

实验 8 集成运算放大电路

实验目的

1. 了解集成运算放大器的特点。
2. 掌握集成运算放大器在信号运算方面的应用。

实验原理

集成运算放大器按照输入方式可以分为同相、反相、差分三种接法，按照输入电压与输出电压的运算关系可以分为比例、加法、减法、积分、微分等，输入方式和运算关系组合起来，可以构成各种运算放大器。

1. 反相接法

(1) 反相比例放大电路(图 3.8a.1) 的输入信号从运算放大器的反相输入端引入，输出信号与输入信号反相，并按比例放大为

$$U_o = -U_i \frac{R_F}{R_1} \left[\frac{1}{1 + \frac{1}{A_o} \left(1 + \frac{R_F}{R_1} + \frac{R_F}{r_{id}} \right)} \right]$$

式中 A_o 为运算放大器的开环电压放大倍数， r_{id} 为差模输入电阻。在开环电压放大倍数及差模输入电阻极大的条件下，可把运算放大器看作是理想的，则上式可以简化为

$$U_o = -\frac{R_F}{R_1} U_i$$

电压放大倍数
$$A = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -\frac{R_F}{R_1}$$

集成运算放大器的输入级是由差动放大电路组成，它要求反相和同相输入端的外电阻相等，因此要在同相输入端接入平衡电阻 $R_p = R_F // R_1$ 。

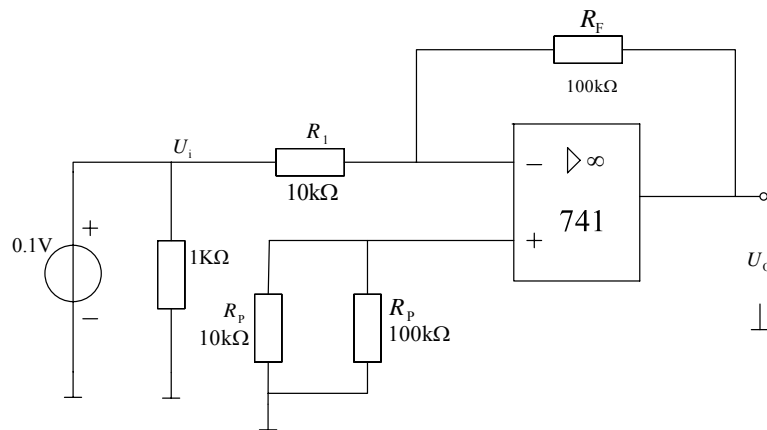


图 3.8a.1 反相比例放大电路

(2) 反相加法运算电路(图 3.8a.2)为若干个输入信号从集成运放的反相输入端引入，输出信号为它们反相按比例放大的代数和。

$$U_o = -R_F \left[\frac{U_{i1}}{R_1} + \frac{U_{i2}}{R_2} \right]$$

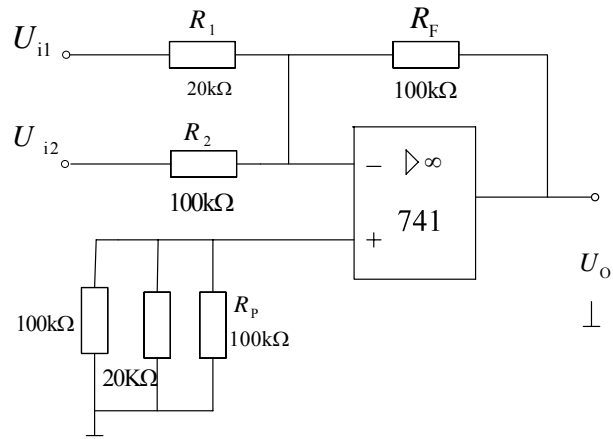


图 3. 8a. 2 反相加法电路

2. 同相接法

(1) 同相比例放大电路 (图 3. 8a. 3) 的输入信号是从集成运放的同相输入端引入, 输出信号按比例放大, 并与输入信号同相。

$$\text{电压放大倍数} \quad A = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

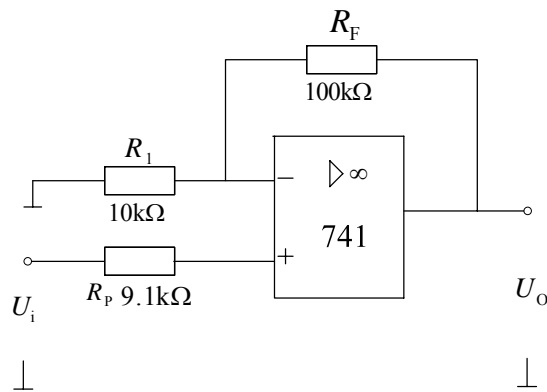


图 3. 8a. 3 同相比例放大电路

(2) 同相跟随器是将同相比例放大电路反相端的电阻 R_1 开路而构成的, 其输出信号与输入信号一致。

$$A = \frac{U_o}{U_i} = 1$$

3. 差分接法

差分放大电路 (图 3. 8a. 4) 的输入信号是从集成运放的反相和同相输入端引入, 如果反馈电阻 R_F 等于输入端电阻 R_1 , 输出电压为同相输入电压减反相输入电压, 这种电路也称作减法电路。

$$U_o = (U_{i+} - U_{i-}) \frac{R_F}{R_1}$$

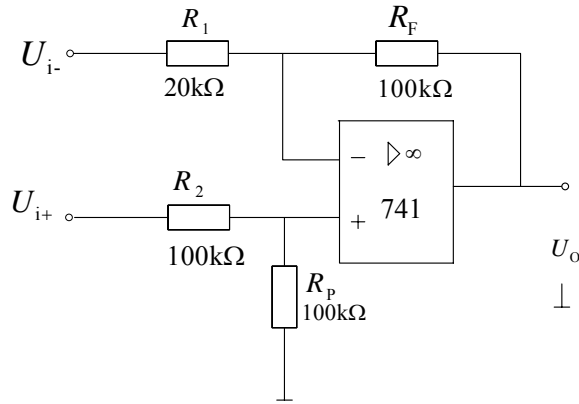


图 3. 8a. 4 差分放大电路

4. 反相积分运算电路

反相积分器电路（图 3. 8a. 5）的输出电压与输入电压成积分关系，由运算放大器构成的积分器电路的基本运算关系是

$$u_o = -\frac{1}{R_1 C} \int_{t_0}^t u_i dt$$

当 U_i 为恒定直流电压时 $u_o = -\frac{1}{R_1 C} U_i t$ 输出电压随时间作线性变化，其上升和下降斜率随 R 、 C 和 U_i 的改变而变化。该电路中在电容两端并联电阻 R_f ，它起到稳定直流工作点的作用。

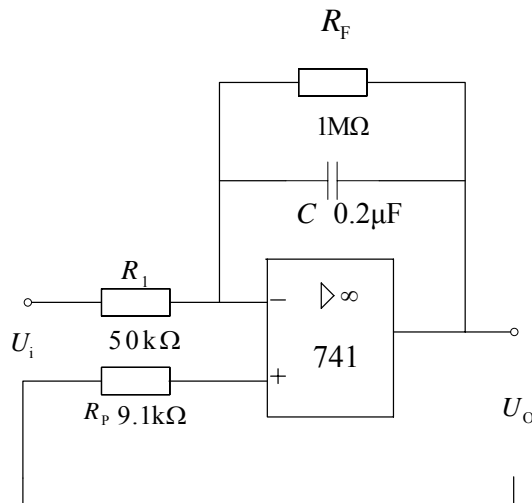


图 3. 7a. 5 反相积分运算电路

5. 反相微分运算电路

微分是积分的逆运算。将积分运算电路中 R_f 和 C 的位置互换，可组成基本微分运算电路

(图 3. 8a. 6)。由运算放大器构成的微分运算电路的基本运算关系是

$$u_o = -R_F C \frac{du_i}{dt}$$

微分运算电路可以实现波形变换, 例如将矩形波变换成尖脉冲, 将三角波变换成矩形波, 还可以实现移相。

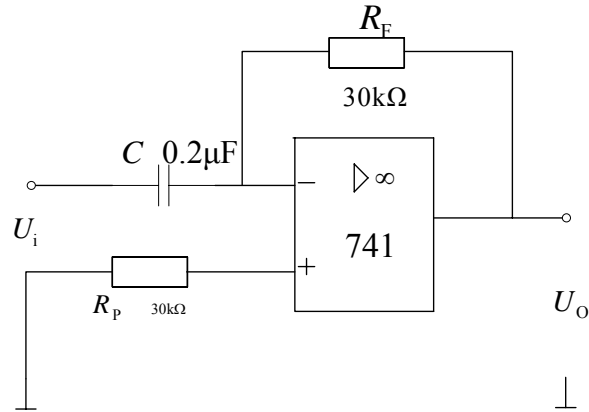


图 3. 7a. 6 反相微分运算电路

基本微分运算电路的输出电压对输入电压的变化非常敏感, 所以它的抗干扰性能差, 而且 RC 微分电路和运算放大器合在一起能够引起自激振荡。为此可以在输入端串联电阻 R_1 以抑制其振荡, 还可以在 R_F 二端并联电容 C_1 以降低高频噪声的影响。

实验仪器设备

1. 直流稳压电源	0~30V 0~1A	双路	1 台
2. 直流电压表	30V		1 只
3. 示波器	0~20MHz	双踪	1 台
4. 函数发生器	2Hz~2MHz	5V	1 台
5. 实验电路板			1 块

实验步骤

A、基本内容

集成运算放大器需要提供正负两组直流电源。两组电源相串联，即正电源的负端与负电源的正端相接构成公共接地端。741 集成运算放大器的符号及管脚如图 3.8a.7 所示。

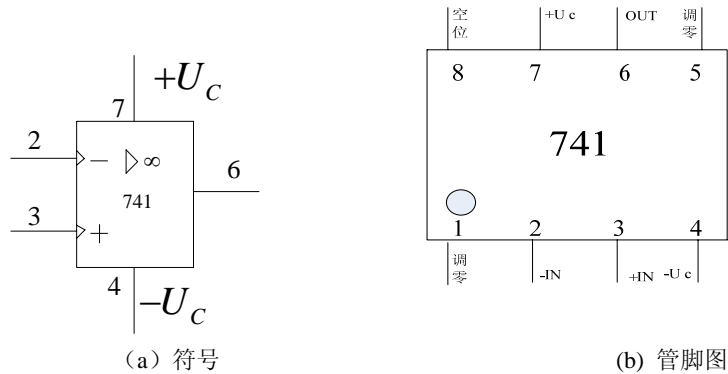


图 3.8a.7 741 集成运算放大器符号及管脚图

1 和 5 为外接调零电位器端。

2 为反相输入端。此端输入信号，则输出信号与输入信号是反相的。

3 为同相输入端。此端输入信号，则输出信号与输入信号是同相的。

4 为负电源端，接 -15V 直流电压。

6 为输出端。

7 为正电源端，接 $+15\text{V}$ 直流电压。

8 为空脚。

1. 反相接法

(1) 反相比例放大电路

按图 3.8a.1 接线，测量反相比例放大电路放大倍数。测出输出电压，求出放大倍数，记录在表 3.8a.1 中（注意极性）。

表 3.8a.1 反相比例放大电路放大倍数测量

U_i / V	-0.3	-0.1	0	0.1	0.3
U_o / V					
A					

$$A_u = \frac{U_o}{U_i}$$

(2) 反相加法运算电路

按图 3.8a.2 接线，任取一组直流输入电压 U_{i1} 及 U_{i2} ，测量输出电压，（注意 U_o 应在 $\pm 10\text{V}$ 以内，避免运算放大器进入饱和）记录在表 3.8a.2 中，并与计算值相比较，是否满足比例相

加的关系。另取一组输入电压重复上述步骤。另外在反相输入 U_{i2} 端输入 1kHz、1V 正弦波信号，反相输入 U_{i1} 端输入直流电压（-2V~+2V），观察输出波形。调节直流输入从正到负，从负到正，用示波器观察波形变化情况。该直流输入可称为交流信号的偏置。

表 3. 7a. 2 反相加法运算电路的输入和输出电压测量

	U_{i1}/V	U_{i2}/V	U_o/V	U_o (计算值) /V
1				
2				

2. 同相接法

(1) 同相比例放大电路

按图 3.8a.3 接线，测量同相比例放大电路放大倍数。测出输出电压，求出放大倍数，记录在表 3. 8a. 3 中。

表 3. 8a. 3 同相比例放大电路放大倍数测量

U_i/V	-0.3	-0.1	0	0.1	0.3
U_o/V					
A					

(2) 同相跟随电路

按图 3.8a.8 接线，测量同相跟随电路放大倍数。测出输出电压，求出放大倍数，记录在表 3. 8a. 4 中。

表 3. 8a. 4 同相跟随电路放大倍数测量

U_i/V	-3	-1	0	1	3
U_o/V					
A					

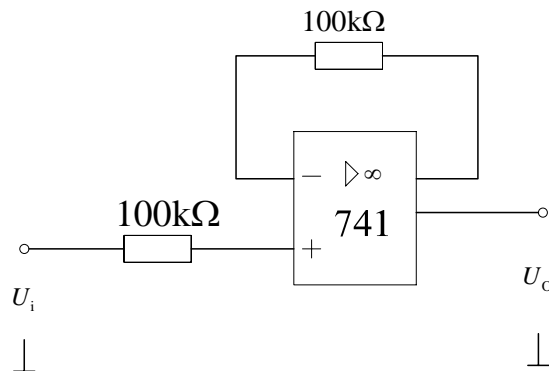


图 3. 8 a. 8 同相跟随器

3. 差分接法

按图 3.8a.4 接线，测量差分放大电路放大倍数。任取二组直流输入电压 U_{i+} 、 U_{i-} （不超过 10V），测出输出电压，求出放大倍数，记录在表 3. 8a. 5 中。

表 3. 8a. 5 差分放大电路的输入和输出电压

	U_{i+} / V	U_{i-} / V	U_o / V	U_o (计算值) /V

1				
2				

4. 反相积分运算电路

按图 3.8a.5 接线，输入为矩形波，同时观察输入和输出波形。改变输入波形为正弦波，同时观察输入和输出波形，并记录下来。

5. 反相微分运算电路

按图 3.8a.6 接线，输入为矩形波或三角波，同时观察输入和输出波形。改变输入波形为正弦波，同时观察输入和输出波形，并记录下来。

B.设计性内容

1. 自行设计运算电路要求 $U_O = 10U_{i_1} - 5U_{i_2} - 4U_{i_3}$ （可以有多种方案）。
2. 在基本微分电路（图 3.8a.6）的基础上，自行设计一个改进的微分电路，用示波器观察其波形并与基本微分电路波形相比较。

实验报告要求

1. 记录集成运算放大器各个运算电路的测试数据及波形，得出相应的结论，并分析产生误差的原因。
2. 画出反相积分运算电路的输入和输出波形。
3. 画出反相基本微分运算电路和改进的微分运算电路的输入和输出波形，并作比较。

实验现象

1. 反相加法运算电路实验，如果输入电压值和电阻比值的乘积（反馈电阻/输入电阻）超出线性范围，输出电压就不符合相应的关系式。应减小输入电压。
2. 反相积分器电路在积分电容两端必须并联一个大电阻，否则波形就会发生漂移。
3. 基本反相微分电路电路波形失真严重，解决方法是在输入回路中接入一个小电阻与微分电容串联，在反馈回路中接入一个小电容与微分电阻并联。

实验结果分析

1. 为什么实测的反相比例运算放大器电路的放大倍数一般总是略低于理想值？

答：因为理想值是按照近似公式 $A_F = -\frac{R_F}{R_1}$ 求得的，实际上 A_O 是有限值， A_F 应该为

$$A_F = -\frac{R_F}{R_1} \left[\frac{1}{1 + \frac{1}{A_O} \left(1 + \frac{R_F}{R_1} + \frac{R_F}{r_{id}} \right)} \right]$$

。实验中如实测值高于理想值，原因是反馈电阻和输入电阻值不是很精确的。

2. 在反相加法运算电路实验中，输入直流电压 $U_{i1}=2.4V$ ， $U_{i2}=2.4V$ 可不可以？为什么？

答：不可以。因为：

$$u_o = -\left(\frac{u_{i1}}{R_1} + \frac{u_{i2}}{R_2} \right) R_F = -\left(\frac{2.4}{100k} + \frac{2.4}{10k} \right) 100k = 14.4V,$$

运放电源最多只能加正负 15V，它本身有一定的电压降。以上述电压输入的话，放大器将工作在饱和区了。

3. 为什么断开积分运算电路中的反馈电阻常会输出不正常的波形？

答：积分运算电路的反馈元件是电容器，电路处于开环状态。运算放大器的输出逐渐偏向正或负的饱和状态，波形漂移出示波器的屏幕。加上反馈电阻，就能稳定直流工作点。

实验相关知识

预习要求

1. 熟悉集成运算放大器的三种基本接法。
2. 理解基本运算电路的比例放大、加法、差分放大（减法）、积分和微分的运算功能。
3. 熟悉集成运算放大器的管脚，能熟练地连接加、减、积分、微分等运算电路。
4. 了解积分运算电路及微分运算电路的波形转换功能。

相关知识点

集成运算放大器信号运算应用	E5050303
放大（比例）	E505030301
求和（加/减法）	E505030302
积分	E505030303
微分	E505030304

注意事项

1. 集成运算放大器 741 工作时要加两组直流电压，管脚 7 必须加正电压，管脚 4 必须加负电压，不能混淆。否则集成运算放大器烧坏。
2. 反相比例放大器的同相端要和它的反相端接相同数值的电阻，使输入电阻值平衡。