

浙江大学

本科实验报告

课程名称： 电子电路设计实验 I

姓 名： 王英杰

学 院： 信息与工程学院

系：

专 业： 信息工程

学 号： 3190103370

指导教师： 李锡华 叶险峰 施红军

20 21 年 1 月 6 日

浙江大学实验报告

专业： 信息工程
姓名： 王英杰
学号： 3190103370
日期： 2020/1/6
地点： 东四-216

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

一、实验目的

- 1、学习和研究由集成运放构成的积分器、比较器、波形发生器等应用电路的组成与原理，掌握其设计方法。
- 2、观察积分运算电路在实际应用时存在的积分漂移、积分误差等现象，了解解决方法。

二、实验理论基础

(1) 反相积分器

假设集成运放为理想运放，并设电容两端初始电压为零，

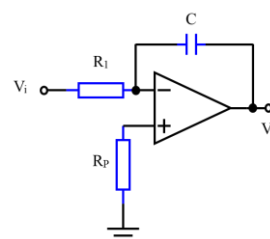
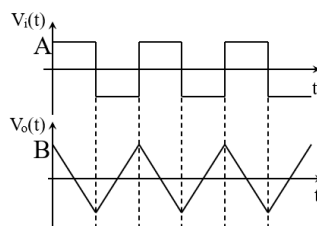
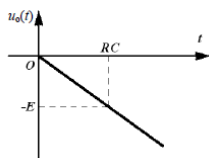
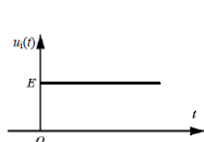
则输出电压为：

$$u_o(t) = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t u_i(t) dt$$

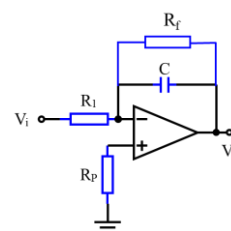
当输入信号为一阶跃信号时，如： $u_i(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ E, & t \geq 0 \end{cases}$

则有：

$$u_o(t) = -\frac{E}{R_1 C} t$$



$$2B = \frac{A}{R_1 C} \frac{T}{2}$$



• 积分漂移及积分误差

- ①输入信号的直流分量、输入失调电压等会形成积分漂移。
- ②实际使用时，常在积分电容的两端并联一个电阻 R_f （如右图），形成直流负反馈，用以限制电路的直流电压增益。
- ③ 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。

- ④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）。

通常取 $R_f > 10R_1$ ，不能太大

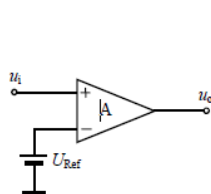
$$\left. \begin{aligned} R_f &\gg \frac{1}{2\pi f C} \\ 2B &= \frac{A}{R_1 C} \frac{T}{2} \end{aligned} \right\} R_f \gg \frac{2B}{\pi A} R_1$$

(2) 迟滞比较器

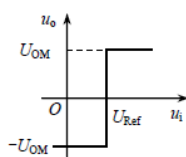
• 运放在开环或正反馈下，它工作在限幅区（非线性工作区），这时运放有两个重要特点。

- ①运放的两个输入端输入电流为零。
- ②运放的两个输入端不一定是等电位，运放的输出状态在两个输入端等电位时发生翻转，即：当 U_- 由小于 U_+ 变至等于（稍大于） U_+ 时，运放由正向限幅状态突变为负向限幅状态；当 U_- 由大于 U_+ 变至等于（稍小于） U_+ 时，运放由负向限幅状态突变至正向限幅状态。

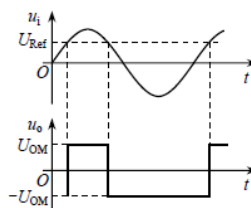
运放只是在正向限幅和负向限幅两种状态转换瞬间经过线性工作区。



(a) 开环比较器



(b) 传输特性



(c) 波形变换

实验名称：集成运算放大器应用电路研究（II）姓名：王英杰 学号：3190103370

比较器结构简单，灵敏度高，但抗干扰能力差。如果引入正反馈，可以构成具有滞后传输特性的滞回比较器，也称为施密特触发器。

$$\textcircled{1} \text{ 当 } V_6=V_{OH} \text{ 时, } V'_+ = \frac{R_{43}}{R_{43}+R_{44}}(V_{Z2}+V_{D1}) + \frac{R_{44}}{R_{43}+R_{44}}V_{42i}$$

要使输出稳定为 V_{OH} , $V'_+ > 0$

$$V_{42i} > -\frac{R_{43}}{R_{44}}(V_Z+V_D) \stackrel{def}{=} -V_{TH}$$

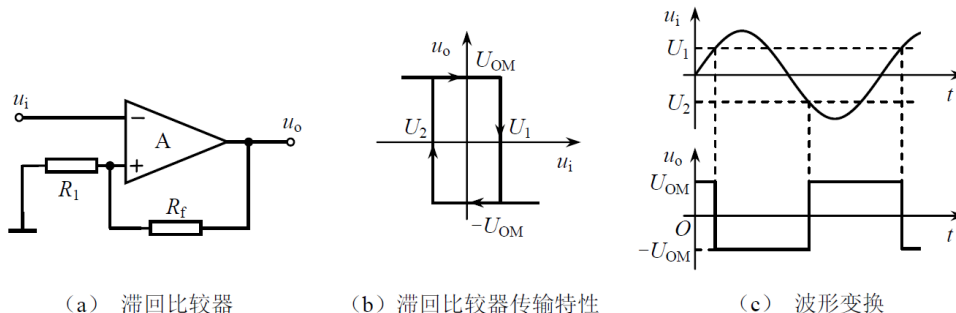
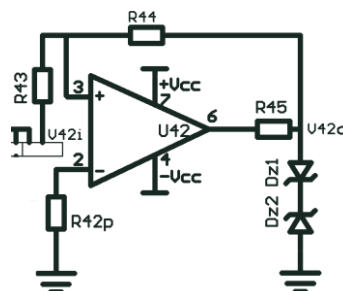
要使输出翻转为 V_{OL} , $V'_+ < 0$ $V_{42i} < -V_{TH}$

$$\textcircled{2} \text{ 当 } V_6=V_{OL} \text{ 时, } V''_+ = -\frac{R_{43}}{R_{43}+R_{44}}(V_{Z1}+V_{D2}) + \frac{R_{44}}{R_{43}+R_{44}}V_{42i}$$

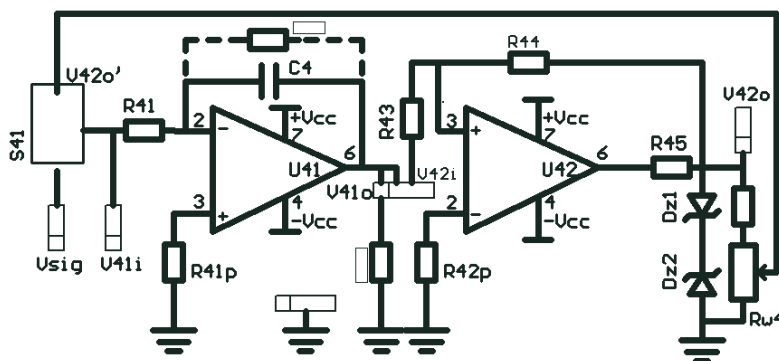
要使输出稳定为 V_{OL} , $V''_+ < 0$ $V_{42i} < V_{TH}$ 要使输出翻转为 V_{OH} , $V''_+ > 0, V_{42i} > V_{TH}$

③双向稳压管，满足

$$V_{42o} = \pm(V_Z+V_D) \quad V_Z \approx 0.7V \quad V_D \approx 6.2V$$



(3) 方波、三角波发生器电路



左半部分为积分电路、右半部分为迟滞比较电路，实现方波-三角波的相互转化；
调节电阻 R_{w4} 可调节方波、三角波的频率

三、实验方案设计与实验参数计算

(1) 反相积分器

要求：设计反相积分电路，实现方波→三角波。

方波 幅度 2.2V、频率 500Hz

三角波 幅度 2V 左右

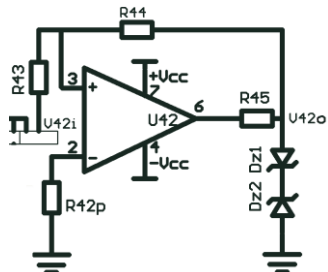
由 $2B = \frac{A}{R_1 C} T$ ，计算可得 $R_1 = 2.5K\Omega$ ，取标称值 $R_1 = 2.4K\Omega$ ，直流负反馈电阻 $R_f = 39K\Omega$

实验名称：集成运算放大器应用电路研究（II）姓名：王英杰 学号：3190103370

（2）迟滞比较器设计

要求：

- 设计一迟滞比较器，使 $V_{TH} \approx \frac{1}{2}(V_Z + V_D)$ ，允许使用电阻值在 $20k\Omega \sim 400k\Omega$ 之间。
- 安装电路，输入 $500Hz$ 三角波（幅度合理自定），研究输入、输出信号的幅度、相位关系。



$$\text{由式子 } V_{TH} = \frac{R_{43}}{R_{44}}(V_Z + V_D) \quad \text{取} \quad \frac{R_{43}}{R_{44}} = 0.5$$

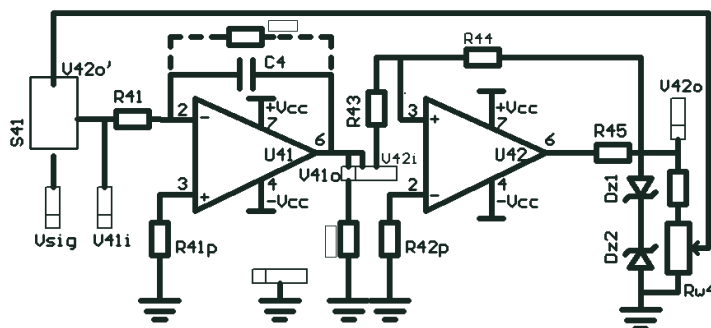
由于电阻值要求在 $20k\Omega \sim 400k\Omega$ 之间按，
取标称值

$$R_{43} = 75K\Omega, R_{44} = 150K\Omega$$

（3）方波-三角波发生器

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 $Rw4$ ，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，测量并记录可调频率范围。

实验过程中，由左部分的积分电路将方波信号转化为三角波信号，输出的三角波信号通过连接线作为右半部分电路的输入信号。右半部分接收三角波信号后，即将其处理为方波信号。两个处理过程的原理与实验 1、2 相同。因此通过这个方波-三角波转换电路，可以在无外接输入源的前提下实现方波、三角波信号的输出。



四、主要仪器设备

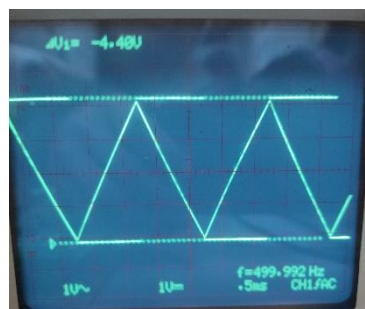
积分器及波形发生电路实验电路板、示波器、直流稳压电源、信号发生器

五、实验步骤、实验调试过程、实验数据记录

（1）反相积分器

实验步骤：

- 选取电阻 $R1=2.4k\Omega$, $Rf=39k\Omega$, 实际测得 $R1=2.36k\Omega$, $Rf=38.6k\Omega$
- 调节信号发生器，输出 $500Hz$ ，幅度 $2.2V$ 的方波
- 使用双踪示波器观察信号输入和输出



方波信号： $V_{ip-p} = 4.40V$ 幅度 $2.20V$

三角波： $V_{op-p} = 4.20V$ 幅度 $2.10V$

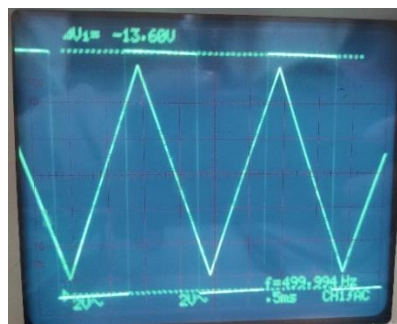
周期 $T = 2.000ms$

实验名称：集成运算放大器应用电路研究（II）姓名：王英杰 学号：3190103370

（2）迟滞比较器

实验步骤：

- 1、取 $R_{43} = 75\text{k}\Omega$, $R_{44} = 150\text{k}\Omega$, 实际测得 $R_{43} = 76.4\text{k}\Omega$, $R_{44} = 148.1\text{k}\Omega$
- 2、调节信号发生器，输出 500Hz 三角波
- 3、使用示波器双踪观察输入输出信号



三角波： $V_{ip-p} = 12.00\text{V}$ 幅度 6.00V
 方波： $V_{op-p} = 13.60\text{V}$ 幅度 6.80V

周期： $T = 2.000\text{ms}$
 相位差： $\Delta t = 0.2000\text{ms}$
 $\Delta \Phi = \Delta t / T * 2\pi = 0.2\pi$
 $V_{TH} = 3.56\text{V}$

输入、输出信号幅度、相位关系：

当输入信号大于阈值 V_{TH} 时，输出信号变为高电平；反之，当输入信号低于阈值 $-V_{TH}$ 时，输出信号变为低电平。

实验中输入信号为三角波，当三角波电压达到阈值 V_{TH} ，并且维持在大于 $-V_{TH}$ 时，其输出信号维持在高电平状态，两者的相位差产生的原因在于：当三角波电压达到阈值 V_{TH} 时，其电压仍未达到峰值。相位差满足关系式

$$\Delta \Phi = \frac{V_{ip} - V_{TH}}{4V_{ip}} \times 2\pi$$

其中 V_{ip} 表示输入信号幅度，实验中所得结果与该式相符合。

（3）方波-三角波发生器

实验步骤：

- 1、断开迟滞比较器信号输入，搭建方波-三角波发生电路（用跳线帽将积分电路与迟滞比较器连接）
- 2、调节电位器，产生不同频率的方波、三角波
- 3、观察电压 $V_{420'}$ 与输出信号的关系，测量并记录可调频率范围。

实验测得：频率最高为 865Hz，此时 $V_{420'} = 12.80\text{V}$ ，发生器可调的频率范围为 0~865Hz

当方波幅度增大，其频率也会增大，两者比值基本保持不变。

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
$V_{420'}(\text{V})$	12.8	12.2	10.48	8.88	7.04	5.28	3.56	1.68
$f(\text{Hz})$	865.0	824.3	700.1	603.4	475.7	356.8	241.9	116.2
V/f	0.0148	0.0148	0.0150	0.0147	0.0148	0.0148	0.0147	0.0145

六、讨论、心得

本次实验研究了积分电路与迟滞比较器，两者可实现三角波与方波的相互转换。实验三中的电路可不依靠信号源得到三角波与方波信号，为日后设计电路提供了一种选择，但其最高频率约为 1KHz，使得其应用范围局限于低频电路。本次实验加深了对运算放大器的认识，了解了更多关于运放的应用，收获颇丰。