

# 集成运算放大器的应用实验报告

2200011477 李昊润 五班 1 号

2024 年 11 月 4 日

## 1 实验目的

1. 通过实验了解运算放大器的基本特性。
2. 学习并掌握运算放大器的运算关系和应用。

## 2 实验原理

集成运算放大器是一种性能优良的直接耦合放大器，又是一种通用性很强的多功能部件，由于其日益广泛的应用，学习其原理和应用是基本的电子线路内容。

在分析各种应用电路的原理时，通常把运放看作是理想的：这样处理使电路分析大为简化，而且所得结果与实际情况相当一致。理想运放有以下主要特性：

1. 开环电压放大倍数  $A_{VO} = \infty$ ；
2. 差模输入电阻  $R_{ID} = \infty$ ，共模输入电阻  $R_{IC} = \infty$ ；
3. 输出电阻  $R_O = 0$ ；
4. 共模抑制比  $K_{CMR} = \infty$ ；
5. 输入失调电压、输入失调电流以及它们的漂移均为零。

实际运算放大器并非完全符合这些，但这些指标标志运算放大器的生产方向。

当理想运放工作在线性区，即输出电压与输入电压呈线性关系时，利用它的理想化参数可导出下面两个重要结论，即理想运放的特点：

1. 运放的输入电流  $i = 0$ ；即虚断路；
2. 运放的差动输入电压  $v_+ - v_- = 0$ ；即虚短路。

运算放大器的运算应用正是其工作在线形区的情况。

利用运算放大器可以实现以下各种运算或功能，本实验选择其中的一部分进行电路搭建与数据的收集和分析：

(一) 加减运算：

1. 反相比例运算
2. 同相比例运算

3. 加法运算
  4. 加减比例运算
- (二) 有源滤波器:
1. 低通滤波器
  2. 高通滤波器
  3. 带通滤波器
- (三) 微积分运算:
1. 积分运算
  2. 微分运算
- (四) 桥式正弦波振荡器

### 3 实验仪器和设备

直流稳压电源, 示波器, 信号发生器, 万用表, 面包板, 运算放大器, 电位器, 电阻, 电容等元器件。

### 4 数据记录和分析

#### 4.0 实验用各电阻阻值

$$R_p = 8.16 \text{ k}\Omega$$

$$R_1/R'_1 = 9.78 \text{ k}\Omega \quad R'_2 = 9.56 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 19.40 \text{ k}\Omega \quad R_3 = 19.69 \text{ k}\Omega$$

$$R_F = 43.19 \text{ k}\Omega$$

$$\text{桥式正弦波振荡器电位器电阻: } R_{F1} = 2.04 \text{ k}\Omega \quad R_{F2} = 1.95 \text{ k}\Omega$$

#### 4.1 加减运算

##### 4.1.1 反相比例运算

实验:  $u_i = 620 \text{ mV}$ ,  $u_o = -2.88 \text{ V}$ , 输出信号反相。

理论:  $u_o = -\frac{R_F}{R_1} u_i = -2.74 \text{ V}$ , 实验和理论符合较好。

##### 4.1.2 加法运算

实验:  $u_i = 620 \text{ mV}$ ,  $u_o = -4.30 \text{ V}$ , 输出信号反相。

理论:  $u_o = -\left(\frac{R_F}{R_1} u_{i1} + \frac{R_F}{R_2} u_{i2}\right) = -4.12 \text{ V}$ , 实验和理论符合较好。

##### 4.1.3 加减法运算

实验:  $u_i = 620 \text{ mV}$ ,  $u_o = -2.88 \text{ V}$ , 输出信号反相。

理论:  $u_o = -\left(\frac{R_F}{R_1} u_{i1} + \frac{R_F}{R_2} u_{i2} - \frac{R_F}{R_3} u_{i3}\right) = -2.74 \text{ V}$ , 实验和理论符合较好。

## 4.2 有源滤波器

### 4.2.1 低通滤波器

表 1: 有反馈时低通滤波器的幅频关系数据

$f/\text{Hz}$	$u_o/\text{mV}$	$u_i/\text{mV}$
10	860	900
50	800	900
70	720	900
80	700	900
90	660	900
100	620	900
110	600	900
150	480	900
200	360	900
300	200	900
500	120	900
1000	80	900

实验:  $f_H \approx 95 \text{ Hz}$ 。

理论:  $f_H = \frac{\sqrt{\sqrt{2}-1}}{2\pi RC} = 102 \text{ Hz}$ , 实验值相比于理论值稍小。

表 2: 无反馈时低通滤波器的幅频关系数据

$f/\text{Hz}$	$u_o/\text{mV}$	$u_i/\text{mV}$
10	840	900
30	760	900
50	640	900
60	600	900
70	560	900
80	520	900
90	480	900
100	440	900
110	400	900
150	320	900
200	240	900
300	160	900
500	120	900
1000	80	900

实验:  $f_H \approx 50 \text{ Hz}$ 。

理论:  $f_H = \frac{\sqrt{(\sqrt{53}-7)/2}}{2\pi RC} = 60 \text{ Hz}$ , 实验值相比于理论值稍小。

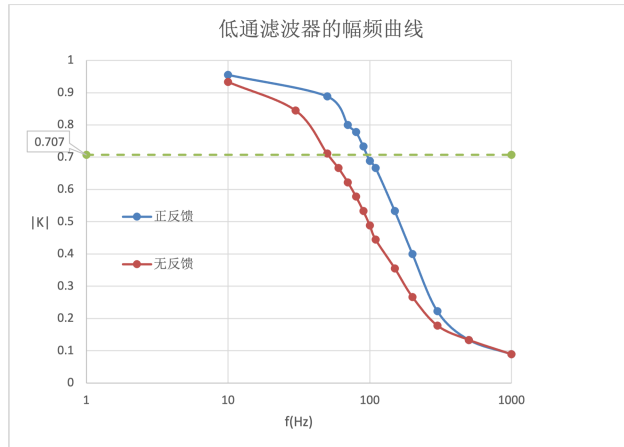


图 1: 低通滤波器的幅频曲线

#### 4.2.2 高通滤波器

表 3: 高通滤波器的幅频关系数据

$f/\text{Hz}$	$u_o/\text{mV}$	$u_i/\text{mV}$
100	260	880
150	440	880
200	540	880
210	560	880
220	580	880
250	620	880
300	680	880
400	760	880
600	800	880
800	820	880
1000	840	880

实验:  $f_L \approx 210 \text{ Hz}$ 。

理论:  $f_L = \frac{\sqrt{\sqrt{2}+1}}{2\pi RC} = 247 \text{ Hz}$ , 实验值相比于理论值稍小。

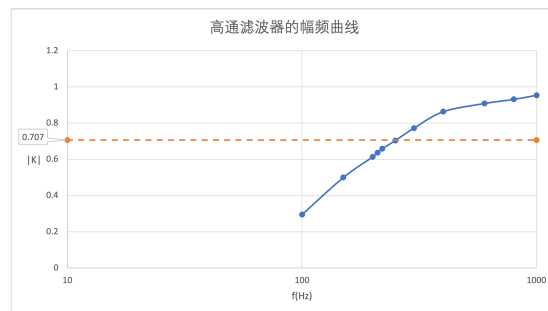


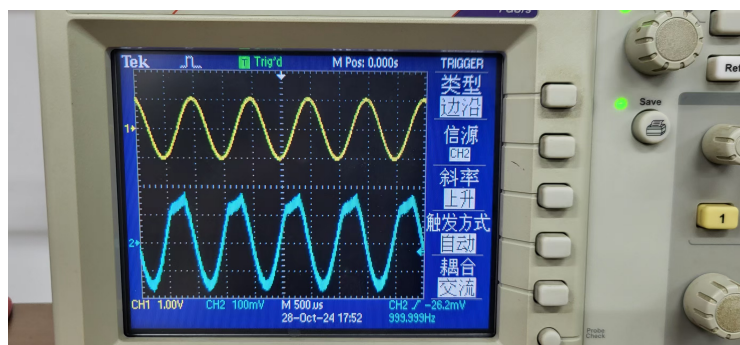
图 2: 高通滤波器的幅频曲线

综上实验值与理论值的比较, 实验值均相比于理论值稍小, 说明偏差基本上都是由实验仪器的误差统一产生的, 较为合理。

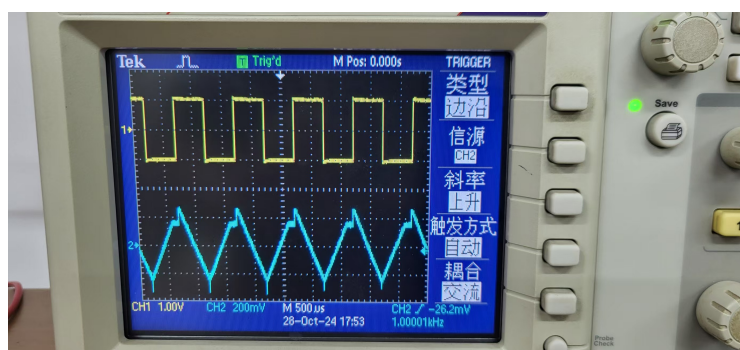
## 4.3 微积分运算

### 4.3.1 积分运算

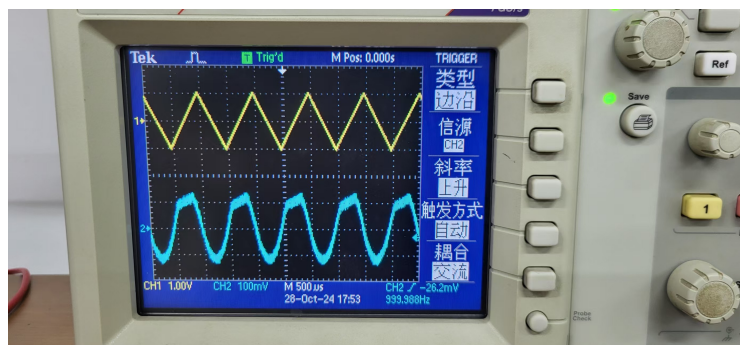
正弦波：



方波：



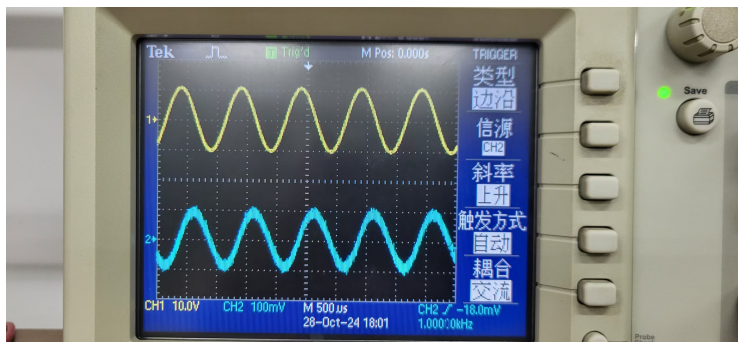
三角波：



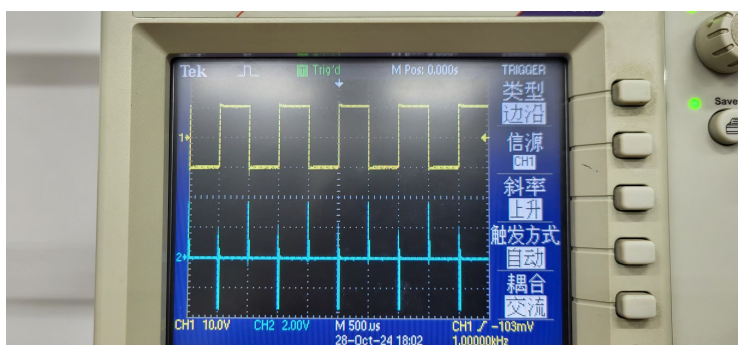
经检验，和数学公式中函数的积分结果一致。

### 4.3.2 微分运算

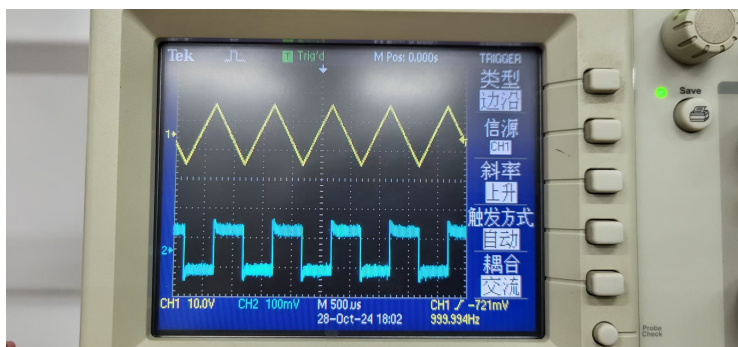
正弦波:



方波:



三角波:

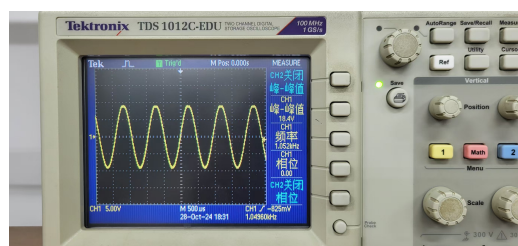
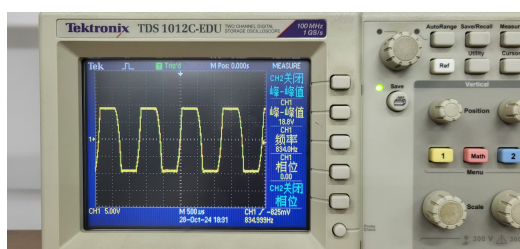
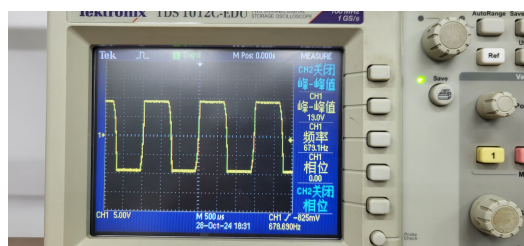


经检验，和数学公式中函数的微分结果一致。

## 4.4 桥式正弦波振荡器

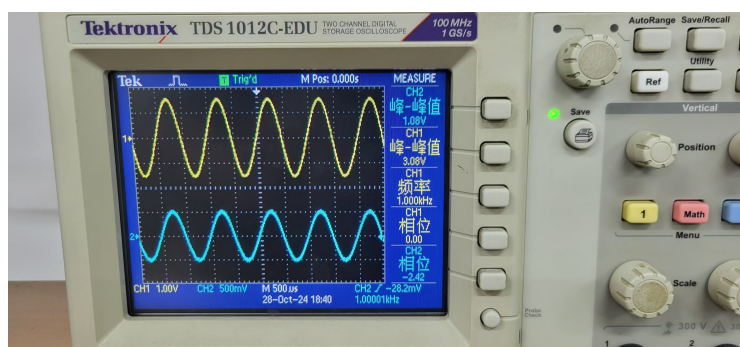
### 4.4.1 $0.1 \mu\text{F} + 1.6 \text{k}\Omega$

改变  $R_F$  对波形的影响:



输出波形基本不失真且幅度最大时电位器的实际阻值:  $R_{F1} = 2.04 \text{k}\Omega$ 。

测量放大倍数:



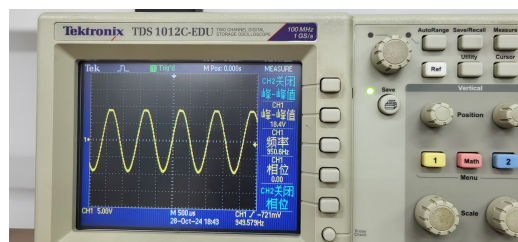
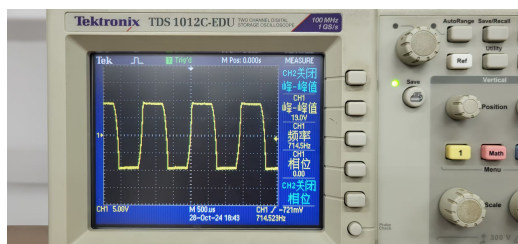
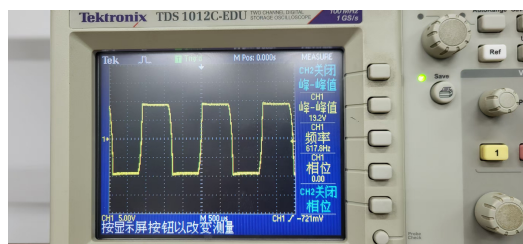
$$\text{实验: } A = \frac{u_o}{u_i} = 2.85$$

$$\text{理论: } A = 1 + \frac{R_{F1}}{R_P} = 3.04, \text{ 实验值相比于理论值稍小, 接近起振条件要求的 } |A| > 3.$$



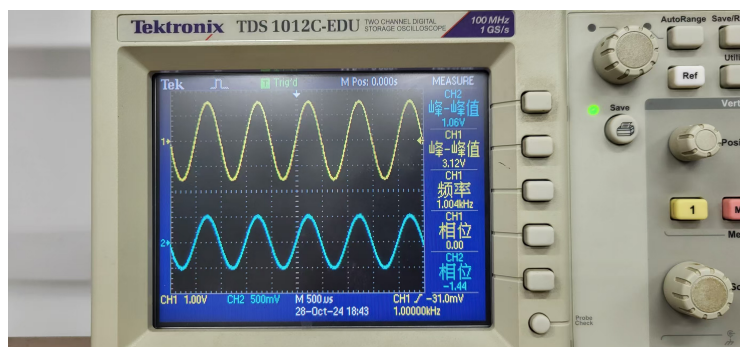
#### 4.4.2 $0.01 \mu\text{F} + 16 \text{k}\Omega$

改变  $R_F$  对波形的影响:



输出波形基本不失真且幅度最大时电位器的实际阻值:  $R_{F2} = 1.95 \text{k}\Omega$ 。

测量放大倍数:



$$\text{实验: } A = \frac{u_o}{u_i} = 2.94$$

$$\text{理论: } A = 1 + \frac{R_{F1}}{R_P} = 2.95, \text{ 实验值与理论值符合较好, 接近起振条件要求的 } |A| > 3.$$

## 5 问题讨论

1.  $R_P$  是补偿电阻, 以保证集成运放差分输入端的对称性。有影响, 因为其值为  $u_i = 0$  和  $u_o = 0$  时各支路电阻的并联, 实验过程中对于使用电阻的改变应当会影响到  $R_P$  应有的取值。

2. 改善放大器的性能, 引入正反馈是为了增强放大器对微弱信号的灵敏度或增加增益。



3. 线性特性：加减运算、滤波器、微积分运算和正弦波振荡器等；非线性特性：迟滞比较器和方波发生器等。

4. 刚接通电源时，电路中存在各种电扰动，经过选频网络通过反馈产生比较大的反馈电压。通过线性放大和反馈的不停循环，使电路自动起振，并通过在集成运放外部引入非线性负反馈的稳幅环节使振幅稳定。