

# 实验三：方波-三角波发生器

专业班级：通信2101

姓名：罗畅

学号：U202113940

## 实验名称

三角波-方波发生器设计

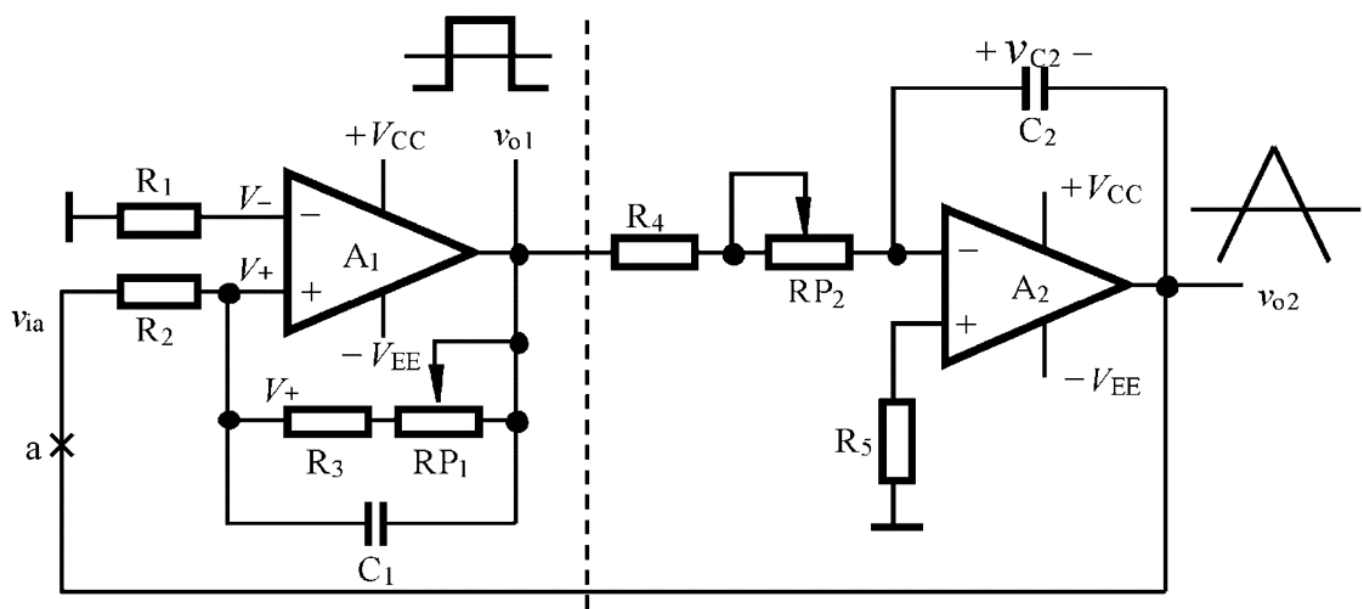
## 实验目的

- 掌握方波-三角波函数发生器的设计与测量技术

## 实验元器件

运放NE5532；电阻：5.1kΩ，10kΩ，20kΩ；电位器：100kΩ，47kΩ；电容：0.01μF，0.1μF

## 实验原理



上图所示电路能自动产生方波-三角波，图中虚线左边是同相输入的迟滞电压比较器( $A_1$ )，其中  $C_1$  称为加速电容，可加速比较器的翻转；虚线右边是积分器( $A_2$ )

## a点断开

- 若a点断开，比较器 $A_1$ 的反相端接基准电压，即 $V_- = 0$ ，同相端接输入电压 $v_{ia}$ ；比较器输出 $v_{o1}$ 的高电平 $V_{OH}$ 接近于正电源电压 $+V_{CC}$ ，低电平 $V_{OL}$ 接近于负电源电压 $-V_{EE}$ （通常 $|+V_{CC}| = |-V_{EE}|$ ）。根据叠加原理，得到

$$V_+ = \frac{R_2}{R_2 + R_3 + R_{P1}} V_{o1} + \frac{R_3 + R_{P1}}{R_2 + R_3 + R_{P1}} V_{ia}$$

式4.5.1

式中， $R_{P1}$ 指电位器的调整值（下同）。

- 通常将比较器的输出电压 $v_{oi}$ 从一个电平跳变到另一个电平时对应的输入电压称为门限电压。将比较器翻转时对应的条件 $V_+ = V_- = 0$ 代入上式（4.5.1），得到

$$V_{ia} = \frac{-R_2}{R_3 + R_{P1}} V_{o1}$$

式4.5.2

- 设 $V_{o1} = V_{OH} = +V_{CC}$ ，代入式（4.5.2）得到一个较小值，即比较器翻转的下门限电平

$$V_{T-} = V_{ia-} = \frac{-R_2}{R_3 + R_{P1}} V_{OH} = \frac{-R_2}{R_3 + R_{P1}} V_{CC}$$

式4.5.3

- 设 $V_{o1} = V_{OL} = -V_{EE} = -V_{CC}$ ，代入式（4.5.2）得到一个较大值，即比较器翻转的上门限电平

$$V_{T+} = V_{ia+} = \frac{-R_2}{R_3 + R_{P1}} V_{OL} = \frac{R_2}{R_3 + R_{P1}} V_{CC}$$

式4.5.4

- 比较器的门限宽度或回差电压为

$$\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-} = 2 \times \frac{R_2}{R_3 + R_{P1}} V_{CC}$$

式4.5.5

- 比较器的电压传输特性如图4.5.3所示。当 $v_{ia}$ 为往复跨越上、下门限电平的电压波形时，则 $v_{o1}$ 不断在高、低电平之间跳变，即输出一串方波。 $C_1$ 在 $v_{oi}$ 跳变瞬间可看作短路，使门限迅速改变，即运放 $A_1$ 的 $V_+$ 和 $V_-$ 之差迅速增大，从而加速输出的翻转。 $C_1$ 在 $V_{o1}$ 保持高电平或低电平期间则可看作开路。

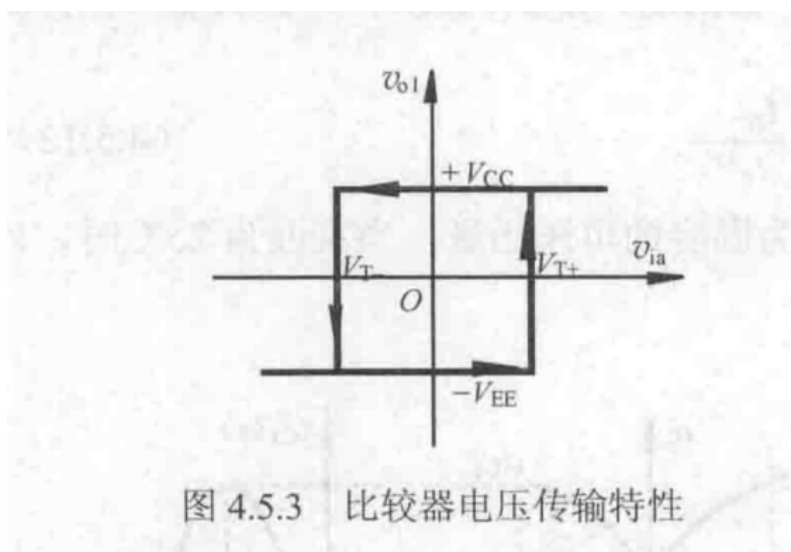


图 4.5.3 比较器电压传输特性

- 运放 $A_2$ 与 $R_4$ 、 $R_{p2}$ 、 $R_5$ 、 $C_2$ 组成反向积分器，若积分器的输入信号 $v_{o1}$ 为方波，则输出电压等于电容两端的电压，即：

$$v_{o2} = -v_{C_2} = -\frac{1}{C_2} \int \frac{v_{o1}}{R_4 + R_{P2}} dt = -\frac{1}{C_2} \int_{t_0}^{t_1} \frac{v_{o1}}{R_4 + R_{P2}} dt - v_{C_2}(t_0)$$

式4.5.6

式中， $v_{C_2}(t_0)$ 是 $t_0$ 时刻电容两端的初始电压值， $v_{o2}(t_0)$ 是 $t_0$ 时刻电路的输出电压，且有 $v_{o2}(t_0) = -v_{C_2}(t_0)$ 。

- 当 $v_{o1} = V_{CC}$ 时，则

$$v_{o2} = -\frac{V_{CC}}{(R_4 + R_{P2})C_2}(t_1 - t_0) + v_{o2}(t_0)$$

式4.5.7

- 当 $v_{o1} = -V_{CC}$ 时，则

$$v_{o2} = \frac{V_{CC}}{(R_4 + R_{P2})C_2}(t_1 - t_0) + v_{o2}(t_0)$$

式4.5.8

可见，当积分器的输入为方波时，输出是一个下降速率与上升速率相等的三角波，其波形关系

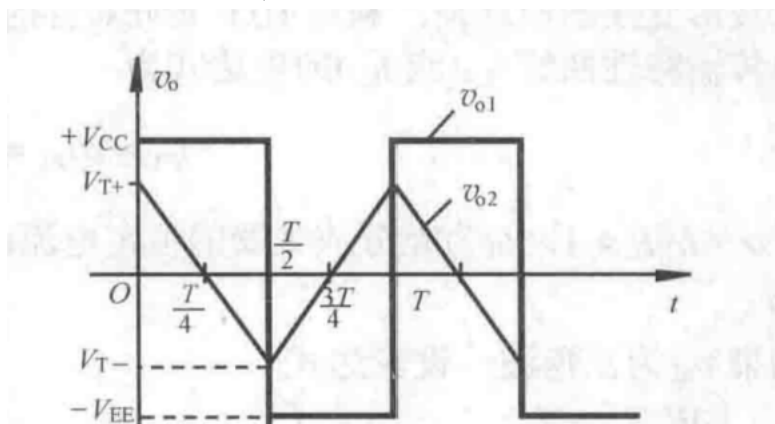


图 4.5.4 方波-三角波

如图4.5.4所示。

## a点闭合

- a 点闭合，即比较器与积分器首尾相连，形成闭环电路，只要积分器的输出电压  $v_{o2}$  达到比较器的门限电平，使得比较器的输出状态发生改变，则该电路就能自动产生方波 - 三角波。
- 由图4.5.4所示的波形可知，输出三角波的峰 - 峰值就是比较器的门限宽度，即

$$V_{o2pp} = \Delta V_T = \frac{2R_2}{R_3 + R + P1} V_{CC}$$

式4.5.9

- 积分电路的输出电压  $v_{o2}$  从  $V_{T-}$  上升到  $V_{T+}$  所需的时间是振荡周期的一半，即在  $\frac{T}{2}$  时间内  $v_{o2}$  的变化量等于  $v_{o2pp}$  根据式（4.5.8）得到电路的振荡周期为

$$T = \frac{4R_2(R_4 + R_{P2})C_2}{R_3 + R_{P1}}$$

式4.5.10

方波-三角波的频率为

$$f = \frac{1}{4(R_4 + R_{P2})C_2} \cdot \frac{R_3 + R_{P1}}{R_2}$$

式4.5.11

- 由式（4.5.9）及式（4.5.11）可以得出以下结论：

①方波的输出幅度约等于电源电压  $+V_{CC}$ ，三角波的输出幅度与电阻  $R_2$  与  $(R_3 + R_{P1})$  的比值有关，且小于电源电压  $+V_{CC}$ 。电位器  $R_{P1}$  可实现三角波幅度微调，但会影响方波三角波的频

率。

②电位器 $R_{P2}$ 在调整输出信号的频率时，不会影响三角波输出电压的幅度。因此应先调整电位器 $R_{P1}$ ，使输出三角波的电压幅值达到所要求的值，然后再调整电位器 $R_{P2}$ ，使输出频率满足要求。若要求输出频率范围较宽，可取不同的 $C_2$ 来改变频率的范围，用 $R_{P2}$ 实现频率微调。

## 实验任务

已知条件：运放NE5532一只

### 性能指标要求：

1. 频率范围：

100 Hz~1 kHz,

1 kHz~10 kHz；

2. 输出电压：

方波 $V_{p-p} \leq 24V$ ,

三角波 $V_{p-p} = 6V$ ；

3. 波形特性：

方波 $t_r < 30\mu s$ (1kHz, 最大输出时)

三角波 $\gamma_{\Delta} < 2\%$

### 测试内容与要求

- 测量性能指标，将测量数据填入自拟表格中，并对结果进行误差分析
- 在不同的频率范围档，选取一个频率值，画出方波-三角波波形，并标出电压幅值和周期

## 实验结果

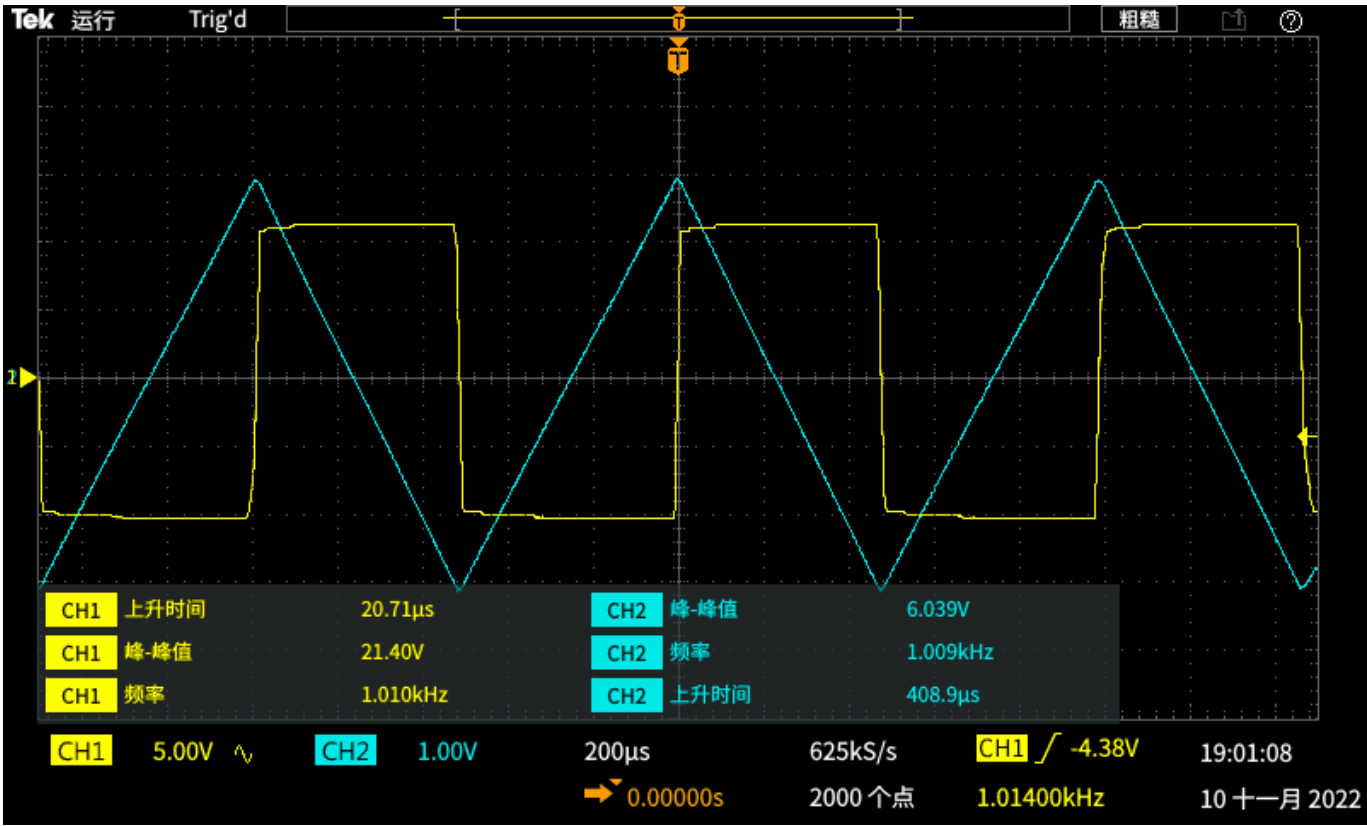
### 表格

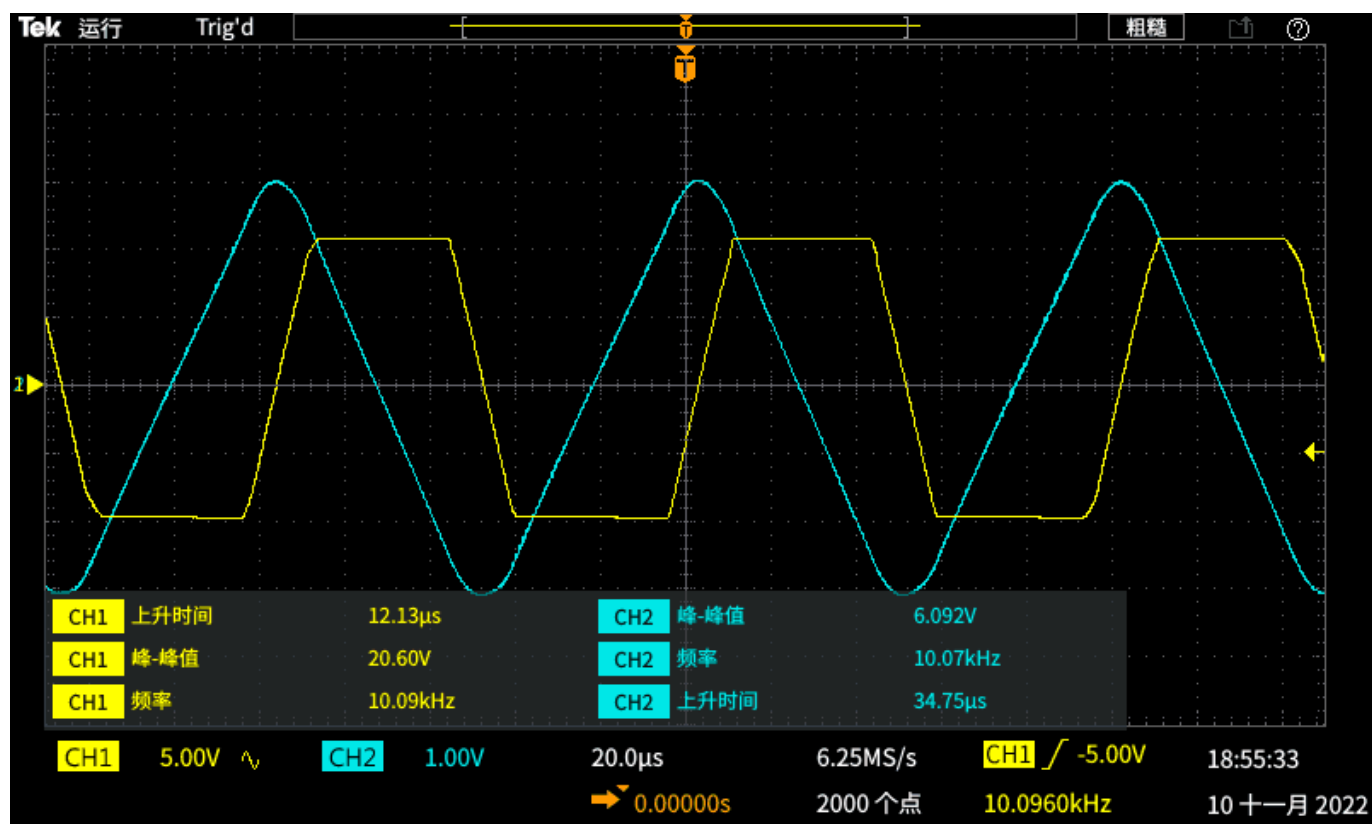
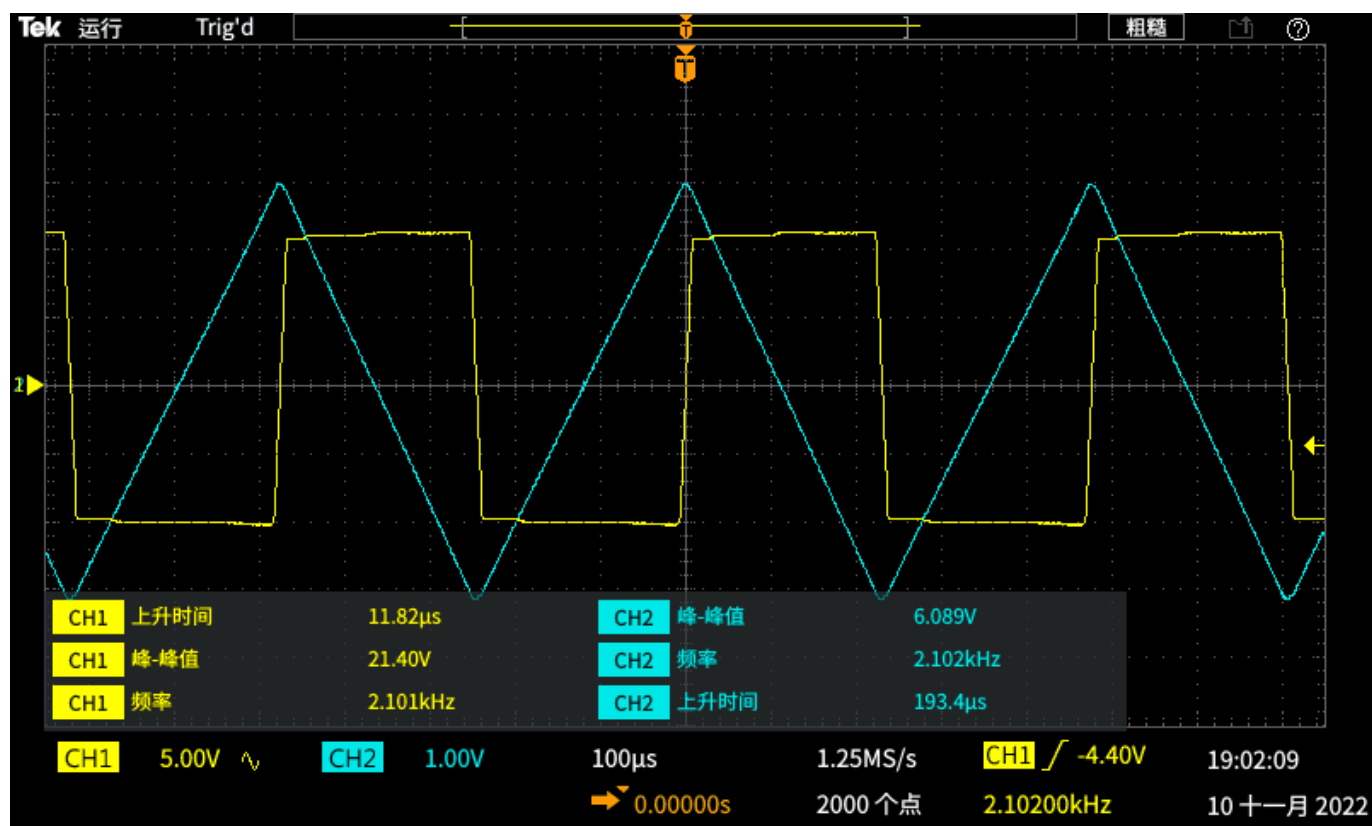
选择 $C_2$ 为0.1 $\mu F$ 和0.01 $\mu F$ ，记录得表格如下

电容值	方波频率/Hz	方波峰峰值/V	三角波峰峰值/V	方波上升时间/ $\mu$ s
0.1 $\mu$ F	155.7	21.64	5.998	18.11
0.1 $\mu$ F	309.4	21.54	5.910	19.93
0.1 $\mu$ F	1.007k	21.39	6.053	12.06
0.01 $\mu$ F	1.010k	21.40	6.039	20.71
0.01 $\mu$ F	2.101k	21.40	6.089	11.82
0.01 $\mu$ F	10.07k	20.60	6.092	12.06

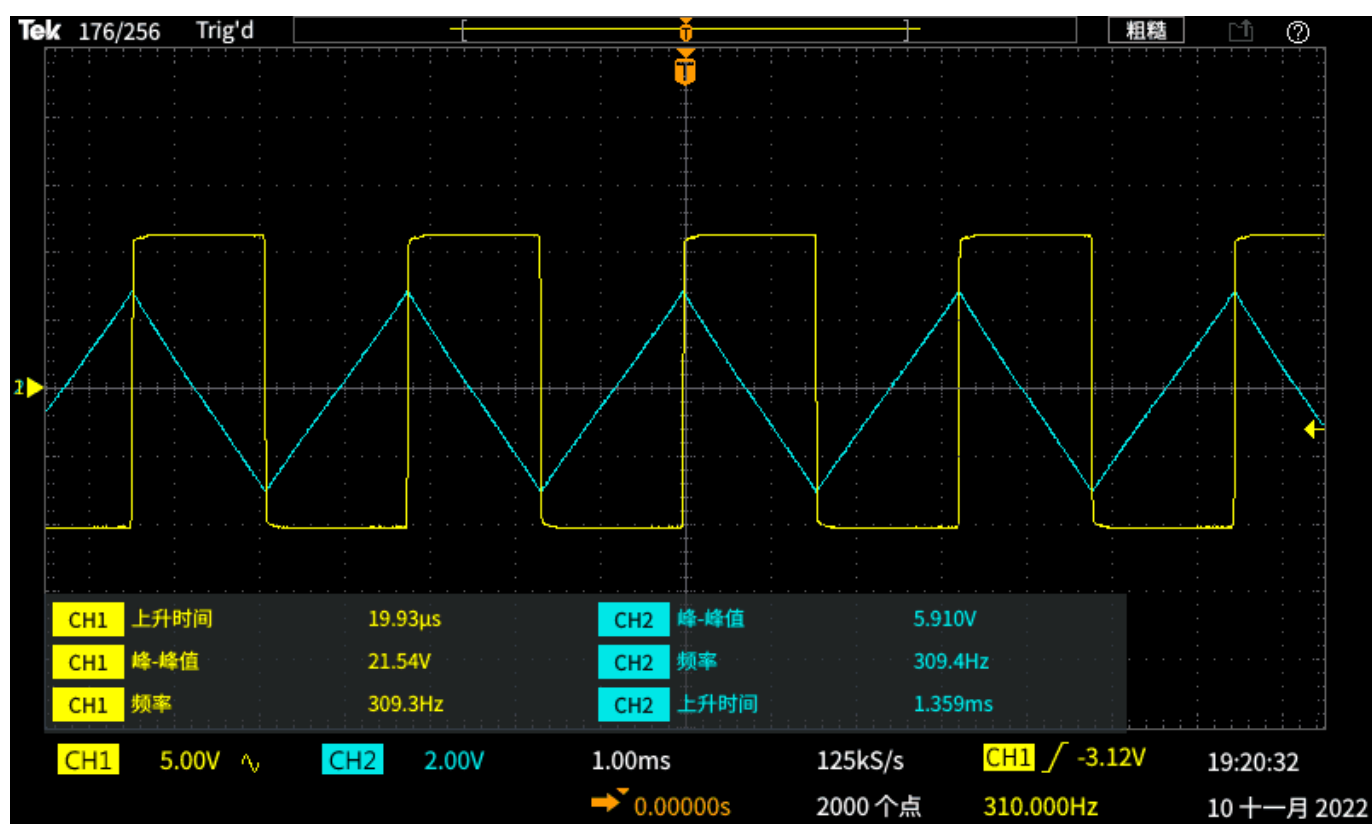
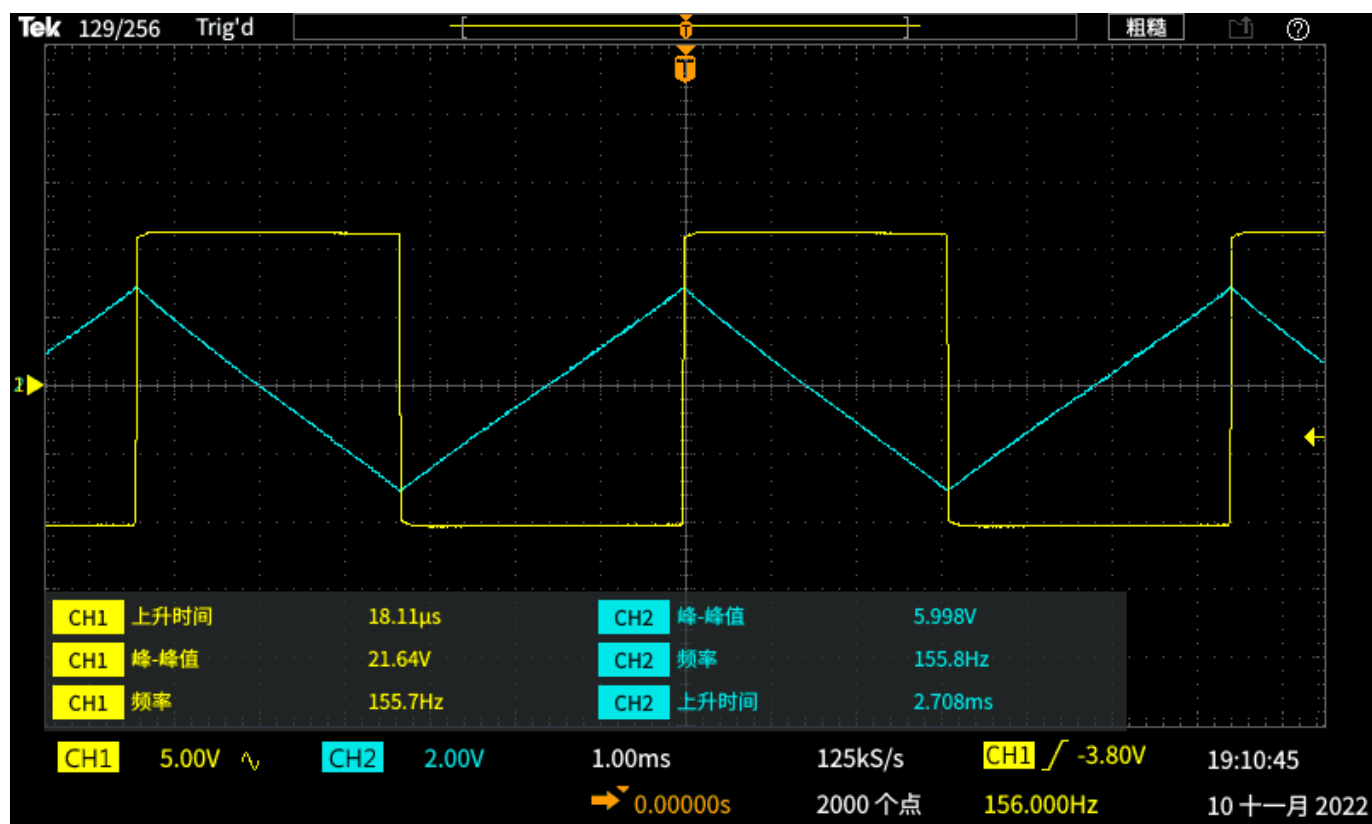
图像

$$C_2 = 0.01\mu F \text{ 时}$$

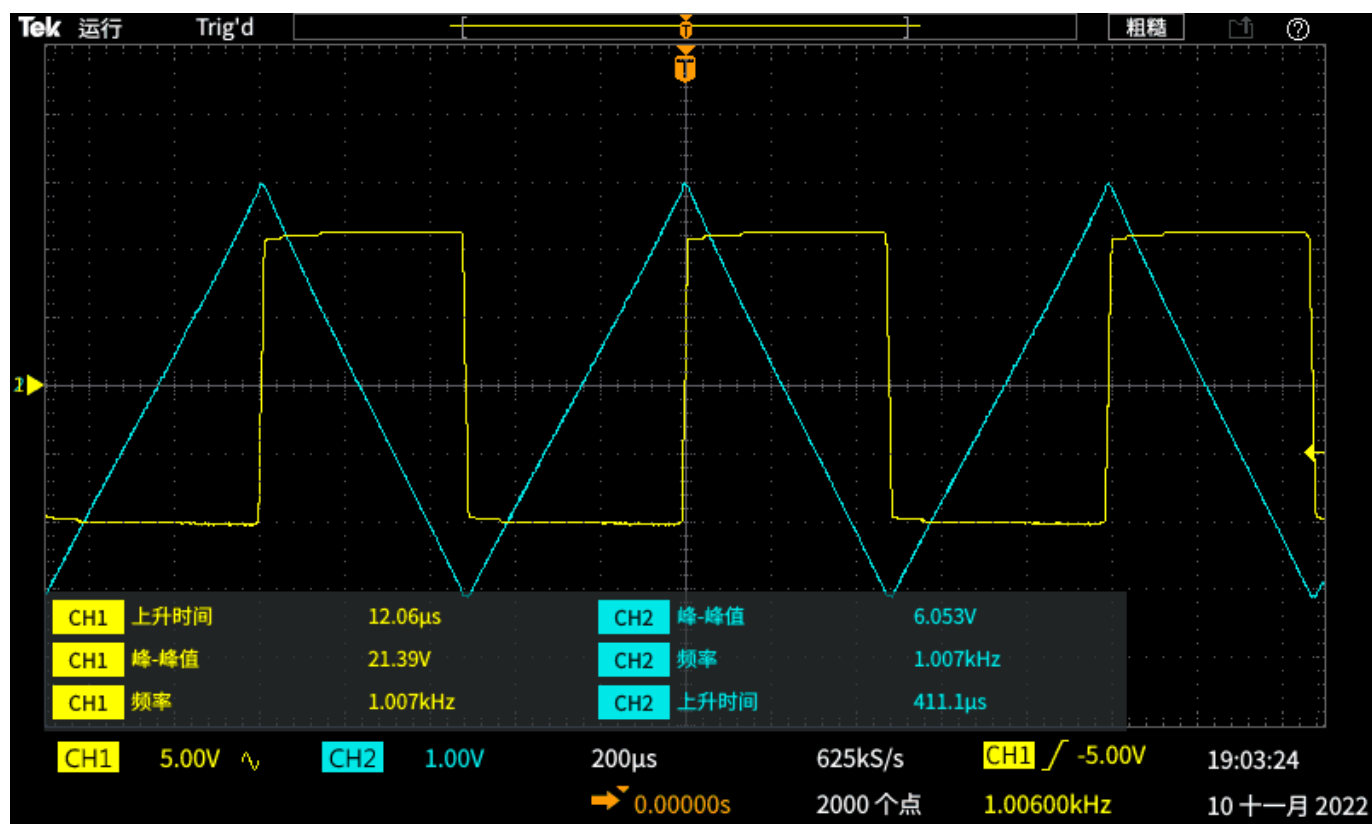




$$C_2 = 0.1\mu F \text{ 时}$$







## 实验结果

方波的幅度由 $+V_{CC}$ 和 $-V_{EE}$ 决定，小于它们1V左右；三角波幅度可由 $R_{P1}$ 进行调节，但会影响频率。调节 $R_{P2}$ ，可调节频率，且不会影响三角波幅度，可用 $R_{P2}$ 实现频率微调，用 $C_2$ 改变频率范围。

## 误差分析

测量存在误差和实验电路的局限性，输出的波形并不是标准的方波和三角波，而是有一些杂量，此外电容插入后需要等待一点时间才能达到稳定的频率，如果过早记录数据会导致误差。

## 实验小结

通过本次实验，我了解了如何通过运算放大器和电容去利用直流电压构造方波和三角波，通过调节滑动变阻器的阻值去改变波形的频率和幅值，调节电容改变频率的范围。此外，这次的电路体现了电路分级的思想，相比于之前的电路更考验耐心和细心，对于以后的实验一定会有很大帮助。