

微电子器件实验 基本运算电路

范云潜，学号：18373486，搭档：徐靖涵，教师：彭守仲

微电子学院 184111 班

日期：2020 年 12 月 12 日

1 实验目的

本组实验通过对运放的负反馈设计完成对信号的基本算数处理，如加减与积分等，加深对运放使用与信号负反馈的理解，掌握设计与使用能力。

2 实验所用设备及器件

主要设备有：电压源，任意波形发生器，示波器，台式万用表，相关线缆等，主要器件有四运放集成电路 LM324N、电容、电阻。

3 实验基本原理及步骤

3.1 加减运算电路

对于如图 1 的加减运算电路来说，由于电阻与算数电路总的理想运放均为线性元件，因此其他数目的输出均可通过线性定理求得。此外，为了电路的差分输入的匹配，需要满足电阻关系：

$$R_1 // R_2 // R_f = R_3 // R_4 // R_5 \quad (1)$$

首先求取负输入端的信号对输出的贡献，以 u_{I1} 为例，根据线性定理将其他输入置零，由于运放的虚断特性以及负端的基尔霍夫电流定律有：

$$\begin{aligned} \frac{u_{I1}}{R_1} &= -\frac{u_O}{R_f} \\ u_O &= -\frac{u_{I1}}{R_1} R_f \end{aligned} \quad (2)$$

得到减法运算电路的关系。

接下来求取正输入端的信号对输出的贡献，以 u_{I3} 为例，根据线性定理将其他输入置零，由

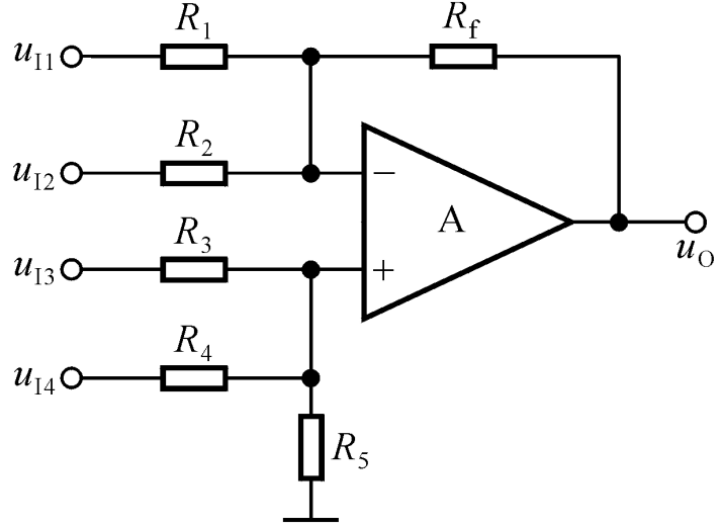


图 1: 加减运算电路

于运放的虚短特性以及负端的分压和虚断特性有：

$$\begin{aligned} u_- = u_+ &= u_{I3} \frac{R_4 // R_5}{R_3 + R_4 // R_5} = u_{I3} \frac{R_3 // R_4 // R_5}{R_3} \\ u_- &= u_O \frac{R_f}{R_f + R_1 // R_2} = u_O \frac{R_f // R_1 // R_2}{R_1 // R_2} \end{aligned} \quad (3)$$

联立(1)，得到加法运算电路关系：

$$u_O = \frac{u_{I3}}{R_3} R_f \quad (4)$$

综上，根据线性关系：

$$u_O = R_f \left(\frac{u_{I3}}{R_3} + \frac{u_{I4}}{R_4} - \frac{u_{I1}}{R_1} - \frac{u_{I2}}{R_2} \right) \quad (5)$$

任何条件下，存在加法电路关系，在匹配条件(1)满足时，存在减法电路关系。需要不同输入个数时，只需对端口进行扩展并满足匹配关系即可。

3.2 积分运算电路

对于如图2的积分运算电路来说，有如下的关系：

$$\frac{u_I}{R} = \frac{dQ}{dt} = C \frac{du_O}{dt} \quad (6)$$

解以上的微分方程，在时间范围 $[t_1, t_2]$ 之间：

$$u_O = \int_{t_1}^{t_2} u_I(t) dt + u_O(t_1) \quad (7)$$

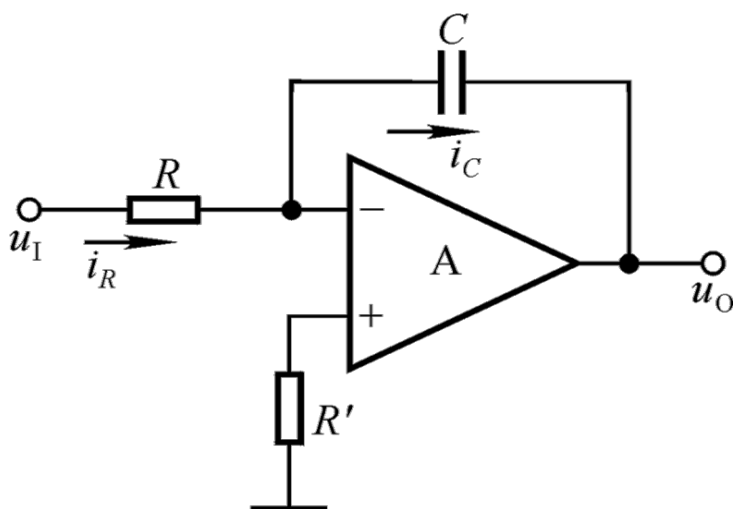


图 2: 积分运算电路

3.3 实验步骤

接下来，按照之前的理论推导进行各个电路的搭建，前四个电路由于 10k 电阻比较多，主要使用 10k 电阻，如图 3，图 4，图 5，图 6；后四个则使用 1k 电阻搭配 10k 电阻，如图 7，图 8，图 9，图 10。

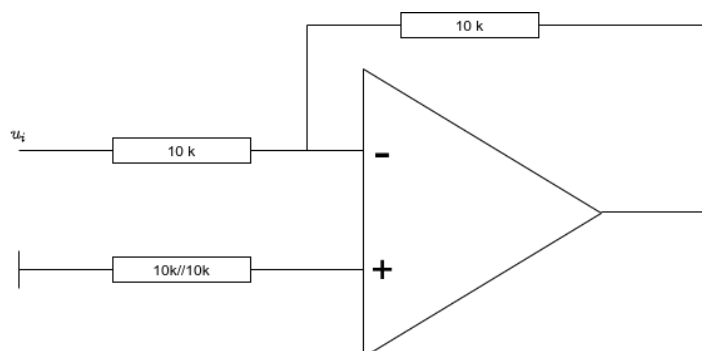


图 3: 反向单倍放大电路

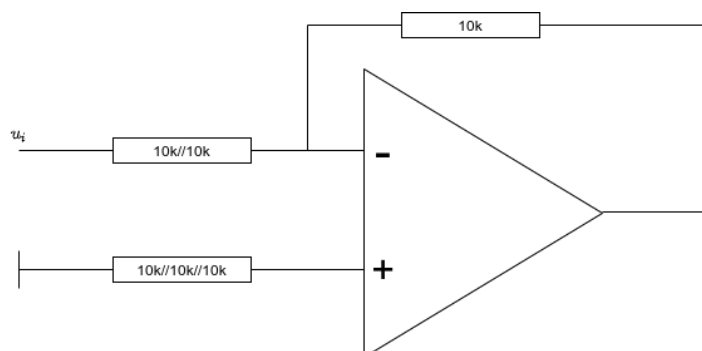


图 4: 反向双倍放大电路

按照以上电路搭建实际电路，在 LM324N 的正负极分别接入 5V 和 -5V 电压，使用任意波形发生器进行输入信号产生即可，可以选用波形或者偏压两种方式。记录不同电路的输入输出数值。

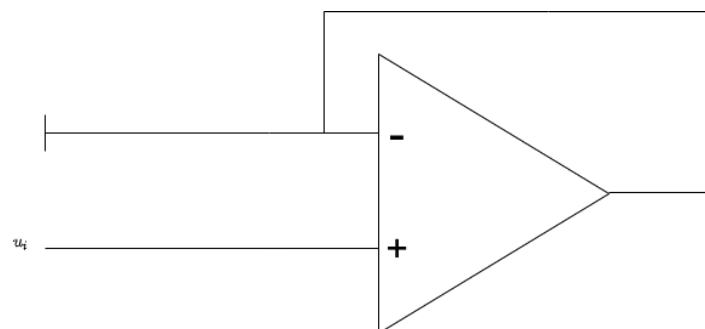


图 5: 正向单倍放大电路

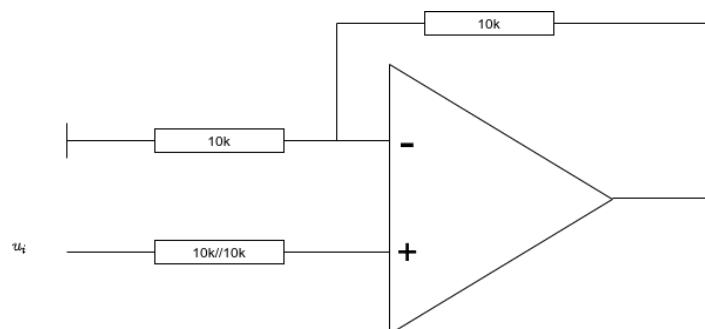


图 6: 正向双倍放大电路

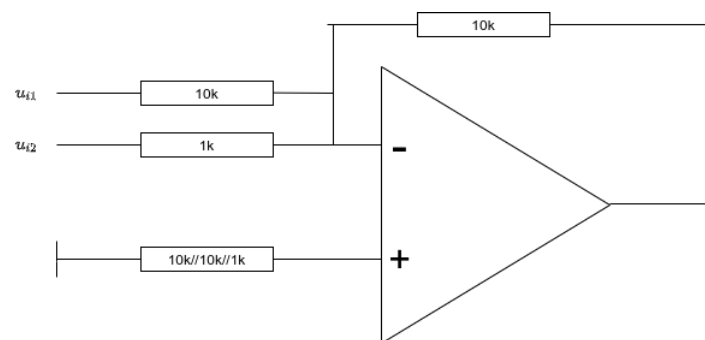


图 7: 反向求和电路

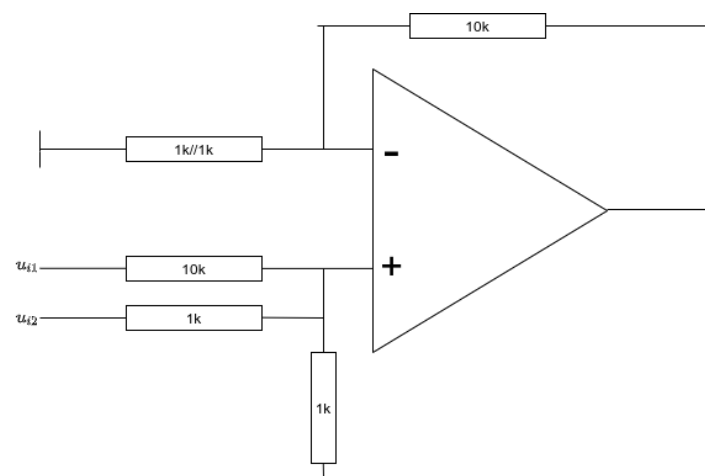


图 8: 同向求和电路

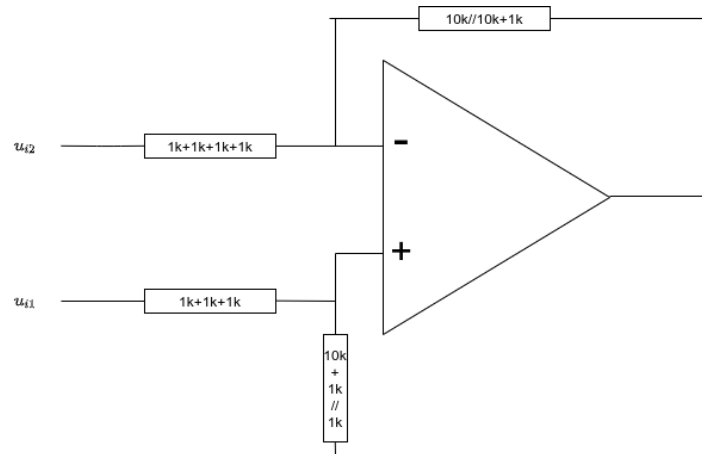


图 9: 加减运算电路

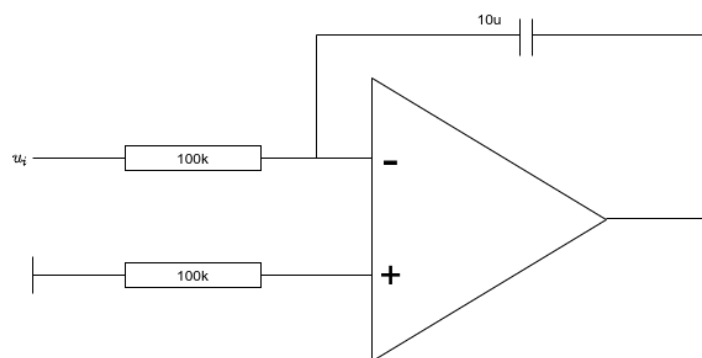


图 10: 积分电路

4 实验数据记录

原始数据请见 [这里](#)。

其中简单放大器的数据如表 1，算数电路的数据如表 2，积分的波形如图 11，图 12，图 13。

表 1: 简单放大器测量值

A	-2	-1	2	1
	1.981308411	0.990654206	2	1

5 实验结果分析

以上的实验结果基本表明，在电阻连接正确的情况下，本运放可以实现功能。

6 总结与思考

Q1. 在我们的实验中如何提高反相比例运算电路的放大倍数？

调大反馈电阻 R_f 或者调小负载电阻 R_i ，同时使得电阻匹配。

表 2: 算数运放测量值

Funct	$-u_1-10u_2$	u_1+10u_2	$2u_1-1.5u_2$
u1	1.038834951	0.962616822	2.015936255
u2	10.59405941	10.09433962	1.466666667

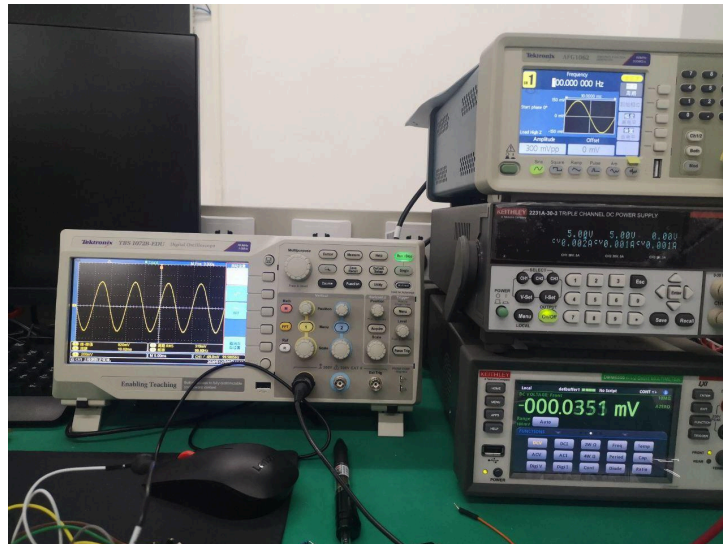


图 11: 正弦波积分波形

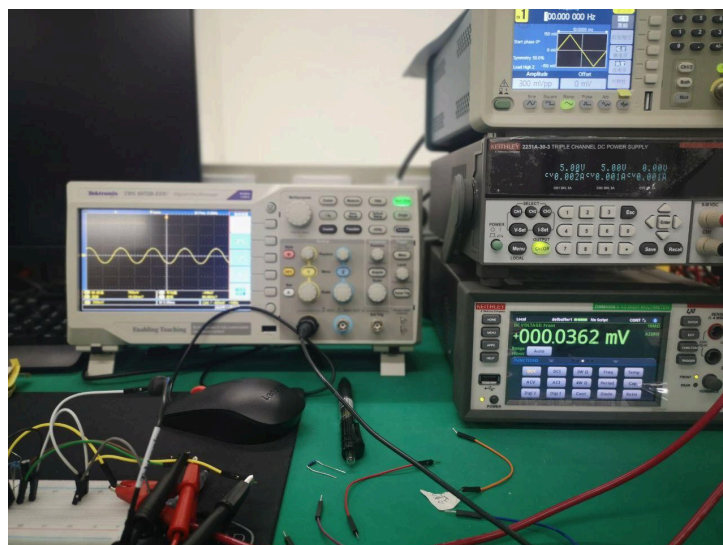


图 12: 锯齿波积分波形

Q2. 如果放大倍数过高, 会带来什么不利影响?

对噪声的放大可能会干扰正常波形。

Q3. 如何搭建微分电路? 典型输入输出波形是什么样?

微分电路主要依赖于电容和电感, 按照需要的方程将微分项替换为与 C 或者 L 相关的方程即可。典型的波形是积分波形, 输入方波出现三角波, 输出三角波出现二次函数波等。

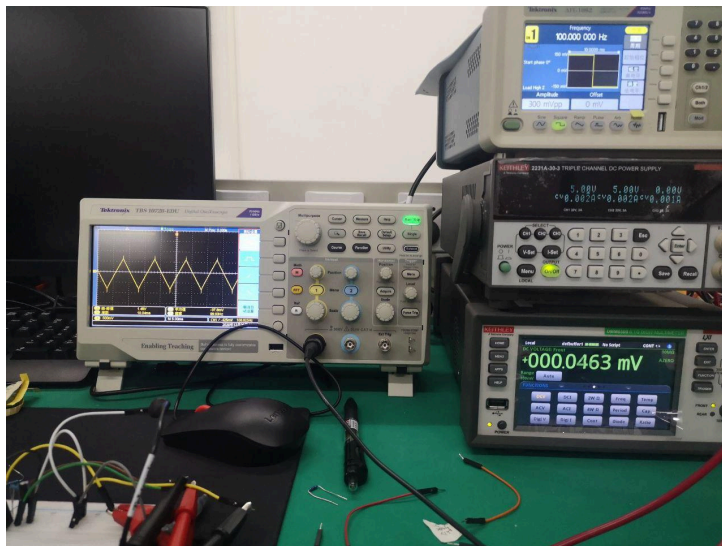


图 13: 方波积分波形