

浙江大学实验报告

专业： 机械工程

姓名： _____

学号： 319010

日期： 2021.5.11

地点： 东 3-214

课程名称： 电工电子学实验 指导老师： 张治沁 成绩： _____

实验名称： 集成运算放大器应用（I） 实验类型： 基础性 同组学生姓名： _____

一、实验目的和要求（必填）

二、实验内容和原理（必填）

三、主要仪器设备（必填）

四、操作方法和实验步骤

五、实验数据记录和处理

六、实验结果与分析（必填）

七、讨论、心得

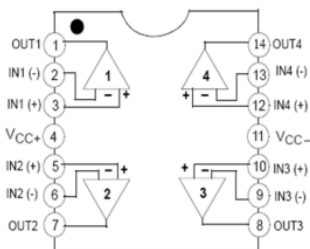
一、实验目的和要求

1. 了解集成运算放大器的基本使用方法和三种输入方式。
2. 掌握集成运算放大器构成的比例、加法、减法、积分等运算电路的原理和功能。

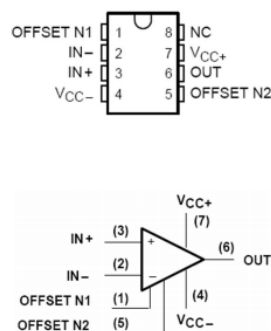
二、实验内容和原理

集成运算放大器有两个输入端和一个输出端，根据输入方式的不同，有同相输入、反相输入和差分输入三种信号输入方式。集成运放有线性放大和饱和两种输出状态。

1. 集成运放的外引线排列

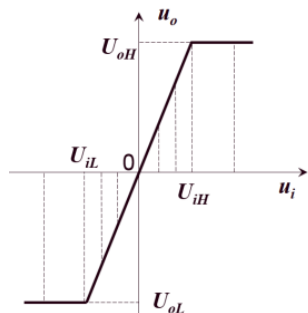


LM324



uA741引脚及符号

2. 集成运放的电压传输特性和理想特性



集成运放的电压传输特性

$$A_{od} \rightarrow \infty$$

$$R_{id} \rightarrow \infty$$

$$R_{od} \rightarrow 0$$

$$K_{CMR} \rightarrow \infty$$

集成运放的理想特性

3. 同相输入比例运算电路

图 5.16-1 为集成运放组成的同相输入比例运算电路，当输入端 A 加入信号 u_i 时，在理想条件下，

其输入输出的关系为：
$$u_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) u_i$$

输出信号大小受集成运放最大输出幅度限制，因此输入输出在一定范围内保持线性关系。

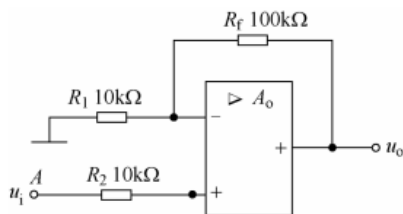


图 5.16-1 同相输入比例运算电路

4. 反相加法运算电路

图 5.16-2 为反向加法运算电路，当输入端 A、B 加入 u_{i1} 、 u_{i2} 信号时，在理想条件下，其输出电压为：

$$u_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} u_{i1} + \frac{R_f}{R_2} u_{i2}\right)$$

将表达式做适当变化后，可是某一范围变化的输入电压变换为另一范围变化的输出电压，这种方法在工程中叫定标。如图 5.16-3 所示，当 R 的阻值选定后，就可根据 u_i 的变化范围和要求的 u_o 变化范围确定 (R_1+R_{P1}) 和 (R_1+R_{P2}) 的阻值。

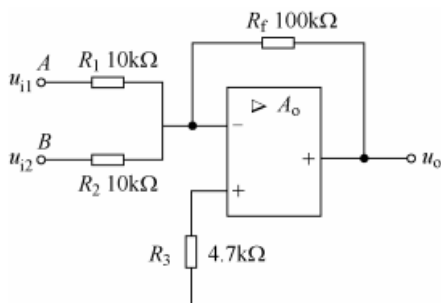


图 5.16-2 加法运算电路

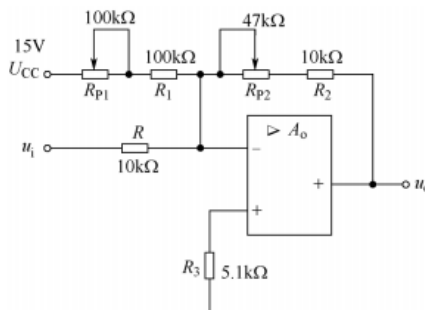


图 5.16-3 加法定标电路

5. 减法运算电路

图 5.16-4 为减法运算电路，当输入端 A、B 加入 u_{i1} 、 u_{i2} 信号时，在理想条件下，且 $R_1=R_2$ 、 $R_f=R_3$

时，其输出电压为：
$$u_o = \frac{R_f}{R_1} (u_{i2} - u_{i1})$$

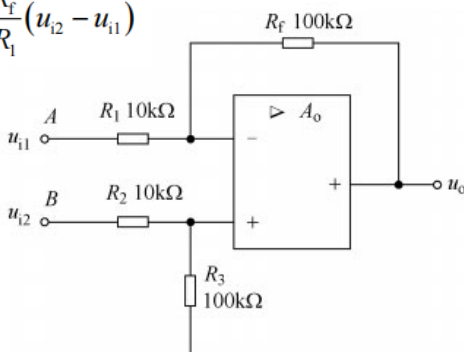


图 5.16-4 减法运算电路

6. 积分运算电路

图 5.16-5 为积分运算电路，当开关 K 断开时，输入在 $t=0$ 时加入一大大小为 U_i 的信号，电容两端的初始电压为零，则输出为：
$$u_o = -\frac{1}{R_1 C} \int u_i dt = -\frac{U_i}{R_1 C} t$$

当开关 K 闭合时，若输入信号的频率满足 $\omega \gg \frac{1}{R_2 C}$ ，则输出可近似为：
$$u_o = -\frac{1}{R_1 C} \int u_i dt$$

若此输入信号为满足频率要求的方波时，则输出为三角波。

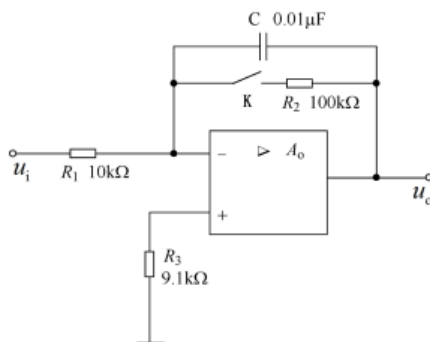


图 5.16-5 积分运算电路

三、主要仪器设备

1. 模拟电子技术实验箱（带电源）
2. 双踪数字示波器
3. 函数信号发生器
4. 数字式万用表

四、操作方法和实验步骤

1. 同相输入比例运算

按右图电路接线输入峰值为 2V、频率为 300Hz 的正弦波。用示波器双踪观察输入和输出波形，记录示波器波形。用示波器观察电压传输特性曲线，根据波形计算比例系数。

2. 反相加法运算

A 端输入峰值为 0.5V、频率为 1kHz 的方波，B 端输入峰值为 0.2V、频率为 1kHz 的三角波，要求方波超前三角波 90° 。用示波器双踪观察输入和输出波形，确认电路功能正确，记录示波器波形。

3. 减法运算

A 端输入峰值为 3V、频率为 1kHz 的正弦波，B 端输入峰值为 2V、频率为 1kHz 的同相位正弦波。用示波器双踪观察输入和输出波形，确认电路功能正确，记录示波器波形。

4. 积分运算

输入峰值为 2V，频率为 1kHz 的方波。用示波器双踪观察输入和输出波形，记录示波器波形。改变方波的频率为 100Hz 和 10kHz，观测输入和输出波形。

五、实验数据记录和处理

1. 同相输入比例运算

图 1: 同相输入输出波形图

图 2: 同相输入电压传输特性曲线

由图二特性曲线可知, 比例系数 = 曲线斜率 = 12.3

2. 反相加法运算

图 3: 反相加法双输入波形图

图 4: 反相加法输入输出波形图

实验名称: 集成运算放大器应用 (I) 姓名: 学号:

3. 减法运算

图 5: 减法双输入波形图

图 6: 减法输入输出波形图

4. 积分运算

图 7: 积分运算 (100HZ) 输入输出波形图

图 8: 积分运算 (1KHZ) 输入输出波形图

图 5: 积分运算 (10KHZ) 输入输出波形图

六、实验结果与分析

预 1. 推导集成运放基本运算电路输入输出关系表达式。

$$\begin{aligned}
 &1) \text{ 同相输入比例运算电路 } i_i \approx 0, u_- \approx u_+ \approx u_i, u_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) u_i \\
 &\quad i_f \approx i_R = \frac{u_-}{R} \approx \frac{u_i}{R} \\
 &2) \text{ 反向加法运算电路 } i_- = i_+ \approx 0, u_- \approx u_+ \approx 0, u_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} u_{i1} + \frac{R_f}{R_2} u_{i2}\right) \\
 &\quad i_f \approx i_1 + i_2 \approx \frac{u_{i1}}{R_1} + \frac{u_{i2}}{R_2} \\
 &3) \text{ 减法运算电路 } u_- \approx u_+ \approx \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{i2}, u_o = \frac{R_f}{R_1} (u_{i2} - u_{i1}) \\
 &\quad u_o = u_- - \frac{u_{i1} - u_-}{R_1} R_f = u_- - \frac{R_f}{R_1} u_{i1} + \frac{R_f}{R_1} u_- \\
 &\quad = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) u_- - \frac{R_f}{R_1} u_{i1} \\
 &4) \text{ 积分运算电路 } i_- = i_+ \approx 0, u_- = u_+ \approx 0, u_o = -\frac{1}{R_1 C} \int u_i dt \\
 &\quad i_c = i_i = \frac{u_i}{R} \\
 &\quad u_o = u_- - u_c = -u_c = -u_c(0) - \frac{1}{C} \int i_c dt
 \end{aligned}$$

预 2. 由集成运放构成的比例、加法、积分等运算电路, 随着输入电压或时间的加大, 电路的输出电压会无限增大吗? 为什么?

不会无限增大。运放电路只有工作在线性放大区时, 输入输出才成线性关系, 当输入电压大到一定

程度时，输出电压达到饱和区，将基本保持不变。

1. 整合实验数据，分析实验结果，总结电路的特点。

- 1) 同相输入比例运算电路，特点为输入电阻很大，输出电阻很小，同相输入，不改变相位，保持极性相同，仅输出电压的幅度按倍率增加。
- 2) 反向加法运算电路，特点为有两个输入，且为反相输入。
- 3) 减法运算电路，特点为两相均需输入信号。
- 4) 积分运算电路，其特点为输入信号周期越小，积分的结果越好，但幅度随之减小，且积分有极限。

2. 总结集成运放构成的各运算电路功能。

- 1) 同相输入比例运算电路，将同相输入的电压按一定比例放大，输出电压与输入电压成线性关系。
- 2) 反向加法运算电路，将反相输入信号按比例相加后反相输出，可实现多型号输入，实现“和放大”。
- 3) 减法运算电路，将正向输入与反相输入信号相减后按比例放大，实现差分输入运算。
- 4) 积分运算电路，将反向输入积分处理后输出，输出电压与输入电压的积分成比例放大，将方波转为三角波。

3. 总结输入电压大小对运放电路工作状态的影响。

当输入电压较小时，运放电路处于线性工作状态，各运放电路才能正常实现放大功能；当输入电压过大时，运放电路进入非线性工作状态，输出电压将会达到饱和区，大小基本保持不变，输入电压对输出电压无放大效果，即输入电压无法控制输出电压。但可以实现集成运放在幅值比较方面的功能。对于积分运算电路来说，当进入非线性工作区时积分不再进行。

七、讨论、心得

4. 综合自身的实验情况，总结本实验的体会和解决实验中出现问题的方法。

体会：这是实验主要针对集成运算放大器的运用，在这次实验中，我对集成运算放大器有了更深的认识，对于不同电路接法所产生的不同效果也通过波形图得到了更深的理解。此外实验中对示波器和信号源的运用也更加熟练。

问题：实验中输入信号的波形图出现较大的波动，通过示波器平均值显示的方法，得到了较为满意的稳定图像。此外