

## 一、可调占空比的脉冲序列发生器

## (1) 电路原理图:

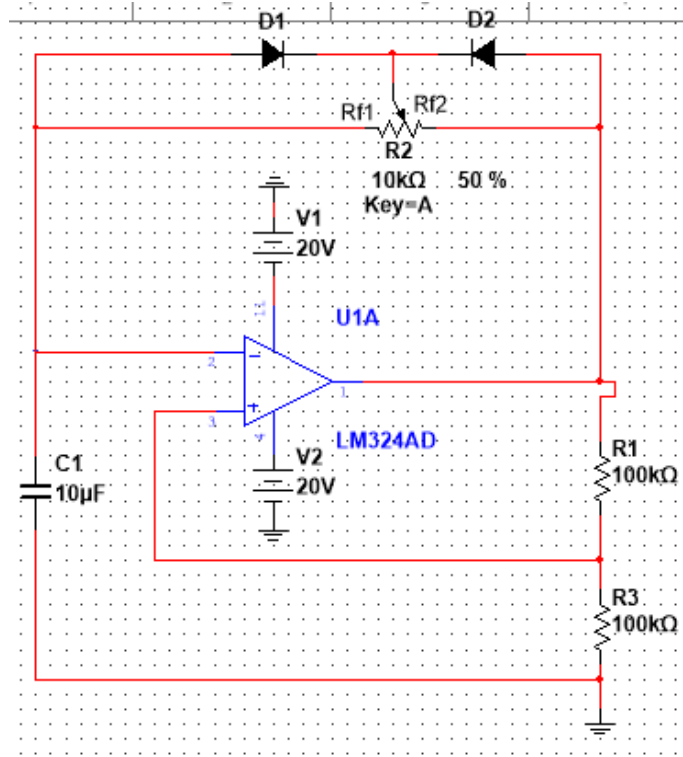


图 1: 脉冲序列发生器电路原理图

占空比可调的原因:

图示运放是正反馈方式，所以它在稳态下的输出只能为  $U_{sat}$  或  $-U_{sat}$ 。设电容的初始状态为 0，即  $u_c(0^-) = 0$ 。假设实际电路存在小扰动，导致输出电压为  $-U_{sat}$ ，则此时运放同相输入端的电位为  $-0.5U_{sat}$ ，电容开始充电。

我们先来推导反相输入端所连电阻为  $R$  时的情况:

根据三要素法:

$$u_c(0^+) = 0 \quad u_c(\infty) = -U_{sat} \quad \tau = RC$$

求得电容电压为:

$$u_c(t) = -U_{sat}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

此后电容电压按指数规律下降，当  $u_c = -U_{sat}$  时，输出发生跳变  $u_0 = U_{sat}$ 。电路发生换路，依然根据三要素法:

$$u_c(0^+) = -0.5U_{sat} \quad u_c(\infty) = U_{sat} \quad \tau = RC$$

求得电容电压为

$$u_c(t) = U_{sat} + (-0.5U_{sat} - U_{sat})e^{-\frac{t}{\tau}}$$

此后电压按指数规律上升，当  $u_c = 0.5U_{sat}$  时，输出发生跳变， $u_0 = 0.5U_{sat}$ 。此时电容的初值  $u_c(0^+) = 0.5U_{sat}$ 。此后电路进入稳态，即电路的电容电压以及输出电压进行周期性变化。

根据三要素法得：

$$u_c(t) = -U_{sat} + (0.5U_{sat}U_{sat})e^{\frac{t}{\tau}}$$

脉冲序列的周期为：

$$u_c(t)|_{t=0.5T} = -U_{sat} + (0.5U_{sat} + U_{sat})e^{-\frac{t}{\tau}} = -0.5U_{sat}$$

解得：

$$T = 2RC \ln 3$$

图示电路将反相输入端所连电阻换成了带有二极管的电路，根据理想二极管的单向导通特性，可以得出  $u_0 = U_{sat}$  时， $D_2$  导通，滑动变阻器左半部分  $R_{f1}$  接入电路。 $u_0 = -U_{sat}$  时， $D_1$  导通，滑动变阻器右半部分  $R_{f2}$  接入电路。将这两种情况带入上式。得到输出电压的占空比为：

$$k = \frac{R_{f1}}{R_2}$$

所以，通过调节  $R_{f1}$  占总电阻值的比例，可以实现占空比可调的脉冲序列发生器。

(2) 仿真电路图

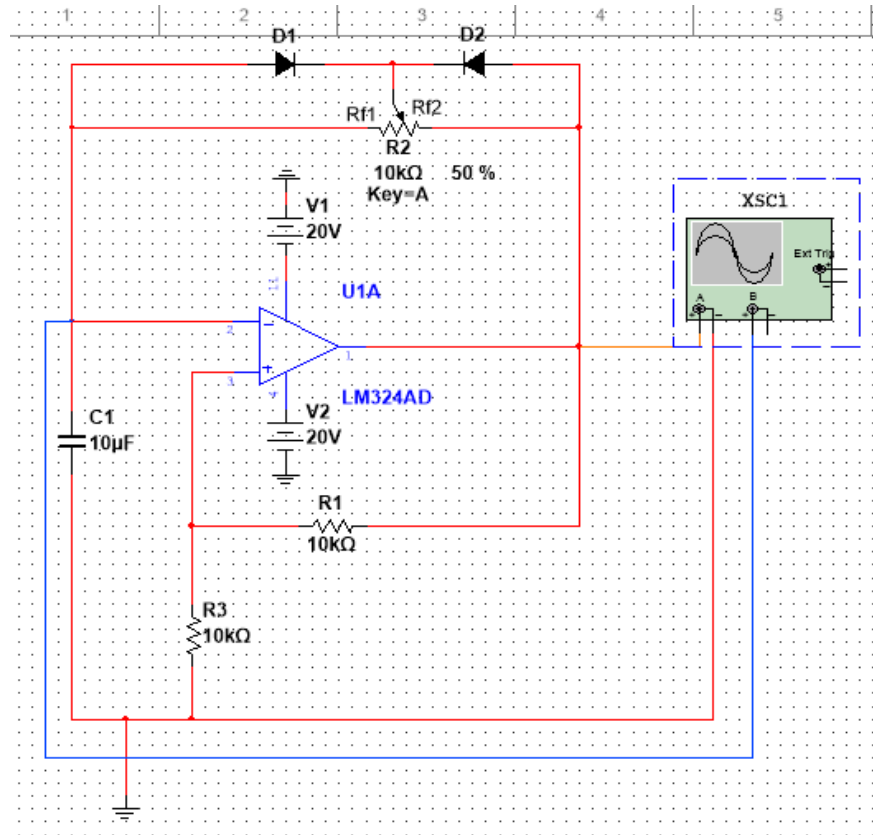


图 2: 仿真电路图 (此时占空比为 50%)

(3) 示波器波形图

占空比为 20% 时 (调节变阻器阻值为 80%):  
 示波器波形图为 (黄色为输出电压波形, 蓝色为电容电压波形):

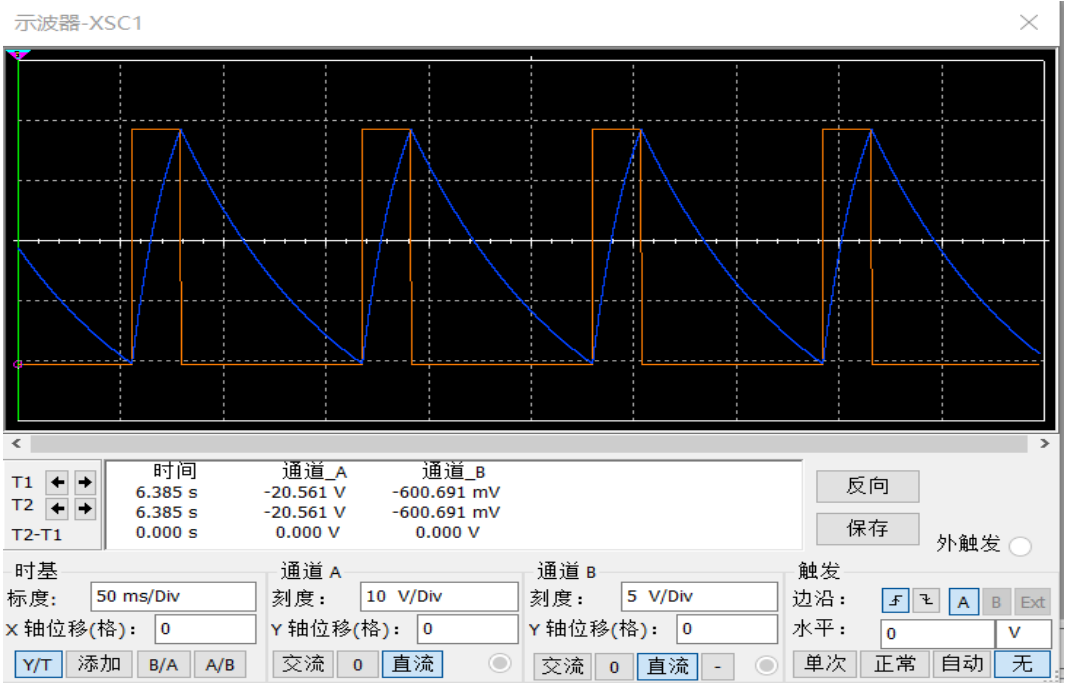


图 3: 示波器波形图 (占空比为 20%)

根据图像所示信息, 可得实际占空比

$$k = \frac{23.537}{112.202} = 20.9\%$$

和仿真结果和理论结果相近。

占空比为 70% 时 (调节变阻器阻值为 30%):  
 示波器波形图为 (黄色为输出电压波形, 蓝色为电容电压波形):

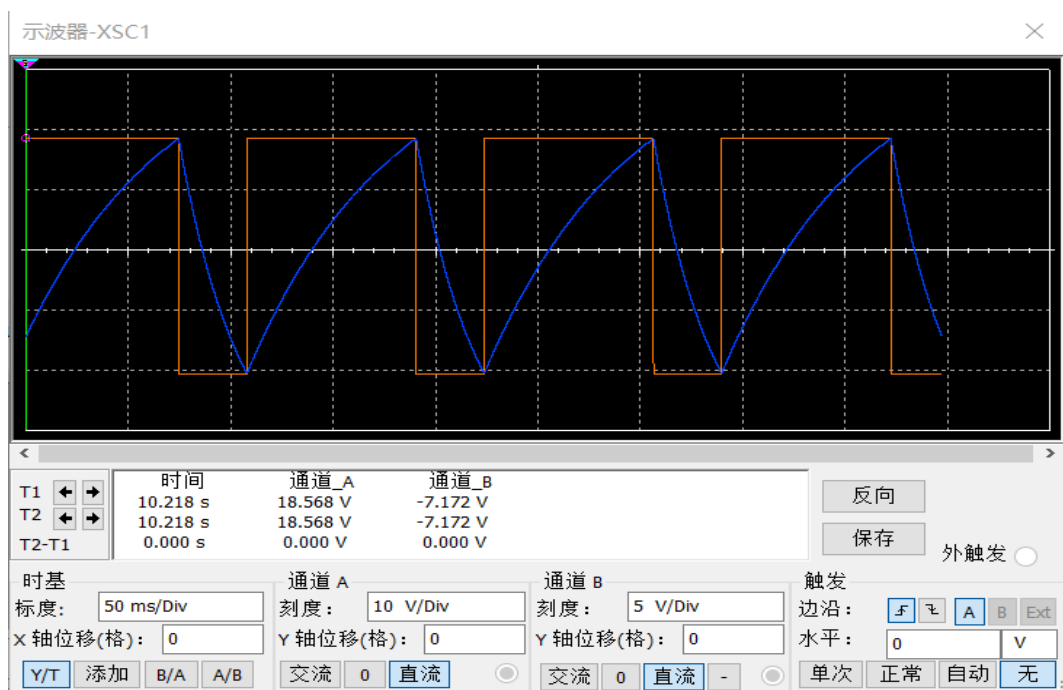


图 4: 示波器波形图 (占空比为 70%)

根据图像所示信息，可得实际占空比

$$k = \frac{81.501}{116.120} = 70.1\%$$

和仿真结果和理论结果相近。

#### (4) 实验结论:

教材电路给出了形成占空比为 50% 的电路，本实验通过应用二极管和滑动变阻器，实现了对占空比的调节，在误差允许范围内，可以实现预期的占空比结果。

## 二、三角波发生器

### (1) 电路原理图:

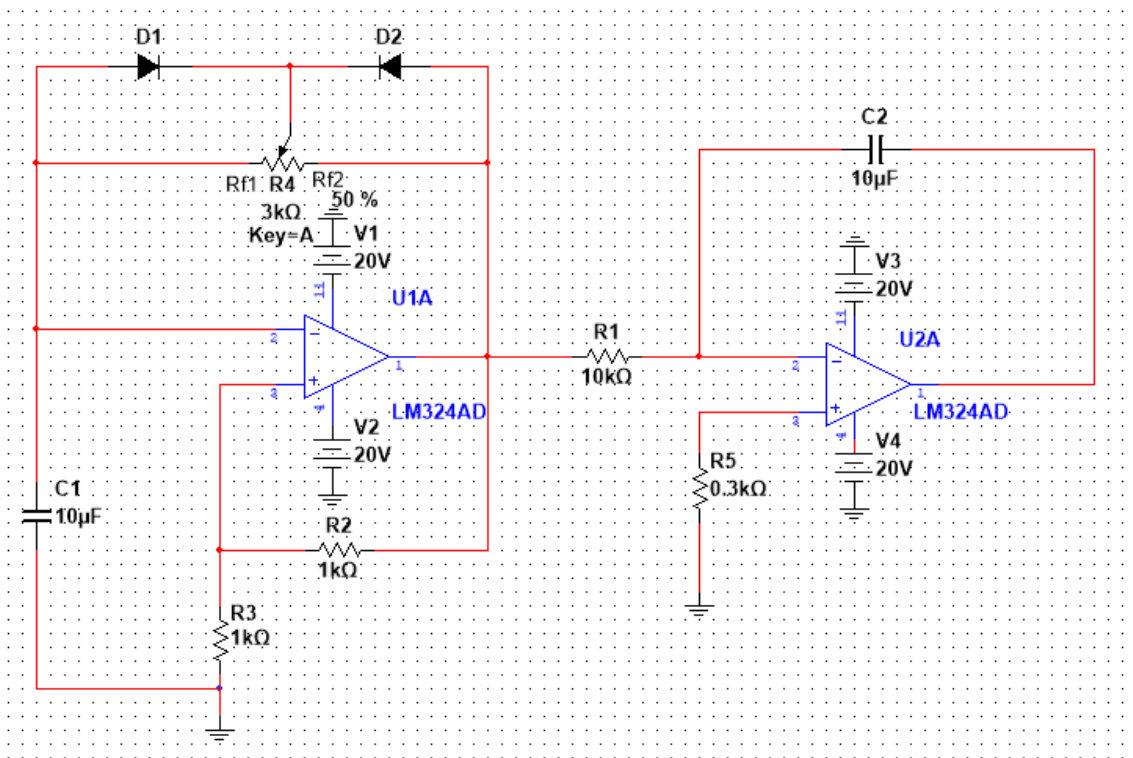


图 5: 三角波发生器电路原理图

三角波产生的原因:

电路左侧为题一设计的脉冲序列发生器。右侧连接积分电路，通过对方波电压进行积分获得三角波波形。

下面对于积分电路进行分析: 对于积分电路电容  $C_2$ , 有

$$i_c = -C \frac{du_o}{dt} \quad i_{R_1} = \frac{u_i}{R_1}$$

又由  $i_C = i_R$  得,

$$-C \frac{du_o}{dt} = \frac{u_i}{R}$$

即

$$u_o = -\frac{1}{R_1 C} \int u_i dt$$

根据积分原理, 对方波左侧电路产生的方波电压  $u_i$  进行积分, 可以获得三角波电压  $u_o$

$$u_{o1} = \begin{cases} -U_{sat} & 2nT < t < (2n+1)T \\ U_{sat} & (2n+1)T < t < (2n+2)T \end{cases}$$

$$u_o = \begin{cases} \frac{U_{sat}}{R_1 C} (t - 2nT) & 2nT < t < (2n+1)T \\ -\frac{U_{sat}}{R_1 C} (t - (2n+2)T) & (2n+1)T < t < (2n+2)T \end{cases}$$

(2) 仿真电路图:

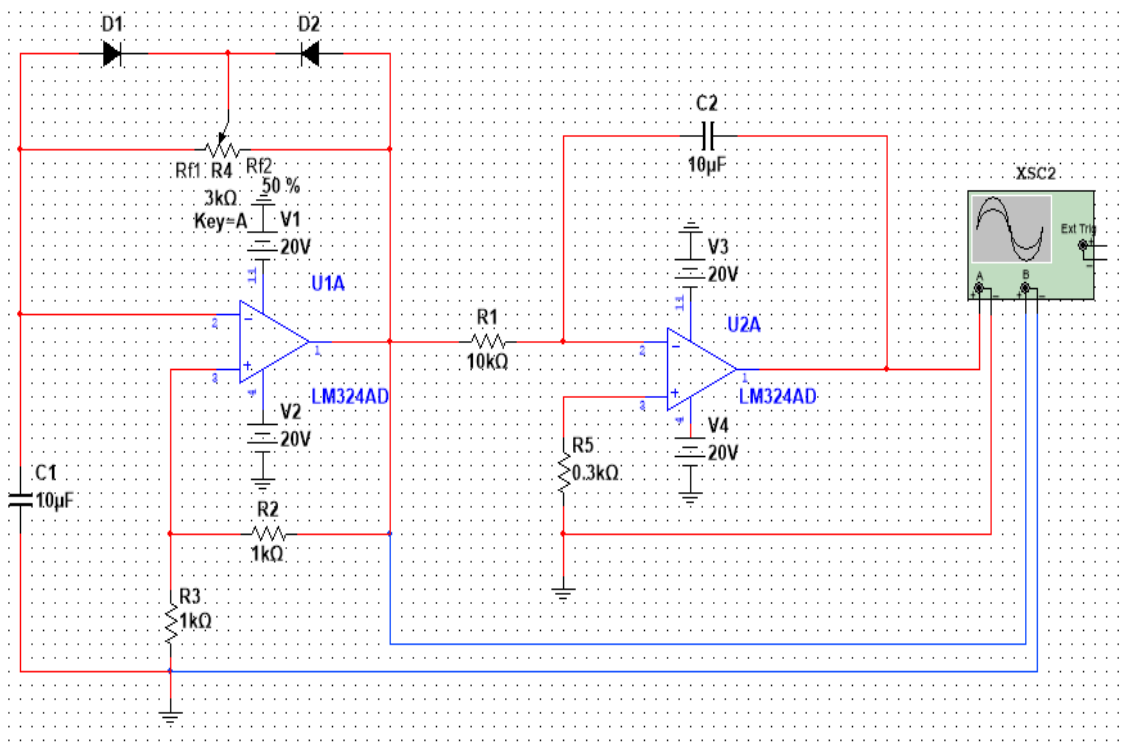


图 6: 三角波发生器仿真电路图

(3) 示波器波形图 (红线为三角波波形, 蓝线为脉冲序列波形):

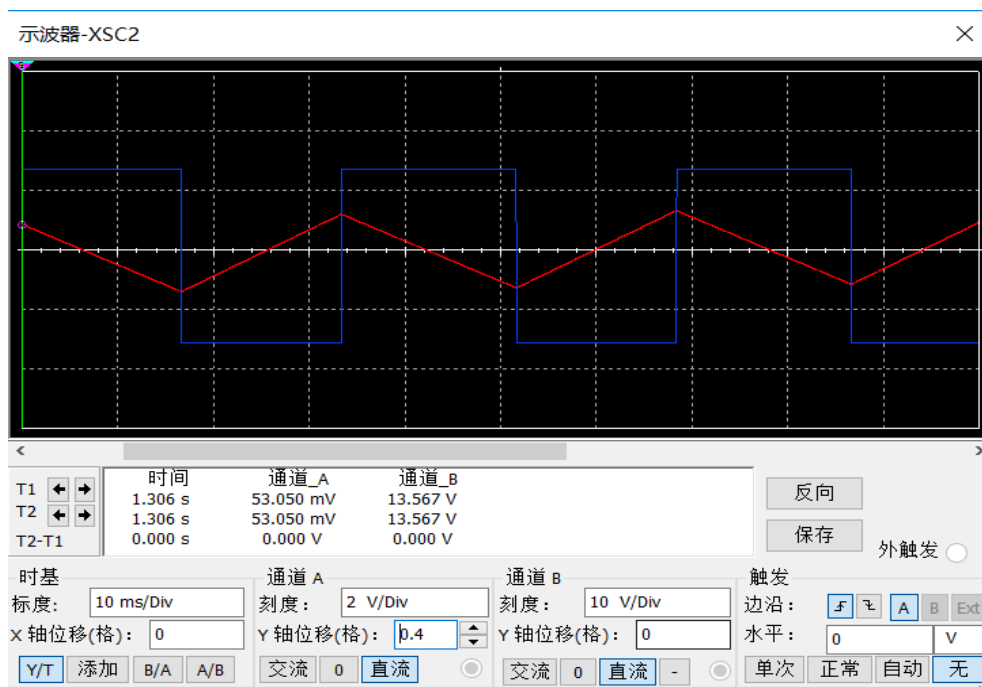


图 7: 三角波波形和脉冲序列波形

值得注意的是, 由于本实验建立在正反馈的基础上, 正反馈的建立过程中, 右半部分的积分电路也在进行积分, 所以最终输出的三角波波形并不是以时间轴为中心, 而是有一定偏移, 仿真结果已经调整了三角波波形, 使得三角波在中心。

(4) 实验结论:

本实验通过结合脉冲序列发生器和积分电路, 实现了三角波波形的输出, 示波器给出的波形和理论分析相符。