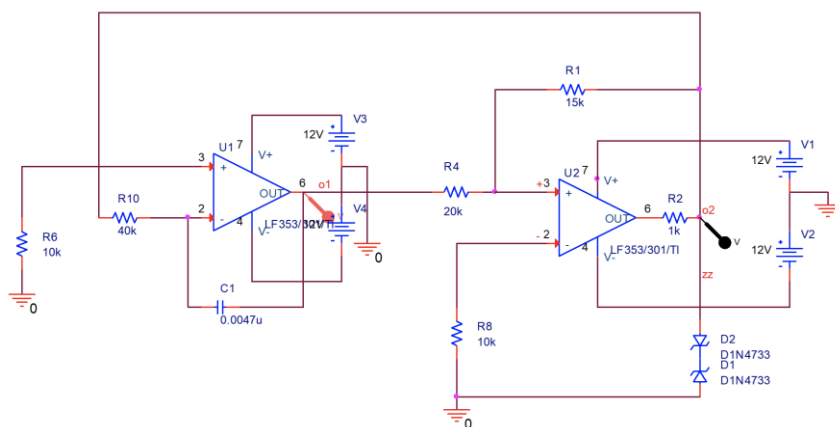
4. 对比仿真与实验结果，分析产生误差原因

比较量	仿真	实验	原因
$V_o$	5.74 V	5.79V	与稳压管本身性质有关
$V_T$	2.87 V	3.06V	/
$V_o/V_T$	2	1.89	电阻标称值与实际不符

f	293.2Hz	269.64Hz	实验中的 $V_T$ 要大于仿真中，所以电容充电时间增加，频率减小
---	---------	----------	-----------------------------------

### (三) 方波—三角波发生电路

- 设计如下电路，将之前使用的 LM358 运放替换为，有更大 SR 的 LF353 运放芯片，以满足  $8V_{om}$ ，10kHz 的电路输出。



进行理论计算：

$$V_{TL/TH} = \pm \frac{R_2}{R_3}$$

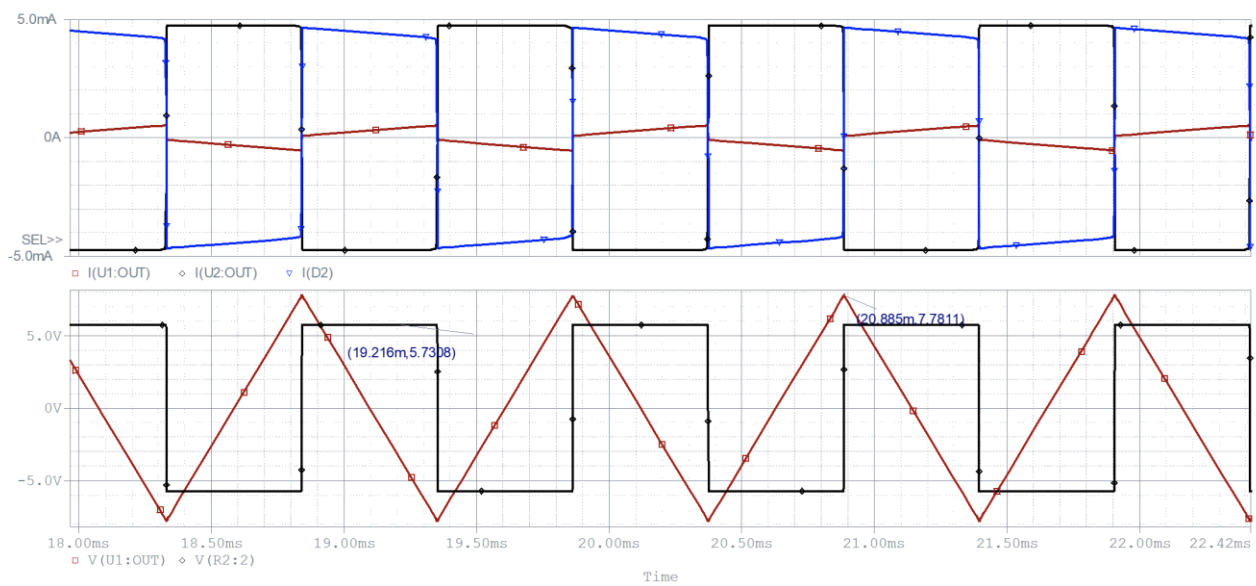
$$V_Z = \pm \frac{20k}{15k} 5.8V = 7.733V$$

$$T = 4 \frac{R_2 RC}{R_3}$$

改变  $R_{10}$  所在位置电阻大小，即上式的  $R$ ，能够很好地改变电路的频率。

当  $R=4k\Omega$  时，输出 10kHz；当  $R=40k\Omega$  时，输出 1kHz。

- 使用 OrCAD 进行仿真：



观察电压输出波形：

- $V_{o2}$ 输出电压峰值为 5.7308V，与理论上 5.1V 稳压管加上 0.7V 正向导通电压相符合。
- $V_{o1}$ 输出峰值为 7.7811V，与理论 7.733V 相符合。
- 此时输出的三角波有非常好的直线性。

观察电流输出波形：

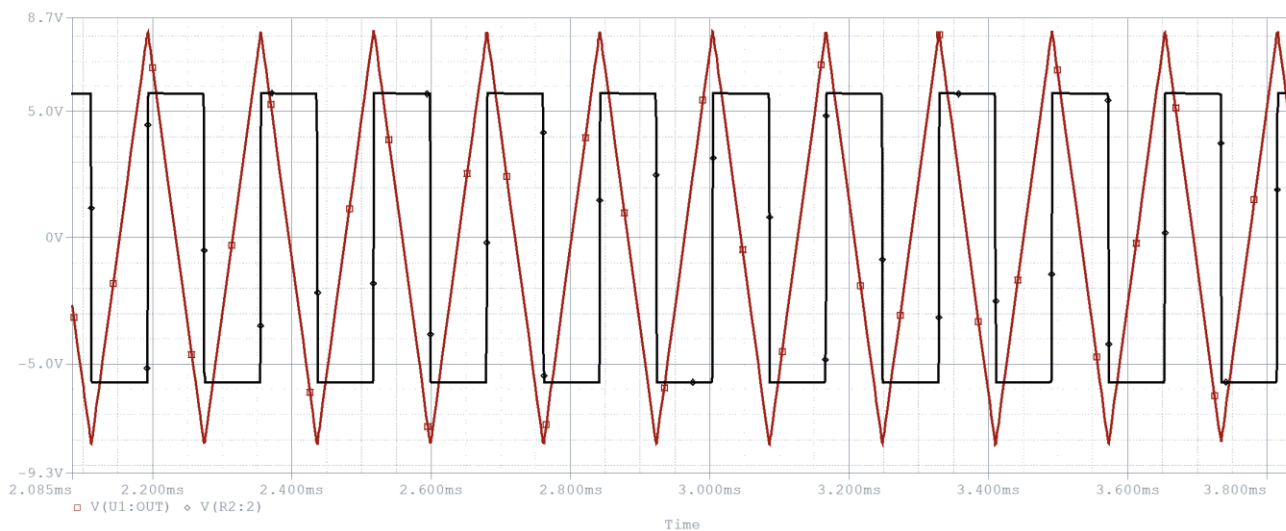
- 运放 2 的电流同第二个实验，基本上用于稳压管的稳压。
- 运放 1 的输出电流基本上用于电容的充放电。

使用 $Period()$ 函数计算输出电信号周期

<input type="checkbox"/>	$Period(V(D2:2))$	
<input type="checkbox"/>	$Period\_XRange(V(o1),5.2ms,7.2ms)$	
<input checked="" type="checkbox"/>	$Period\_XRange(V(U1:OUT),18ms,25...)$	1.02162m

则 $f = 978.9Hz$ 与理论 1kHz 接近。

改变 $R_{10}$ 的阻值大小为  $4k\Omega$ ，观察输出电路，此时频率为  $10kHz$ 。

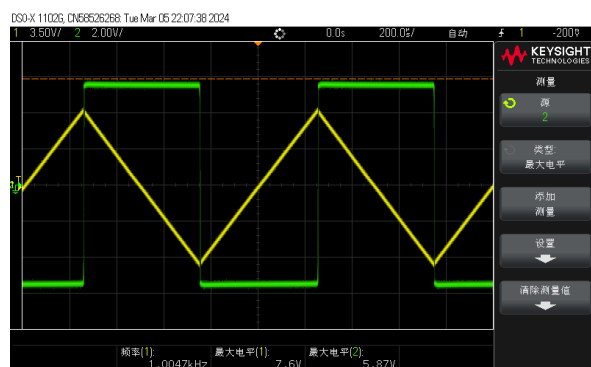


### 3. 搭建实验电路：

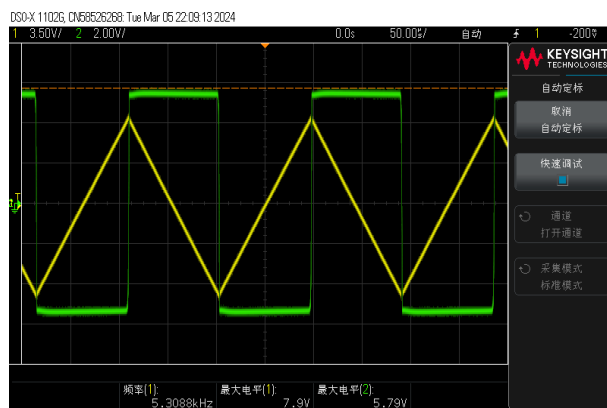
通过改变连接进电路电位器的阻值，从而改变输出频率。

下图各个频率中，三角波的最大电压为  $7.6V$ ，方波的输出电压为  $5.8V$  左右，与理论值一致

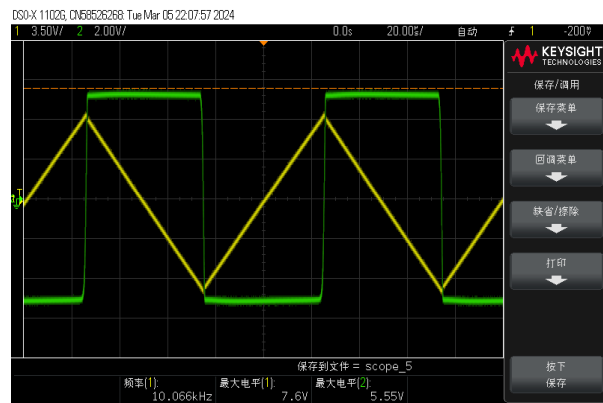
1kHz 时：



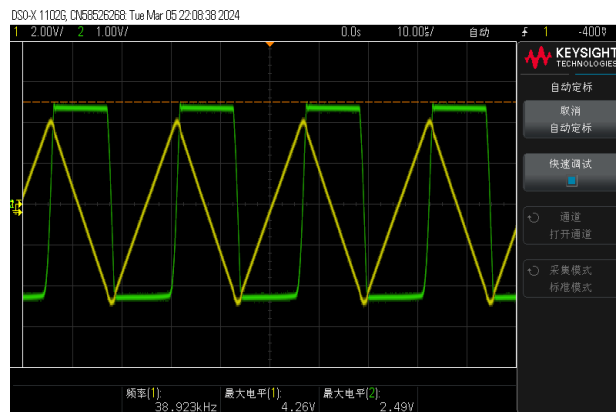
5kHz 时：



10kHz 时:



38kHz 时，输出信号失真明显，三角波幅值电压下降:



4. 该实验，理论与仿真结果基本一致。
5. 仿真频率较高时电路，三角波幅值明显下降。

由于运放 SR 的限制，输出的电信号不能变化过快，LF353 的 SR 为  $13\text{V}/\mu\text{s}$ 。当频率过快，三角波的斜率大于这一值时，电路无法按照理论进行输出，只能使得  $V_T$  减小，从而使输出三角波的幅值明显下降。