

## 八、运放呼吸灯

## 八、运放呼吸灯

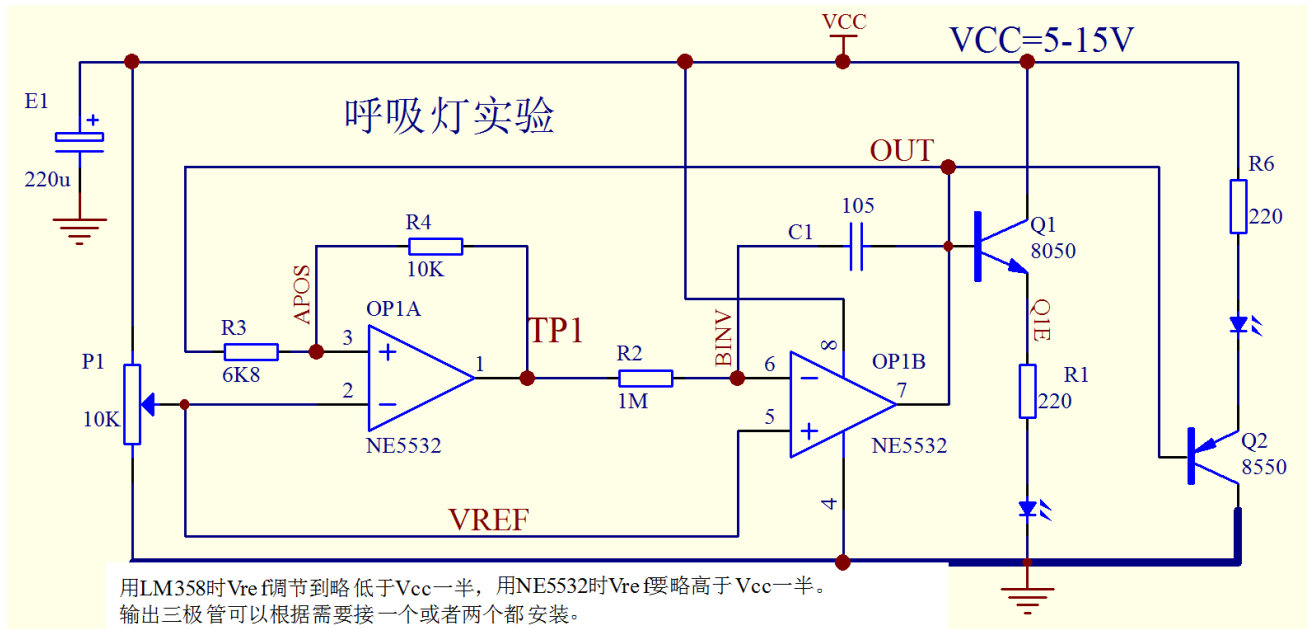


图1：原理图

呼吸灯这个名称很有意思，我们这里用三角波点亮LED来模拟，用缓慢的正弦波也可以，计算机中常常用PWM（脉宽调制）技术来产生呼吸效果。电路图是积分器产生的三角波输出（OUT）到比较器正反馈连接构成了方波和三角波发生器。正反馈，从效果上看，可以简单的理解为“引回的输出信号使原有的输入信号增强”。所以这个电路在没有输入的情况下输出，方波从TP1输出。三角波经过两个三极管射极跟随器的阻抗变换，（射极跟随器输出阻抗很低，输入阻抗很高）驱动两个LED。NPN三极管8050负责正半周呼吸，8550PNP管负责负半周呼吸。

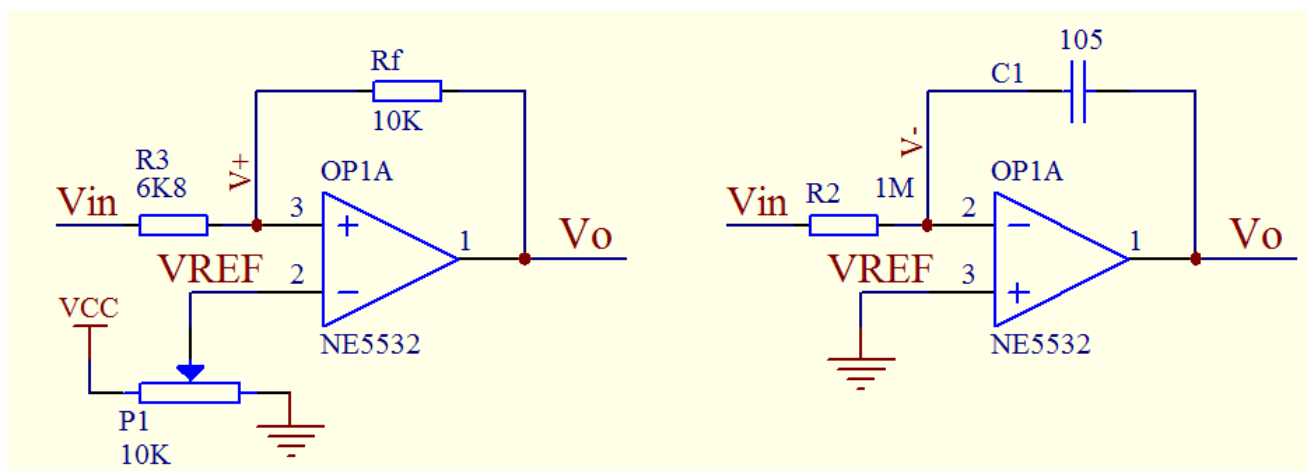


图2：左图是比较器，右图是积分器

### 比较器

运放做的比较器往往运行在数字电路中，数字电路用低电平代表逻辑“0”，高电平代表逻辑“1”。对于比

较器，逻辑0表示运放输出的最低可能的电压VL，单电源供电的LM358而言，VL就是约0.5V；运放输出的最高可能的电压是VH，LM358就是Vcc减去1.5V左右。这里用纯模拟方法，我们要分析的是：

1: Vo从VL翻转到VH时，Vin的电压。

2: Vo从VH翻转到VL时，Vin的电压。

首先分析，当Rf开路时，Vin就和V+（3脚电压）相同（虚断法则），只要Vin稍大于一点点Vref，Vo从逻辑0翻转到逻辑1；同样，只要Vin稍小于一点点Vref，Vo从逻辑1翻转到逻辑0。这就是运放法则1的解读3。所以我们认为，这两个翻转点电压相同，就是Vref。

Rf不开路时，我们抓住法则1，虚短，翻转点只可能发生在V+和Vref相等的地方，这时候Vin就不等于V+了。我们接着抓住法则2，虚断，运放输入端无电流出入，R3上的电流和Rf上的电流相同，就可以算出当时的Vin是多少。

我们的实测：Vref = 2.3V，VCC = 5.0V；

VL = 0.5V，VH = 3.7V（VH，VL从波形图1读出）

当Vo从VL翻转到VH的前一时刻，列出电流相等方程：

$$(V_{in} - V_{ref}) / R_3 = (V_{ref} - V_L) / R_f$$

代入我们的数据，Rf=10k，Vref = 2.3V，R3 = 6.8K，VL = 0.5V，得到Vin = 3.5V

当Vo从VH翻转到VL的前一刻，列出电流相等方程：

$$(V_{ref} - V_{in}) / R_3 = (V_H - V_{ref}) / R_f$$

代入我们的数据，Rf=10k，Vref = 2.3V，R3 = 6.8K，VH = 3.7V，得到Vin = 1.3V

我们看图3波形图中三角波的两个顶点，一个在1.3V，一个在3.5V和我们的估算非常接近。这两个翻转点不一样的比较器有个专门的名称，叫施密特比较器，也叫施密特触发器，我们常用的CD40106就是这类比较器，也有两个不同的翻转点，不过40106输出反相，我们用运放做的输出同相。

如果我们稍微增加一点R3，三角波幅度会增加，如果R3太大了电路就不工作了，实际上，在一定电压下，不同的运放，配合不同的Vref和R3值，这个三角波可以调节到最大。有兴趣可以比赛一下。

## 积分器

我们接着分析图2右边的积分器，当电容C1无电荷时，电容的两端电压是零，Vo = V- = Vref

当Vin的电压和Vref不等时，R2上就会产生电流，根据法则2，虚断，R2上的电流不会流入或流出运放2脚。

1: 假定Vin > Vref

我们从电容内没有电荷开始分析，Vo = V- = Vref，流过R2的电流将会直接给C1充电，充电过程中，法则1成立，2脚电压和Vref相等，Vo则会逐渐低于Vref，直到运放的Vo接近最低可能的输出电压为止。在此过程中，

$$\text{充电电流} = (V_{in} - V_{ref}) / R_2,$$

只要公式中三个参数是稳定的，充电电流也是稳定的，所以Vo下降的过程是直线，见波形图。充电电流

的大小只能改变直线的斜率。如果Vo到了最低电压，Vin仍然存在，那么充电电流也存在，只不过法则1不成立了，充电电流会慢慢减小到0。

## 2: 假定 $V_{in} < V_{ref}$

我们还是从电容内没有电荷开始分析， $V_o = V_- = V_{ref}$ ，流过R2的电流将会直接给C1充电，充电过程中，法则1成立，2脚电压和Vref相等，Vo则会逐渐高于Vref，直到运放的Vo接近最高可能的输出电压为止。在此过程中，

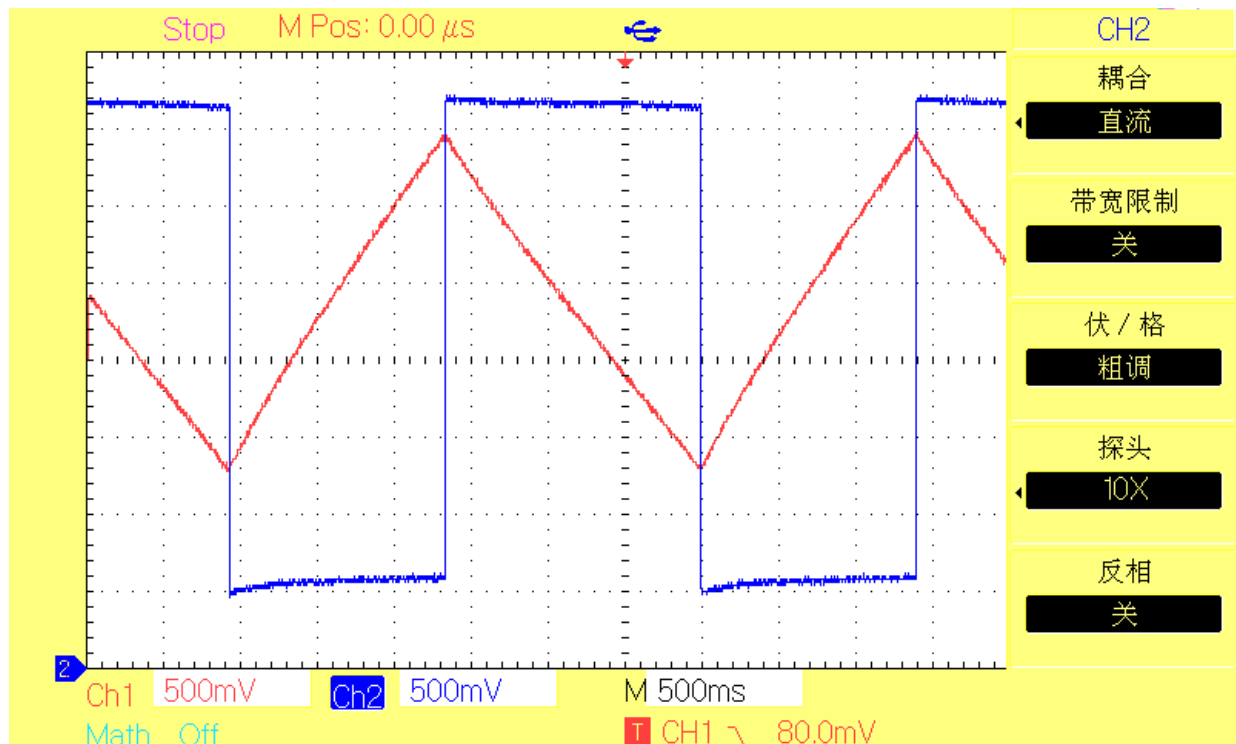
$$\text{充电电流} = (V_{ref} - V_{in}) / R_2$$

如果这个充电电流的三个参数都是稳定的，那么充电电流稳定，所以Vo上升的过程是直线，见波形图，充电电流的大小只能改变直线上升的斜率。如果Vo到了最高电压，Vin仍然存在，那么充电电流也存在，只不过法则1不成立了，充电电流会慢慢减小到0。

在上述两种情况中，积分器输出电压Vo还没有到VH和VL两个极限状态时，Vin发生了变化，那么充电斜率也会发生变化，如果Vin的极性反转，充电，会变成放电。电容从充电到放电的转换点发生在三角波的两个顶点，也是方波跳变的时刻，见波形图3。

当Vin是个方波，送到积分器所以输出了一个三角波。当我们改变充电或放电电流时，就会改变充电速度。很明显，R2减小，充放电速度加快。我们在R2上并联了一个二极管，就改变了一侧的充放电速度，就形成了下面的锯齿波。

上述我们对积分器和比较器的分析都属于瞬态分析，因为我们分析的周期比电路的变化周期快。



波形图1: 呼吸灯波形实测，三角波是OUT端电压，方波是TP1电压，图中VH，VL很清楚。

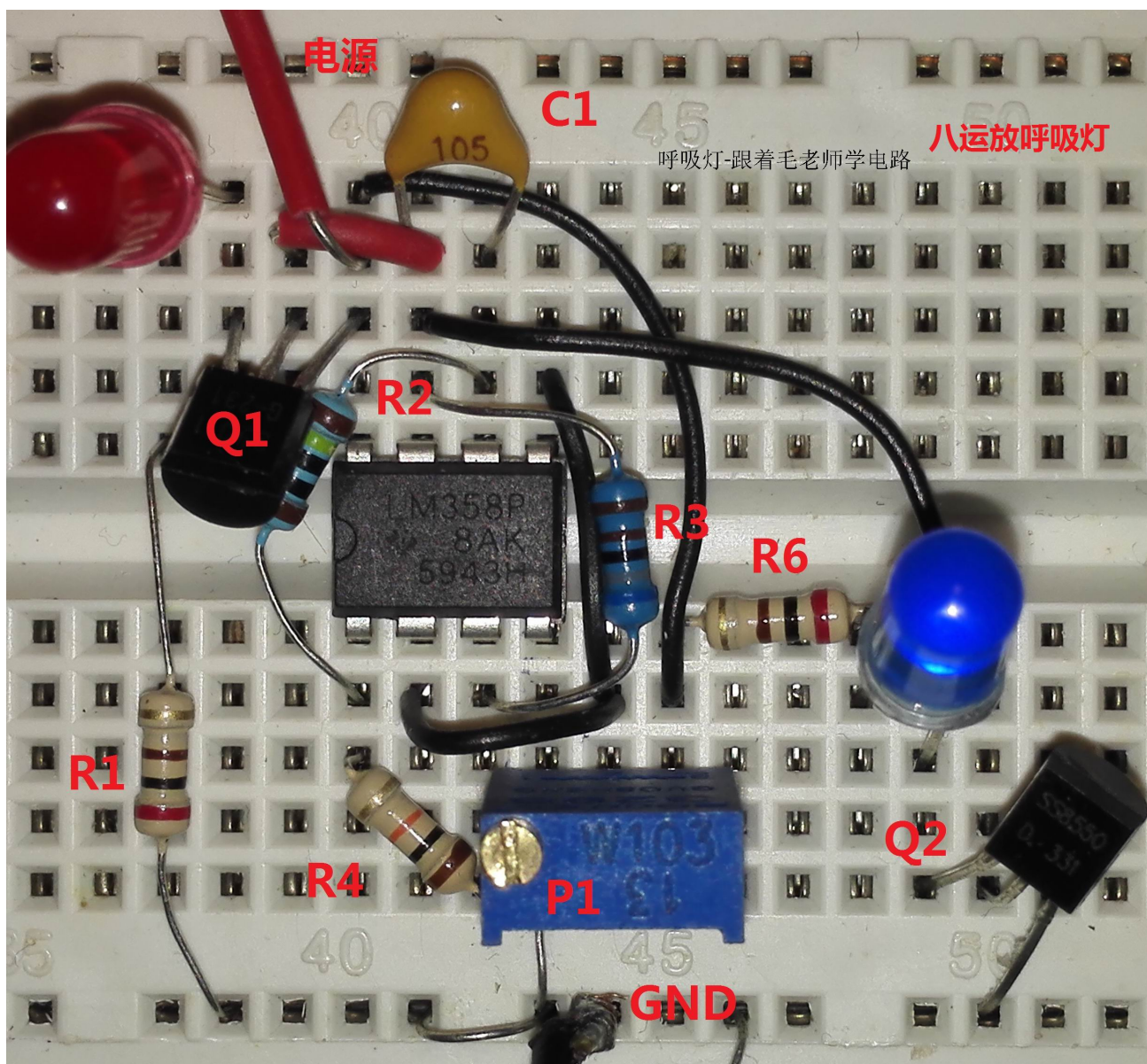


图3：高清实物图，照着做。

### 基本要求：

- 1：了解电路功能，默画整个电路图。记住电路里所有器件的参数。
- 2：对于LM358，在5V工作时，如果要求  $V_{in} \leq 1V$ ， $V_o$ 从 $V_H$ 跳 $V_L$ ； $V_{in} \geq 2V$ ， $V_o$ 从 $V_L$ 跳 $V_H$ ，如何设定图2左面比较器的 $R_3$ ， $R_f$ 和 $V_{ref}$ ？

讲课9分19秒。

这是呼吸灯的演示视频。



呼吸灯720c.mp4  
1.06MB

表1：器件清单

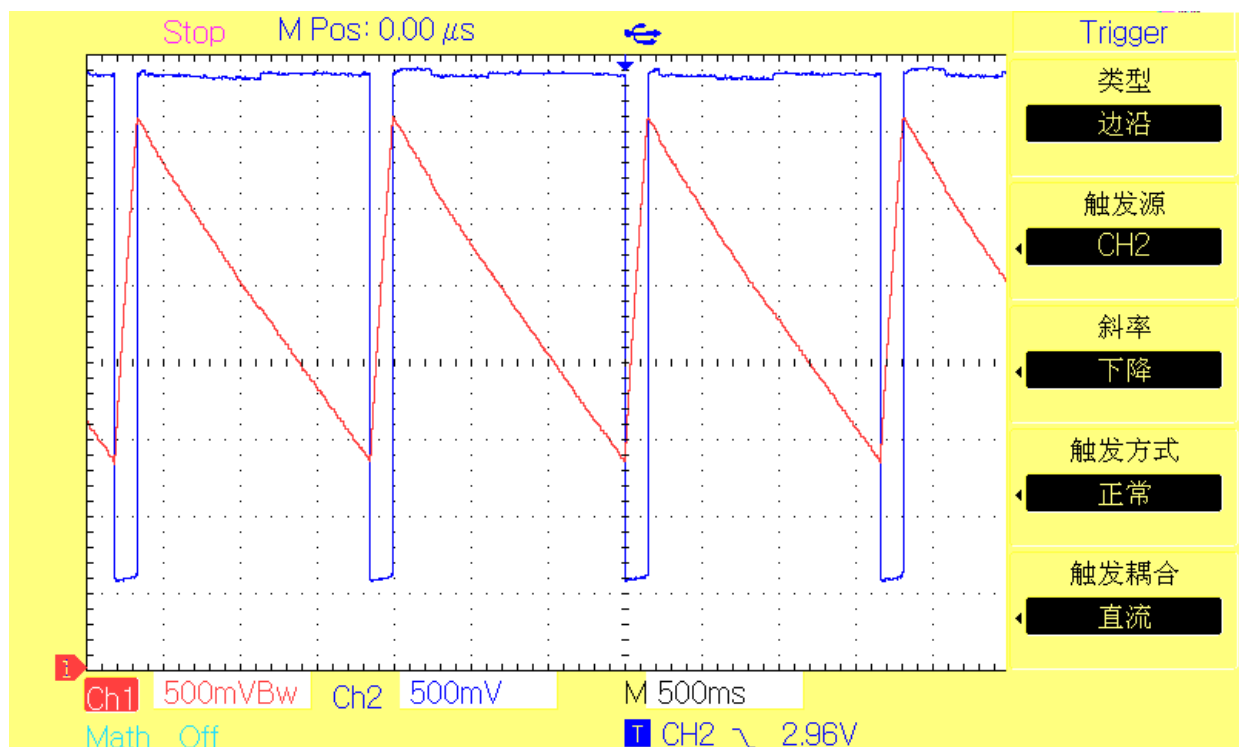
运放呼吸灯		备用元件	
元件	数量	元件	数量
220Ω电阻	2	LM358运算放大器	1
6K8Ω电阻	1		
10KΩ电阻	2		
1MΩ电阻	1		
10KΩ3296电位器	1		
220微法电解电容	1		
105独石电容	1		
8050三极管	1		
8550三极管	1		
发光二极管	1		
NE5532运放	1		

### 拓展实验任务：

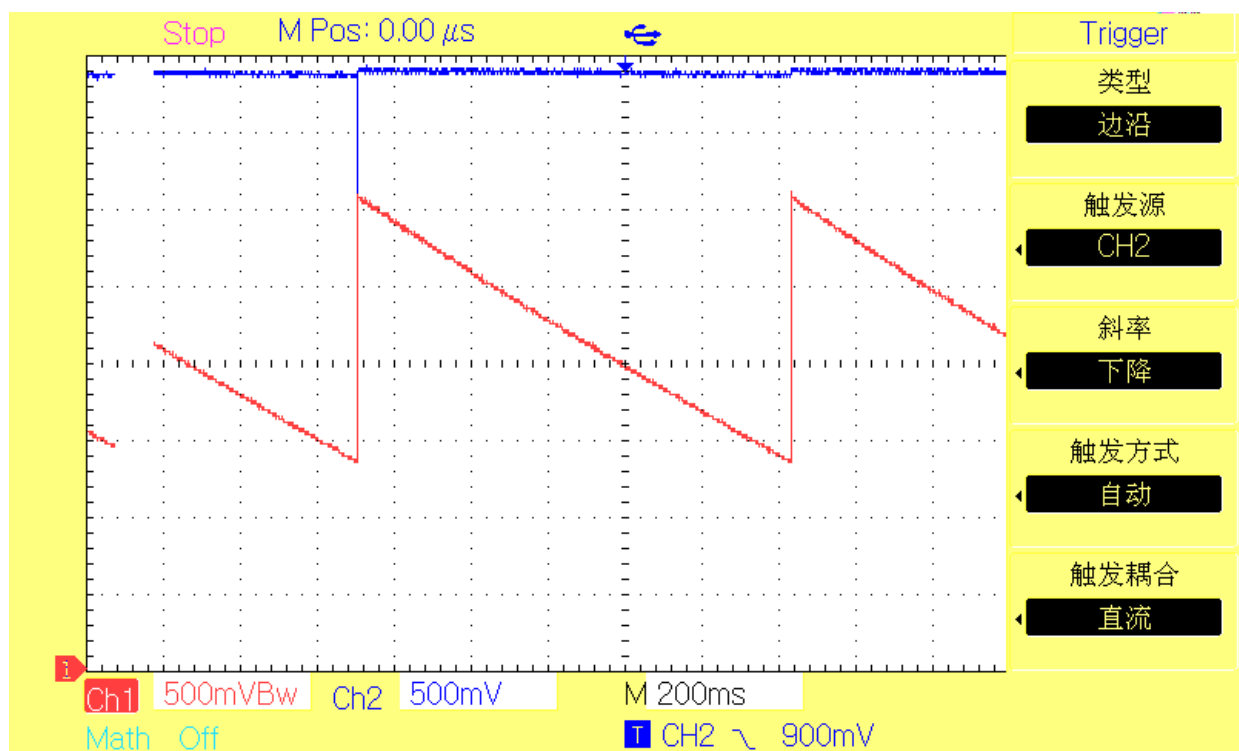
1：思考一下，在5V电源下，怎样产生波形图2，3，4的波形？给出电路实物照片和示波器波形，实验视频，画出电路图。电路图和照片一致，文字通顺，视频显示的功能合乎题目要求，即可满分6分。打包上传，文件名：网名+呼吸+日期。

2：怎样和4个LED的光柱韵律灯连接，产生LED逐个点亮，一起熄灭的光柱变化。画出电路图，给出电路实物照片和示波器波形，拍摄实验视频。电路图和照片一致，文字通顺，视频显示的功能合乎题目要求，即可满分10分。打包上传，文件名：网名+呼吸+日期。

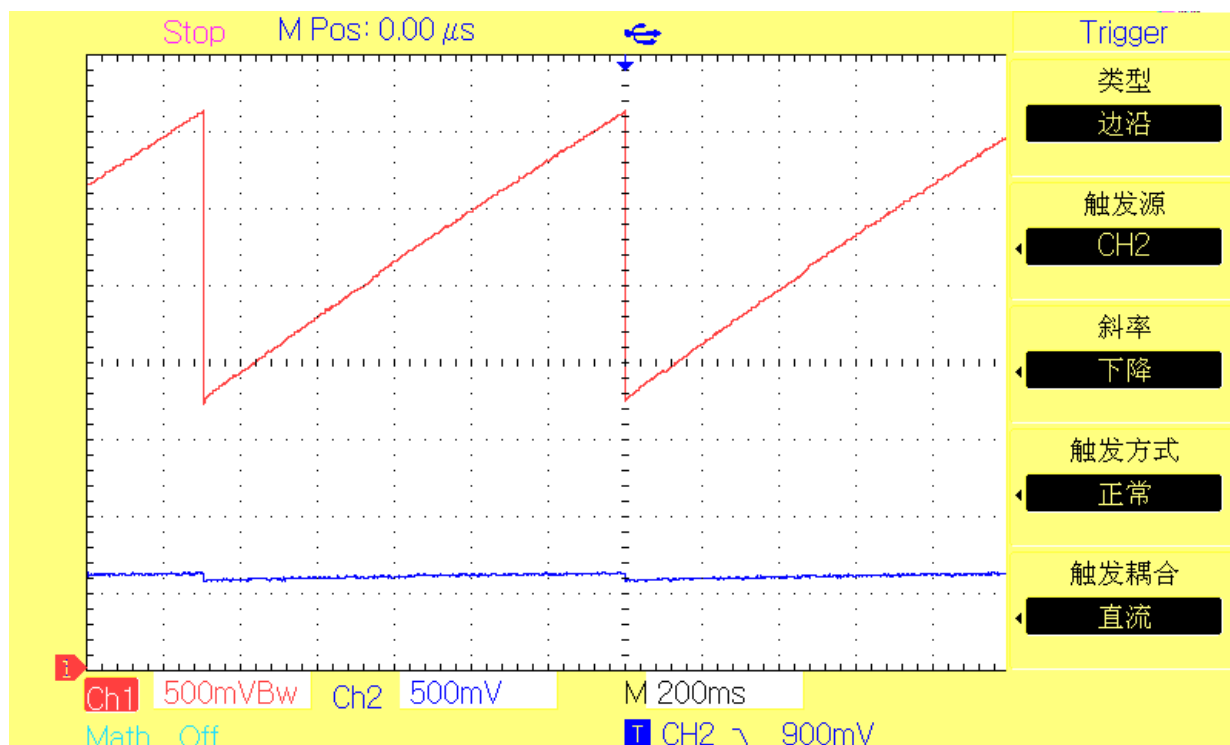
3：用运放接成施密特比较器配和光敏电阻，制作一个外界光暗点亮LED，外界光亮了关闭LED的电路。电筒代替自然光变化。画出电路图，给出电路实物照片和示波器波形，拍摄实验视频。电路图和照片一致，文字通顺，视频显示的功能合乎题目要求，即可满分10分。打包上传，文件名：网名+呼吸+日期。



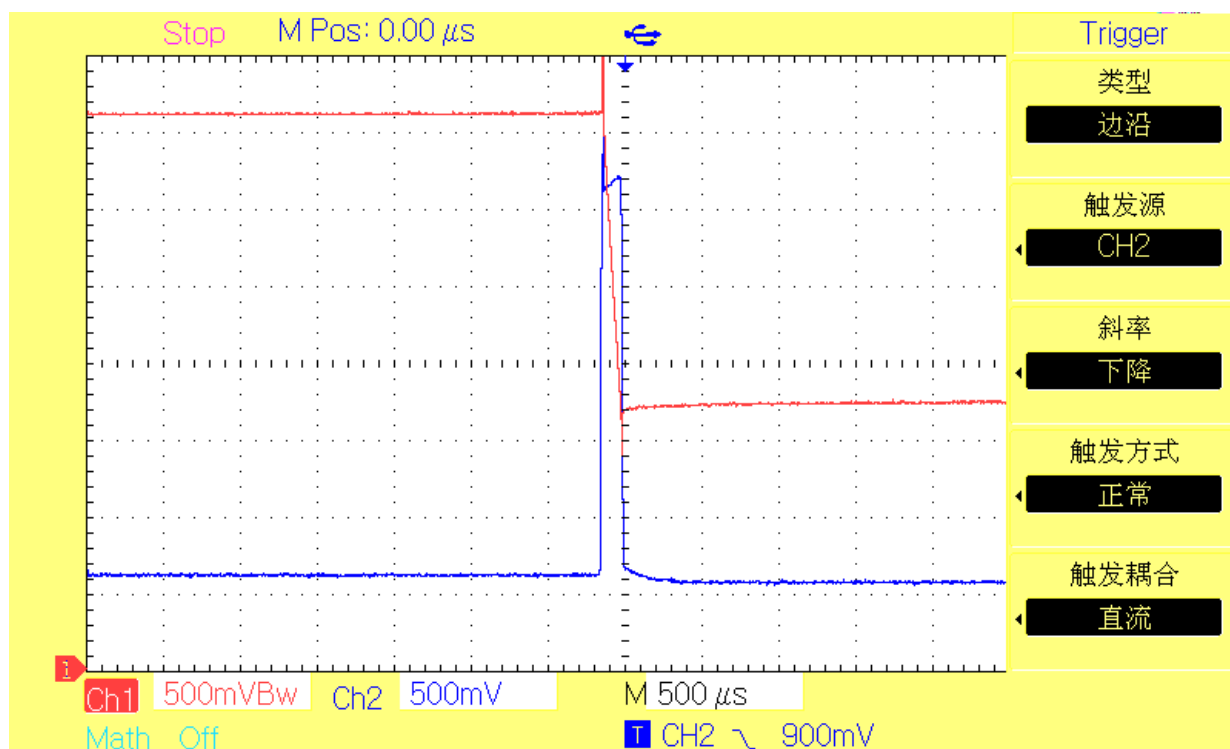
波形图2:



波形图3:



波形图4:



波形图5: