

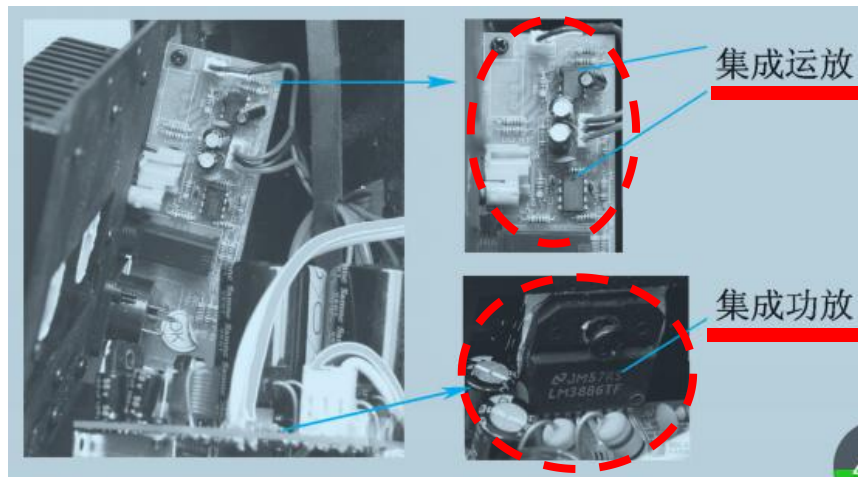
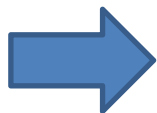
常用放大器类型

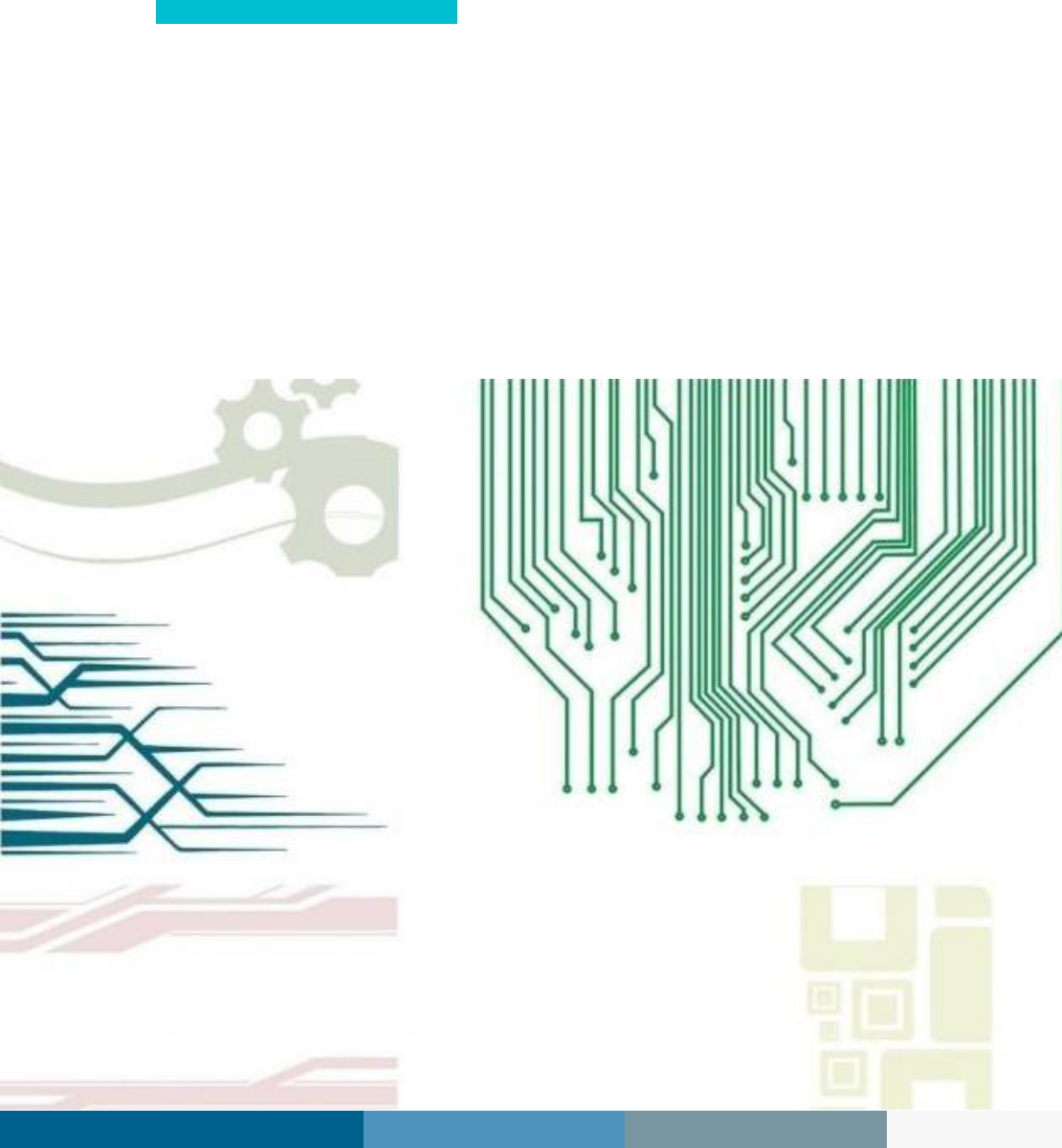
——以有源音箱为例

集成运算放大器 + 低频功率放大器



家用有源音箱





认识集成 运算放大器

余姚市职成教中心学校
陈雅萍

什么是集成运算放大器？

利用半导体**集成工艺**可以把**多级直流放大电路**完整地制作在一块**硅片**上，引出输入端、输出端、正负电源端、公共端（接地端）等，再加以封装，就制成了一个**集成运算放大器**。

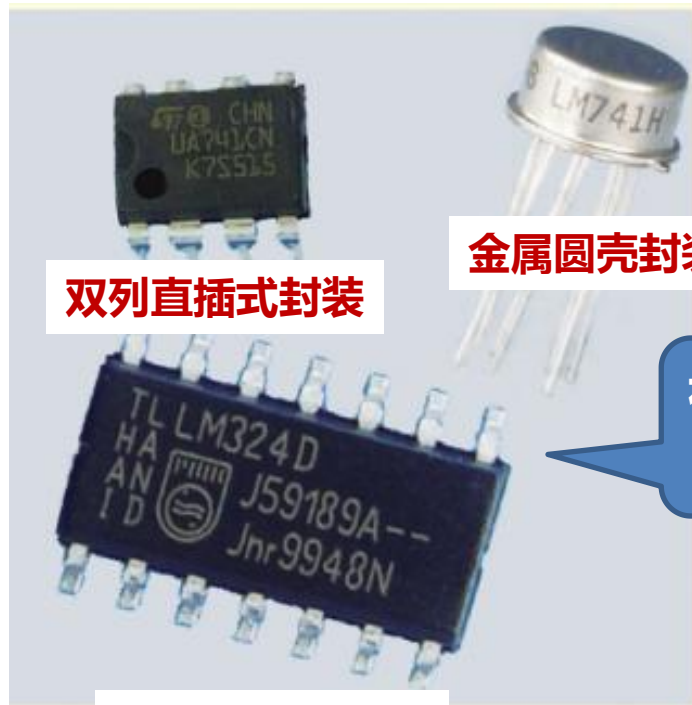
集成运算放大器是一种采用多级**直接耦合**的**高**放大倍数的放大电路。它既能放大缓慢变化的直流信号，又能放大交流信号。早期的集成运算放大器用于电子计算机中，主要用来对信号进行模拟运算，简称集成运放。

随着电子技术的发展和集成运放价格的降低，集成运放已作为一种通用的高性能放大器件来使用，在各种放大器、振荡器、比较器、信号运算电路中得到广泛的应用。



集成运算放大器

——外形



双列直插式封装

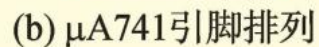
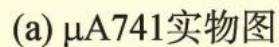
金属圆壳封装

有8、10、12、
14、16引脚等

双列直插式封装



引脚排列与功能



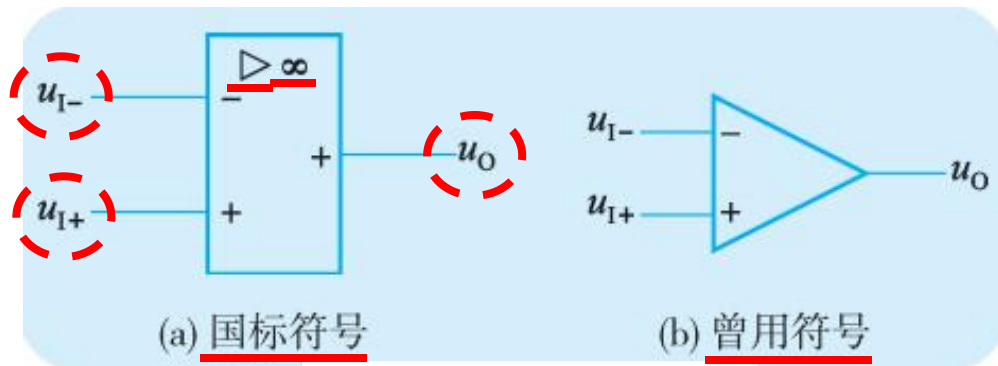
引脚1和5为偏置（调零）端

同类产品有LM741、CF741、F007等。



集成运算放大器

图形符号



集成运放的图形符号



认识集成运算放大器

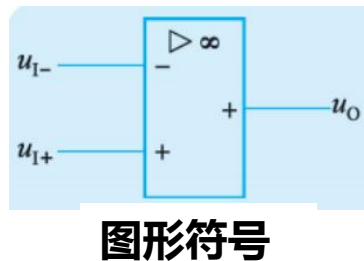
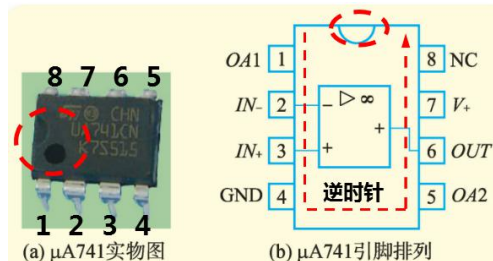
1.常用集成放大器类型

集成运算放大器+低频功率放大器

2.什么是集成运算放大器

是一种采用多级直接耦合的高放大倍数的放大电路

3.集成运放的外形、引脚排列和图形符号

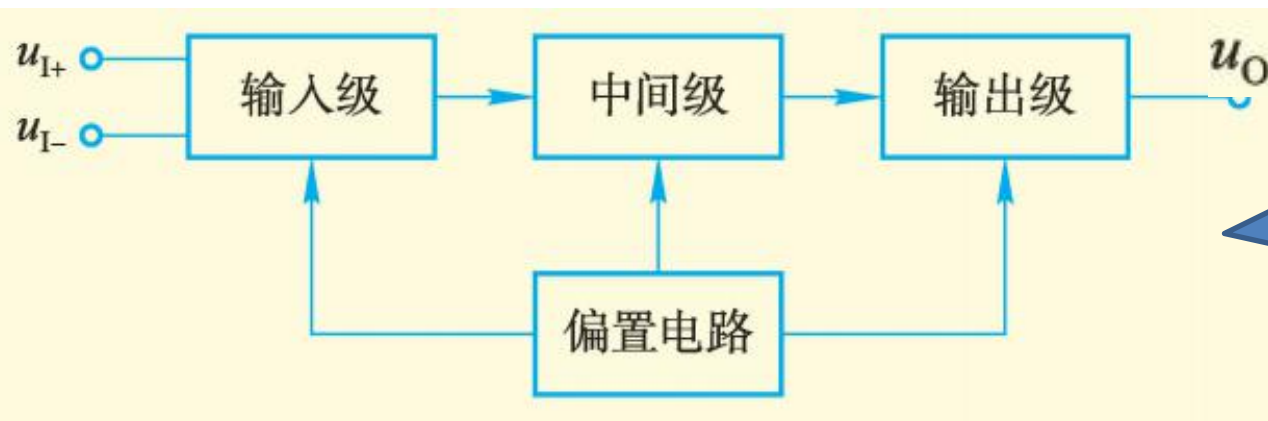




集成运放的 组成和主要参数

余姚市职成教中心学校
陈雅萍

集成运放的组成框图



集成运放的内部组成框图

输入级：采用差分放大电路，解决零点漂移问题

中间级：提供高的放大倍数，通常由多级放大电路构成

输出级：互补对称电路构成，以提高输出功率和带负载能力

偏置电路：为各级提供稳定的静态工作点



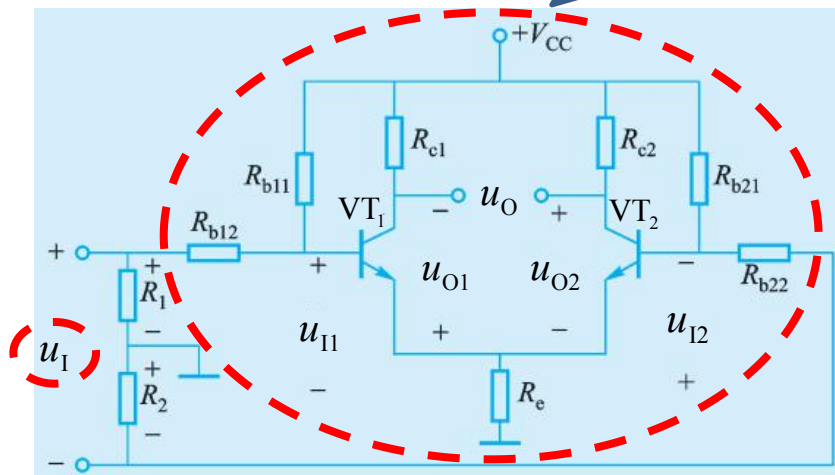
集成运放的组成框图

什么是零点漂移?

零点漂移: 当放大器的输入端为零时, 输出端不为零的现象。

带来干扰, 需要抑制

解决办法: 采用
差分放大电路



差分放大电路由两个完全对称的单管放大电路构成

(1) 共模信号 ——能够完全抑制

温度变化等因素引起的参数变化

相当于两管的输入电压: $u_{I1} = u_{I2}$ → 共模信号

$u_{O1} = u_{O2}$ → $u_O = u_{O1} - u_{O2} = 0$ → 零漂为0

(2) 差模信号 ——能够实现放大

若在电路的两个输入端之间加了 u_I

→ $u_{I1} = \frac{1}{2}u_I$ $u_{I2} = -\frac{1}{2}u_I$ → $u_{O1} = -u_{O2}$

→ $u_O = u_{O1} - u_{O2} = 2u_{O1}$

集成运放的主要参数

1. 开环差模增益 A_{od}

指集成运放本身（无外加反馈回路）的差模增益，即 $A_{od} = \frac{u_o}{u_+ - u_-}$ 。它体现了集成运放的电压放大能力，一般在 $10^4 \sim 10^7$ 之间。 A_{od} 越大，电路越稳定，运算精度也越高。

2. 开环共模增益 A_{oc}

指集成运放本身的共模增益，它反映集成运放抗温漂、抗共模干扰的能力，优质集成运放的 A_{oc} 应接近于零。

3. 共模抑制比 K_{CMR}

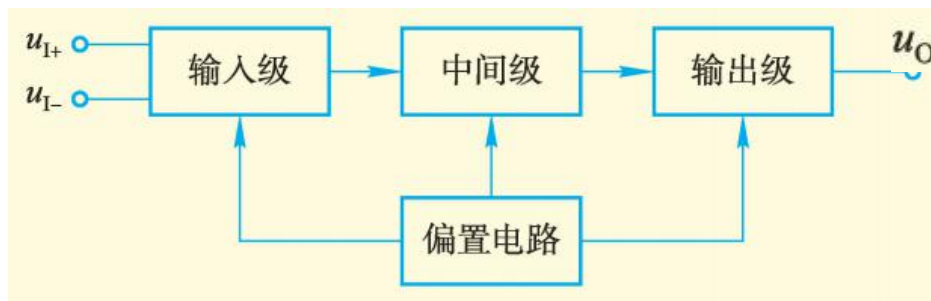
用来综合衡量集成运放的放大能力和抗共模干扰的能力，一般应大于 80 dB。

4. 差模输入电阻 R_{id}

指差模信号作用下集成运放的输入电阻。

集成运放的组成和主要参数

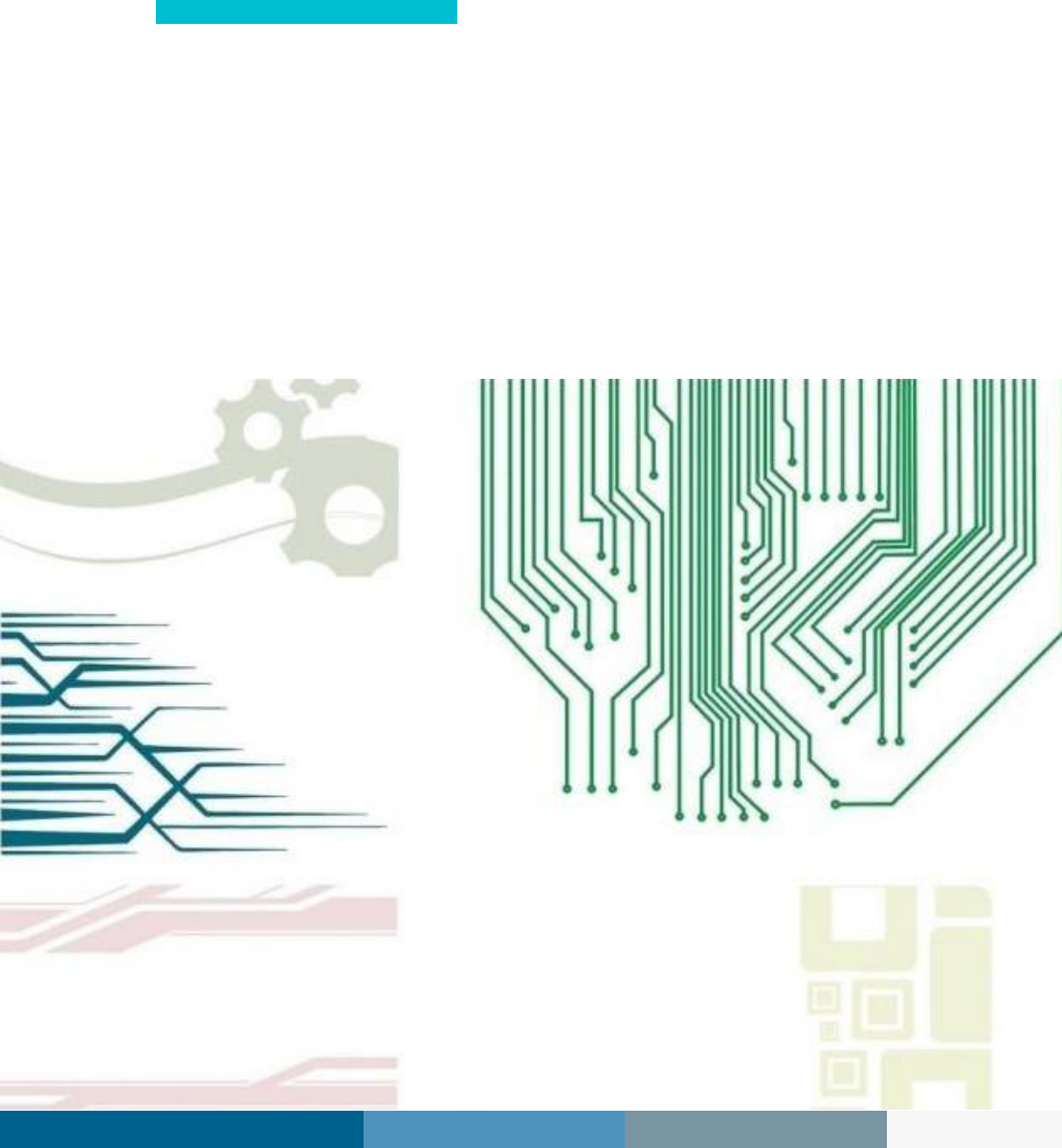
1.组成



2.主要参数

1. 开环差模增益 A_{od}
2. 开环共模增益 A_{oc}
3. 共模抑制比 K_{CMR}
4. 差模输入电阻 R_{id}





集成运放 的理想特性

余姚市职成教中心学校
陈雅萍

集成运放的理想特性

——什么是理想运放？

在**分析**集成运放的各种**实用电路**时，为了简化分析，通常将集成运放的性能指标**理想化**，即将集成运放看成理想运放。当集成运放参数具有以下特征时，称为**理想运放**。

理想运放**特征**：

开环差模放大倍数 $A_{od} \Rightarrow \infty$

输入电阻 $R_{id} \Rightarrow \infty$

输出电阻 $R_o \Rightarrow 0$

共模抑制比 $K_{CMR} \Rightarrow \infty$ (零漂为0)

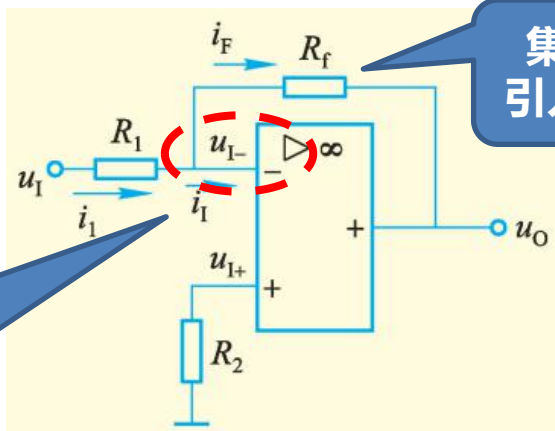
通频带 $\Rightarrow \infty$



集成运放的工作状态

——线性区和非线性区

1. 线性区：



集成运放
引入负反馈

反馈支路是从
输出端反馈到
反相输入端

$$u_O = A_{od}(u_{I+} - u_{I-})$$

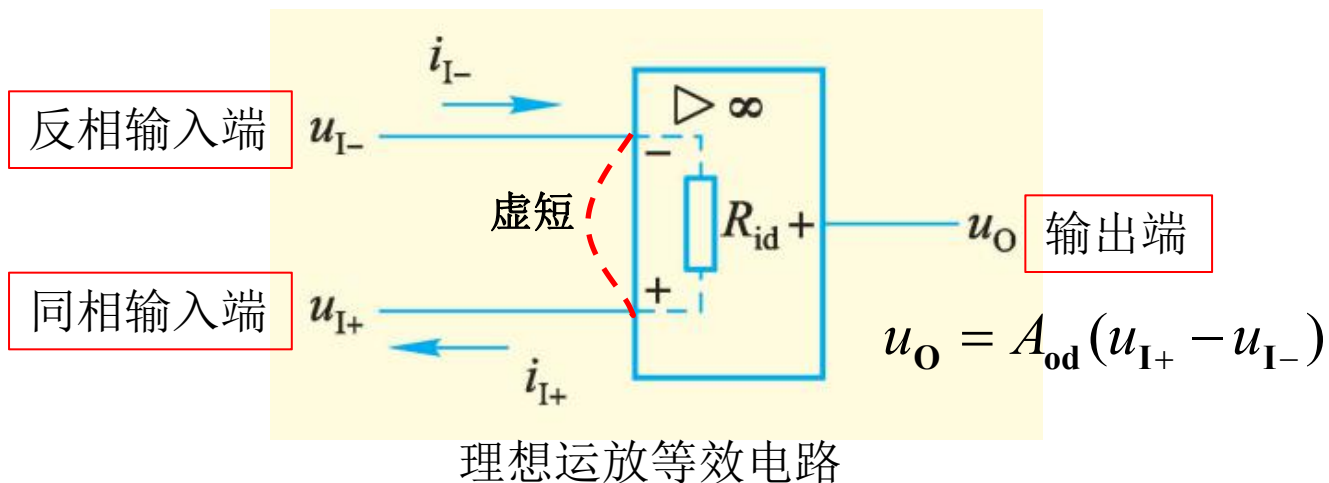
2. 非线性区：

集成运放处于开环（没有引入反馈）或引入正反馈（反馈到同相输入端）。



工作在线性区集成运放有两个特点

——1.虚短



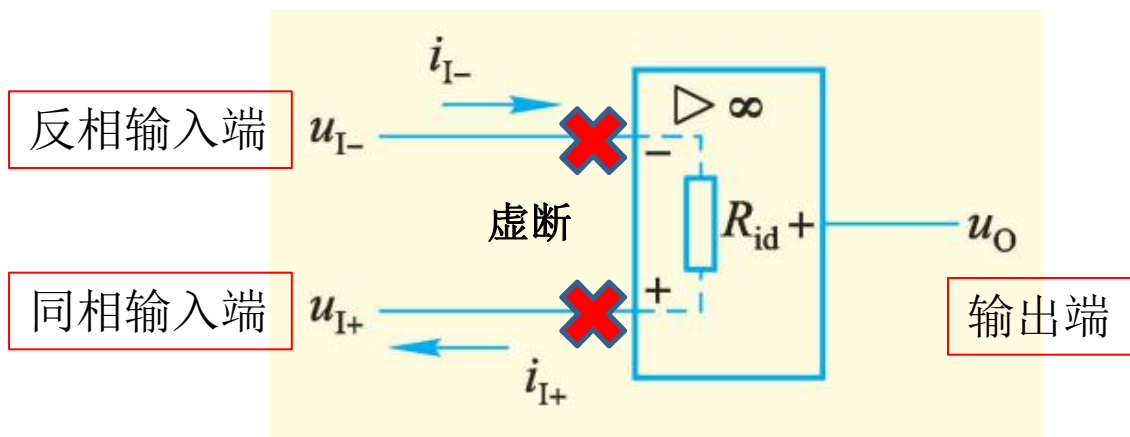
虚短：两输入端电位相等，即 $u_{I+} = u_{I-}$ 。

相当于两输入端短路，但又不是真正的短路，故称为**虚短**。



工作在线性区集成运放有两个特点

2.虚断



理想运放等效电路

虚断：两输入端电流为零，即 $i_{I+} = i_{I-} = i_I = 0$ 。
相当于两输入端断开，但又不是真正的断开，故称为**虚断**。



集成运放的理想特性

1. 什么是理想运放

开环差模放大倍数 $A_{od} \Rightarrow \infty$
输入电阻 $R_{id} \Rightarrow \infty$
输出电阻 $R_o \Rightarrow 0$
共模抑制比 $K_{CMR} \Rightarrow \infty$ (零漂为0)
通频带 $\Rightarrow \infty$

2. 理想运放的两种工作状态

线性区：集成运放引入负反馈；

非线性区：集成运放处于开环或引入正反馈。

3. 工作在线性区理想运放的两个特点

虚短：两输入端电位相等，即 $u_{I+} = u_{I-}$

虚断：两输入端电流为零，即 $i_{I+} = i_{I-} = 0$



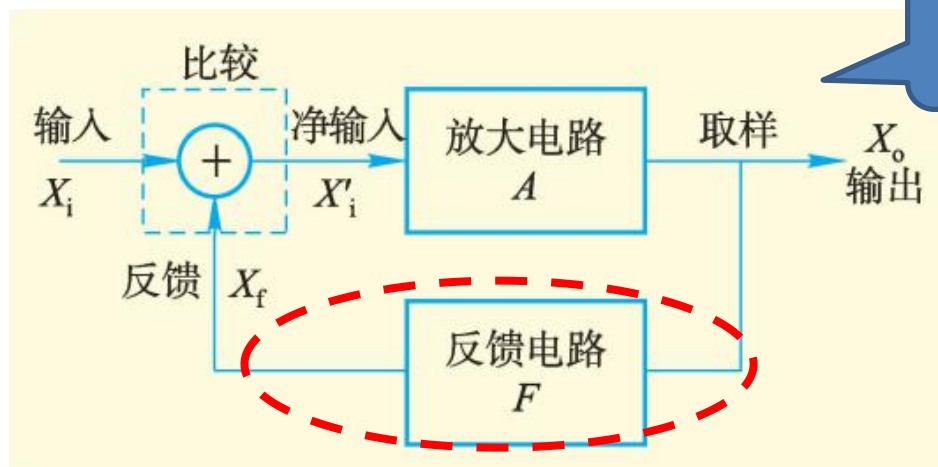


放大器中的负反馈

余姚市职成教中心学校
陈雅萍

什么是反馈？

电子技术中的反馈是指将放大器输出量（电压或电流）的一部分或全部，按一定方式反送回到输入端，并与输入信号叠加的过程。

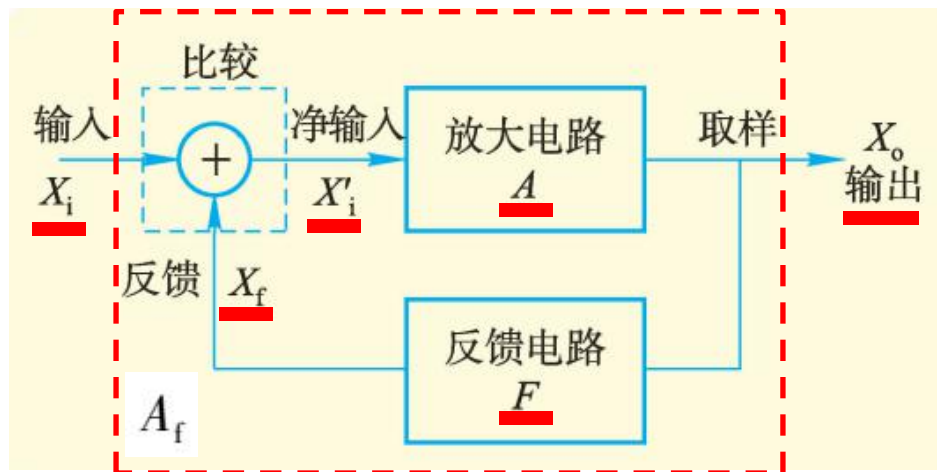


反馈放大器框图



反馈放大器

框图分析



开环放大倍数 $A = \frac{X_o}{X'_i}$

反馈系数 $F = \frac{X_f}{X_o}$

闭环放大倍数 $A_f = \frac{X_o}{X_i}$

闭环放大器：引入反馈后的放大器。由基本放大电路 A 和反馈电路 F 构成。

$$X'_i = X_i - X_f \quad \text{或} \quad X'_i = X_i + X_f$$

负反馈

正反馈

开环放大器：未引入反馈的放大器。

$$X'_i = X_i$$



反馈放大器

——类型

- 直流反馈 : 将直流量反馈到输入端。用于稳定静态工作点。
- 交流反馈 : 将交流量反馈到输入端。用于改善放大器的动态性能。
- 正反馈 : 引入反馈后使净输入量增加的反馈。 $X_i' = X_i + X_f$
- 负反馈** : 引入反馈后使净输入量减小的反馈。 $X_i' = X_i - X_f$

负反馈 :

$$A_f = \frac{X_o}{X_i} = \frac{A}{1 + AF}$$

当 $1 + AF \gg 1$ 时, 称电路为**深度负反馈**。



负反馈放大器

——四种组态

反馈网络与放大器输出端连接方式不同

{ **电压反馈**：当反馈量取自**输出电压**时的反馈。

{ **电流反馈**：当反馈量取自**输出电流**时的反馈。

反馈网络与放大器输入端连接方式不同

{ **串联反馈**：当反馈量与输入量以**电压方式相叠加**时的反馈。

{ **并联反馈**：当反馈量与输入量以**电流方式相叠加**时的反馈。

电压串联	电流串联
电压并联	电流并联



负反馈放大器

——性能改善

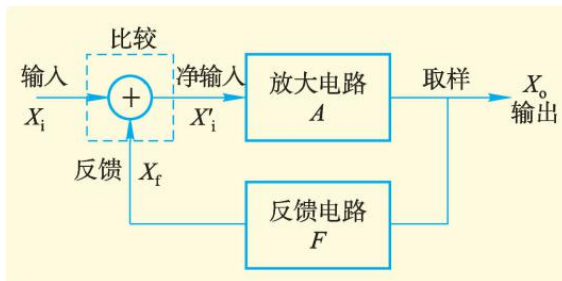
负反馈放大器以减小放大器的放大倍数为代价，获得电路增益的稳定性，减小非线性失真，扩展频带宽度，改变放大器的输入、输出电阻，从而改善放大器的性能，因此，负反馈在放大器中得到了广泛的应用。

- 当电路引入电压反馈时，可以减小输出电阻，稳定输出电压；
- 当电路引入电流反馈时，可以增大输出电阻，稳定输出电流。
- 如果电路引入串联反馈，可以提高输入电阻；
- 当电路引入并联反馈时，可以减小输入电阻。



放大器中的负反馈

1. 反馈的概念和框图



2. 反馈的类型

直流和交流反馈、正反馈和负反馈

3. 负反馈放大器的组态和性能改善

电压串联

电流串联

电压并联

电流并联



集成运放有哪些基本运算？

- 同相输入方式
- 反相输入方式
- 差分输入方式

根据两个输入
端的不同连接

利用反馈网络

比例、加减、积分和微分等各种运算。



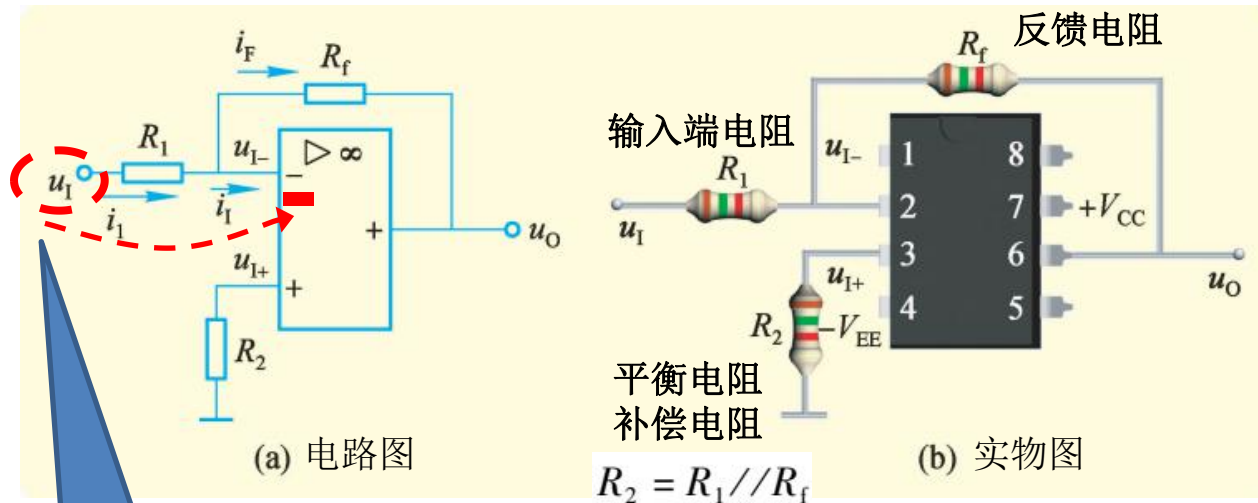


反相输入放大电路

余姚市职成教中心学校
陈雅萍

反相输入放大电路

——电路组成

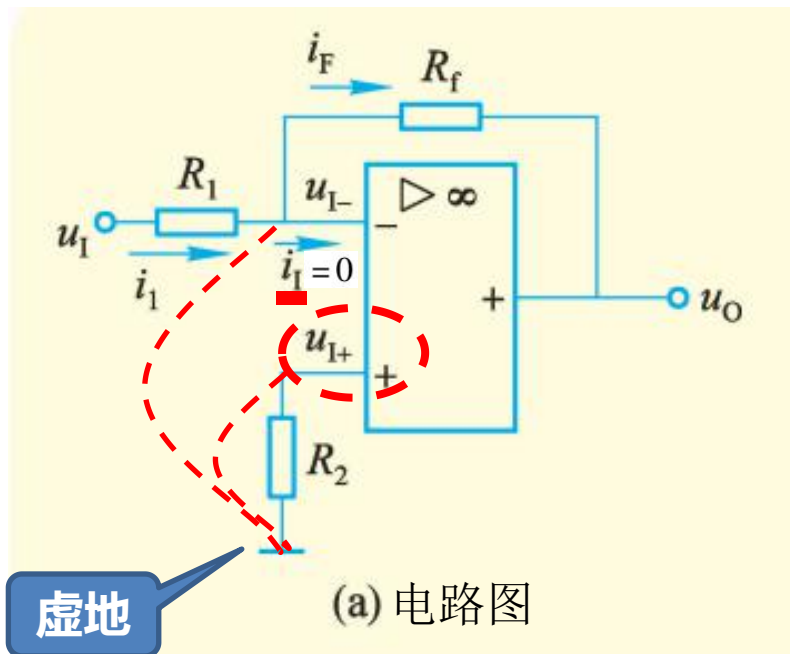


将输入信号加到集成运放的反相输入端



反相输入放大电路

——电压放大倍数 A_u



理想运放虚断 ($i_1 = 0$)

流过 R_2 的电流为零

$u_{1+} = 0$

虚短

$(u_{1-} = u_{1+})$

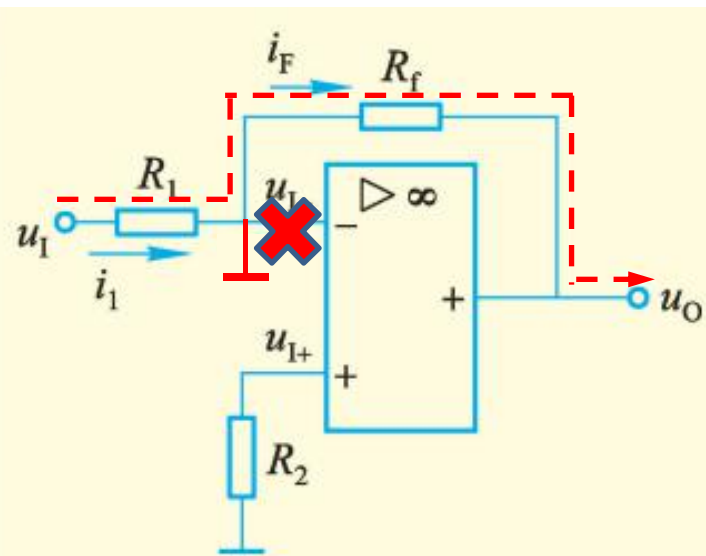
$u_{1-} = u_{1+} = 0$

虚地



反相输入放大电路

——电压放大倍数 A_u



(a) 电路图

➡ $i_1 = i_F$, $i_1 = \frac{u_1}{R_1}$ 和 $i_F = -\frac{u_O}{R_f}$

则输出电压为 $u_O = -\frac{R_f}{R_1}u_1$

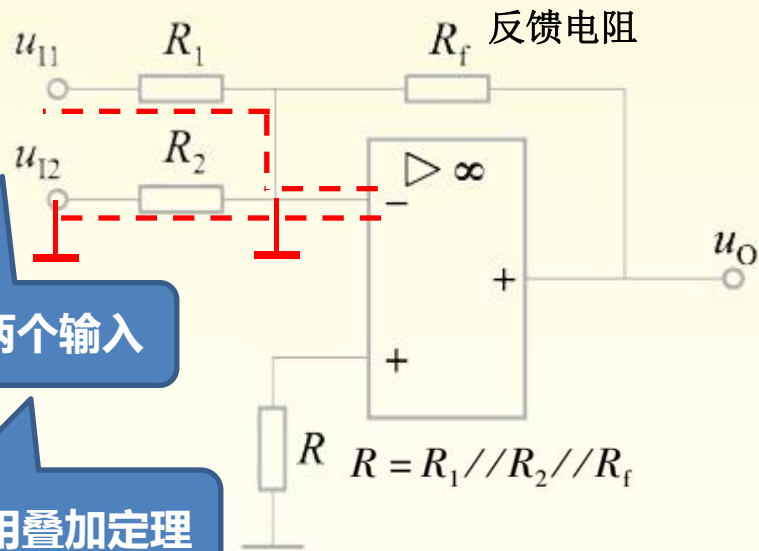
反相放大器的电压放大倍数为

$$A_u = \frac{u_O}{u_1} = -\frac{R_f}{R_1}$$



反相求和电路

——加法运算电路



(a) 反相求和电路

当 u_{I1} 单独作用时, $u_{I2} = 0$



电路为反相输入放大电路

$$u_{O1} = -\frac{R_f}{R_1}u_{I1}$$

同样, 当 u_{I2} 单独作用时

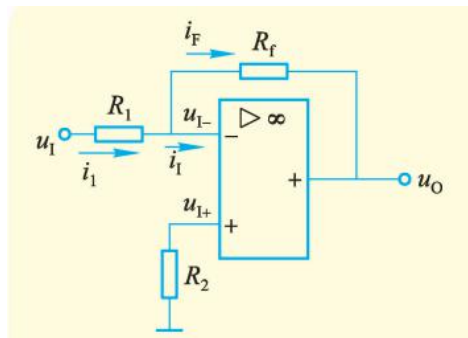
$$u_{O2} = -\frac{R_f}{R_2}u_{I2}$$

$$u_O = u_{O1} + u_{O2} = -\frac{R_f}{R_1}u_{I1} - \frac{R_f}{R_2}u_{I2}$$



反相输入放大电路

1. 电路组成



2. 电压放大倍数

$$A_u = \frac{u_O}{u_1} = -\frac{R_f}{R_1}$$

3. 加法运算电路

反相求和电路

$$u_O = u_{O1} + u_{O2} = -\frac{R_f}{R_1}u_{11} - \frac{R_f}{R_2}u_{12}$$



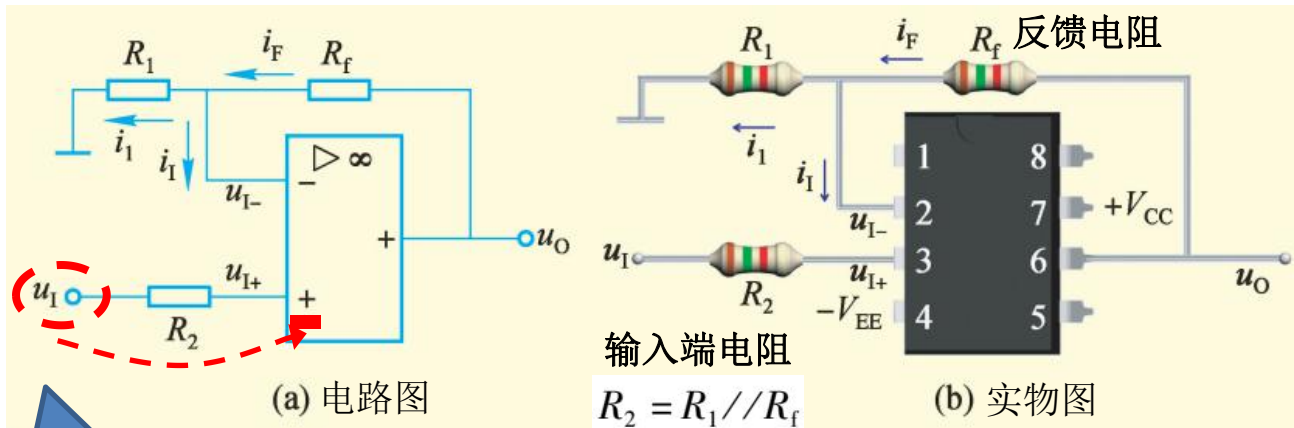


同相输入放大电路

余姚市职成教中心学校
陈雅萍

同相输入放大电路

——电路组成

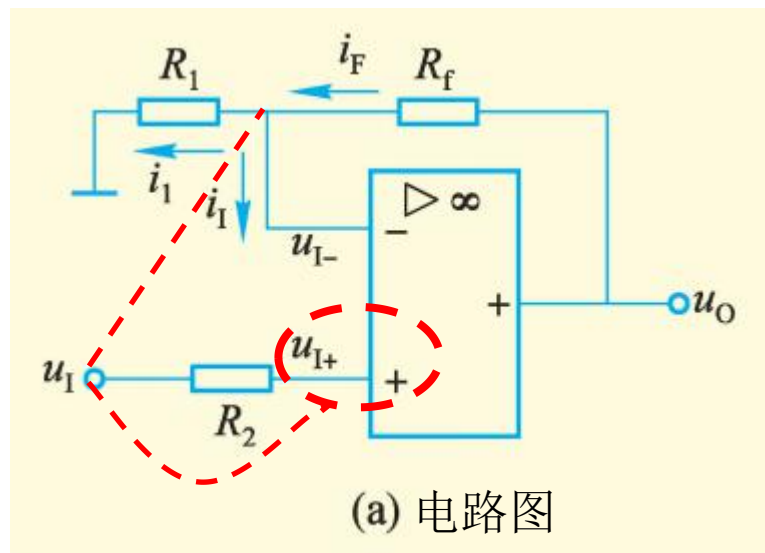


将输入信号加到集成运放的
同相输入端



同相输入放大电路

——电压放大倍数 A_u



理想运放虚断 ($i_I = 0$)



流过 R_2 的电流为零



$$u_{I+} = u_I$$



$$(u_{I-} = u_{I+})$$

虚短

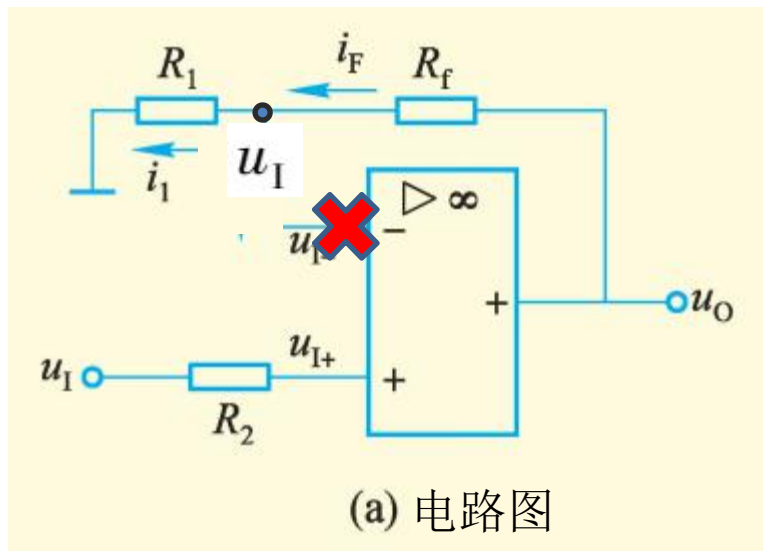


$$u_{I-} = u_{I+} = u_I$$



同相输入放大电路

电压放大倍数 A_u



$$\text{由 } i_1 = i_F \text{ 则 } \frac{u_I - 0}{R_1} = \frac{u_O - u_I}{R_f}$$

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

同相输入放大电路的电压放大倍数为

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



电压跟随器

——特例

理想运放虚断 ($i_1 = 0$)

流过 R_f 的电流为零

流过 R_2 的电流为零

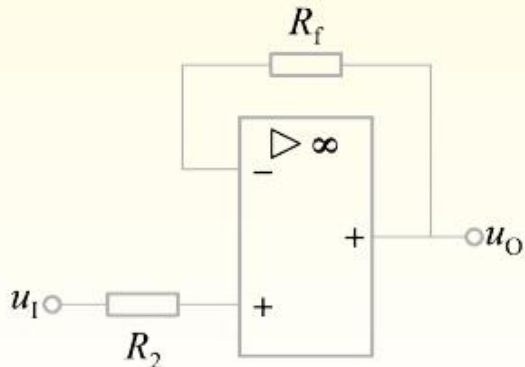
$$u_O = u_{I-}$$

$$u_{I+} = u_I$$

$$u_{I-} = u_{I+}$$

虚短

$$u_O = u_I$$



电路图

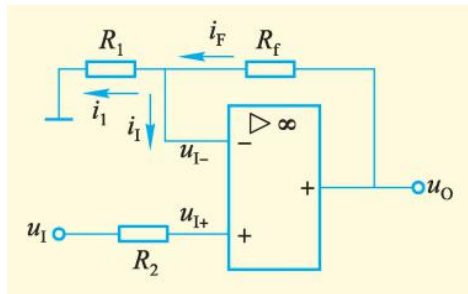
$$A_u = 1$$

该电路具有高的输入阻抗和低的输出阻抗，故应用极为广泛，常作为阻抗变换器或缓冲器。



同相输入放大电路

1. 电路组成



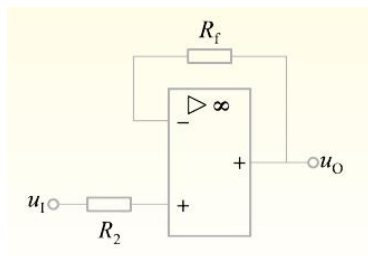
2. 电压放大倍数

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

3. 电压跟随器

$$A_u = 1$$

$$u_O = u_I$$



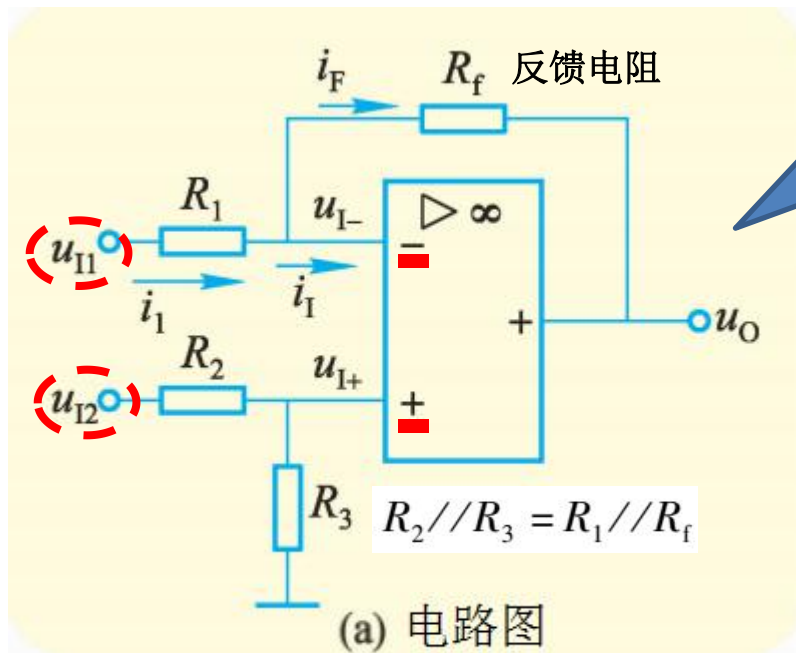


差分输入放大电路

余姚市职成教中心学校
陈雅萍

差分输入放大电路

——电路组成



差分输入放大电路

——输出与输入之间的关系

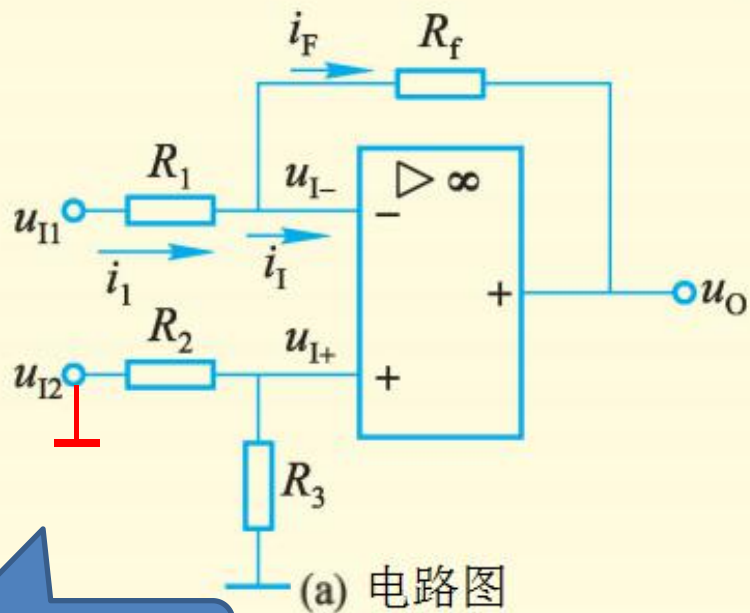
当 u_{I1} 单独作用时, $u_{I2} = 0$



电路为反相输入方式



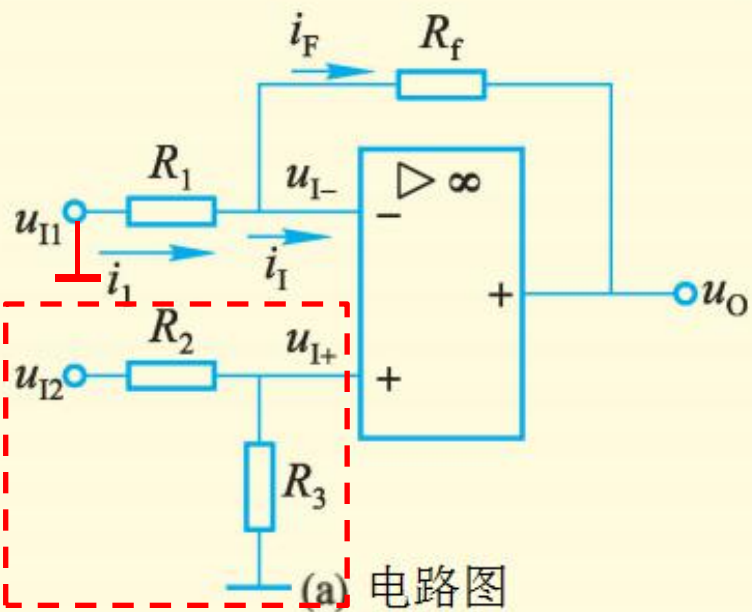
$$u_{O1} = -\frac{R_f}{R_1}u_{I1}$$



利用叠加定理

差分输入放大电路

——输出与输入之间的关系



当 u_{I2} 单独作用时, $u_{I1} = 0$



电路为同相输入方式



理想运放虚断的概念, $i_1 = 0$



$$u_{I+} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{I2}$$

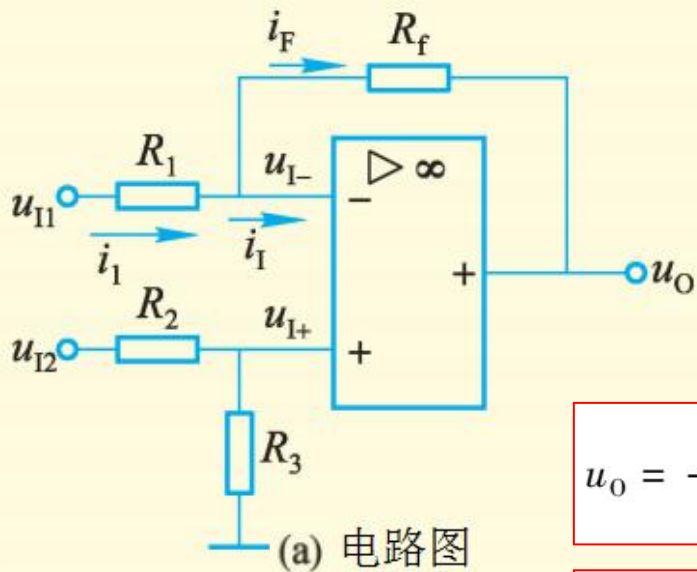


$$u_{O2} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{I2}$$



差分输入放大电路

——输出与输入之间的关系



$$u_{O1} = -\frac{R_f}{R_1}u_{I1}$$

当 u_{I1} 单独作用时

$$u_{O2} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{I2}$$

当 u_{I2} 单独作用时

那么, u_{I1} 和 u_{I2} 共同作用时, 输出电压则为

$$u_O = -\frac{R_f}{R_1}u_{I1} + \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{I2}$$

选择 $R_1 = R_2, R_3 = R_f$

$$u_O = \frac{R_f}{R_1}(u_{I2} - u_{I1})$$

减法

选择 $R_1 = R_2 = R_3 = R_f$

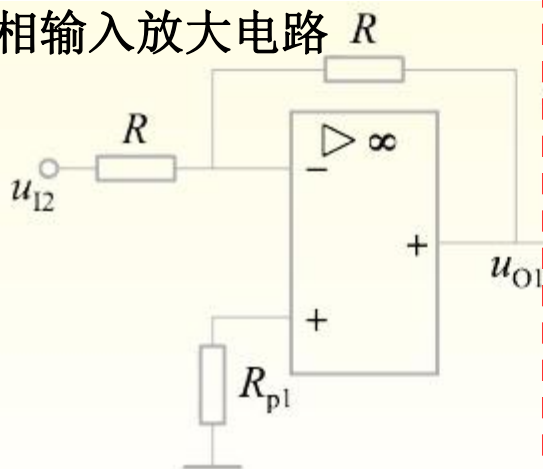
$$u_O = u_{I2} - u_{I1}$$



减法运算电路

——用反相求和电路来实现

反相输入放大电路

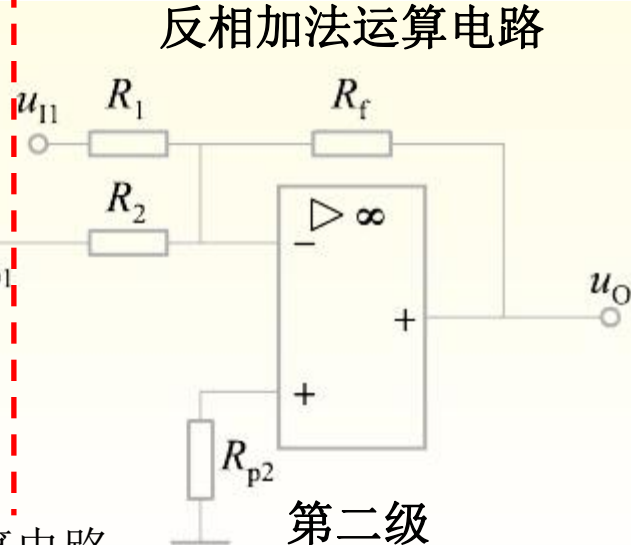


第一级

减法运算电路

$$u_{O1} = -u_{I2}$$

反相加法运算电路



第二级

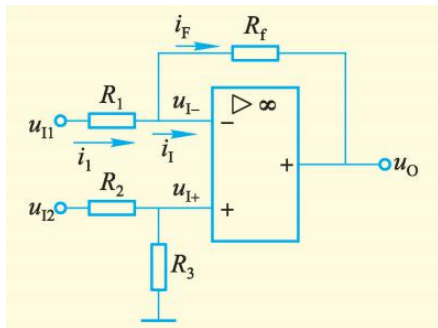
$$u_O = -\left(\frac{R_f}{R_1}u_{I1} + \frac{R_f}{R_2}u_{O1}\right)$$

$$u_O = \frac{R_f}{R_2}u_{I2} - \frac{R_f}{R_1}u_{I1}$$



差分输入放大电路

1. 电路组成



2. 输出电压与输入电压之间的关系

$$u_O = -\frac{R_f}{R_1}u_{11} + \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)\frac{R_3}{R_2 + R_3}u_{12}$$

$$u_O = \frac{R_f}{R_1}(u_{12} - u_{11})$$

3. 减法运算电路

$$u_O = \frac{R_f}{R_2}u_{12} - \frac{R_f}{R_1}u_{11}$$





常用集成 运放芯片简介

余姚市职成教中心学校

陈雅萍

常用集成运放芯片有哪些？

LM324：通用**四**运算放大器

LM358：通用**两**运算放大器

OP07：精密**单**运算放大器

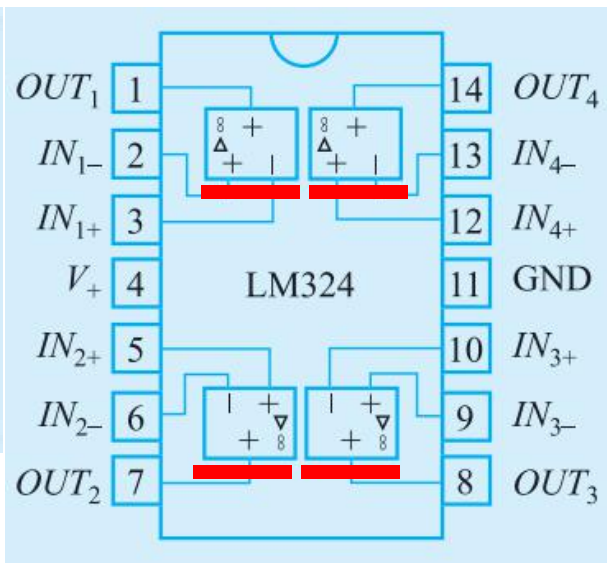


常用集成运放芯片简介

——LM324



外形



结构

特点：

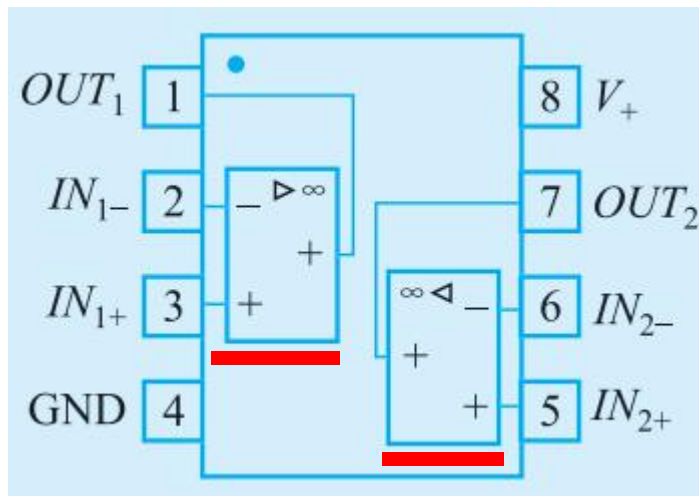
LM324在芯片上集成了**4组**通用运算放大器。它的内部除电源共用外，**4组运算放大器相互独立**，每一组运算放大器用运算放大图形符号来表示。既可以**单电源**（3~30V）工作，又可以**双电源**（±1.5~±15V）工作，而且**静态功耗小**。

常用集成运放芯片简介

——LM358



外形



结构

特点：

LM358是通用型高增益 **双运**算放大器。既可以**单电源** (**3~30V**) 工作，又可以**双电源** (**$\pm 1.5 \sim \pm 15V$**) 工作。

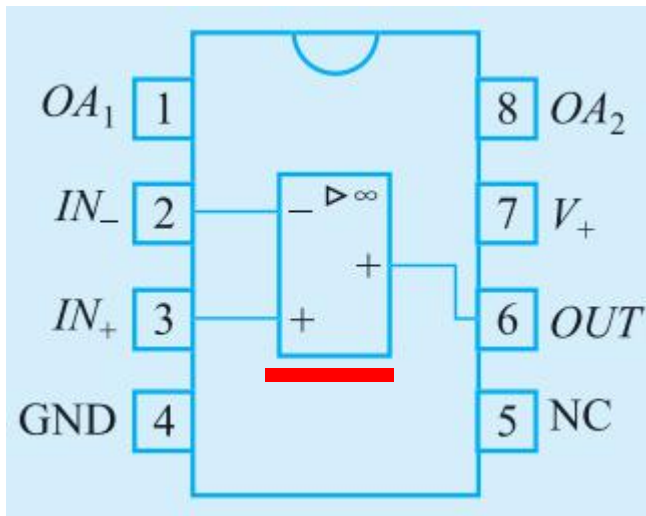
它的应用范围包括传感放大器、直流增益模块和其他所有可用单电源供电使用运放的场合。

常用集成运放芯片简介

——OP07



外形



结构

特点：

OP07是一种**低噪声**、**非斩波稳零**的双极性运算放大器，具有非常低的输入失调电压，在很多应用场合**不需要**额外的**调零措施**，同时具有输入偏置电压低和开环增益高的特点。这种**低失调**、**高开环增益**的特性特别适用于高增益的测量设备和放大传感器的微弱信号等方面。

常用集成运放芯片简介

- 1.LM324**：四运算放大器。既可以单电源（3~30V）工作，又可以双电源（ $\pm 1.5 \sim \pm 15\text{V}$ ）工作，而且静态功耗小。
- 2.LM358**：双运算放大器。既可以单电源（3~30V）工作，又可以双电源（ $\pm 1.5 \sim \pm 15\text{V}$ ）工作，高增益。
- 3.OP07**：单运算放大器。低失调、高开环增益，特别适用于高增益的测量设备和放大传感器的微弱信号等方面。

