

# 浙江大学实验报告

专业：信息工程  
姓名：李昕  
学号：3230103034  
日期：2024 年 12 月 24 日  
地点：东 4-216

课程名称：电子电路设计实验 I  
实验名称：集成运算放大器应用电路研究 II  
指导老师：施红军, 叶险峰, 邓靖靖  
实验类型：设计型实验  
成绩：  
同组学生姓名：补做

## 一、实验目的

- 掌握运放在开环、正反馈下的工作特点。
- 掌握比较器电路的电路构成及其工作原理。
- 掌握方波、三角波和正弦波发生器的电路构成及其工作原理。

## 二、实验理论基础

### 1. 反向积分器

#### 1.1 基本原理

电路如下图所示。数值关系：

- 输出电压  $V_o$ :  $V_o(t) = -\frac{1}{C} \int_0^t \frac{V_i(t)}{R_1} dt = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t V_i(t) dt$
- 当输入信号为一阶跃信号时,  $V_i(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ E, & t \geq 0 \end{cases}$ ;  $V_o(t) = -\frac{E}{R_1 C} t$

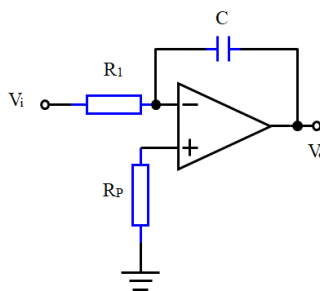


图 1: 反向积分器

#### 1.2 积分漂移及积分误差

- 输入信号的直流分量、输入失调电压等会形成积分漂移。

- 实际使用时，常在积分电容的两端并联一个电阻  $R_f$ ，形成直流负反馈，用以限制电路的直流电压增益。
- $R_f$  的接入将对积分电容产生分流作用，从而导致积分误差。
- 为了减小积分误差，一般要求  $R_f \gg 1/(j\omega C)$ ，或  $f \gg (1/2\pi R_f C)$ ，此时  $R_f$  可认为开路（理想积分器）。由  $R_f \gg \frac{1}{2\pi f C}$  以及  $2B = \frac{A}{R_1 C} \frac{T}{2} \Rightarrow R_f \gg \frac{2B}{\pi A} R_1$ ，通常取  $R_f > 10R_1$ 。

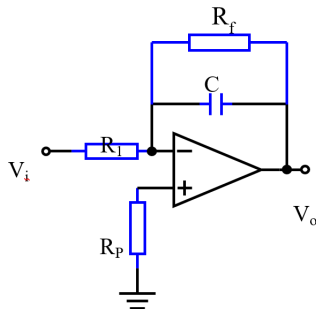


图 2: 修正积分漂移

## 2. 迟滞比较器

- (1) 当  $V_6 = V_{OH}$  时,  $V'_+ = \frac{R_{43}}{R_{43}+R_{44}}(V_{Z2} + V_{D1}) + \frac{R_{44}}{R_{43}+R_{44}}V_{42i}$
- (2) 当  $V_6 = V_{OL}$  时,  $V''_+ = -\frac{R_{43}}{R_{43}+R_{44}}(V_{Z1} + V_{D2}) + \frac{R_{44}}{R_{43}+R_{44}}V_{42i}$
- (3) 当  $V_6 = V_{OH}$  时,  $V'_+ = \frac{R_{43}}{R_{43}+R_{44}}(V_Z + V_D) + \frac{R_{44}}{R_{43}+R_{44}}V_{42i}$ 
  - 要使输出稳定为  $V_{OH}$ ,  $V'_+ > 0, V_{42i} > -\frac{R_{43}}{R_{44}}(V_Z + V_D) = -V_{TH}$
  - 要使输出翻转为  $V_{OL}$ ,  $V'_+ < 0, V_{42i} < -V_{TH}$
- (4) 当  $V_6 = V_{OL}$  时,  $V''_+ = -\frac{R_{43}}{R_{43}+R_{44}}(V_Z + V_D) + \frac{R_{44}}{R_{43}+R_{44}}V_{42i}$ 
  - 要使输出稳定为  $V_{OL}$ ,  $V''_+ < 0, V_{42i} < V_{TH}$
  - 要使输出翻转为  $V_{OH}$ ,  $V''_+ > 0, V_{42i} > V_{TH}$

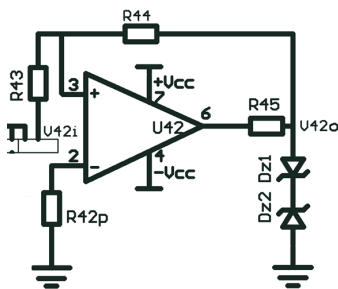


图 3: 迟滞比较器

$V_{TH} = \frac{R_{43}}{R_{44}}(V_Z + V_D)$  理论的传输特性曲线:

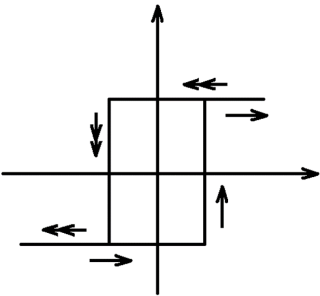


图 4: 理论传输特性曲线

理论的波形曲线：

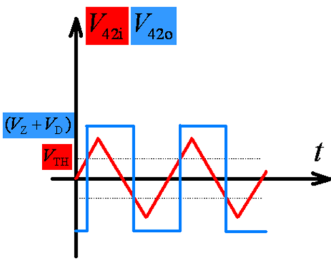


图 5: 理论波形

3. 方波、三角波发生器

3.1 实验电路

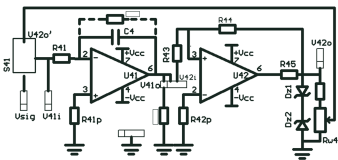


图 6: 发生器实验电路

实验波形：

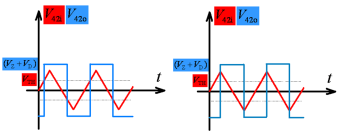


图 7: 发生器实验波形

三、 实验仪器设备

(1) 电路板

(2) 信号发生器

(3) 示波器

#### 四、实验设计与测试步骤、数据记录

##### 1. 反相积分器设计研究

反相积分器电路如下：

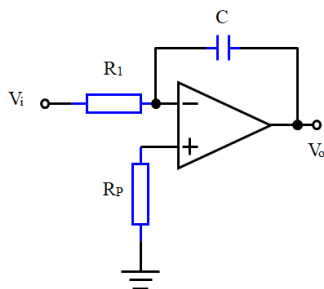


图 8: 反向积分器

##### 1.1 理论计算

**设计要求** 设计反相积分电路，将方波转换为三角波。其中方波幅度 2.2V、频率 500Hz，三角波幅度 2V 左右

##### 计算过程

(1) 由理论部分，此处  $B = 2, A = 2.2, T = \frac{1}{500}$ ，取  $C = 0.022\mu F \Rightarrow R_1 = \frac{AT}{4BC} = 25K\Omega$ ；对比标称值，取  $R_1 = 24k\Omega$

(2) 由  $R_f \gg \frac{2B}{\pi A} R_1 \Rightarrow R_f \gg 13.890k\Omega$ . 且  $R_f > 10R_1 = 240k\Omega$ ，对比标称值可取  $R_f = 270k\Omega$

##### 1.2 波形测量

安装该电路，输入方波，用示波器双踪显示输入、输出波形，测量并记录波形。实验波形如下：



图 9: 实验波形

## 2. 迟滞比较器设计研究

实验电路图如下：

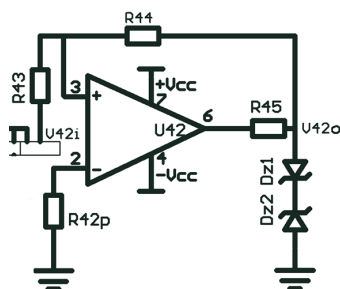


图 10: 迟滞比较器

### 2.1 理论计算

由 < 理论部分 >,  $V_{TH} = \frac{R_{43}}{R_{44}}(V_Z + V_D) \Rightarrow \frac{R_{43}}{R_{44}} = \frac{1}{2}$ . 因此取  $R_{43} = 100k\Omega$ ,  $R_{44} = 200k\Omega$

### 2.2 波形测量

实验中波形图如下：

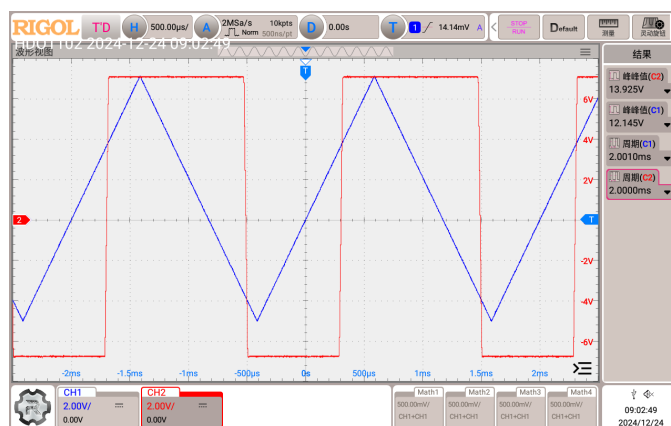


图 11: 波形图

安装电路，输入 500Hz 三角波，观察输入、输出信号。

- (1) 幅度关系: 三角波的输入峰峰值为  $V_{pp} = 14V$ , 输出的方波峰峰值为  $V_{pp} = 13.925V$ , 输入输出波形峰峰值较为接近, 且读图可发现在  $\pm 4V$  处相交
- (2) 相位关系: 无特定关系, 方波的形状还是主要由“在  $\pm 4V$  处相交”这一特性来决定

## 3. 方波-三角波发生器研究

断开迟滞比较器信号输入，搭建方波-三角波发生电路，调节电位器  $R_{w4}$ ，可产生不同频率方波、三角波。观察电压  $V_{42o}$  与输出信号频率的关系。实验产生的波形如下：



图 12: 波形

### 3.1 定性观察频率与 $V_{41i}$ 的关系

为了观察，将 CH2 接到  $V_{41i}$  位置，其测得的  $V_{pp}$  值可反应  $V_{41i}$  处的电压：

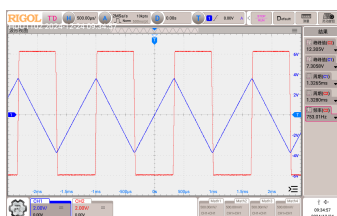


图 13: 测量 1

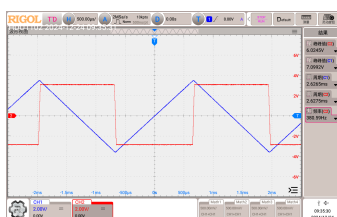


图 14: 测量 2

实验测得的对应关系如下：

$V_{pp}$	$f$
12.068V	739.91Hz
9.1701V	570.28Hz
6.0341V	380.59Hz

表 1:  $v_{41i}$  与频率的关系表

因此， $f$  越大， $V_{42o'}$  越大。

### 3.2 频率范围

调节  $R_{w4}$ ，输出波形  $V_{42o'}$  频率不断增大，到达一个值时保持不变，此时  $f_{max} = 844.16Hz$

## 五、心得与体会

本次实验中学习了滞回比较器和反向积分器的基本原理，并且进行了电路的搭建，观察了产生的波形；最后用这两个电路居然能够实现方波-三角波发生电路，进行波形转换。

## 六、思考题

### 1. 反相输入滞回比较器与同相输入滞回比较器的传输特性曲线有何不同？

- 反相输入滞回比较器: 输入信号连接到比较器的反相输入端, 当输入电压从高到低低于负向阈值时, 输出电压会跳变到高电平; 当输入电压从低到高超过正向阈值时, 输出电压会跳变到低电平。正向阈值通常高于负向阈值, 这样就形成了一个滞回区域, 防止输出在输入电压小幅度波动时频繁翻转。
- 同相输入滞回比较器: 输入信号直接连接到比较器的同相输入端, 当输入电压从低到高超过正向阈值时, 输出电压会跳变到高电平; 当输入电压从高到低低于负向阈值时, 输出电压会跳变到低电平。

### 2. 为什么说过零比较器的抗干扰能力差, 怎样改进提高比较器抗干扰能力？

- (1) 过零比较器的抗干扰能力较差, 主要是因为当输入信号在门限值附近有微小干扰波动时, 输出电平就会产生相应的起伏, 导致系统不稳定。
- (2) 提高抗干扰能力: 在比较器的输入端增加滤波电路, 如低通滤波器, 可以减少高频噪声对比较器输入的影响。

### 3. 如何用运放产生锯齿波？

可以使用积分器电路可以产生锯齿波。当方波输入到积分器时, 运放的输出将随时间积分输入信号,  $V_{\text{out}}(t) = -\frac{1}{RC} \int V_{\text{in}}(t) dt$  当充放电时间足够短的时候, 可以形成锯齿状的波形。