

浙江大学

本科实验报告

课程名称： 电子电路设计实验 I

姓 名： 王英杰

学 院： 信息与工程学院

系：

专 业： 信息工程

学 号： 3190103370

指导教师： 李锡华 叶险峰 施红军

20 20 年 12 月 30 日

浙江大学实验报告

专业：信息工程
姓名：王英杰
学号：3190103370
日期：2020/12/30
地点：东四-216

课程名称：电子电路设计实验 I 指导老师：李锡华 叶险峰 施红军 成绩：_____

实验名称：集成运算放大器应用电路研究(I) 实验类型：设计型实验 同组学生姓名：陈希

一、实验目的

- 1、研究由集成运放构成的比例、加法、减法等基本运算电路的组成与功能，加深对集成运放线性应用电路结构和性能特点的理解，掌握其设计方法。
- 2、研究放大电路增益带宽积与单位增益带宽的关系。
- 3、了解运算放大器构成的基本运算电路在实际应用时的局限性和应考虑的问题。

二、实验理论基础

2.1 集成运放概述

高电压增益、高输入电阻、低输出电阻、直接耦合的多级放大集成电路。

由于集成运放具有极高的差模电压增益，要使其稳定工作于线性区，必须加深度负反馈，否则它将工作于饱和区或非线性状态。

在运放输出端与输入端之间接不同的反馈网络，可实现不同用途的电路：信号放大、信号运算、信号处理（滤波、调制）、波形产生和变换等。

反馈，就是把输出回路中的电压或电流，通过一定的电路（反馈网络）送回到放大器的输入回路的过程。如果反馈到输入回路中去的电量是对输入信号起抵消作用，结果使闭环放大倍数减小的，称为负反馈。反之，称为正反馈。可分为电压、电流反馈，串联、并联反馈。

在分析或设计集成运放构成的电路时，通常可认为运放是“理想的”：

输入阻抗 $R_i = \infty$ 开环差模电压增益 $A_{vd} = \infty$ 输出阻抗 $R_o = 0$
共模抑制比 $CMRR = \infty$ 带宽 $BW = \infty$ 失调、温漂等均为零

2.2 理想运放在线性应用时的两个重要特性

(1) “虚短”： $V_+ = V_-$

即运放的两个输入端的电位“无限”接近，就像短路一样，但不是真正的短路——虚短。

(2) “虚断”： $I_+ = 0$ 、 $I_- = 0$

即运放的两个输入端的偏置电流趋于 0，就像断路一样，但不是真正的断路——虚断。

2.3 基本运算电路

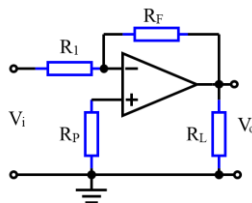
(1) 反相比例放大器（电压并联负反馈）

$$\text{闭环电压增益} \quad A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_F}{R_1}$$

$$\text{输入电阻} \quad R_i = R_1$$

$$\text{输出电阻} \quad R_o = 0$$

R_P 是直流平衡电阻，取 $R_P = R_1 \parallel R_F$ 。

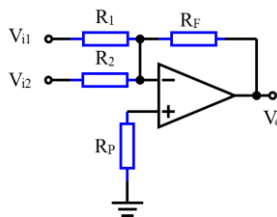


(2) 反向权重加法器

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

R_P 为直流平衡电阻，取 $R_P = R_1 \parallel R_2 \parallel R_F$ 。

若取 $R_1 = R_2 = R_F$ ，则输出电压为： $u_o = -(u_{i1} + u_{i2})$ ，



实验名称：集成运算放大器应用电路研究(I) 姓名：王英杰 学号：3190103370

(3) 同相放大器（电压串联负反馈）

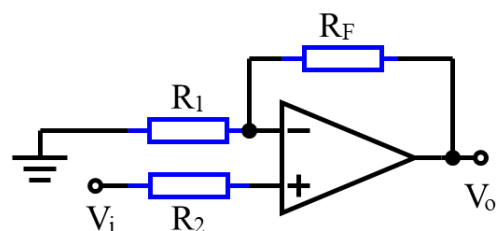
闭环电压增益 $A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$

输入电阻 $R_i = \infty$

输出电阻 $R_o = 0$

取直流平衡电阻 $R_P = R_1 \parallel R_F$,

若使 $R_1 = \infty$ （即开路），则 $u_o = u_i$ ，电压跟随器



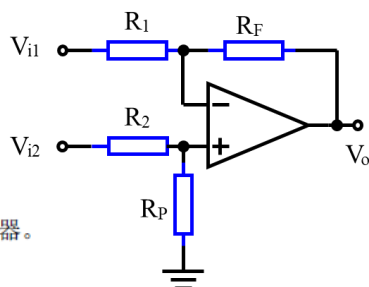
(4) 差动放大器（减法器）

当电阻两个 R_1 和两个 R_F 完全匹配时，输出电压

可表示为：

$$u_o = -\frac{R_F}{R_1}(u_{i1} - u_{i2})$$

在实际应用中，其主要用途是从大的共模信号背景中提取并放大差模信号，常被用作传感器或测量仪器的前端放大器。



三、实验方案设计与实验参数计算

3.1 实验方案总体设计

根据设计要求，选择合适的运放型号、确定电路结构及元件参数的过程。

反相放大器、同相放大器、差动放大器设计原则基本相同。

①运放的选择

根据被处理信号的频率、幅度、内阻，精度要求、负载条件等来选择运放。

主要从带宽、速度（转换速率）、失调电压电流、输入偏置电流等指标来选择。

②电路结构的选择

同相、反相、差分等

③电路元件参数确定

一般先根据电压增益要求确定 R_F 与 R_1 的比值，然后具体选择 R_F 、 R_1 的阻值。

若对 R_i 没有明确要求，则先依据经验选取 R_F 。

选取原则：流过 R_F 的电流应小于运放的最大输出电流（一般小于 20mA），同时又要远大于运放的输入偏置电流 I_B 。通常反馈电阻 R_F 的取值在几 $k\Omega$ ~几百 $k\Omega$ 之间。

若 R_F 过大、 R_1 也大，输入失调电流流过上述电阻会在运放输入端产生较大的附加差模电压，引起较大的输出失调；另一方面，1M Ω 以上的大电阻通常噪声大、稳定性差、精度低。

若 R_F 过小、 R_1 也小，使输入电阻 R_i 过小，可能满足不了要求。

3.2 各功能电路设计与计算

(1) 反相放大器设计研究

要求：（1）设计一反相放大电路，要求 $R_i=10K\Omega$ ， $|A_v|=10$ 。

（2）安装该电路，加 1kHz 正弦信号，研究输入、输出 信号的幅度、相位关系。输入信号幅度自定。

$$|A_v| = |R_F / R_1| = 10 \text{ 得 } R_F = 100 K\Omega$$

$$R_P = R_1 \parallel R_F = 9.1 K\Omega$$

实验名称：集成运算放大器应用电路研究(I) 姓名：王英杰 学号：3190103370

(2) 设计并安装一个算术运算电路，要求实现：

A、 $V_o = -(V_{i1} + 0.5V_{i2})$

B、 $V_o = V_{i1} - V_{i2}$ (A、B 选做一个)

V_{i1} 用直流、 V_{i2} 用正弦信号在合适的幅度和频率范围内，进行验证并记录波形及参数。

选取 A 进行实验电路的设计：

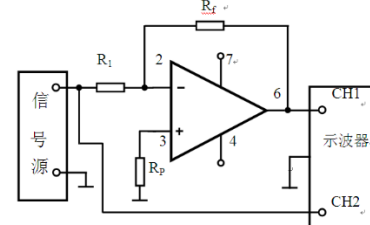
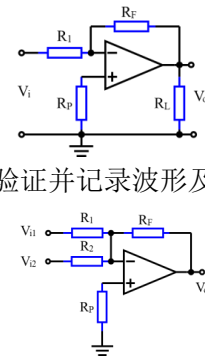
为了实现 $V_o = -(V_{i1} + 0.5V_{i2})$ ，取 $R_F = R_1 = 0.5R_2 = 10\text{ K}\Omega$

计算可得 $R_p = R_1 \parallel R_2 \parallel R_F = 4\text{ K}\Omega$ ，取标称值 $R_p = 3.9\text{ K}\Omega$

(3) 增益带宽积研究

运放可工作在零赫兹（即直流），因此其带宽 BW 就等于其截止频率 f_H 。增益越高，带宽越窄，增益带宽积 $A_v \cdot BW = \text{常数}$ 。当电压增益等于 1 时，对应的带宽称为单位增益带宽。运放增益给定时，其最高工作频率受到增益带宽积的限制，应用时要特别注意。这一点对晶体管放大电路同样适用。只不过晶体管电路的增益带宽积比运放电路的大得多

	R_F	R_1	A_v	BW	$A_v \cdot BW$
1	10k Ω	10k Ω			
2	100k Ω	10k Ω			
3	1M Ω	10k Ω			



四、主要仪器设备

集成放大器电路实验电路板、直流电压源、示波器、OrCAD 仿真软件

五、实验过程和实验数据记录

(1) 反相比例放大器

①直流输入（DC 耦合）

上方直线为输入信号 $V_i = 0.780\text{V}$

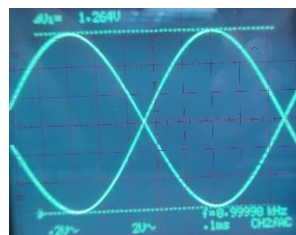
下方直线为输出信号 $V_o = -7.20\text{V}$



②交流输入（AC 耦合）

输入信号 $V_{ip-p} = 1.272\text{V}$

输出信号 $V_{op-p} = 12.64\text{V}$



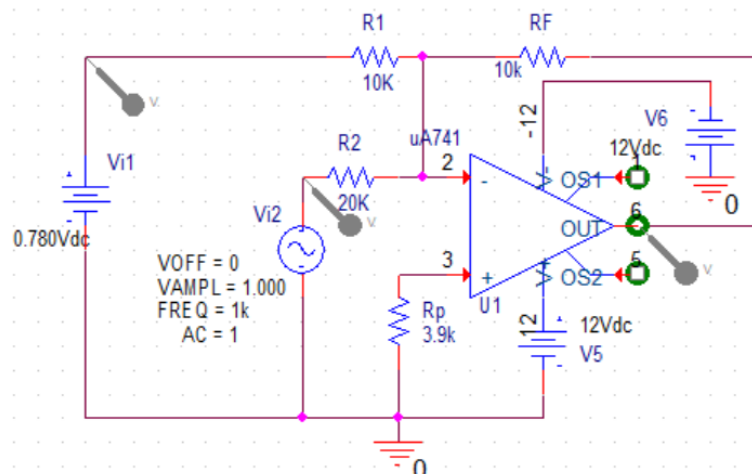
③-40dB 交流输入（AC 耦合）

输入信号 $V_{ip-p} = 27.8\text{mV}$

输出信号 $V_{op-p} = 278.0\text{mV}$

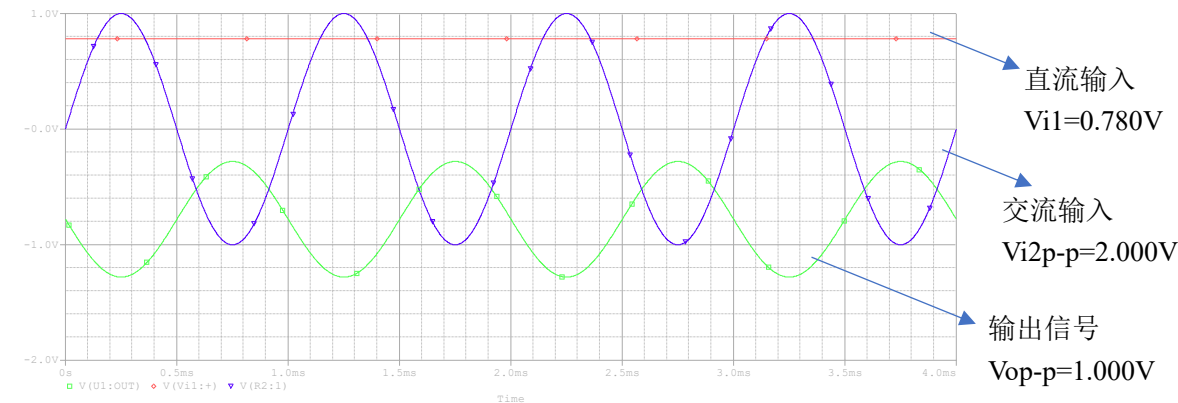
(2) 算术运算电路

①仿真电路图



实验名称：集成运算放大器应用电路研究(I) 姓名：王英杰 学号：3190103370

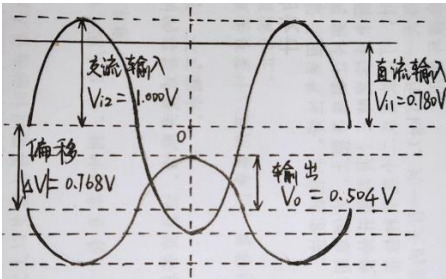
②仿真结果



③实验结果

实际测得： $R_1=10.07\text{ K}\Omega$ ， $R_2=19.8\text{ K}\Omega$ ， $R_F=9.92\text{ K}\Omega$ ， R_p 未设置。

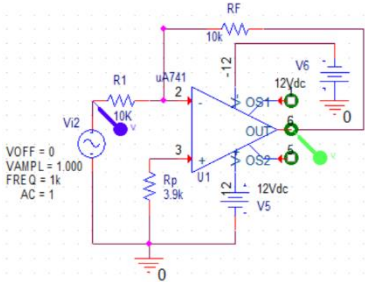
$V_{i1}=0.780V$ ， $V_{i2p-p}=2.000V$ ， $V_{op-p}=1.008V$ ， $\Delta V=-0.768V$



实验结论：实验结果与仿真结果相符，该电路实现了 $V_o = -(V_{i1} + 0.5V_{i2})$ 的功能，输出信号与输入信号反相（相差 π ）。

(3) 增益带宽积研究

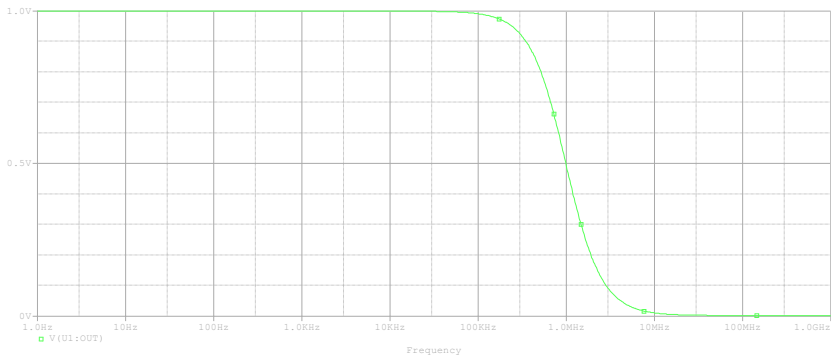
①仿真电路图



②仿真结果

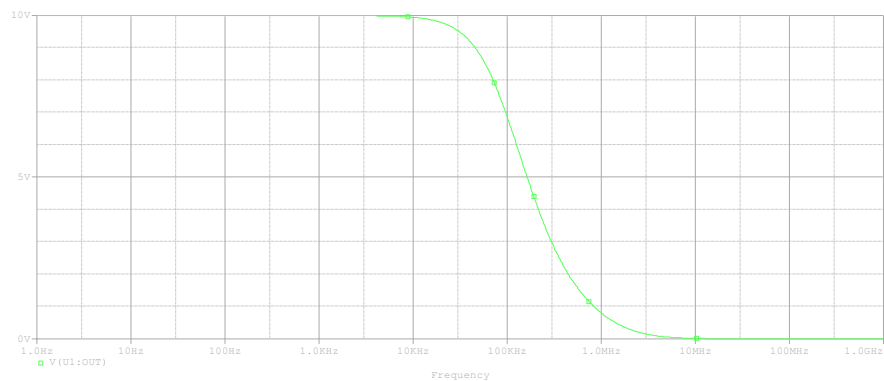
	$R_f(\Omega)$	$R_1(\Omega)$	$ A_v $	BW(Hz)	$ A_v \cdot BW$
1	10K	10K	1	651.6K	651.6K
2	100K	10K	10	93.88K	938.8K
3	1M	10K	100	9.854K	985.4K

实验结论：三组数据的增益带宽积基本相等，处于同一数量级，仅有第一组数据偏差较大。

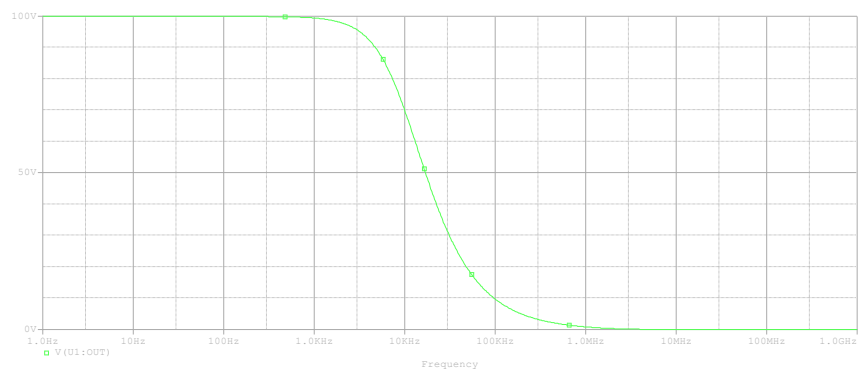


第一组仿真数据

实验名称：集成运算放大器应用电路研究(I) 姓名：王英杰 学号：3190103370



第二组仿真数据



第三组仿真数据

③实验结果

	Rf (Ω)	R1 (Ω)	Av	BW(Hz)	Av • BW
1	9.92K	10.07K	0.989	427.0K	422.4K
2	100.8K	10.07K	9.89	60.0K	593.5K
3	1.018M	10.07K	98.9	6.7K	662.7K

注：实验数据中，Rf，R1，|Av|，BW 均为实际测量值

实验结论：三组实验中，增益带宽积基本相等，由于实验中所用运放非理想运放，并且示波器精度有限，造成实验数据存在偏差。

六、讨论、心得

通过本次集成运算放大器应用电路实验，巩固了理论课中的相关知识，加深了对集成运放电路的理解。

在仿真中，由于没有给运放接供电电源，导致出现了奇怪的输出曲线，浪费了大量时间，应牢记教训。在实际电路设计中，应根据设计要求灵活选用运放、电路结构、输入电阻、反馈电阻等。