



# 电子技术实验报告

上海交通大学  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

姓名：UNikeEN 班级： 学号： 实验成绩：  
同组姓名：无 实验日期：2022.11.8 指导老师：

## 运放应用之比例、加法、减法运算电路

### 实验目的

1. 了解集成运算放大器 uA741 各引脚的作用。
2. 学习集成运放的正确使用方法，掌握其传输特性。
3. 熟悉比例运算器、加法器、减法器电路的基本原理和性能。
4. 能够基于对加减、比例运算电路的实验探究，理解加减、比例运算电路在实际电子电路中的应用。

### 实验原理

#### 一、集成运算放大器

首先对集成运算放大器使用方法做简单介绍。如图 1 所示，运放 uA741 共有 8 个引脚，其有二个输入端，一个为反相输入端“-”（2 引脚），另一个为同相输入端“+”（3 引脚），一个输出端（6 引脚）。除此之外，运放 uA741 还有 OFFSET N1、OFFSET N2 引脚，用于偏移调节，即运放调零。 $V_{CC+}$ 和  $V_{CC-}$ 分别接正电源和负电源，NC 引脚通常是不接，悬空 (No Connection)。运放 uA741 工作在非线性区时的电压传输特性如图 2 所示。

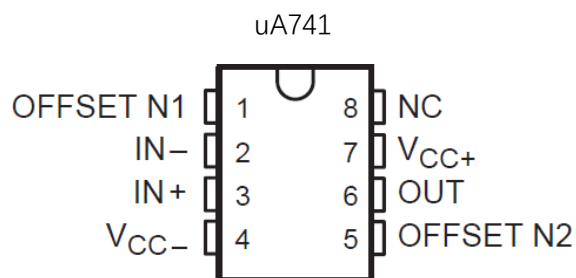


图 1 uA741 管脚图

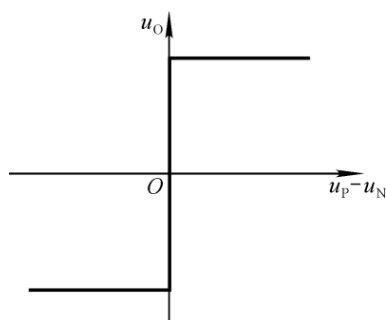


图 2 uA741 工作在非线性区时的电压传输特性

## 二、比例与加减法电路

在基本运算电路中，输出电压随着输入电压的变化，按照一定的数学规律反映输入电压某种运算的结果。运算电路在电子信息领域应用非常广泛，比如在自动化控制系统中，需要将物理参数（如温度、压力等）经传感器变为电信号后，再经一定的数学运算（如加减、比例、积分、微分），使用最终运算得到的电信号去驱动执行机构，才能得到系统的最佳控制。利用“虚短、虚断”原则，可以很方便地分析由运算放大器组成的加法器、减法器等基本电路。

图 3 是反相比例加法器电路， $R_p$  应满足：

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_f}$$

$$R_p = R_1 // R_2 // \dots // R_n // R_f$$

即从运放的同相端和反向端分别往外看到的电阻值相等， $R_p = P_N$ ，输出

$$v_o = -\sum_{k=1}^n \frac{R_f}{R_k} v_{ik}$$

在  $R_1, R_2, \dots, R_n$  相互不等时称为比例加法器；而  $R_1 = R_2 = \dots = R_n$  时，即为加法器运用，此时，有

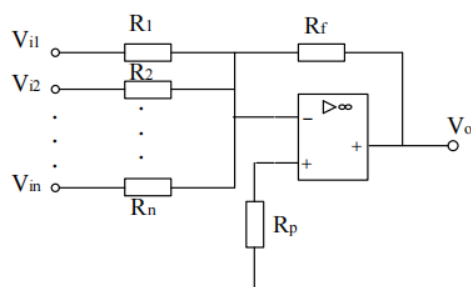
$$v_o = -\frac{R_f}{R_1} \sum_{k=1}^n v_{ik}$$


图 3 反相比例加法器

若要求输入和输出同相，可采用图 4 所示的同相加法器，此时输出为：

$$v_o = (1 + \frac{R_f}{R_n}) \cdot R_{eq} \cdot \sum_{k=1}^m \frac{1}{R_{ik}} \cdot v_{ik}$$

式中  $R_f$  为反馈电阻， $R_{eq}$  是  $R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{im}$  并联后的等效电阻，即

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{i1}} + \frac{1}{R_{i2}} + \dots + \frac{1}{R_{im}}$$

$$R_{eq} = R_{i1} // R_{i2} // \dots // R_{im}$$

当  $R_{i1} = R_{i2} = \dots = R_{im}$  时， $R_{eq} = R_{i1}/m$ ，则

$$v_o = (1 + \frac{R_f}{R}) \cdot \frac{R_{i1}}{m} \cdot \frac{1}{R_{i1}} \sum_{k=1}^m v_{ik} = \frac{1}{m} (1 + \frac{R_f}{R}) \sum_{k=1}^m v_{ik}$$

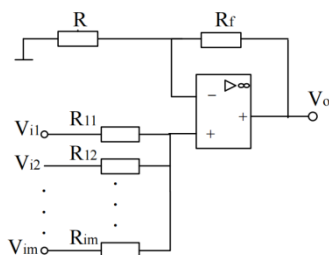


图 4 同相比例加法器

基于上述两种加法器电路原理的论述，我们可以很容易得出减法器电路的构造方法，当输入信号分别从 uA741 的同相、反相输入端接入时，其输出信号即是与两个输入信号的差值有关的物理量。

## 实验电路与实验过程

### 一、加法器实验 1——单输入反相加法器

单输入反相加法器电路图见图 5，其中  $R_f=10\text{k}\Omega$ ， $R_p=1\text{k}\Omega$ 。输入信号  $V_i$  用频率为 500Hz、有效值为 100mV 的正弦信号从反相输入端输入。改变  $R_i$ ，使放大倍数分别为 1、2、10，输出信号  $V_o$  用示波器监视，在不失真的情况下进行测量并记录。

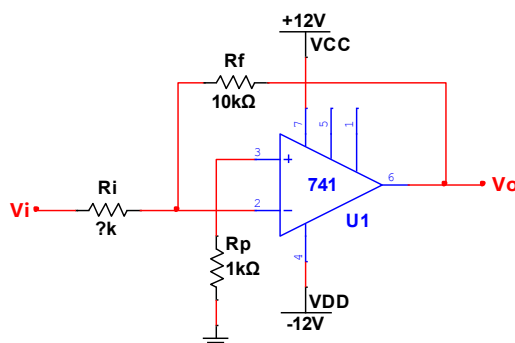


图 5 单输入反相加法器实验电路

### 二、加法器实验 2——双输入反相加法器

电路设计见图 6。在反相加法器电路中，设  $R_f=10\text{k}\Omega$ ， $R_p=1\text{k}\Omega$ ，并使  $R_1=R_2=10\text{k}\Omega$ 。输入信号  $V_{i1}$ 、 $V_{i2}$  分别用频率为 500Hz、有效值为 100mV、50mV 的正弦信号从反相输入端输入。输出信号  $V_o$  用示波器监视，在不失真的情况下进行测量并记录。

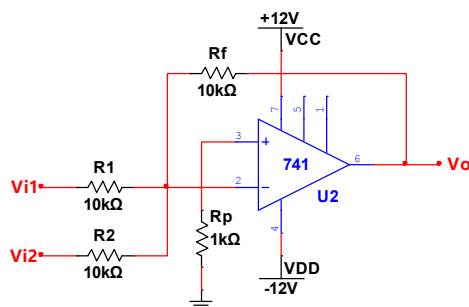


图 6 双输入反相加法器实验电路

### 三、加法器实验 3——双输入同相加法器

同相加法器的电路设计如图 7 所示。设  $R_f=10\text{k}\Omega$ ,  $R_n=10\text{k}\Omega$ , 并使  $R_1=R_2=10\text{k}\Omega$ 。输入信号  $V_{i1}$ 、 $V_{i2}$  均为频率为 500Hz、有效值为 100mV 的正弦信号, 从同相输入端输入。输出信号  $V_o$  用示波器监视, 在不失真的情况下进行测量并记录, 观察是否满足同相加法器输入输出的关系式  $V_o = \frac{1}{m} (1 + \frac{R_f}{R_n}) \sum_{k=1}^m V_{ik}$ 。

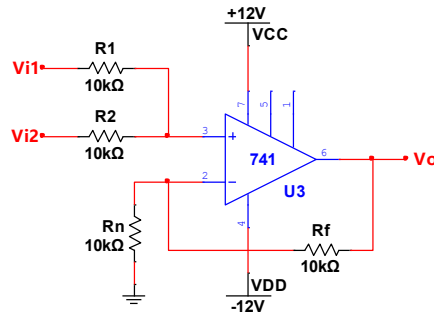


图 7 双输入同相加法器实验电路

### 四、减法器实验

电路设计如图 8 所示, 给定  $R_{f1}=R_{f2}=10\text{k}\Omega$ ,  $R_1=R_2=1\text{k}\Omega$ 。输入信号  $V_{i1}$  为频率为 500Hz、有效值为 50mV 的正弦信号从反相输入端输入; 输入信号  $V_{i2}$  为频率为 500Hz、有效值为 100mV 的正弦信号从同相输入端输入。输出信号  $V_o$  用示波器监视, 在不失真的情况下进行测量并记录, 观察是否满足公式  $V_o = \frac{R_f}{R} (V_{i2} - V_{i1})$ 。

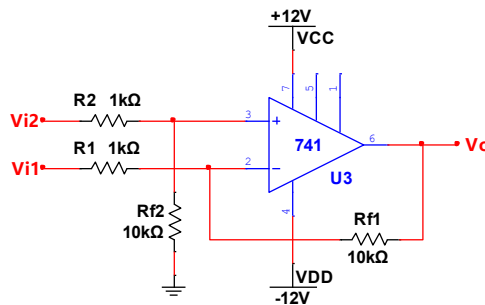


图 8 减法器实验电路

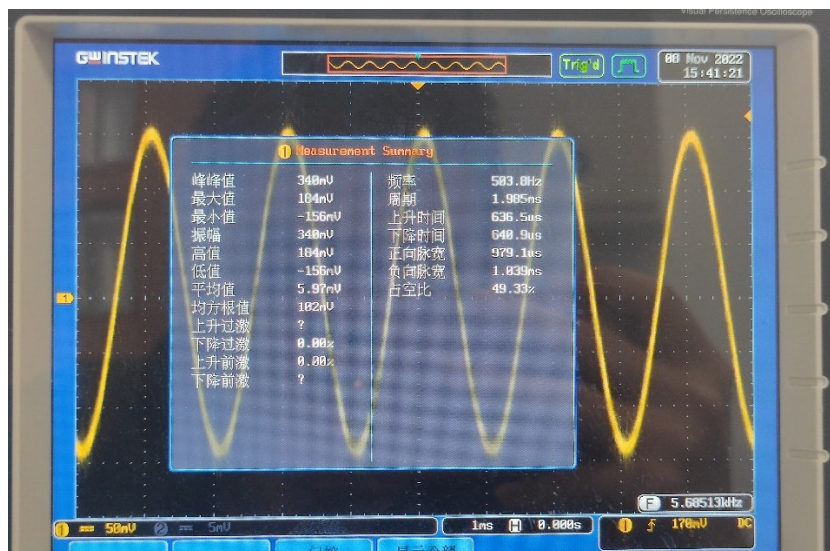
## 实验数据记录与计算

### 一、加法器实验 1——单输入反相加法器

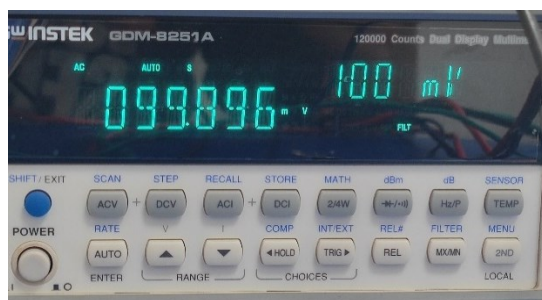
表 1 单输入反相加法器数据记录表

信号	$R_i$	输入 $V_i$	输出 $V_o$					
放大倍数	阻值	实测值	万用表读数 ( $V_{rms}$ )	理论值	相对误差	示波器读数 ( $V_{pp}$ )	理论值	相对误差
1 倍	$10\text{k}\Omega$	100.405mV	102.350mV	100.405mV	1.93%	340mV	294mV	16.70%
2 倍	$5\text{k}\Omega$	99.896mV	0.19860V	199.792mV	0.60%	672mV	565.1mV	18.92%
10 倍	$1\text{k}\Omega$	97.793mV	0.97638V	977.93mV	0.16%	2.92V	2.77V	5.42%

放大倍数为 1 倍时示数照片 (图 9-图 11):

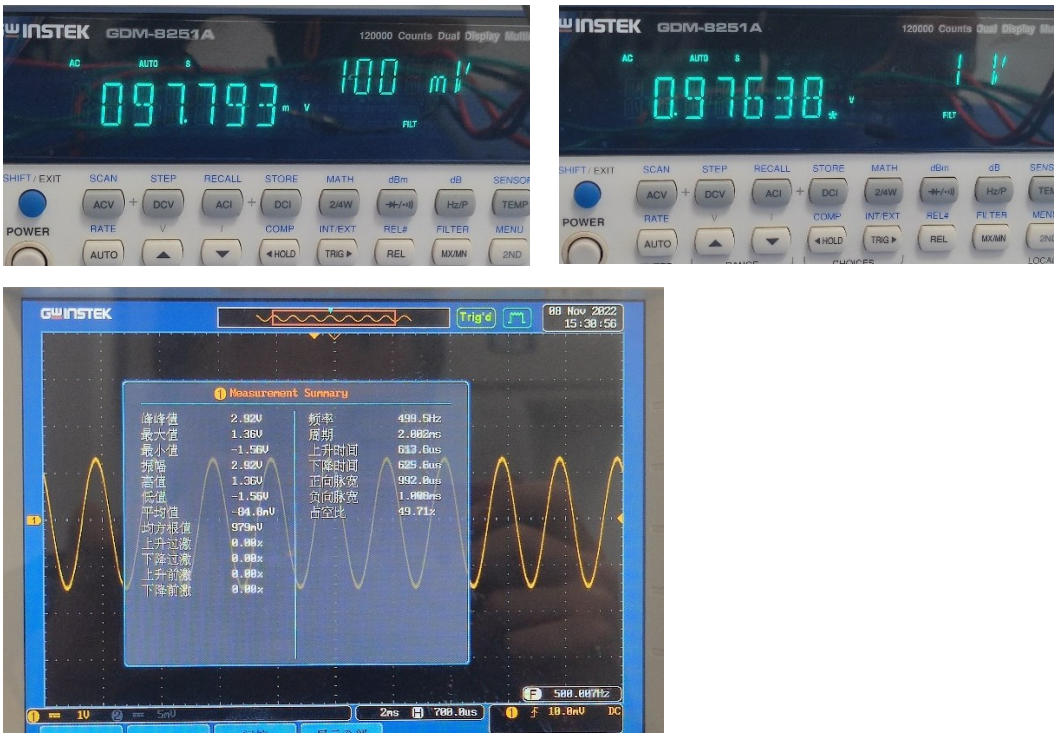


放大倍数为 2 倍时示数照片 (图 12-图 14):





放大倍数为 10 倍时示数照片（图 15-图 17）：

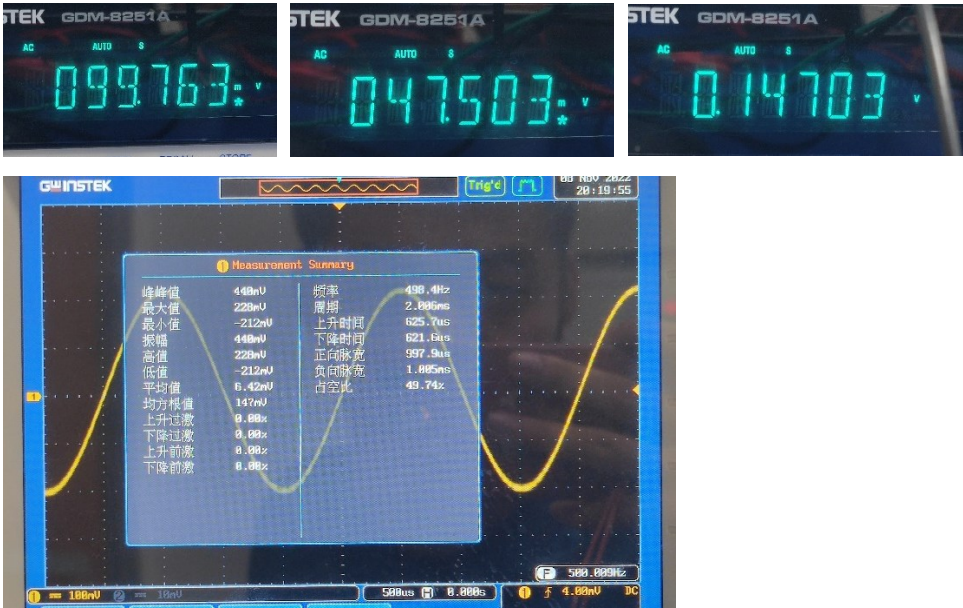


二、加法器实验 2——双输入反相加法器

表格 2 双输入反相加法器数据记录表

	输入 Vi		输出 Vo	
	Vi1 实测值	Vi2 实测值	万用表读数（有效值 Vrms）	示波器读数（峰峰值 Vpp）
测量值	99.763mV	47.503mV	0.14703V	440mV
理论值			147.266mV	416.53mV
相对误差			0.16%	5.6%

仪表示数照片（图 18-图 21）：



## 三、加法器实验 3——双输入同相加法器

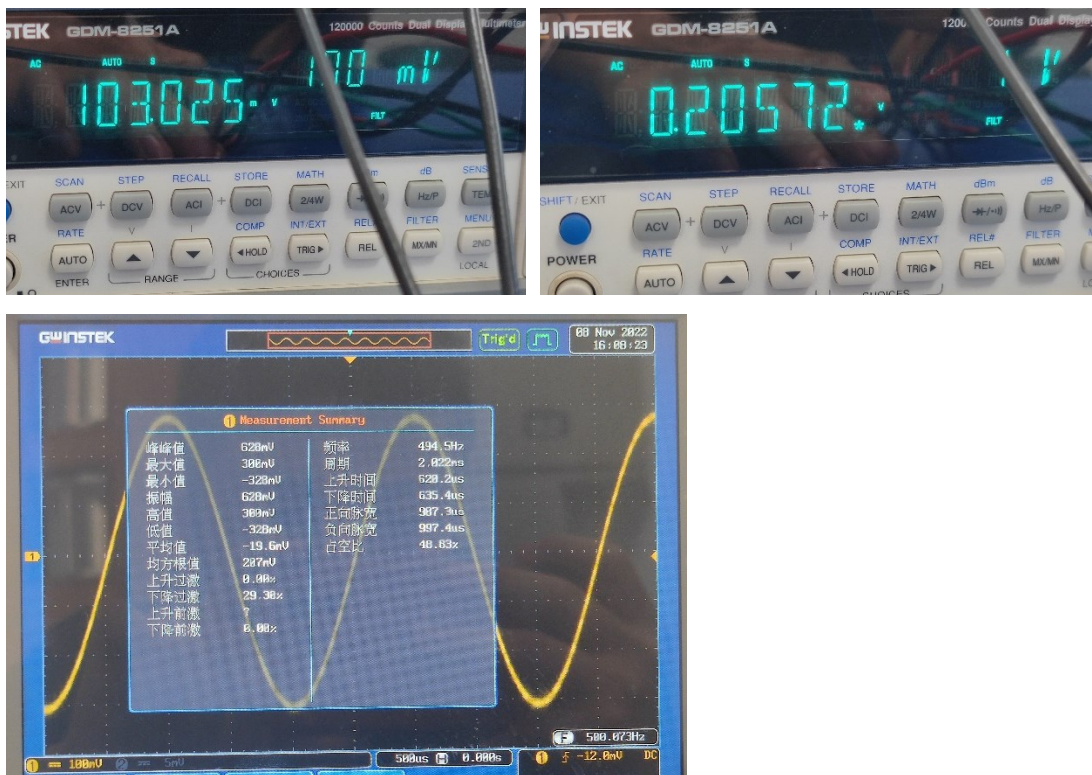
表格 3 双输入同相加法器数据记录表

	输入 $V_i$		输出 $V_o$	
	$V_i$ 实测值	万用表读数 (有效值 $V_{rms})$	示波器读数 (峰峰值 $V_{pp})$	
测量值	103.025mV	0.20572V	628mV	
理论值		206.05mV	582.80mV	
相对误差		0.16%	7.76%	

对输出电压万用表读数相对误差较小, 示波器测量相对误差在可接受范围内, 基本满足公式

$$V_o = \frac{1}{m} (1 + \frac{R_f}{R_n}) \sum_{k=1}^m V_{ik}, \text{ 实验比较成功。}$$

仪表示数照片 (图 22-图 24):



## 四、减法器实验

表格 4 减法器数据记录表

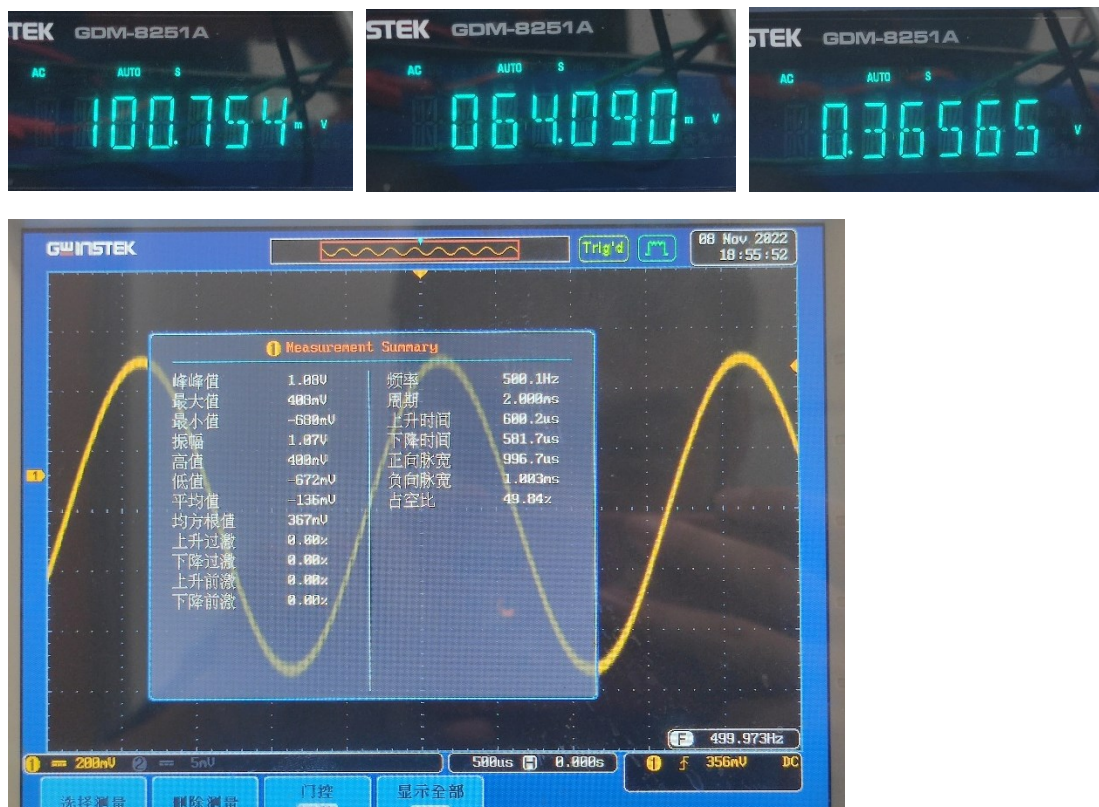
	输入 $V_i$		输出 $V_o$	
	$V_{i1}$ 实测值	$V_{i2}$ 实测值	万用表读数 (有效值 $V_{rms})$	示波器读数 (峰峰值 $V_{pp})$
测量值	100.754mV	64.090mV	0.36565V	1.08V
理论值			366.64mV	1.037V
相对误差			0.27%	4.14%

对输出电压万用表读数相对误差较小, 示波器测量相对误差在可接受范围内, 基本满足公式

$$V_o = \frac{R_f}{R} (V_{i2} - V_{i1}), \text{ 实验比较成功。}$$



仪表示数照片 (图 25-图 28):



## 误差分析

1. 测量时, 电路可能存在微小扰动, 示波器的示数不稳定, 存在测量误差。
2. 由于各种原因, 运算放大器的工作状态非理想状态, 导致放大倍数不完全精确。
3. 实验板、导线存在的电阻不容忽略, 导致测量值与理论值之间产生误差。

本次实验, 对输出电压万用表读数相对误差较小, 示波器测量值受干扰影响大, 相对误差整体偏大, 但基本在可接受范围内, 总体实验完成度较高。

## 注意事项

1. 改接电路时务必关闭电源输出开关, 否则有较大概率烧坏芯片。
2. 信号发生器使用通道的输出电阻需要设置为高阻状态。
3. 741 芯片使用前先测试芯片是否故障。