

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

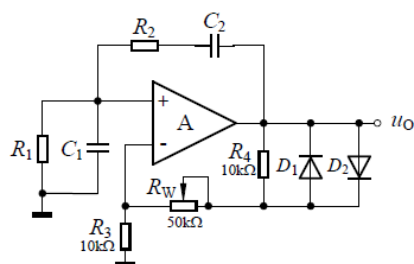


Fig. 1: 正弦波发生电路

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， $R_w = 20\%R_{max} = 10\text{k}\Omega$ 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 $R_w = 40.0\%R_{max} = 20.0\text{k}\Omega$ 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。

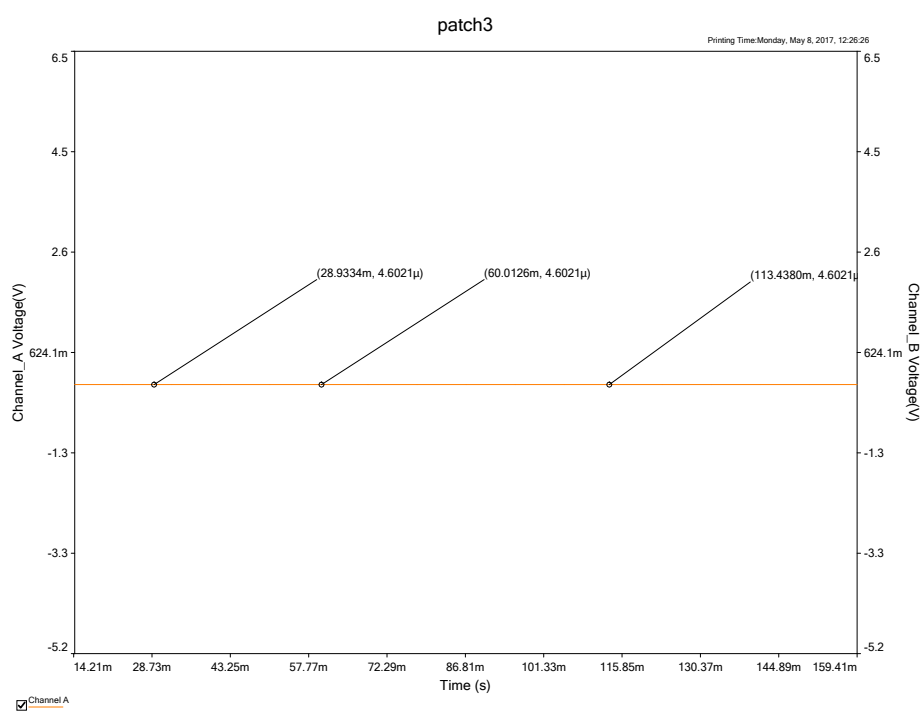


Fig. 2: $R_w = 0$ 时的输出波形

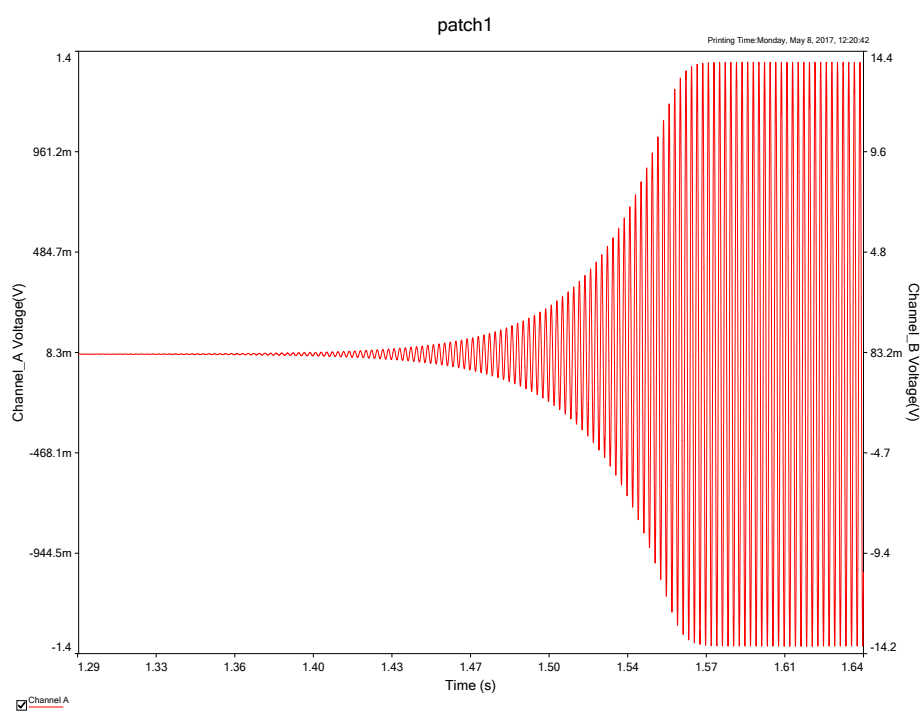


Fig. 3: 刚刚起振输出波形

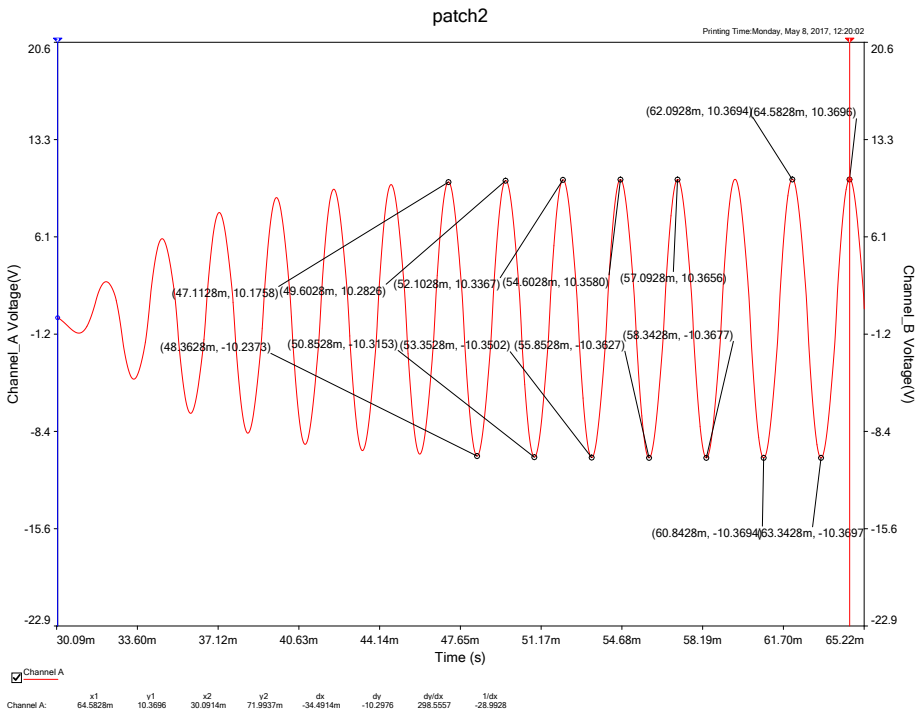


Fig. 4: 输出最大不失真波形

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. $R_w < 10\text{k}\Omega$ 时，无法产生震荡
2. $R_w > 10\text{k}\Omega$ 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。

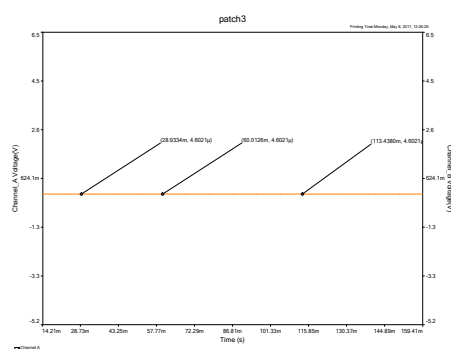


Fig. 5: $R_w = 20\%$ 时的输出波形

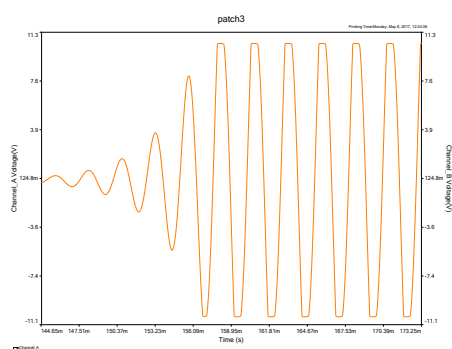


Fig. 7: $R_w = 25\%$ 时的输出波形

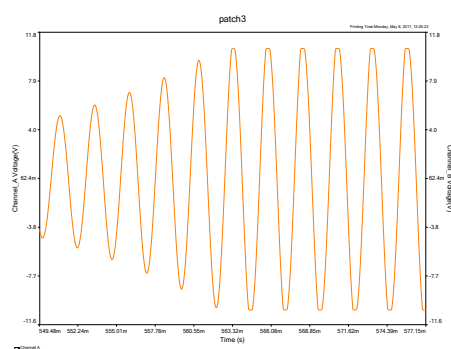


Fig. 6: $R_w = 21\%$ 时的输出波形

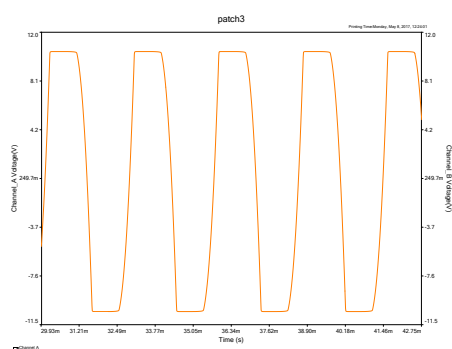
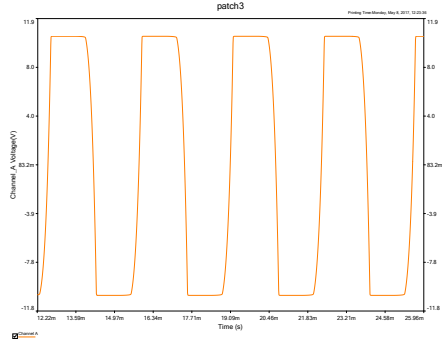
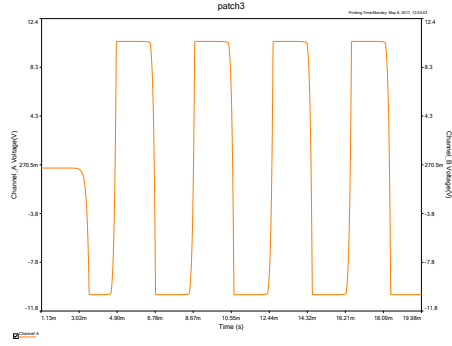
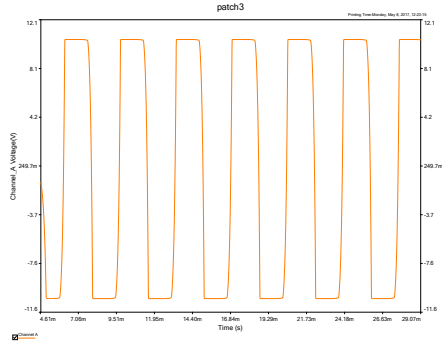
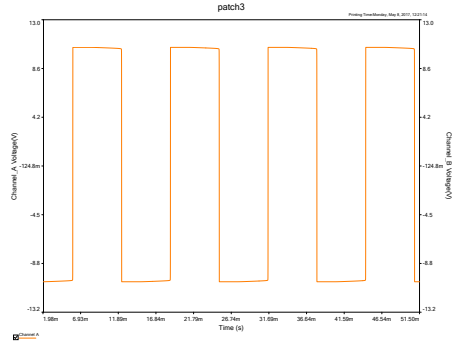


Fig. 8: $R_w = 40\%$ 时的输出波形

Fig. 9: $R_w = 60\%$ 时的输出波形Fig. 11: $R_w = 100\%$ 时的输出波形Fig. 10: $R_w = 80\%$ 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电压降 $U_Z = 5.1V$ 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

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

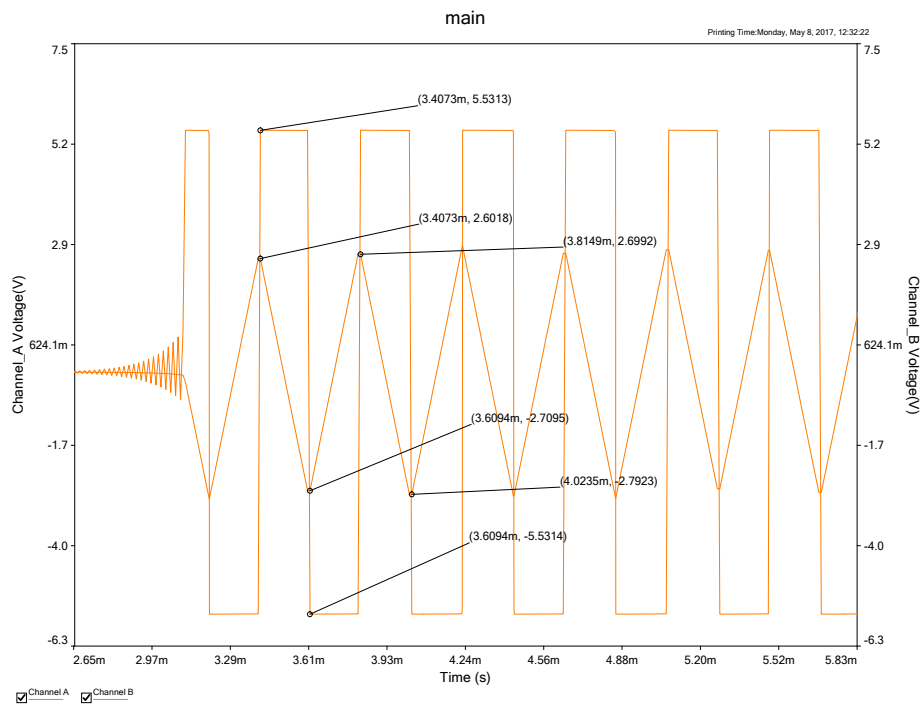


Fig. 14: 方波——三角波发生电路输出波形

结合前几式可以得到

$$T = \frac{4R_2R_4C}{R_1} = 0.4\text{ms}$$

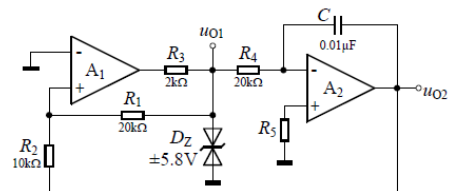


Fig. 13: 方波——三角波发生电路

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。

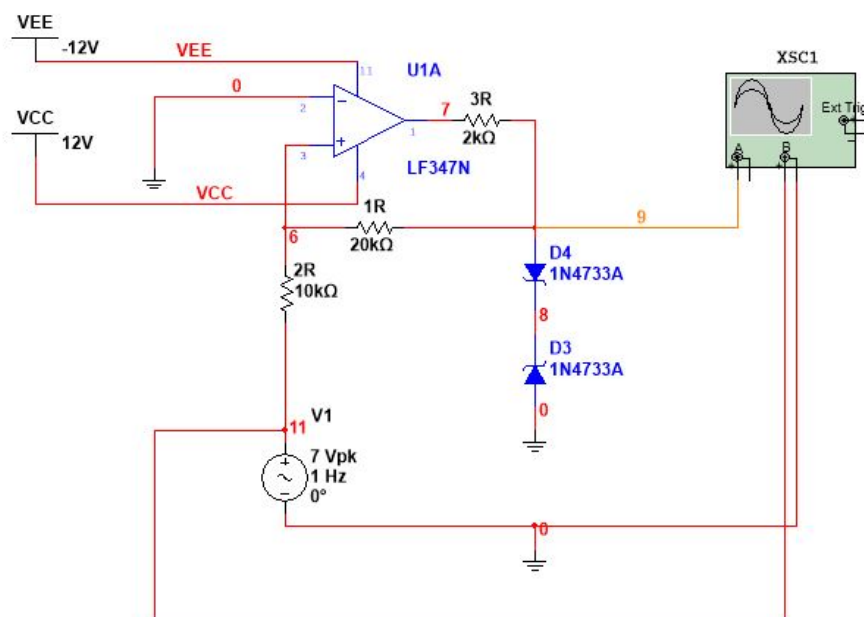


Fig. 15: 滞环特性电路

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。

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）

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

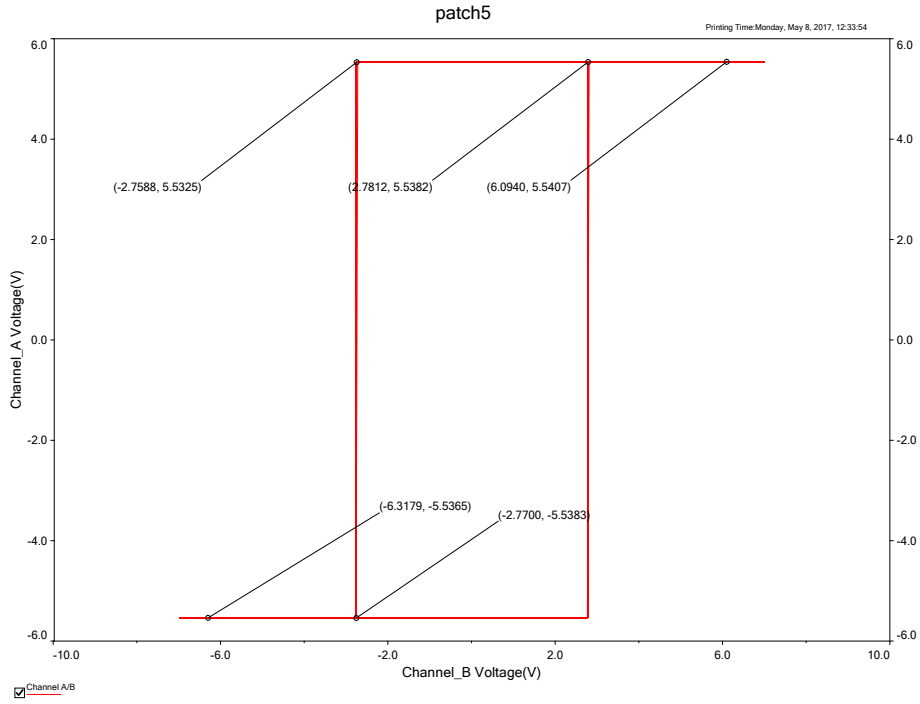


Fig. 16: 滞环特性输出波形

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

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

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

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

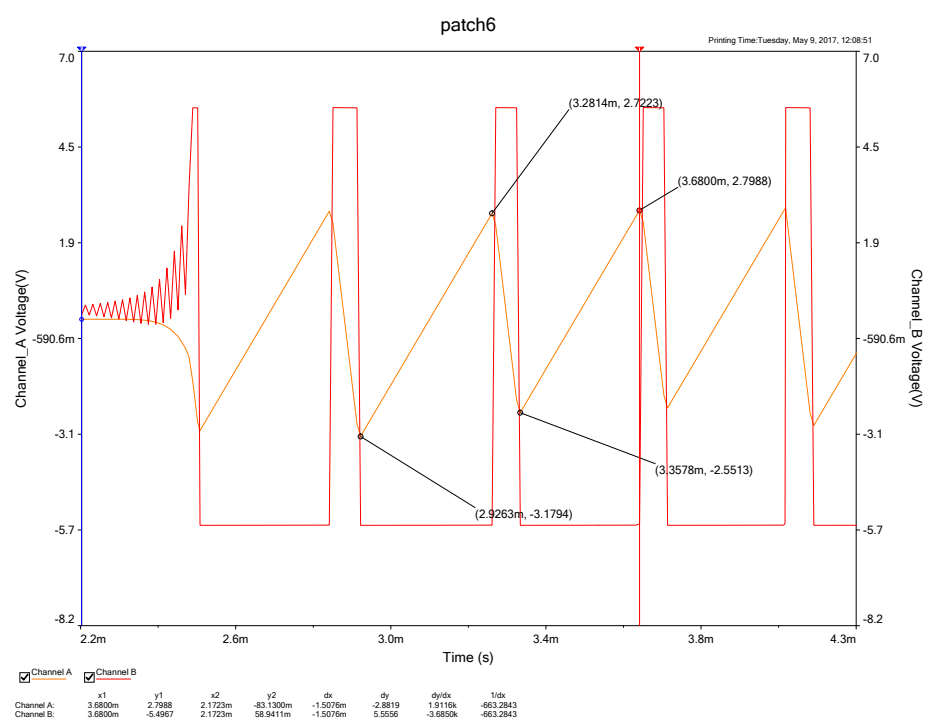


Fig. 18: 锯齿波发生电路输出波形