



基本集成运算电路

长安大学 电工电子实验教学中心



CONTENTS

目录

01

实验目的

02

实验原理

03

实验仪器与设备

04

实验内容

05

实验报告及要求



01 PART ONE

实验目的



- 1. 掌握集成运算放大器的正确使用方法；**
- 2. 学会分析由集成运算放大电路组成的基本运算电路；**
- 3. 掌握集成运算放大电路的测试方法；**
- 4. 了解运放在实际应用时应注意的问题。**



02 PART TWO

实验原理



1) 集成运算放大器的简单介绍

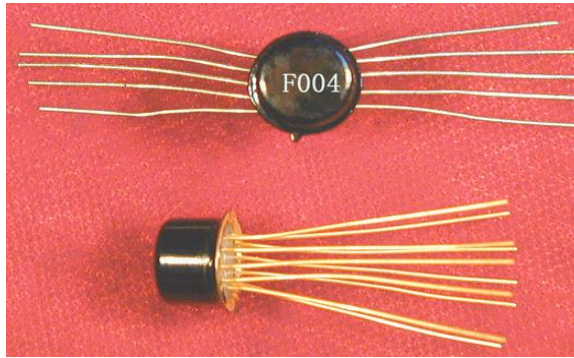
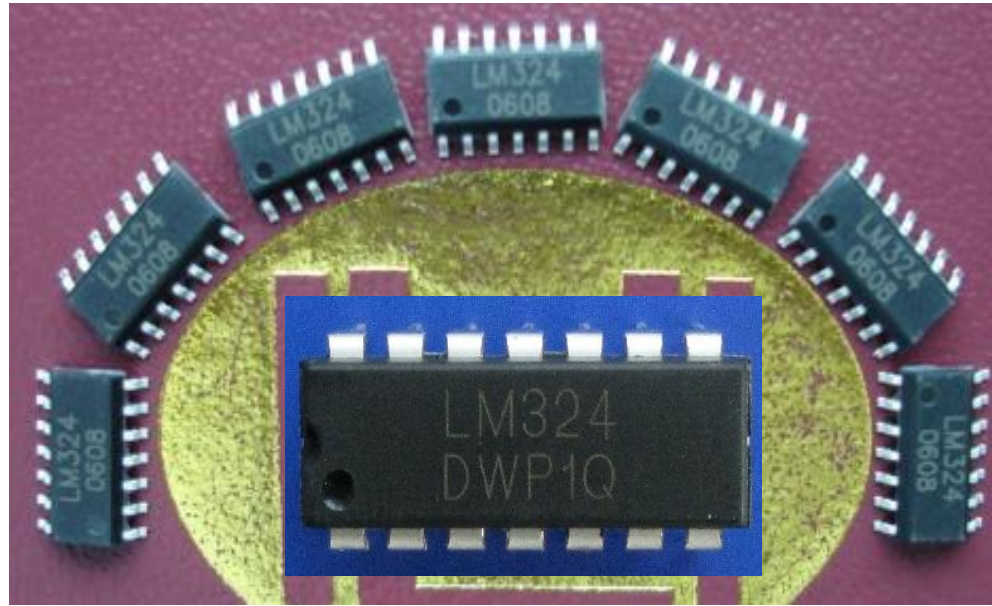
集成运算放大器是一种具有很高放大倍数的多级直接耦合放大电路,是发展最早、应用最广泛的一种模拟集成电路。

集成电路 是把整个电路的各个元件以及相互之间的连接同时制造在一块半导体芯片上,组成一个不可分的整体。

集成电路特点 : 体积小、重量轻、功耗低、可靠性高、价格低。

集成电路分类 {

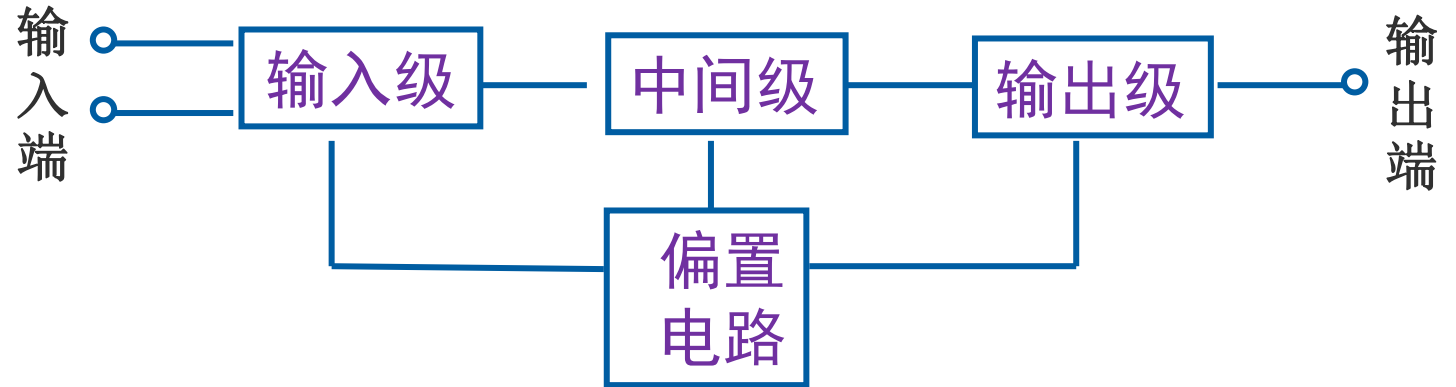
按集成度	小、中、大和超大规模
按导电类型	双、单极性和两种兼容
按功能	数字和模拟



各类型号集成运算放大器

2) 集成运算放大器的基本特性

集成运算放大器是一种具有高增益的多级直接耦合放大电路，从外部看，可等效成双端输入、单端输出的差分放大电路，对零漂的抑制能力很强。



集成运算放大器结构组成图

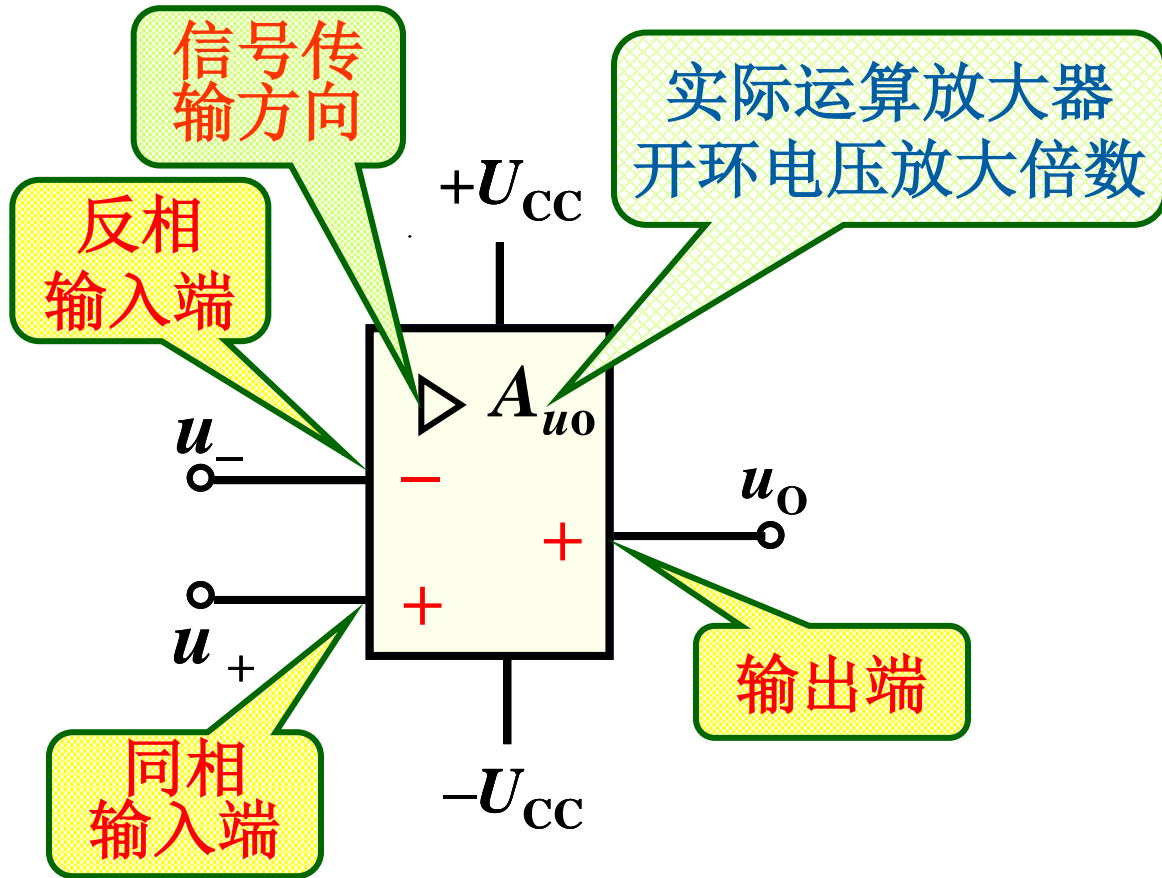
输入级：输入电阻高，能减小零点漂移和抑制干扰信号，采用带恒流源的差分放大器。

中间级：要求电压放大倍数高。常采用带恒流源的共发射极放大电路构成。

输出级：与负载相接，要求输出电阻低，带负载能力强，一般由互补功率放大电路或射极输出器构成。

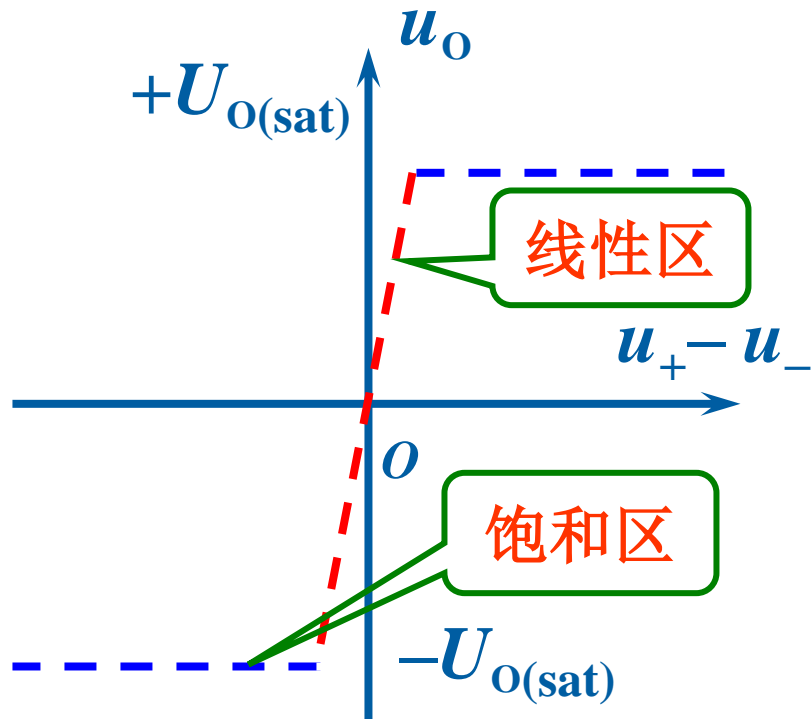
偏置电路：一般由各种恒流源等电路组成。

3) 集成运算放大器的符号



集成运算放大器的符号

“+”表示同相输入端；“-”表示反相输入端。若反相输入端接地，信号由同相输入端输入，则输出信号和输入信号的相位相同；若将同相输入端接地，信号从反相输入端输入，则输出信号和输入信号相位相反。集成运放的引脚除输入、输出端外，还有正、负电源端，有的集成运算放大器有调零端，如 $\mu A741$ 等。

4) 电压传输特性 $u_o = A_{u_o}(u_+ - u_-) = A_{u_o}u_{id}$ 

线性区:

$$u_o = A_{u_o}(u_+ - u_-) = A_{u_o}u_{id}$$

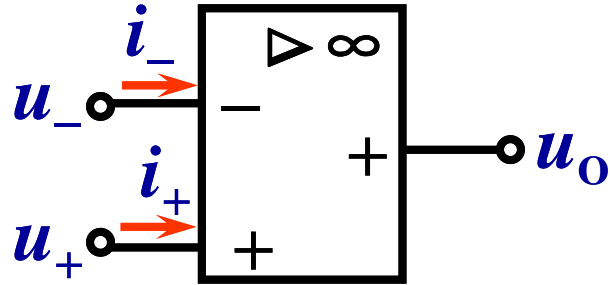
非线性区:

$$u_+ > u_- \text{ 时, } u_o = +U_{O(sat)}$$

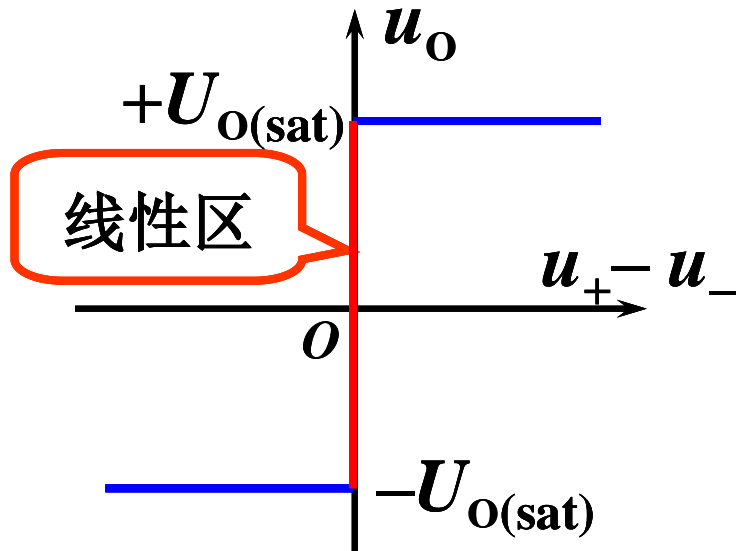
$$u_+ < u_- \text{ 时, } u_o = -U_{O(sat)}$$

$U_{O(sat)}$ 与运算放大器的电源电压有关, 一般较电源电压低 1~2 V。

理想运算放大器工作在线性区的特点



电压传输特性



因为 $u_o = A_{uo}(u_+ - u_-)$, $A_{uo} \rightarrow \infty$

所以：差模输入电压约等于 0，
即 $u_+ = u_-$ ，称“虚短”

因为 $R_{id} \rightarrow \infty$

所以：输入电流约等于 0，
即 $i_+ = i_- \approx 0$ ，称“虚断”

A_{uo} 越大，运算放大器的线性范围越小，必须加负反馈才能使其工作于线性区。



在分析运算放大器时，一般将它看成是理想的运算放大器。理想化的主要条件：

- (1) 开环电压放大倍数 $A_{uo} \rightarrow \infty$
- (2) 差模输入电阻 $r_{id} \rightarrow \infty$
- (3) 开环输出电阻 $r_o \rightarrow 0$
- (4) 共模抑制比 $K_{CMRR} \rightarrow \infty$

由于实际运算放大器的技术指标接近理想化条件，用理想运算放大器分析电路可使问题大大简化，为此，后面对运算放大器的分析都是按其理想化条件进行的。

5) 运算放大器在信号运算方面的应用

集成运算放大器与外部电阻、电容、半导体器件等构成闭环电路后，能对各种模拟信号进行比例、加法、减法、微分、积分、对数、反对数、乘法和除法等运算。

运算放大器工作在线性区时，通常要引入深度负反馈。所以，它的输出电压和输入电压的关系基本决定于反馈电路和输入电路的结构和参数，而与运算放大器本身的参数关系不大。改变输入电路和反馈电路的结构形式，就可以实现不同的运算。



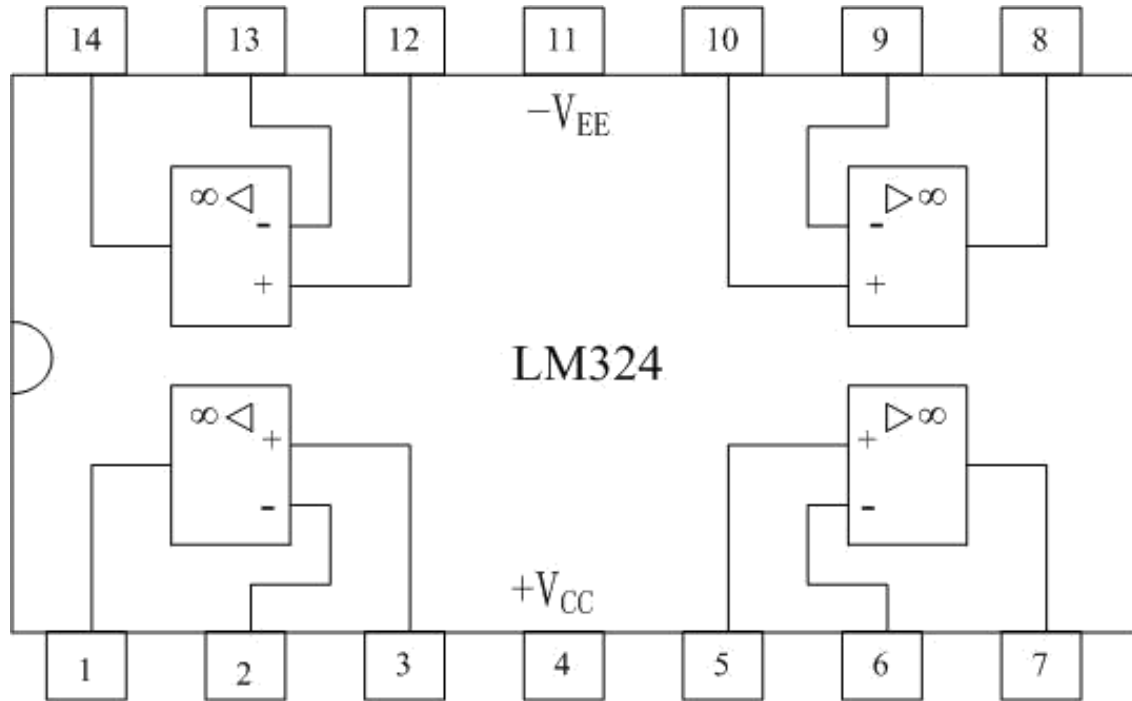
03 PART THREE

实验设备与仪器



- 1、模拟实验箱
- 2、数字万用表
- 3、集成运算放大器LM324
- 4、数字示波器
- 5、信号源

LM324是四运放集成电路，它采用14脚双列直插塑料封装，外形如图所示。它的内部包含四组形式完全相同的运算放大器，除电源共用外，四组运放相互独立。



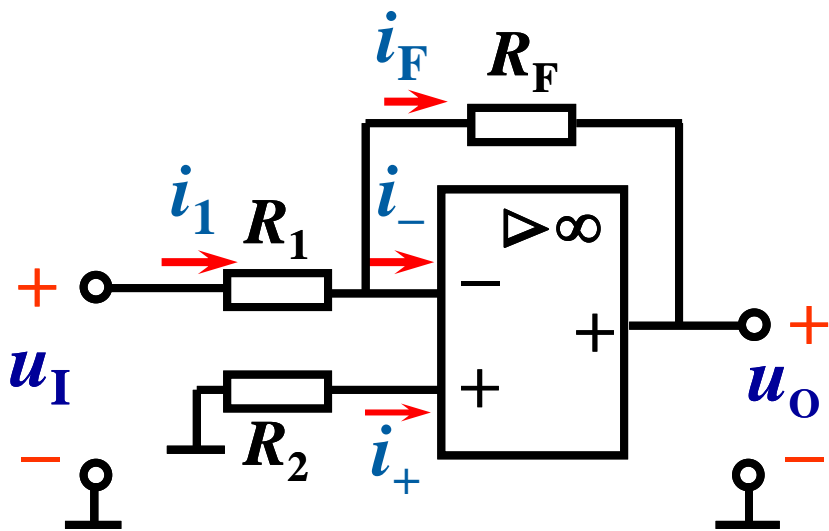


04 PART FOUR

实验内容

1) 反相比例运算

(1) 电路组成



因要求静态时 u_+ 、 u_- 对地电阻相同，所以平衡电阻

$$R_2 = R_1 // R_F$$

(2) 电压放大倍数

因虚断 $i_+ = i_- = 0$ 所以 $i_1 \approx i_F$

$$i_1 = \frac{u_I - u_-}{R_1} \quad i_F = \frac{u_- - u_O}{R_F}$$

因虚短，所以 $u_- = u_+ = 0$ ，

称反相输入端“虚地”——反相输入的重要特点。

$$u_O = -\frac{R_F}{R_1} u_I$$

$$A_{uf} = \frac{u_O}{u_I} = -\frac{R_F}{R_1}$$

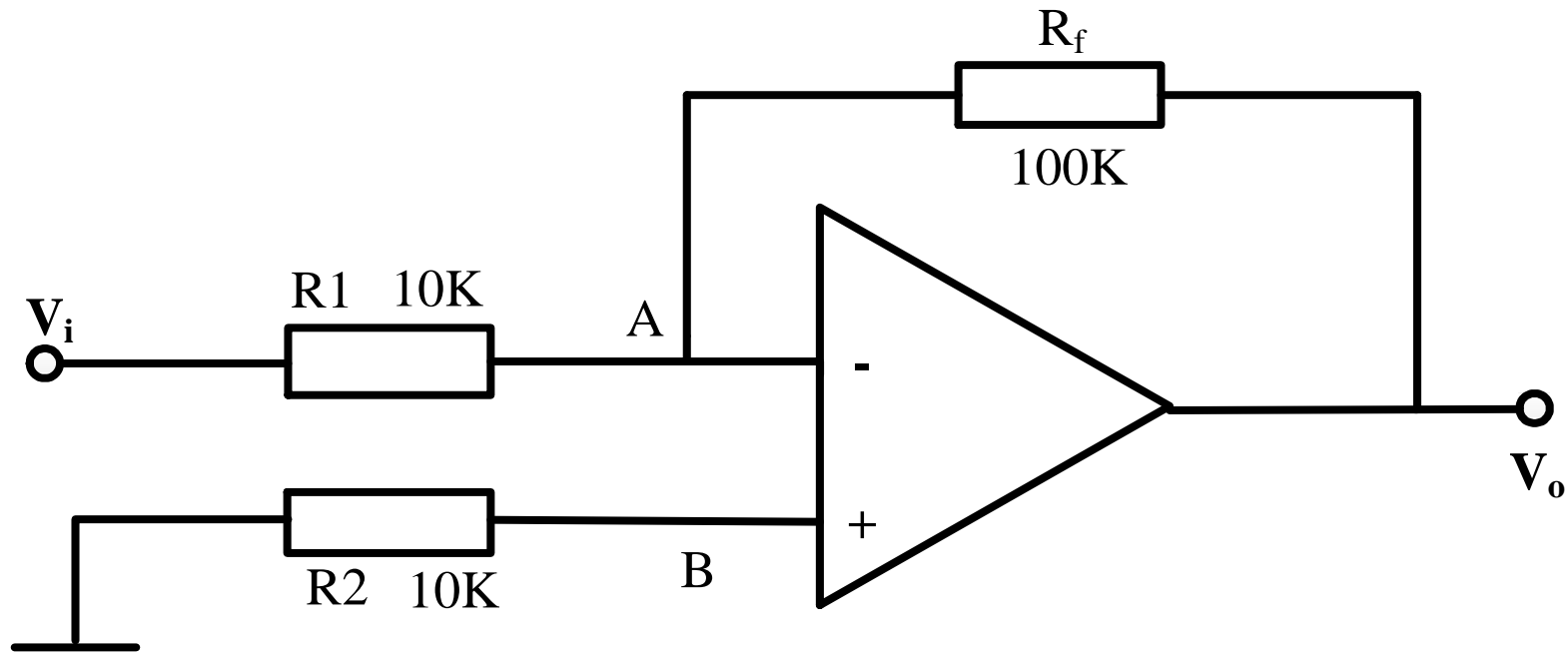


反向比例运算电路

结论：

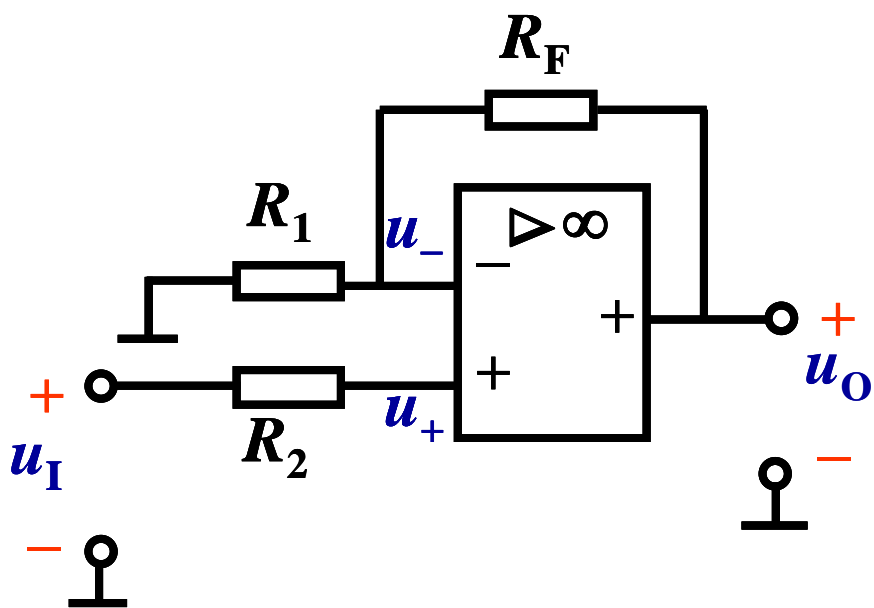
- (1) A_{uf} 为负值，即 u_o 与 u_i 极性相反。因为 u_i 加在反相输入端；
- (2) A_{uf} 只与外部电阻 R_1 、 R_F 有关，与运算放大器本身参数无关；
- (3) $|A_{uf}|$ 可大于 1，也可等于 1 或小于 1；
- (4) 因 $u_- = u_+ = 0$ ，所以反相输入端“虚地”；
- (5) 电压并联负反馈，输入、输出电阻低， $r_i = R_1$ ，共模输入电压低。

1) 反向比例运算电路接线图



2) 同向比例运算电路

(1) 电路组成



因要求静态时 u_+ 、 u_- 对地电阻相同，所以平衡电阻

$$R_2 = R_1 // R_F$$

(2) 电压放大倍数

因虚断，所以 $u_+ = u_I$

$$u_- = \frac{R_1}{R_1 + R_F} u_O$$

因虚短，所以 $u_- = u_+$ ，
反相输入端不“虚地”

$$u_O = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) u_I$$

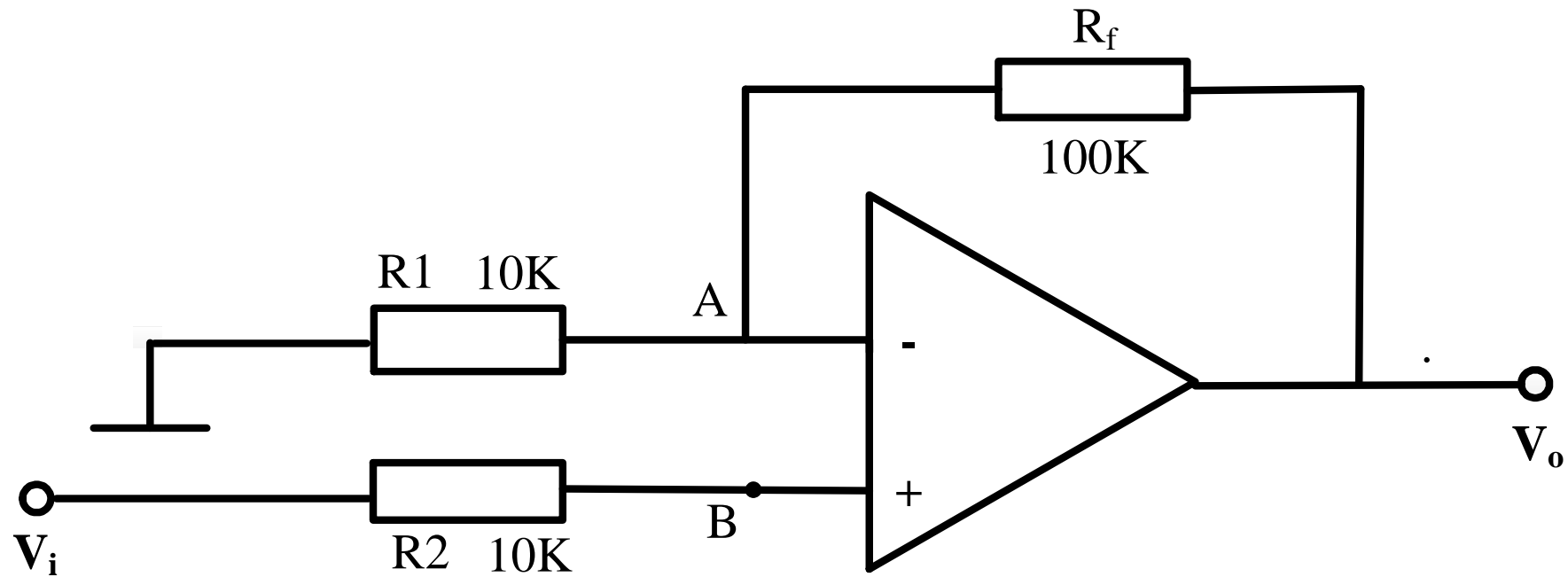
$$A_{uf} = \frac{u_O}{u_i} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

同向比例运算电路

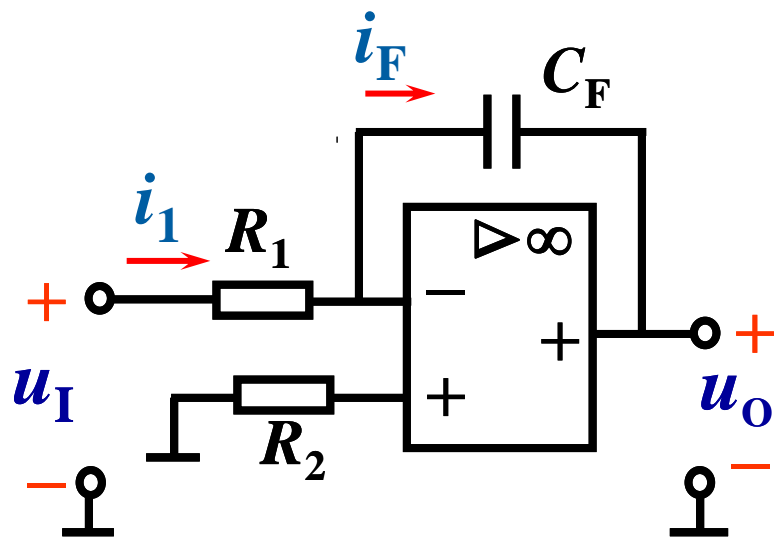
结论：

- (1) A_{uf} 为正值，即 u_o 与 u_i 极性相统。因为 u_i 加在同相输入端；
- (2) A_{uf} 只与外部电阻 R_1 、 R_F 有关，与运算放大器本身参数无关；
- (3) $A_{uf} \geq 1$ ，不可能小于 1；
- (4) $u_- = u_+ \neq 0$ ，反相输入端不存在“虚地”现象；
- (5) 电压串联负反馈，输入电阻高、输出电阻低，共模输入电压可能较高。

2) 同向比例运算电路接线图



3) 积分运算电路



当电容 C_F 的初始电压为 $u_C(t_0)$ 时，
则有

$$\begin{aligned}
 u_o &= - \left[\frac{1}{R_1 C_F} \int_{t_0}^t u_I dt + u_C(t_0) \right] \\
 &= - \frac{1}{R_1 C_F} \int_{t_0}^t u_I dt + u_o(t_0)
 \end{aligned}$$

由虚短及虚断性质可得

$$i_1 = i_F$$

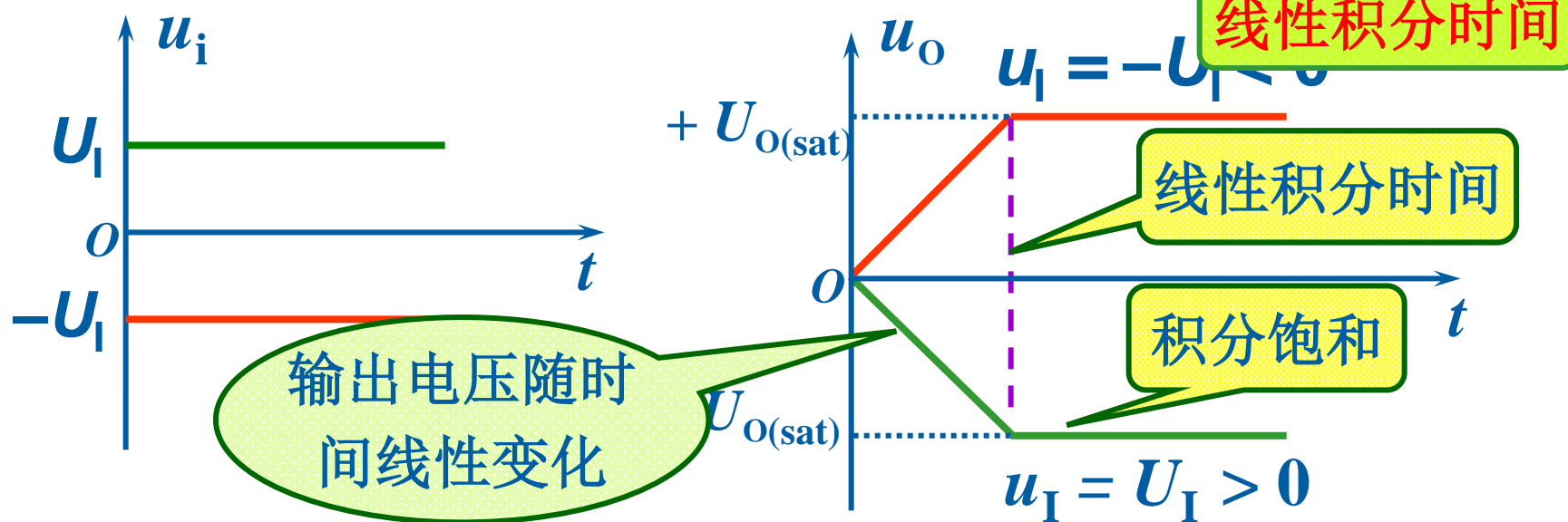
$$i_1 = \frac{u_I}{R_1} \quad i_F = C_F \frac{du_C}{dt}$$

$$\frac{u_I}{R_1} = C_F \frac{du_C}{dt} = -C_F \frac{du_o}{dt}$$

$$u_o = - \frac{1}{R_1 C_F} \int u_I dt$$

若输入信号电压为恒定直流量，即 $u_i = U_I$ 时，则

$$u_o = -\frac{1}{R_1 C_F} \int U_I dt = -\frac{U_I}{R_1 C_F} t \quad 0 \leq t \leq \left| \frac{\pm U_{O(\text{sat})}}{U_I} \right| R_1 C_F$$

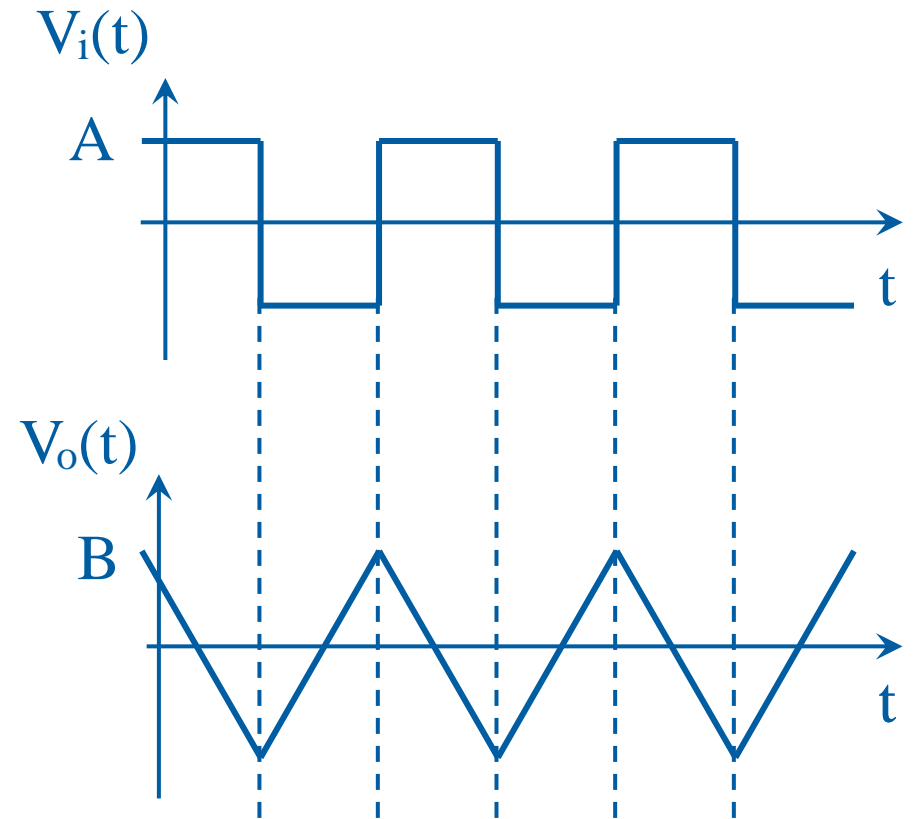


采用集成运算放大器组成的积分电路，由于电路的 $u_o = -u_C$ ，而电容的充电电流基本上是恒定的，故 u_o 是时间 t 的一次函数，从而提高了它的线性度。

3) 积分运算电路

输出电压 u_0 和 t 成线性关系，当 $t = RC$ 时， $u_0 = u_i$ 。当 $t > RC$ 时， u_0 增大，直到 $-u_0 = +U_{OM}$ ，积分输出电压幅值受到运放最大输出电压 U_{OM} 的限制，致使运放进入饱和状态， u_0 保持不变，而停止积分。

显然 RC 的数值越大，达到给定的 U_0 值所需的时间就越长。当输入为对称的方波，经积分后，其输出 U_0 为三角波。此时的输出电压 U_0 应分段计算。

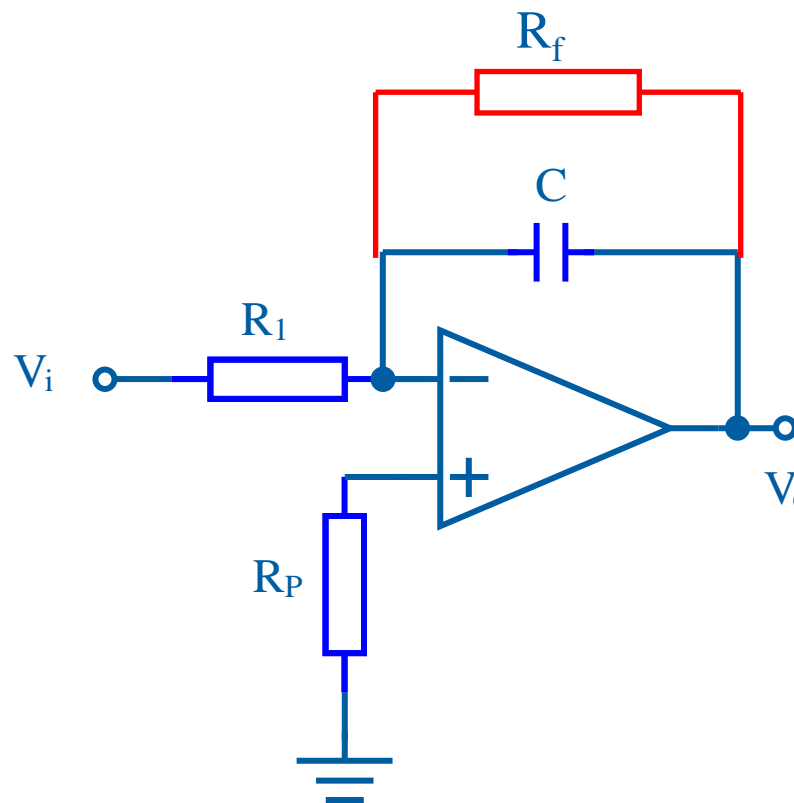


3) 积分运算电路

积分器在实际使用时，常在积分电容的两端并联一个电阻 R_f ，形成直流负反馈，用以限制电路的直流电压增益。

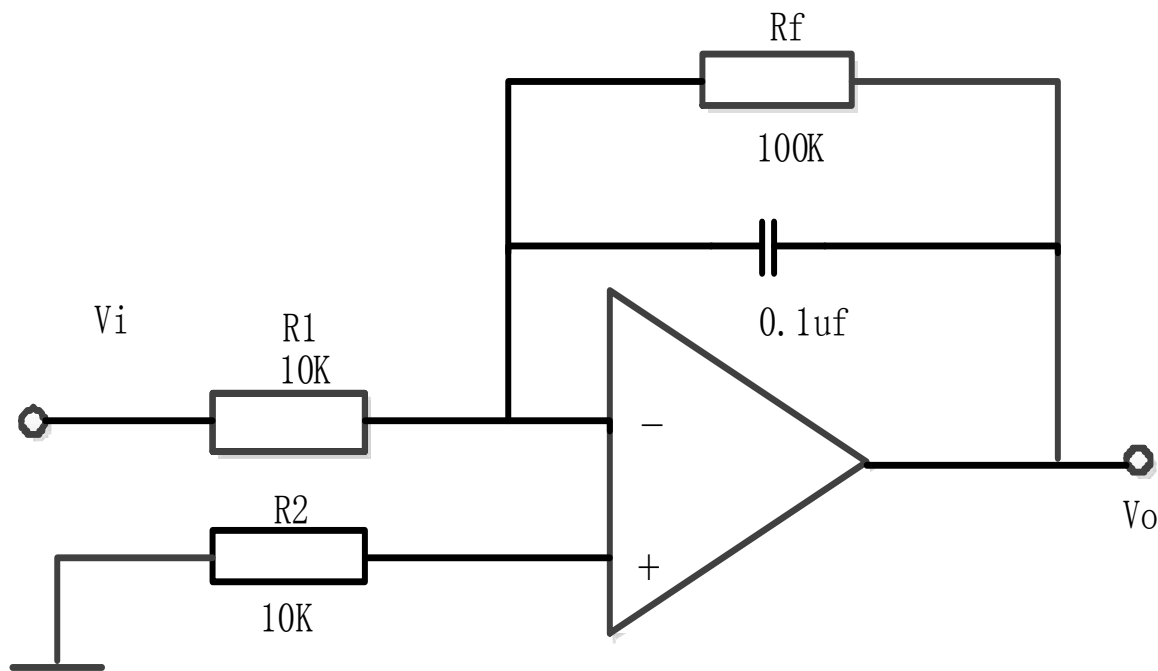
但是 R_f 的接入将对积分电容 C 产生分流作用，从而导致误差。

为了减小积分误差，所以一般要求 $R_f \gg (1/j\omega C)$ ，即 $f \gg (1/2\pi R_f C)$ ，此时 R_f 可认为开路，电路为基本积分器。



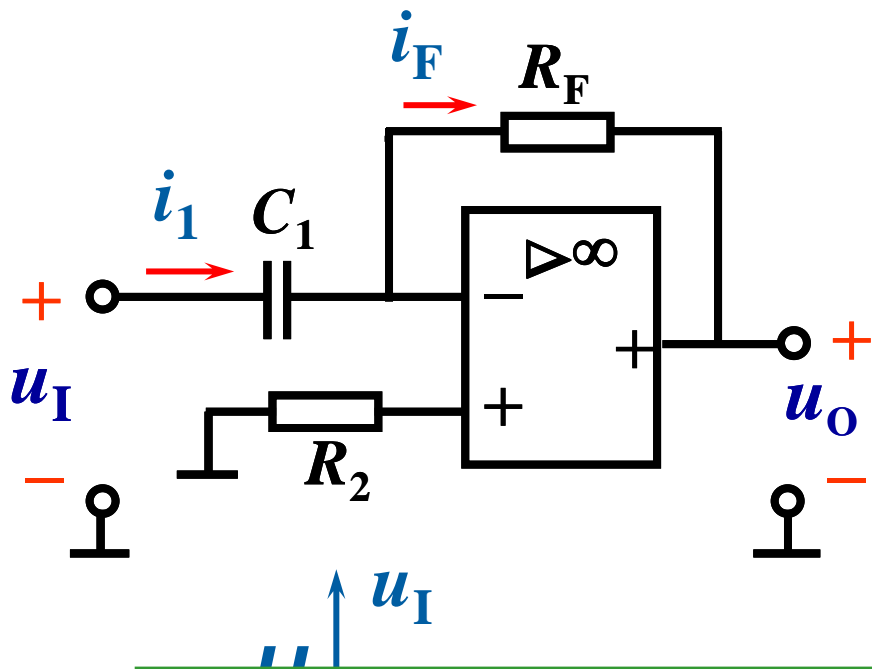
通常取 $R_f > 10R_1$

积分运算电路接线图



V_i 端输入频率为1KHz、幅值为 $\pm 1V$ ($V_{P-P}=2V$)的方波信号，观察和比较 V_i 与 V_o 的幅值大小及相位关系，并记录波形。

4) 微分运算电路



由虚短及虚断性质可得

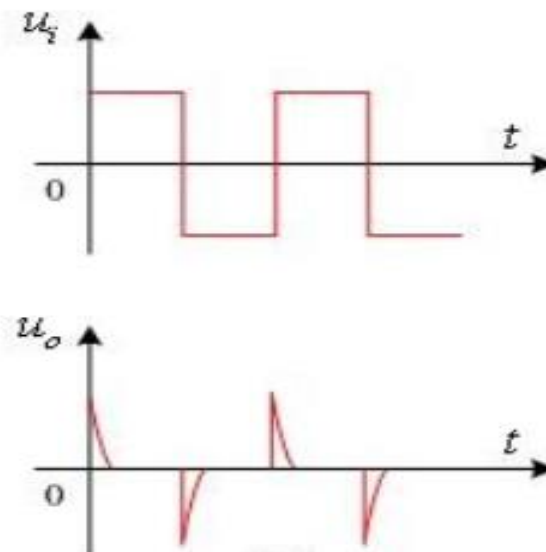
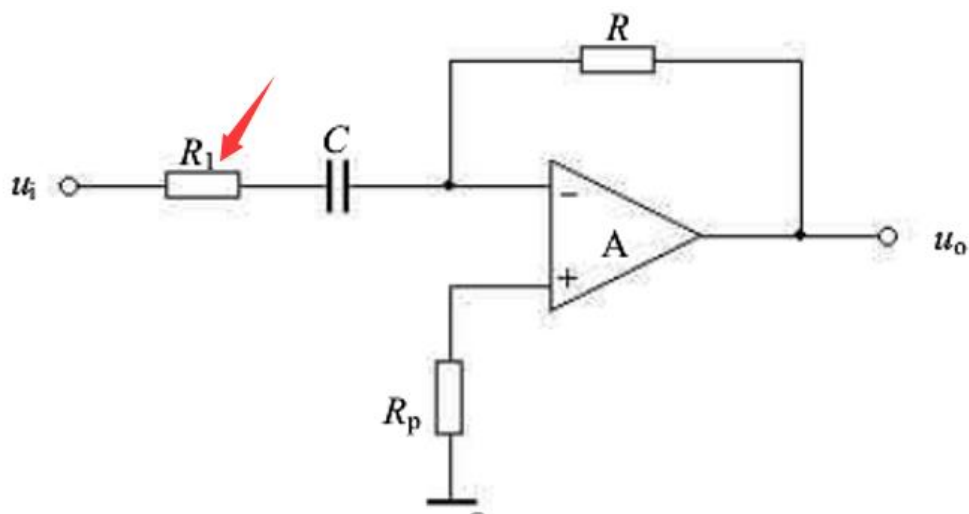
$$i_1 = i_F$$
$$C_1 \frac{du_I}{dt} = -\frac{u_O}{R_F}$$

$$u_O = -R_F C_1 \frac{du_I}{dt}$$

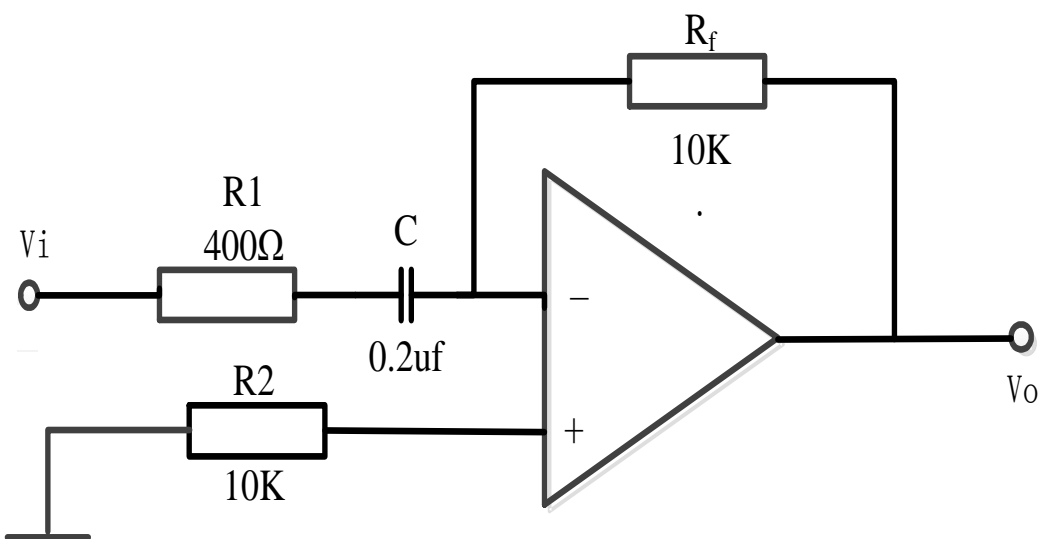
由于微分电路的输出电压与输入电压的变化率成比例，而电路中的干扰信号都是迅速变化的高频信号，因此微分器抗干扰能力差。

4) 微分运算电路

基本微分电路的主要缺点是，当输入信号频率升高时，电容的容抗减小，则放大倍数增大，造成电路对输入信号中高频噪声非常敏感。因此，在实际微分电路中，在输入回路中接入一个电阻 R_1 与微分电容串联，从而抑制高频噪声，提高电路的稳定性。



微分运算电路接线图



V_i 端输入频率为200Hz、幅值为 $V_{P-P}=0.4V$ 的三角波信号，观察和比较 V_i 与 V_o 的幅值大小及相位关系，并记录波形。



05 PART FIVE

实验报告及要求



1. 整理实验数据，填入相应表格中。
2. 保存并打印示波器输出波形。
3. 总结反相比例、同相比例、微分电路、积分电路的特点。
4. 回答思考题。
5. 实验心得体会。