

# 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 17 日

## 1 实验目的

在之前课程的基础上，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，如差分放大、微分、指数、对数等，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，限流二极管。

## 3 实验基本原理及步骤

### 3.1 差分放大电路

差分放大电路是一种特殊的加减运算电路，因此可以利用上一周实验的理论结果进行搭建，只需将两条支路的输入电阻分别设置为反馈电阻的十分之一，并且保持运放两个输入端的电阻匹配即可。这里取 1k 和 10k，如 **图 1**。

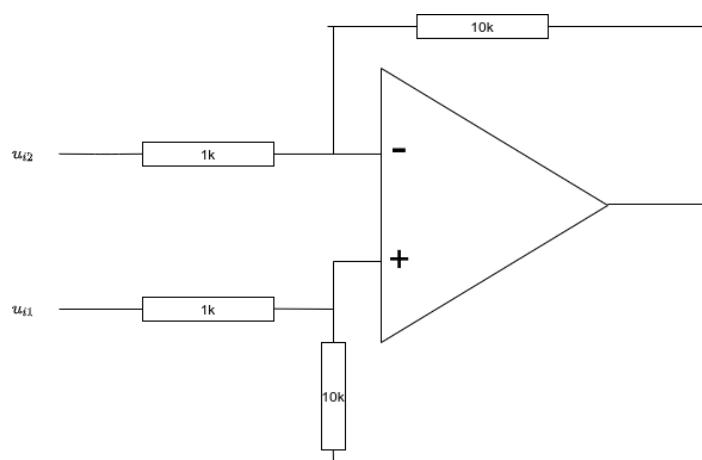


图 1: 差分运算电路

### 3.2 微分运算电路

类似的，为了拼凑微分电路，需要将输入进行微分，而非输出，只需将积分电路的负端与输出端的电容、电阻交换位置即可：

$$v_o = -R_f C \frac{dv_i}{dt}$$

选择  $R = 100k\Omega$ ,  $C = 10\mu F$ ，如图 2。

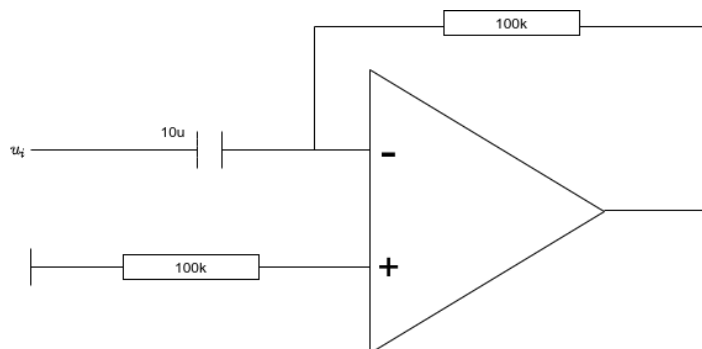


图 2: 微分运算电路

### 3.3 指数运算电路

与微分-积分关系类似的，可以设计指数-对数电路，只需实现电流为输入的指数即可得到指数运算电路，为此，将二极管作为负载放在负端输入，同时，考虑到电路的输出电压受限，同等电流情况下<sup>1</sup>，负载电阻应当尽量小，选择  $100\Omega$ ，如图 3。

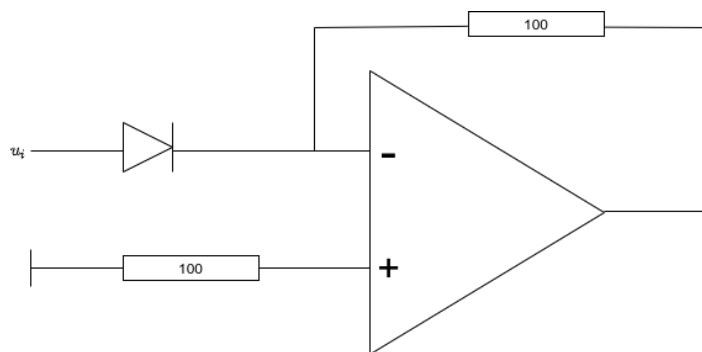


图 3: 指数运算电路

此时的电学关系满足：

$$v_o = -RI_s \exp \frac{v_i}{u_t}$$

<sup>1</sup>对于二极管来说，其电路只和输入电压有关，因为运放的输入端已经虚地。

### 3.4 对数运算电路

基于以上的分析，同等输入电压下，为了获得较大的输出电压，需要通过二极管电流较大，因此也需要较小的输入电阻，选择  $100\Omega$ ，如图 4。

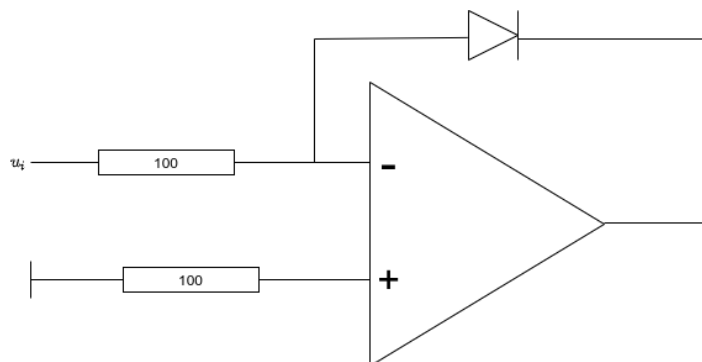


图 4: 对数运算电路

此时满足的电学关系为：

$$I_s \exp \frac{0 - v_o}{u_t} = \frac{v_i}{R}$$

整理得到：

$$v_o = -u_t \ln \frac{v_i}{I_s R}$$

### 3.5 实验步骤

根据以上分析，搭建相对应的电路，将运放的供电分别设置为  $\pm 5V$ 。

设置好外围电路后，对于差分放大电路以及微分运算电路，使用任意波形发生器，观测、记录响应的输出波形；对于指数、对数运算电路，使用电压源作为输入，测量记录输出后进行图像的拟合。

## 4 实验数据记录

原始数据请见 [这里](#)。

其中差分、微分电路已经经过课堂检查。

需要注意的是，本小节的拟合图像均将输入放大了  $1e6$  倍。

### 4.1 指数运算电路

将其输入与输出进行了指数拟合，如图 5。对比上一小节推导的公式，得到  $I_s = 13.9nA$ ， $u_t = 53.856mV$ 。

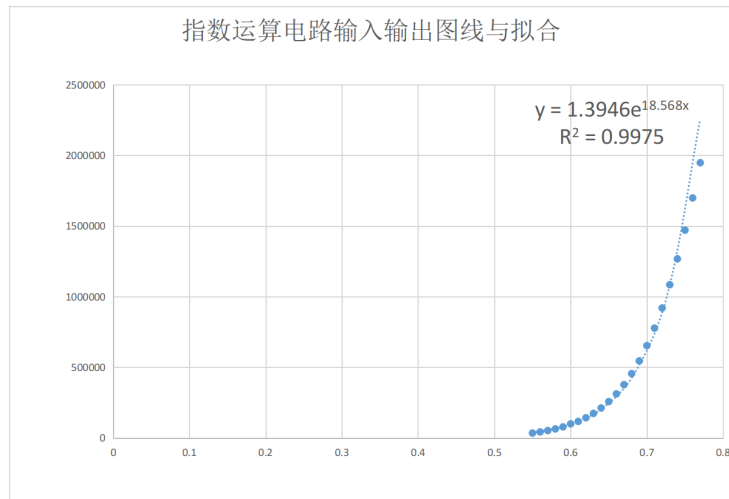


图 5: 指数运算电路拟合结果

## 4.2 对数运算电路

将其输入与输出进行了对数拟合，如图 6。对比上一小节推导的公式，得到  $u_t = 57.331mV$ ， $I_s = 30nA$ 。

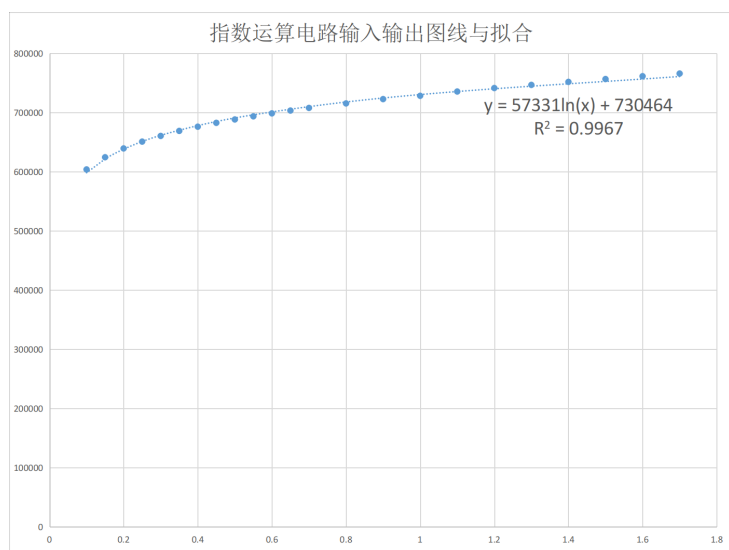


图 6: 对数运算电路拟合结果

## 5 实验结果分析

基本来说，本次实验电路结果较为稳定，并且可以复现，验证了已有知识。

## 6 总结与思考

Q1. 任意波形发生器的内阻与微分电路中的电容组成一个什么样的滤波器？截止频率是多大？

其电路如 图 7 。满足：

$$A_v = \frac{1/sC}{1/sC + R} = \frac{1}{1 + sCR}$$

那么：

$$|A_v| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

解得：

$$\omega = \frac{1}{RC} = \frac{1}{500\mu} = 2000$$

约为  $320Hz$  。

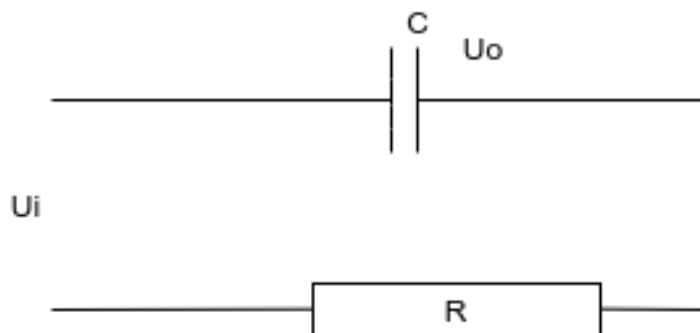


图 7: 滤波器结构

Q2. 方波信号经过低通滤波后得到什么样的波形？为什么？

应该是类似  $sa$  函数构成的梯形的形状。方波的频域表示为  $sa$  函数，低通滤波器（类似方波）将其主要幅度特性留下，恢复出一个缺少高频低幅度的“方波”。如 图 8 。

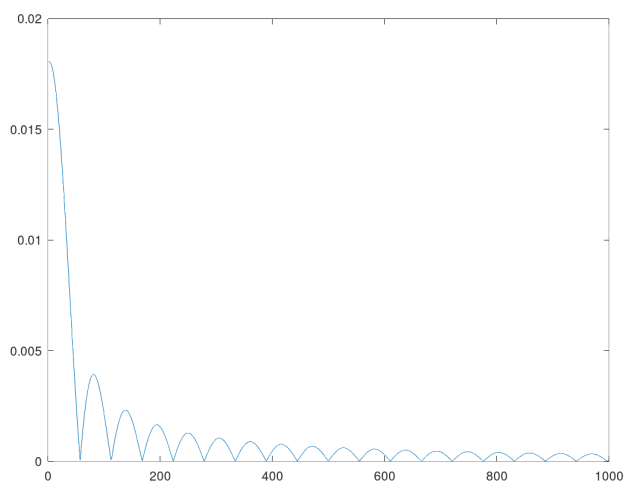


图 8: 经过滤波的方波形状

Q3. 输入电压在什么范围内时指数运算和对数运算电路能够正常工作？

输入电压的范围需要保证输出电压范围在供电电压内，不如假定其负端电压为  $-V_-$ 。对于指数运算电路，最大输入电压为  $u_t \ln \frac{v_o}{RI_s}$ ，对于对数运算电路，最大输入电压为  $I_s R \exp \frac{v_o}{u_t}$ 。