

# 实验四 波形发生电路仿真及实验

张蔚桐 2015011493 自55

## 1 仿真和预习

### 1.1 正弦波发生电路

#### 1.1.1 理论计算

如图1所示是正弦波发生电路的电路图，运放引入负反馈分析，如果使 $R_1 = R_2 = R, C_1 = C_2 = C$ , 则可以得到选频网络得到的频率是

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

因此如果要求 $f_0 = 400Hz$ , 计算得到 $R = 12k\Omega, C = 33,000pF(333)$ , 同时经过进一步的计算可以估计输出电阻的值基本令人满意。

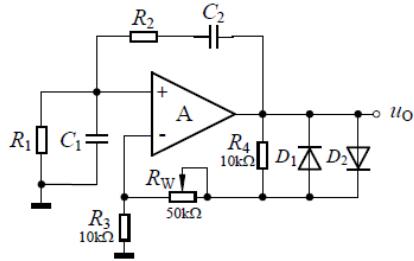


Fig. 1: 正弦波发生电路

#### 1.1.2 输出波形调试

通过调整 $R_w$ , 我们对输出的波形进行进一步的仿真调试, 如图2所示, 可以看到 $R_w = 0$ 的时候电路不起振,  $R_w = 20\%R_{max} = 10k\Omega$ 的时候电路刚好起振, 如图3所示。

用示波器观测输出的波形, 发现最大不失真输出电压波形大概在 $R_w = 40.0\%R_{max} = 20.0k\Omega$ 的时候取得, 此时周期约为2.5ms, 对应频率约为400Hz, 输出电压峰值为10.35V左右, 因为供电电压12v, 可以看出输出性能还是很好的。对

应的有效值为7.327V。输出的波形如图4所示。

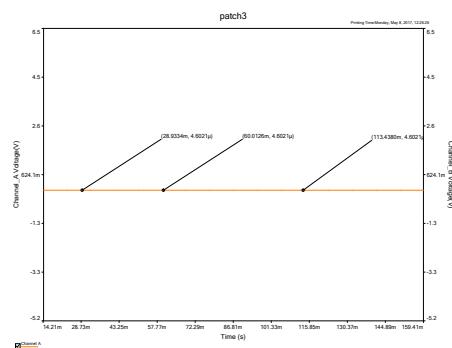


Fig. 2:  $R_w = 0$ 时的输出波形

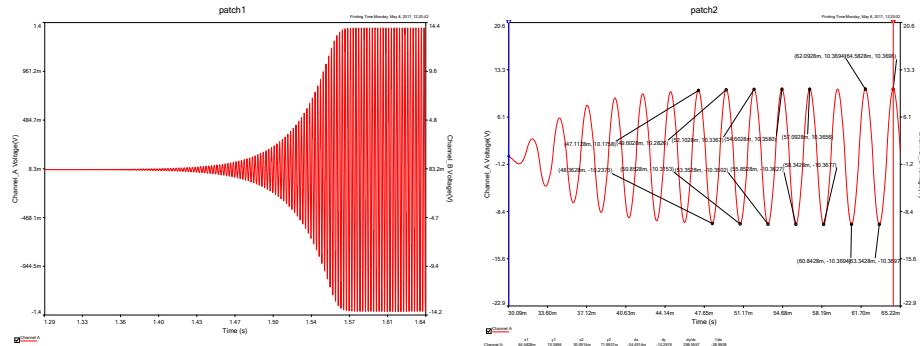


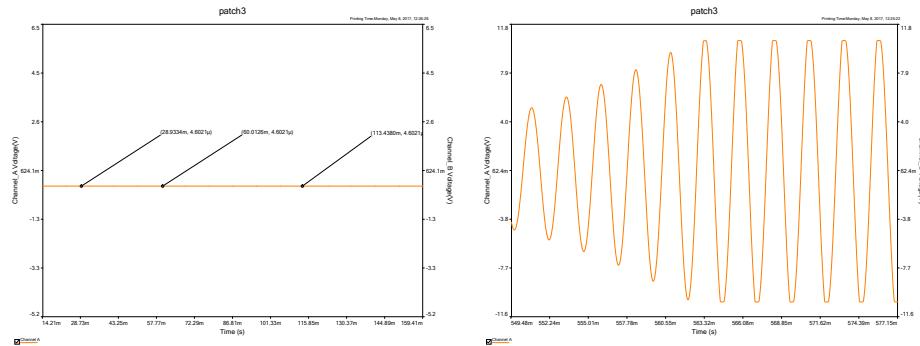
Fig. 3: 刚刚起振输出波形

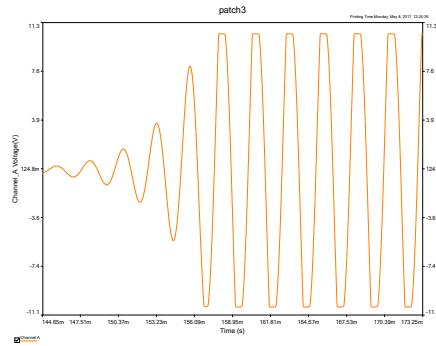
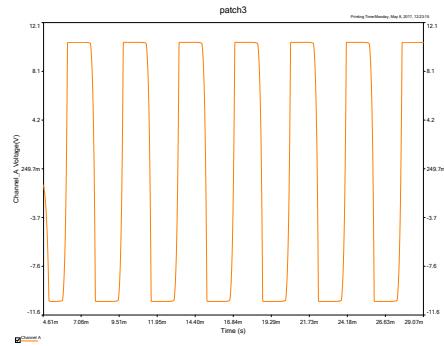
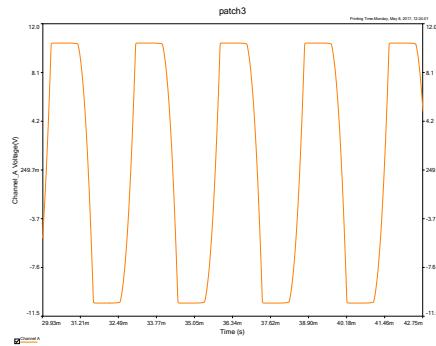
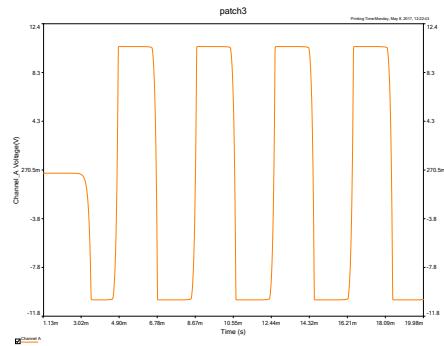
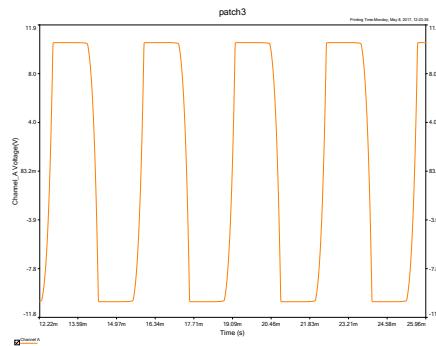
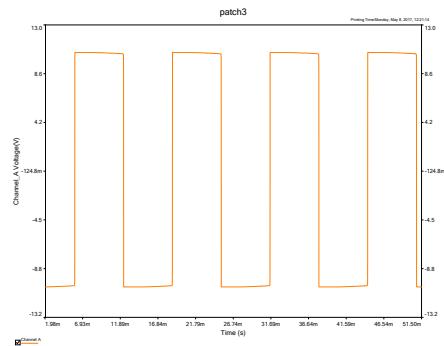
Fig. 4: 输出最大不失真波形

### 1.1.3 其他情况的调试

将两个二极管断开,  $R_w$ 从小到大变化时, 输出波形的变化情况如图5-12所示, 可以总结为如下几点

1.  $R_w < 10k\Omega$ 时, 无法产生震荡
2.  $R_w > 10k\Omega$ 时, 输出一直缓慢增大到最大不失真电压
3. 随着 $R_w$ 的明显增大, 输出波形失真变得越来越明显, 越来越趋近于方波, 方波的上升时间和下降时间逐渐减小。

Fig. 5:  $R_w = 20\%$ 时的输出波形Fig. 6:  $R_w = 21\%$ 时的输出波形

Fig. 7:  $R_w = 25\%$ 时的输出波形Fig. 10:  $R_w = 80\%$ 时的输出波形Fig. 8:  $R_w = 40\%$ 时的输出波形Fig. 11:  $R_w = 100\%$ 时的输出波形Fig. 9:  $R_w = 60\%$ 时的输出波形Fig. 12:  $R_w$ 完全断开时的输出波形

## 1.2 方波——三角波发生电路

### 1.2.1 理论分析

如图13是方波——三角波发生电路的电路图

首先对电路进行理论估计，为了和实验值保持一致，改用了和实验室提供的稳压管相同导通压降 $U_Z = 5.1V$ 的稳压管1N4733A，得到左侧同相输入滞环特性的阈值电压方程

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} U_T \pm \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_Z = 0$$

得到

$$U_T = \pm \frac{R_2}{R_1} U_Z = 2.55V$$

右侧电路为积分运算电路，输出电压的表达式为

$$U_0 = \int U_Z dt$$

半个周期内积分从 $-U_T$ 抵达 $+U_T$ ，因此可以得到

$$2U_T = \frac{T}{2} \frac{U_Z}{R_4 C}$$

结合前几式可以得到

$$T = \frac{4R_2 R_4 C}{R_1} = 0.4mS$$

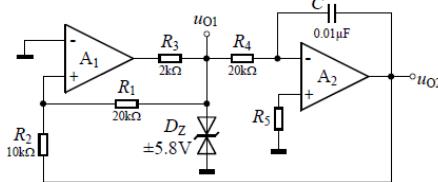


Fig. 13: 方波——三角波发生电路

### 1.2.2 波形仿真

从图14所示我们可以看到方波——三角波电路的产生过程，我们可以看到方波的幅值大约为5.5313V，而三角波的幅值为2.6018V，三角波的对称性良好，两个信号的周期为0.4076ms，和理论计算基本相符，上升时间和下降时间均为0.2038ms。

## 1.3 滞环特性电路的测试

### 1.3.1 理论分析

如图15是滞环特性电路电路图，有关 $U_T$ 的推导的问题可以参阅1.2.1节的说明，这里就不加重复了。

### 1.3.2 输出波形仿真

从图16可以看出滞环特性仿真电路，可以看出电路的 $U_T = \pm 2.718V$ ，输出电压为 $U_O = \pm 5.5382V$ ，滞环特性曲线形状良好。

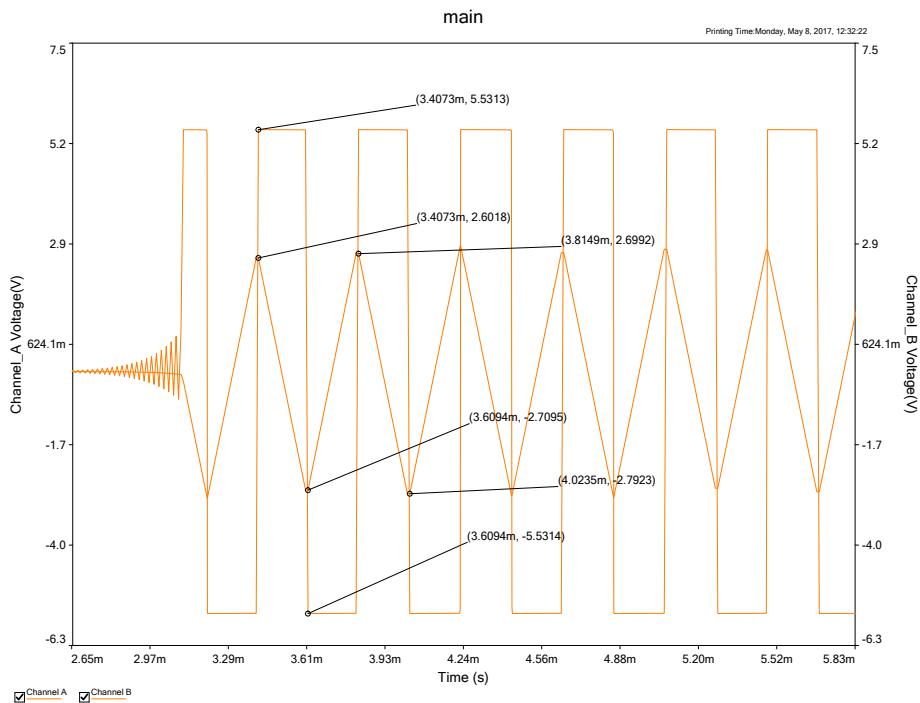


Fig. 14: 方波——三角波发生电路输出波形

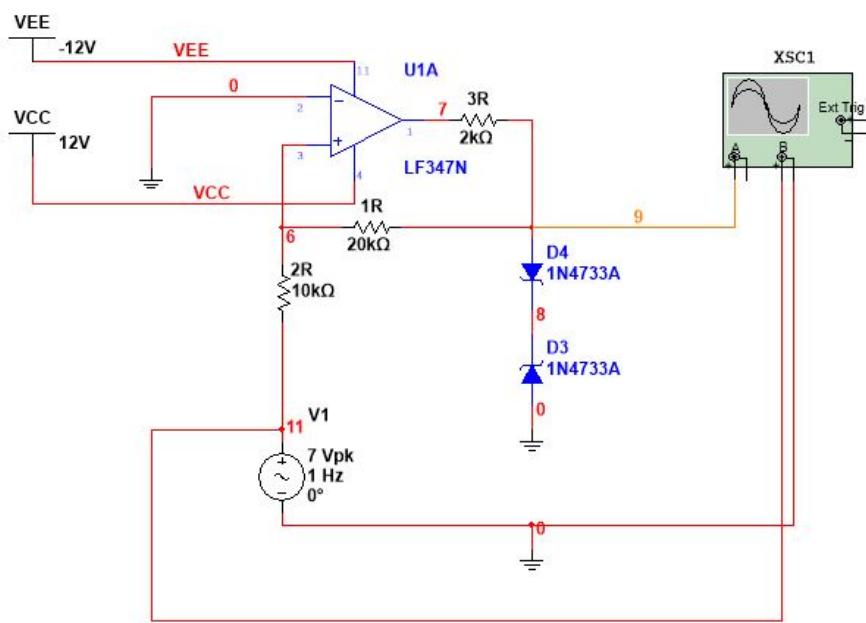


Fig. 15: 滞环特性电路

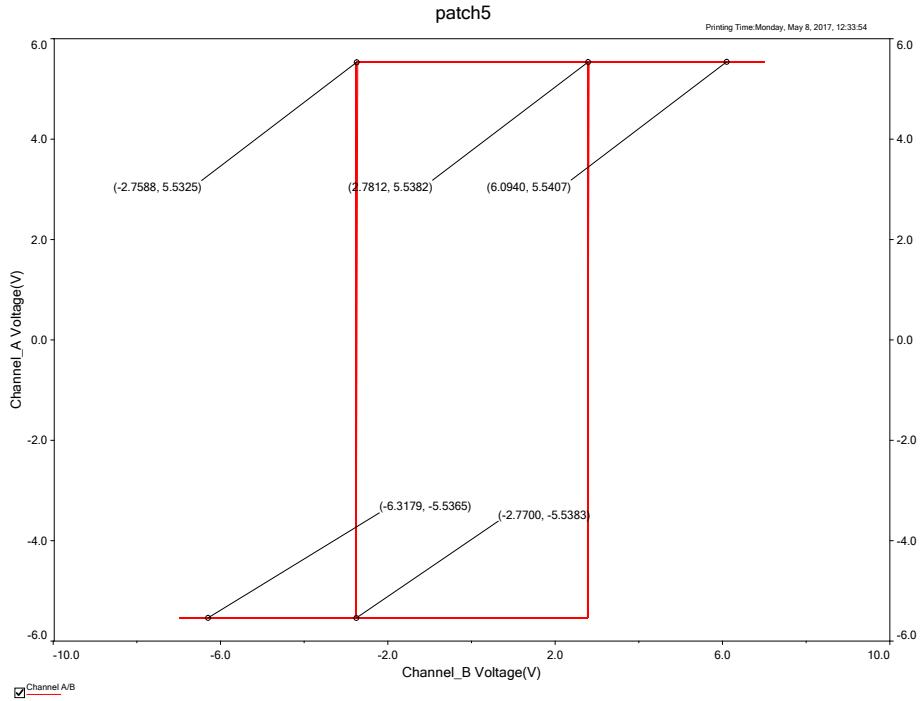


Fig. 16: 滞环特性输出波形

## 1.4 锯齿波发生电路

### 1.4.1 理论分析

如图17所示是锯齿波发生电路的测试图，根据1.2.1一节的说明，我们设两个二极管的正向导通电压降为 $U_D$ ，可以根据电路图可以得到上升和下降的方程（ $R_1, R_2$ 位置见图所示）

$$2U_T = T_- \frac{U_Z - U_D}{R_1 C}$$

$$2U_T = T_+ \frac{U_Z - U_D}{R_2 C}$$

因此可以得到上升沿和下降沿时间

$$T_- = \frac{2U_T R_1 C}{U_Z - U_D}$$

$$T_+ = \frac{2U_T R_2 C}{U_Z - U_D}$$

需要锯齿波下降时间为上升时间的20%马上得到 $5R_1 = R_2$

同时要求电路周期不变，得到

$$\frac{2U_T(R_1 + R_2)C}{U_Z - U_D} = 0.4\text{mS}$$

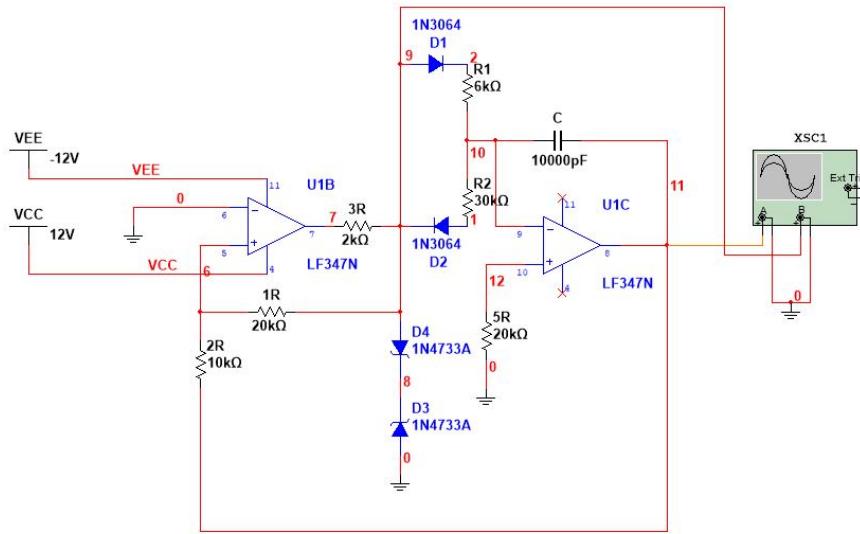


Fig. 17: 锯齿波发生电路

可以迅速解得  $R_1 = 5.816\text{k}\Omega$ , 进一步得到  $R_2 = 29.084\text{k}\Omega$

具体选取  $R_1 = 6\text{k}\Omega$ ,  $R_2 = 30\text{k}\Omega$

#### 1.4.2 输出波形仿真

从图18中我们可以看到, 方波和锯齿波的0.10周期均为0.4315ms, 这种变化源自于电阻取整之后引入的误差, 锯齿波的上升时间为0.3222ms, 下降时间为0.1093ms, 下降时间和上升时间的比值稍大, 考虑是电阻取整的影响, 将电阻取值改变为7k $\Omega$ 和35k $\Omega$ 发现电路性能出现明显好转。

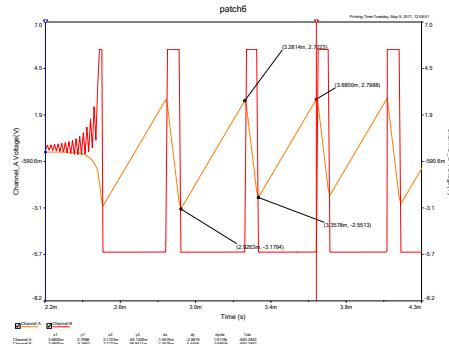


Fig. 18: 锯齿波发生电路输出波形

## 2 实验数据记录

### 2.1 正弦波发生电路

实验测得在  $R_w = 9.3\text{k}\Omega$  时电路起振，起振正弦波峰峰值为  $V_{pp} = 540\text{mV}$ ，对应频率为 416Hz。

当  $R_w = 17.69\text{k}\Omega$  时电路出现最大不失真输出电压，峰峰值为  $V_{pp} = 20.62\text{V}$ ，对应频率为 423Hz

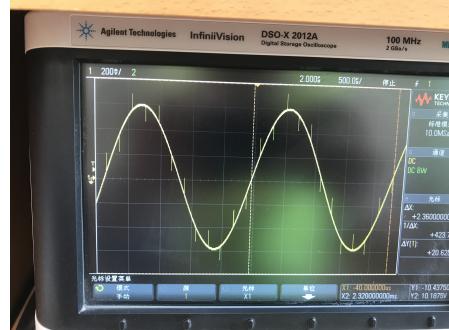


Fig. 19: 刚刚起振输出波形

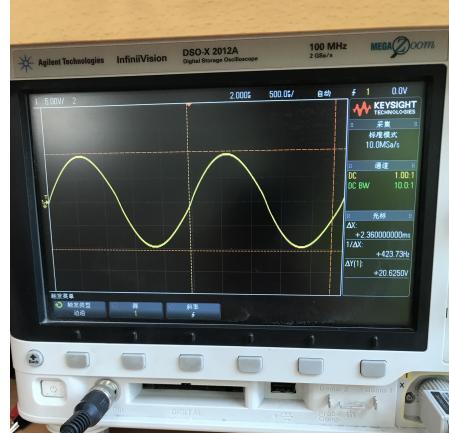


Fig. 20: 最大不失真输出波形

### 2.2 方波——三角波发生电路

方波发生电路输出电压峰峰值为 12V，方波正周期 208 $\mu\text{s}$ ，负周期 198 $\mu\text{s}$ ，分别对应三角波下降和上升时间，基本对称。三角波峰值为 6.4V

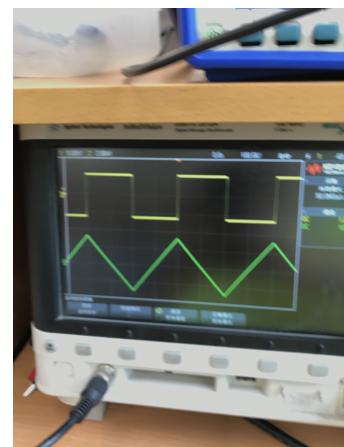


Fig. 21: 方波输出波形

### 2.3 滞环特性电路的测试

对滞环特性电路进行调试的过程中发现，电路的正向输出为5.6V，反向输出为-6.1V。 $U_{T+} = 3.1V$ ,  $U_{T-} = -2.9V$

### 2.4 锯齿波发生电路

采用 $R_1 = 5.67k\Omega$ ,  $R_2 = 31.2k\Omega$ 进行测试（滑动变阻器给出），得到总周期 $400\mu s$ , 上升时间为 $333.33\mu s$ , 下降时间为 $66.67\mu s$ ，正好满足题目要求。

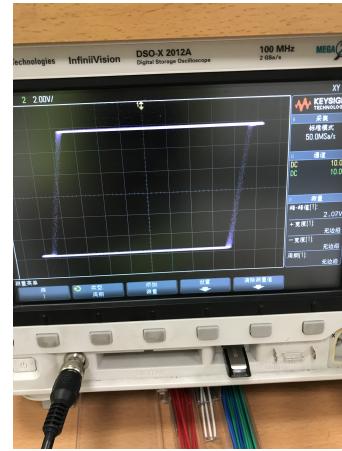


Fig. 22: 滞环特性输出波形



Fig. 23: 锯齿波输出波形

## 3 总结

本次实验让我对正弦波，方波，三角波和锯齿波电路更加熟悉，对于波形产生的原理有了一定的了解。在这个过程中，我更加理解了理论模型、仿真测试和实际电路的联系和区别，并学会分析三者之间产生误差的原因。

本次试验较为顺利，没有出现电路故障。利用实验室的myDac已经在课前完成了电路的搭建和测试，实验流程非常顺利。