

用单电源双运放实现的呼吸灯实验报告

2200011477 李昊润 五班 1 号

2024 年 11 月 4 日

1 实验目的

1. 了解用单电源双运放 LM358 实现三角波发生器的原理及其应用。
2. 练习用示波器观测波形参数与多个波形对应关系的方法。

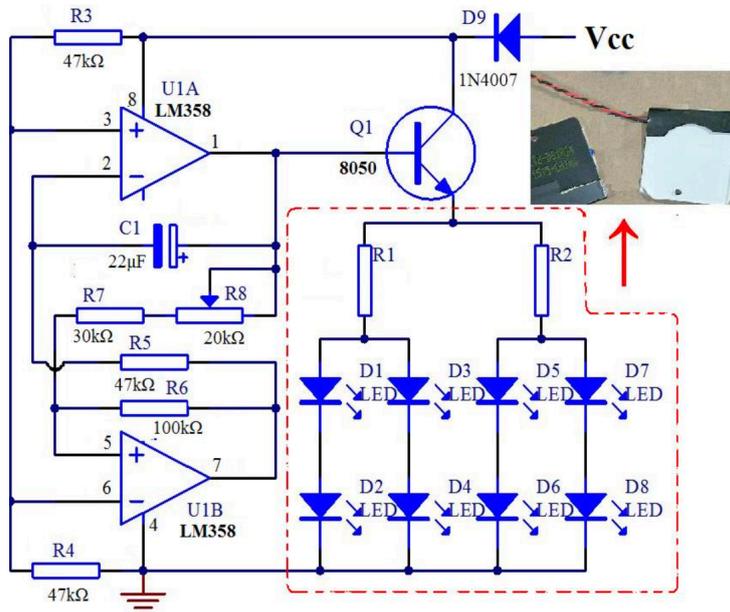
2 实验原理

使用双运放 LM358，其中一个运放实现方波发生器功能（由运放构成的迟滞比较器来完成），另外一个运放实现积分电路，把产生的方波变成三角波。由于集成运放不能提供很高的驱动电流，所以将运放的三角波输出再加一级晶体管放大以驱动 LED 实现呼吸灯效果。

3 实验仪器和设备

直流稳压电源，示波器，万用表，面包板，运算放大器，电位器，电阻，电容，二极管，三极管，LED 光模组等元器件。

4 电路图



5 数据记录和分析

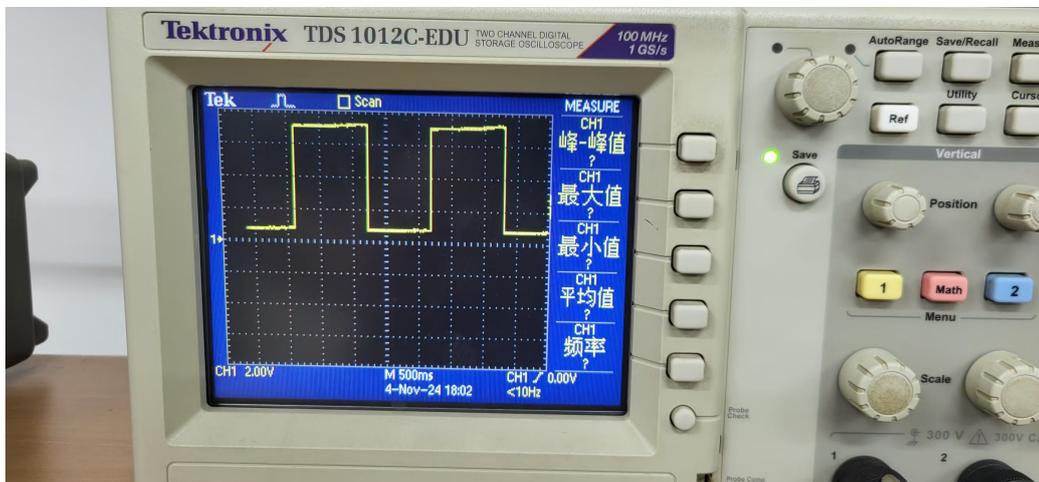
5.1 实验数据

实验用各电阻实测阻值：

$$\begin{cases} R_3 \approx R_4 \approx R_5 = 46.10 \text{ k}\Omega \\ R_6 = 101.92 \text{ k}\Omega \\ R_7 = 28.66 \text{ k}\Omega \\ R_9 = 0.98 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

本次实验中电位器电阻 $R_8 = 22.07 \text{ k}\Omega$ 。

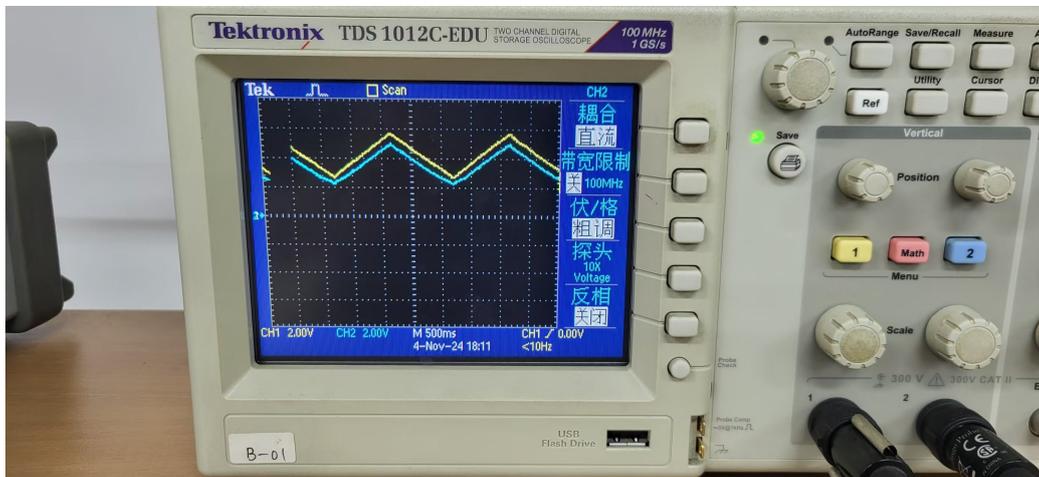
方波波形图：



由图可得：

峰峰值 $V_{pp1} = 6.4 \text{ V}$ ，最大值 $V_{max1} = 7.2 \text{ V}$ ，最小值 $V_{min1} = 0.8 \text{ V}$ ，平均值 $V_{av1} = 4.15 \text{ V}$ 。

三角波波形图：



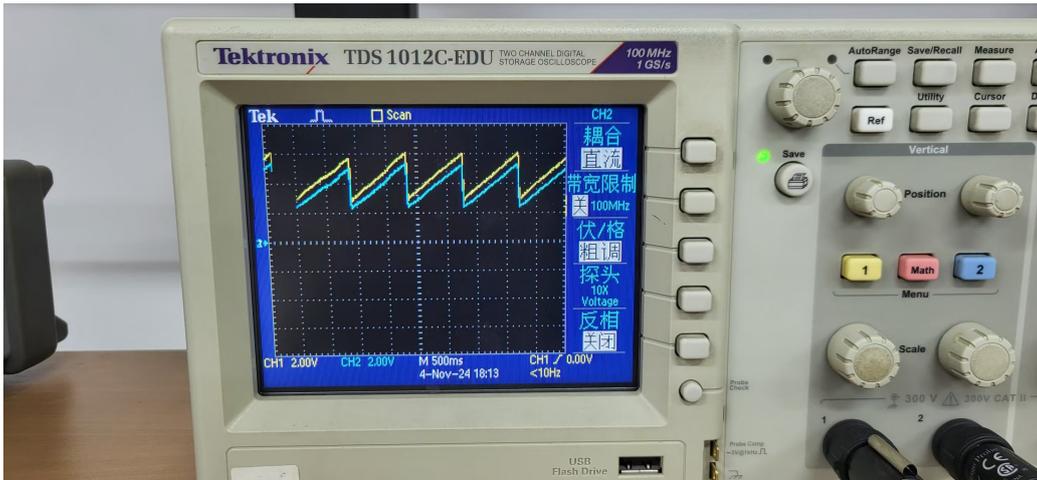
由图可得：

运放输出端：峰峰值 $V_{pp2} = 3.2\text{V}$ ，最大值 $V_{max2} = 5.9\text{V}$ ，最小值 $V_{min2} = 2.7\text{V}$ ，平均值 $V_{av2} = 4.3\text{V}$ ；

三极管发射极处：峰峰值 $V'_{pp2} = 3.0\text{V}$ ，最大值 $V'_{max2} = 5.1\text{V}$ ，最小值 $V'_{min2} = 2.1\text{V}$ ，平均值 $V'_{av2} = 3.6\text{V}$ 。

$$\text{测算得到的频率： } f = \frac{N}{T_N} = \frac{20}{39.88\text{s}} = 0.50\text{s}^{-1}.$$

锯齿波：



由图可得：

运放输出端：峰峰值 $V_{pp3} = 3.2\text{V}$ ，最大值 $V_{max3} = 6.0\text{V}$ ，最小值 $V_{min3} = 2.8\text{V}$ ，平均值 $V_{av3} = 4.4\text{V}$ ；

三极管发射极处：峰峰值 $V'_{pp3} = 3.0\text{V}$ ，最大值 $V'_{max3} = 5.4\text{V}$ ，最小值 $V'_{min3} = 2.2\text{V}$ ，平均值 $V'_{av3} = 3.8\text{V}$ 。

观察发现，此时呼吸灯的频率快了一倍左右，但效果变差。

实验中电压测量值：

$$\begin{cases} D_9 \text{ 右端电压测量值： } V'_{cc} = 9.2\text{V} \\ D_9 \text{ 左端电压测量值： } V_{cc} = 8.5\text{V} \\ \text{双运放中间电压： } \frac{1}{2}V_{cc} = 4.2\text{V} \end{cases}$$

5.2 与理论值进行分析比较

呼吸灯频率理论值： $f = \frac{R_6}{4R_5(R_7 + R_8)C} = 0.49\text{s}^{-1} \approx 0.5\text{s}^{-1}$ ，实验值与理论值符合很好。

三角波（锯齿波）和方波峰峰值的比值理论值： $\frac{U_T}{U_Z} = \frac{R_7 + R_8}{R_6} = 0.50 = \frac{3.2\text{V}}{6.4\text{V}}$ ，实验值与理论值符合很好。

单电源供电时三角波、方波的平均值直流分量与 $\frac{1}{2}V_{cc}$ 电压的偏差分别为 -0.2V 和 0.1V ，均偏差较小。

观察到 LM358 运放的最大输出电压 $+U_z$ 比芯片电源电压 V_{cc} 小了 $V_{cc} - U_z = 1.3\text{V} \approx 1.5\text{V}$ 。

观察到运放有效电源电压 V_{cc} 比电源电压 V'_{cc} 低了 $V'_{cc} - V_{cc} = 0.7\text{V}$ 大约低一个 PN 结的压降；三极管集电极输出三角波的电压比运放输出的三角波小了 $V_{av2} - V'_{av2} = 0.7\text{V}$ 大约小了 V_{be} 。

由于 LM358 不是轨到轨运放，输出最大信号电压比电源电压低的较多，导致三角波和方波的波形与理论推导图比起来有差异，由图可见，方波占空比不是 50%，三角波上升下降段也不完全对称。

6 问题讨论

1. 兼而有之，第一个运放方波发生器运用了非线性特性，第二个运放积分运算器运用了线性特性。

2. 调节分压电路，令 $\frac{R_3}{R_4} = \frac{23}{11}$ ，使得 $\frac{1}{2}V_{cc}$ 电压升高 1.5V ，输出最大信号电压和电源电压相同，以输出类似理论推导的理想方波和三角波。