

第二章 运算放大器及其线性应用

——2.2 集成运算放大器

李泳佳

东南大学电子系国家ASIC工程中心

yongjia.li@outlook.com





2.2 集成运算放大器

本节内容

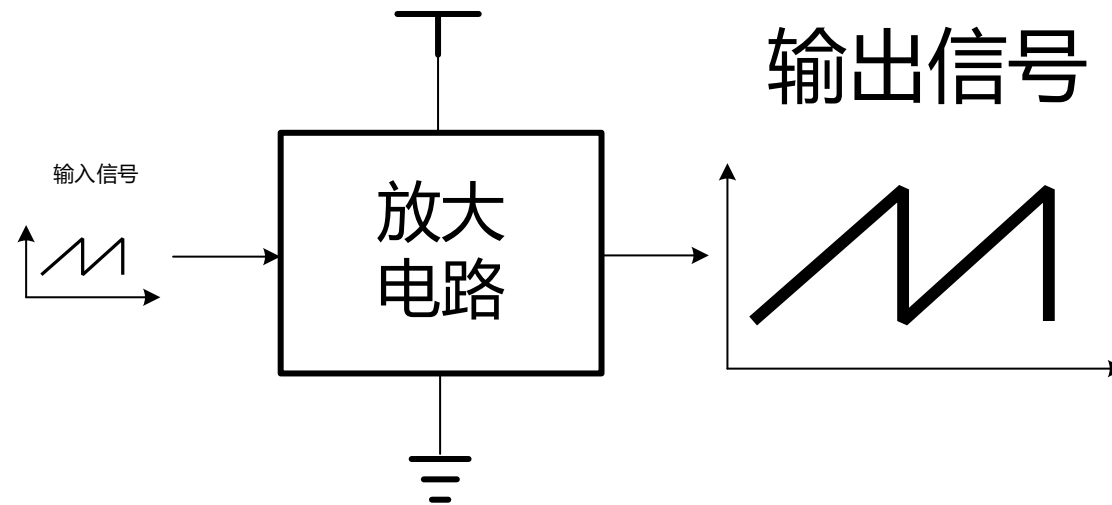
2.2.1 集成运放的基本特性

2.2.2 理想运放的线性与非线性应用

2.2.1 集成运放的基本特性

✓ 放大器回顾：

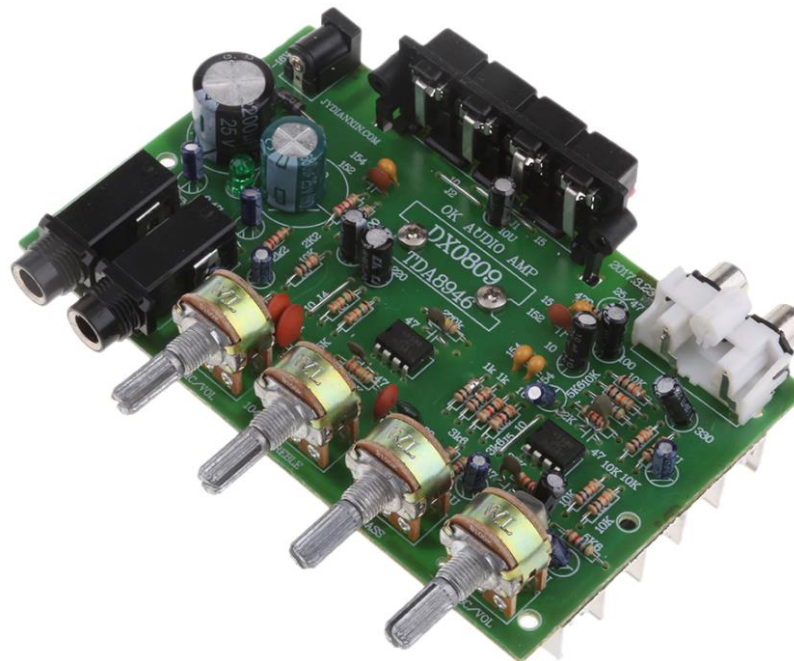
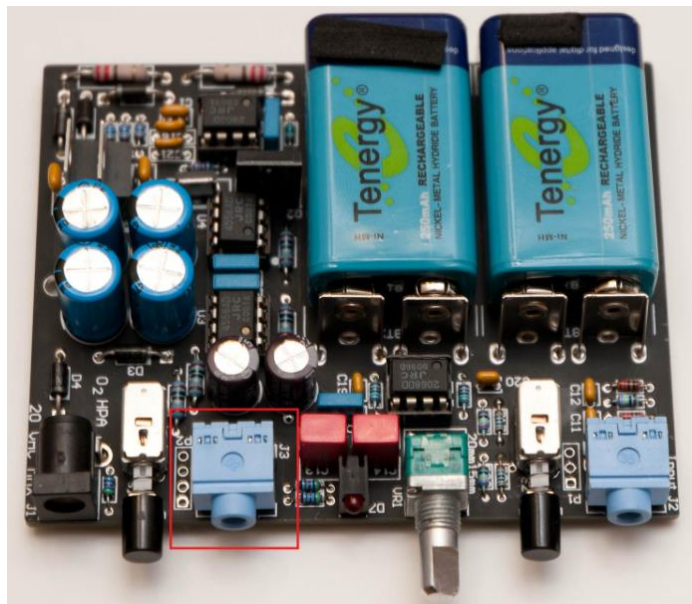
- 前一节课所讲放大器，以**电流**或者**电压**的形式放大微弱信号
- 能量来自电源，但经过放大电路内部晶体管控制
- 输入信号形状任意，输出信号应该不失真
- 放大电路可以是**单芯片集成**的，也可以用**分立器件**搭建



2.2.1 集成运放的基本特性

✓ 系统应用里的芯片与分立器件：

- 电阻，电容，电感。。。
- 二极管，三极管，MOS管。。。
- 芯片



2.2.1 集成运放的基本特性

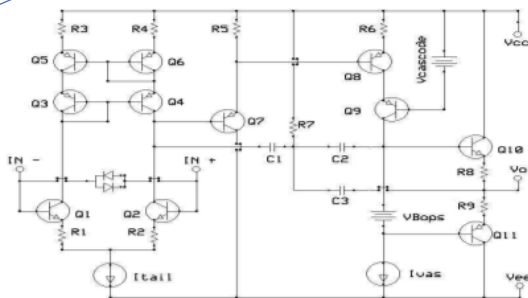
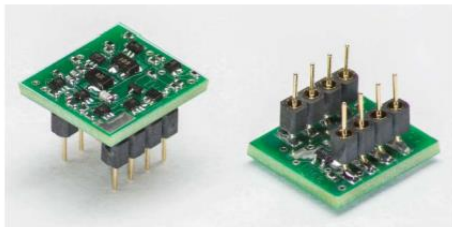
✓ 为什么要集成?

- **成本**，一颗集成运放芯片价格可能低于一个电阻或者电容!
- **系统体积**，芯片集成度越高系统体积越小
- **加工工艺**，匹配精度更高，寄生参数更小

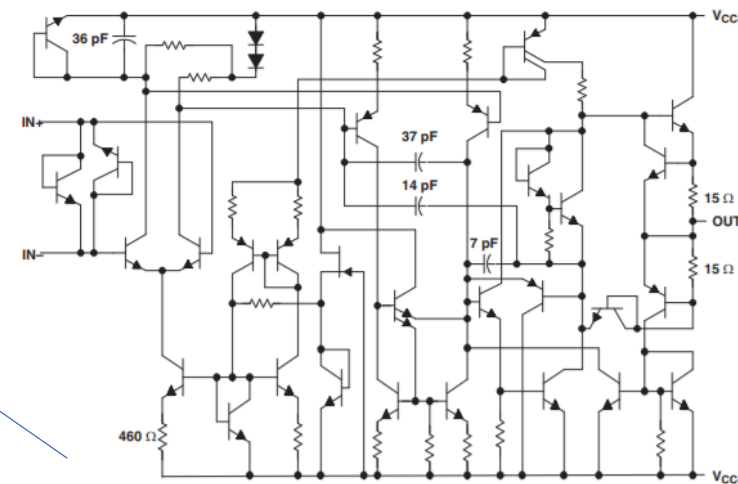
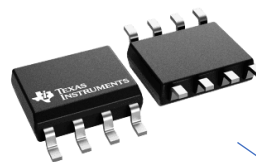
✓ 为什么还用分立?

- **性能**

Single Discrete Op amp SS3601



https://sparkoslabs.com/wp-content/uploads/2018/03/SS3601_SS3602.pdf

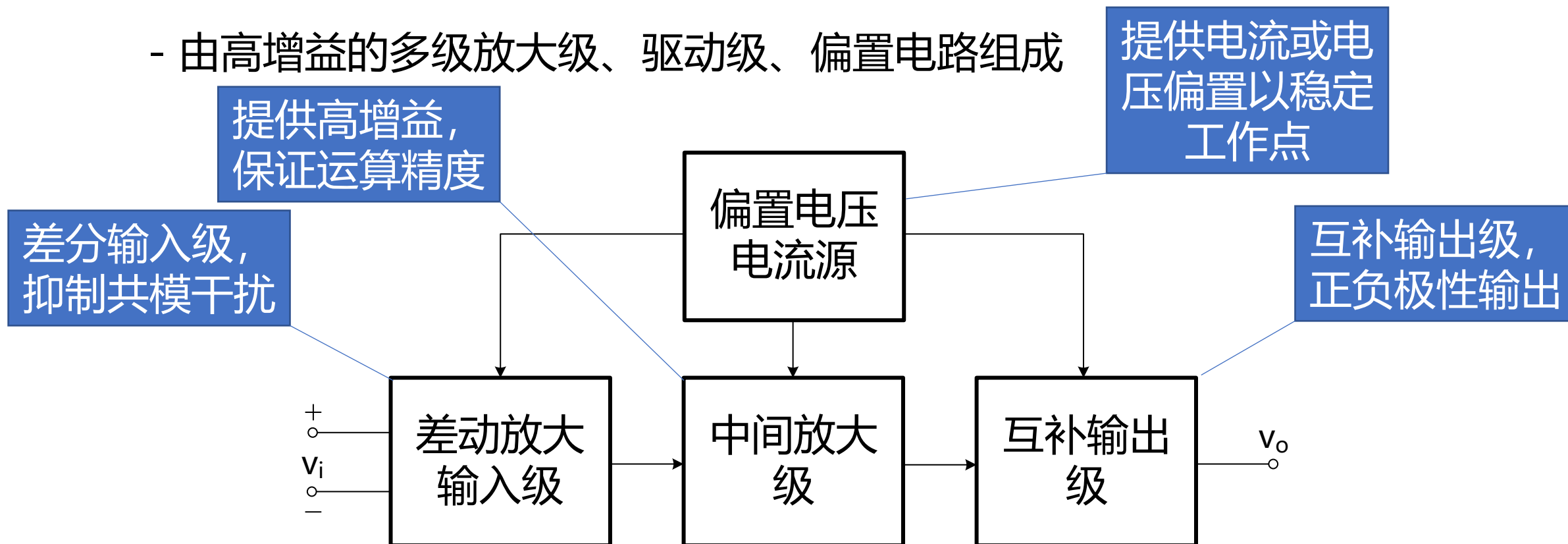


<https://www.ti.com/product/NE5532>

2.2.1 集成运放的基本特性

✓ 集成运算放大器简称**集成运放**

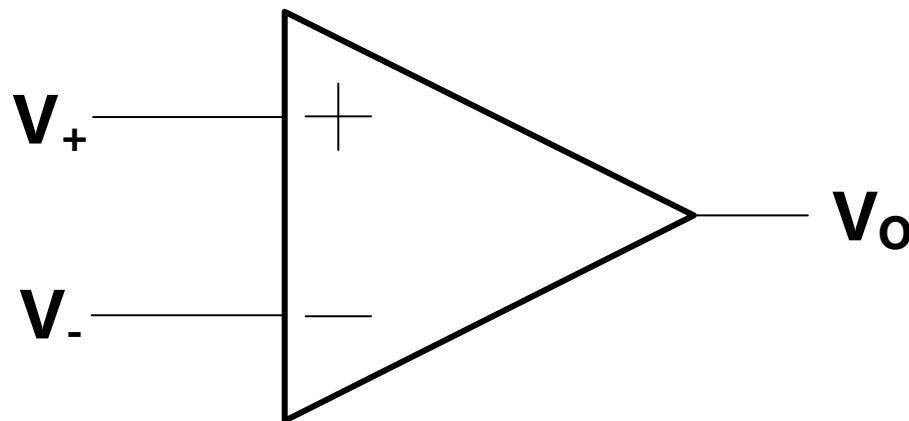
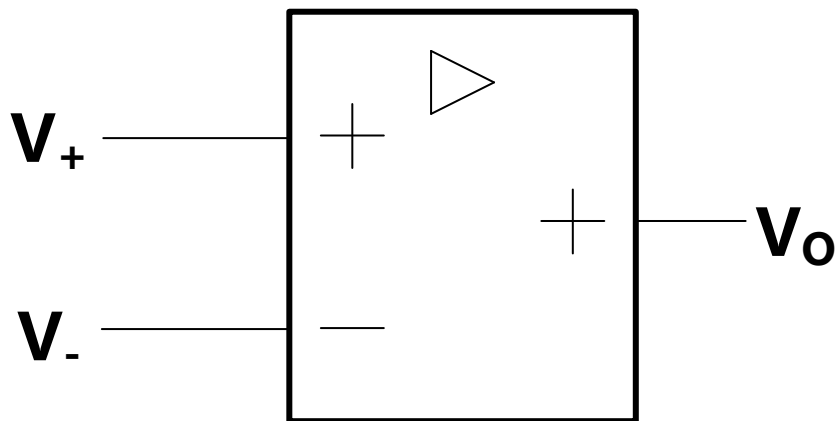
- 是几乎所有模拟及数模混合系统的基石
- 由高增益的多级放大级、驱动级、偏置电路组成



2.2.1 集成运放的基本特性

✓ 运放的符号表示:

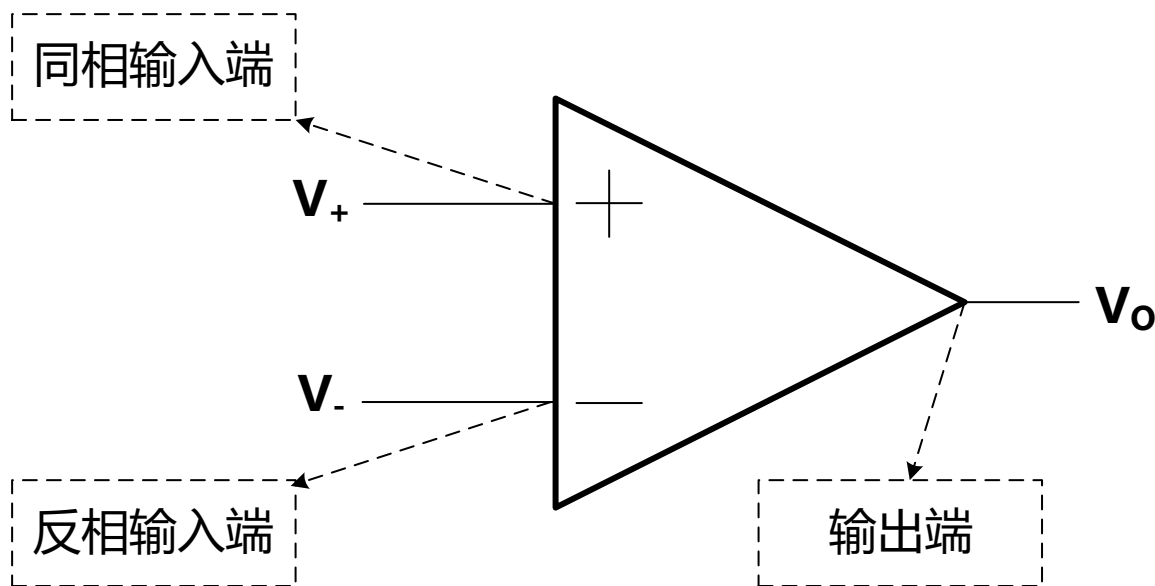
- 两输入，一输出
- 国家标准符号，使用符号
- **u**和**v**在本课程通用，都指电压



2.2.1 集成运放的基本特性

✓ 运放输入输出极性：

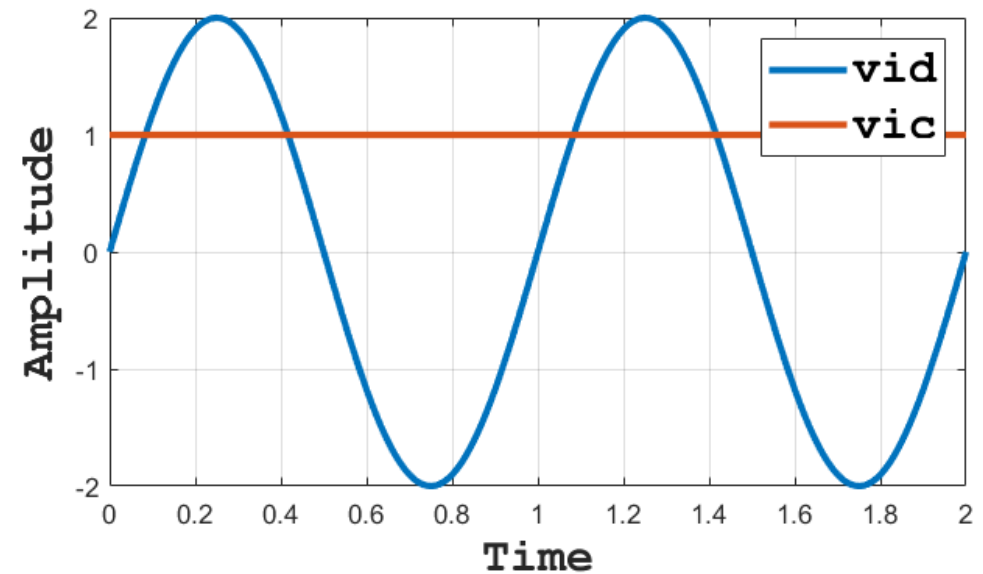
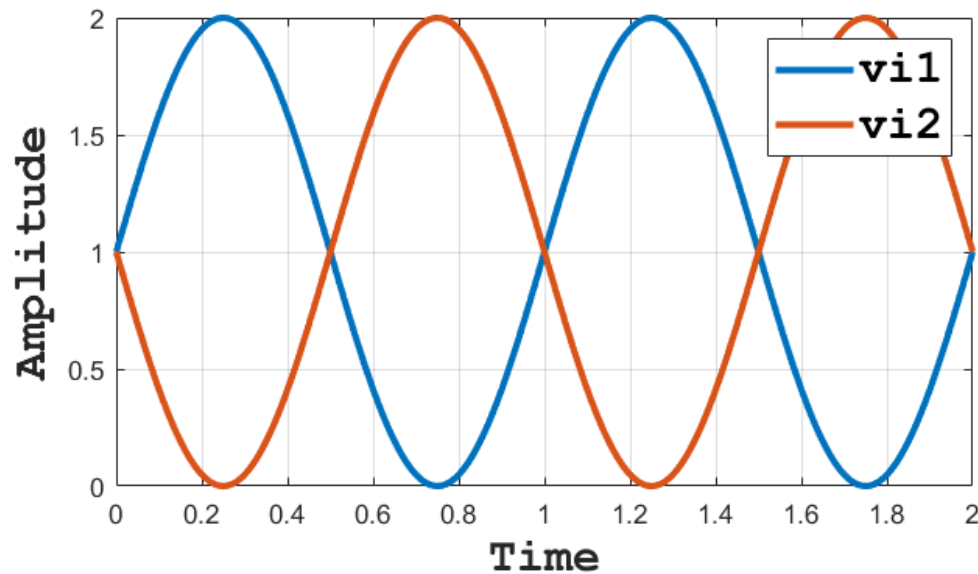
- 极性：直观理解为**变化趋势**
- 同相输入端：同相输入端电压**增加**，输出电压**同方向增加**
- 反相输入端：反相输入端电压**增加**，输出电压**反方向增加**（同向减小）



2.2.1 集成运放的基本特性

✓ 差模信号和共模信号:

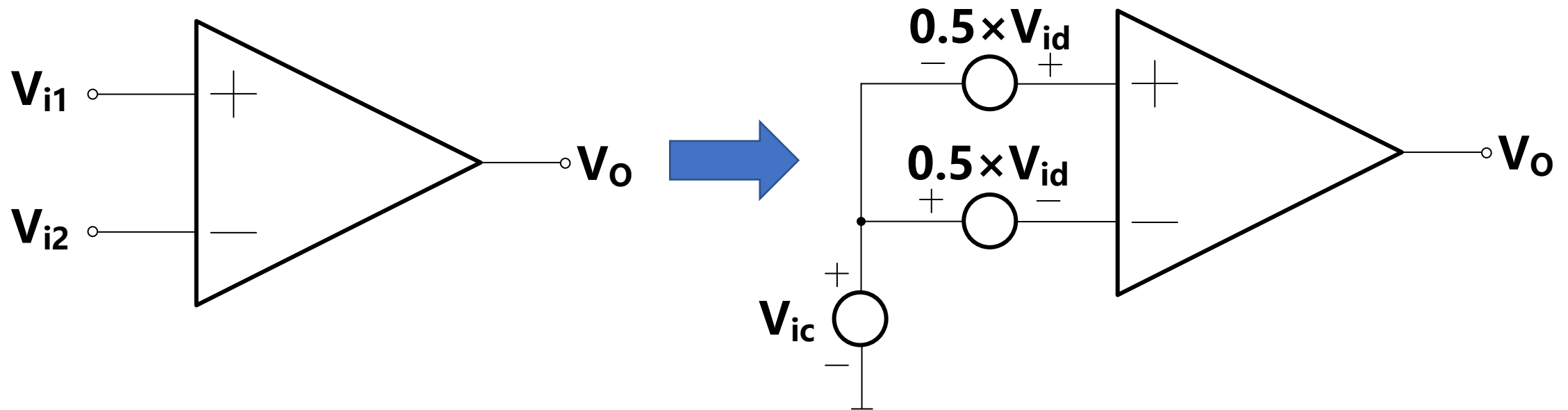
- 差模信号: 大小相等, 极性相反, $v_{id} = v_{i1} - v_{i2}$
- 共模信号: 大小相等, 极性相同, $v_{ic} = (v_{i1} + v_{i2})/2$



2.2.1 集成运放的基本特性

✓ 差模信号和共模信号:

- 差模信号: 大小相等, 极性相反, $v_{id} = v_{i1} - v_{i2}$
- 共模信号: 大小相等, 极性相同, $v_{ic} = (v_{i1} + v_{i2})/2$



2.2.1 集成运放的基本特性

✓ 运放的主要指标:

- 开环差模电压放大倍数:

$$A_{od} = \left| \frac{u_0}{u_{id}} \right|_{R_L=\infty}$$

$$A_{od}(dB) = 20 \lg \left| \frac{u_0}{u_{id}} \right|_{R_L=\infty}$$

- 开环共模电压放大倍数:

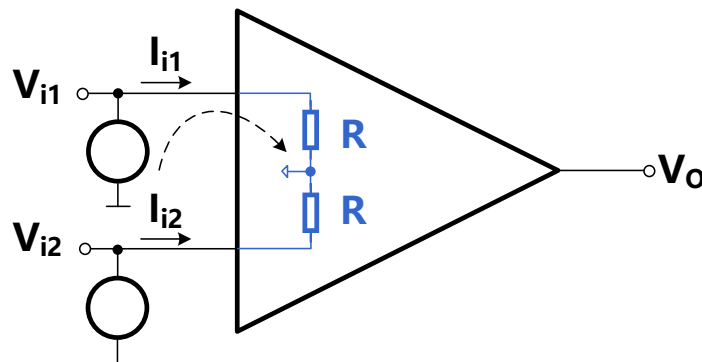
$$A_{oc} = \left| \frac{u_0}{u_{ic}} \right|$$

- 共模抑制比 (CMRR) :

$$K_{CMR} = \left| \frac{A_{od}}{A_{oc}} \right|$$

$$K_{CMR}(dB) = 20 \lg \left| \frac{A_{od}}{A_{oc}} \right|$$

- 输入 (出) 电阻:



2.2.1 集成运放的基本特性

✓ 理想运放：

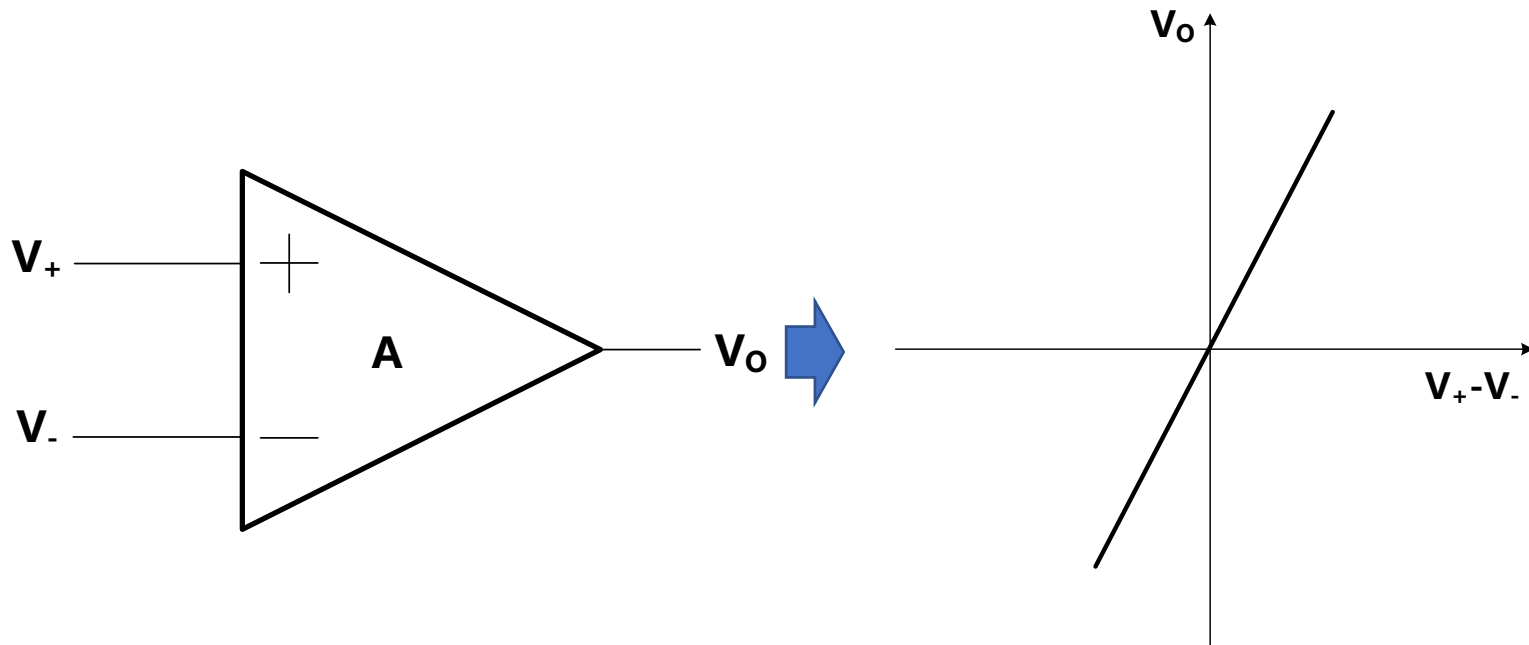
-将集成运放的各项技术指标理想化

技术指标	理想运放	仪表运放OP07	音频运放NE5532
开环差模增益 A_{od}	∞	112 dB	70 dB
共模抑制比 CMRR	∞	120 dB	100 dB
输入电阻 R_{id}	∞	50 M Ω	300 k Ω
输出电阻 R_o	0	60 Ω	0.3 Ω

2.2.2 理想运放的线性与非线性应用

✓ 线性应用：

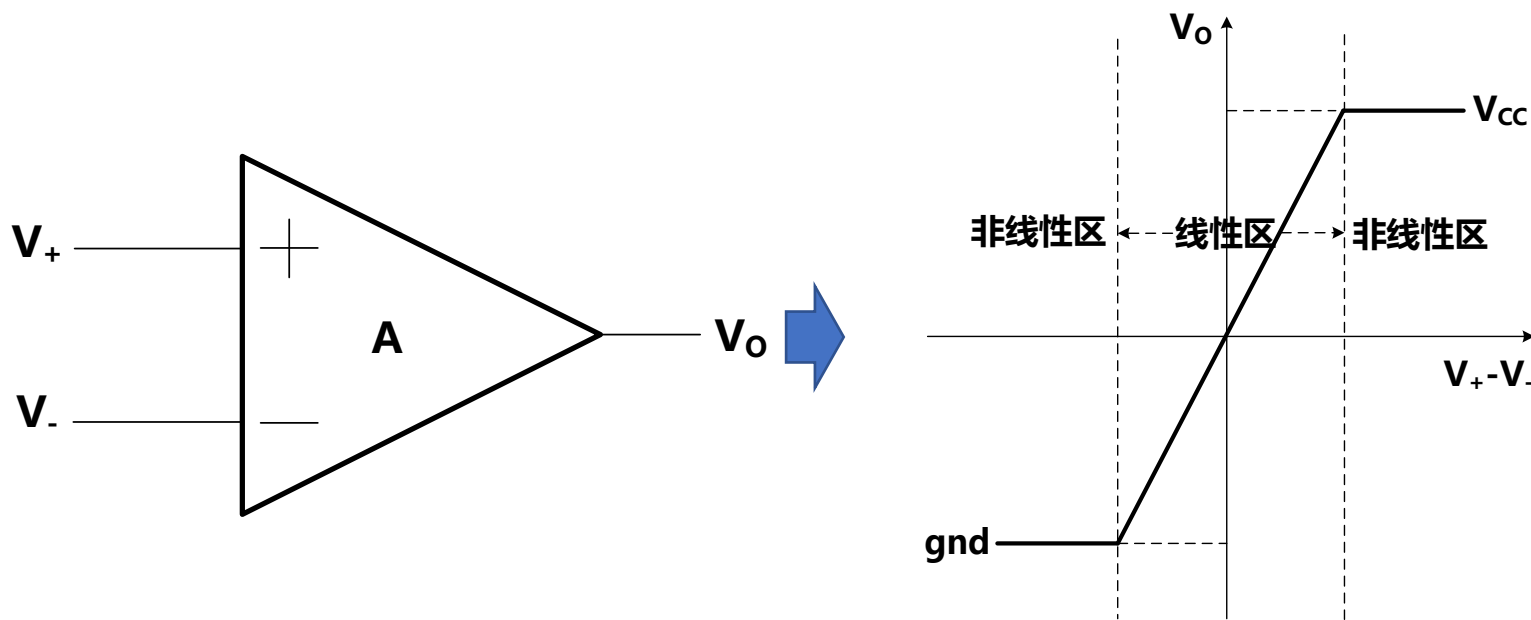
- 运放输出电压是输入电压的线性放大： $V_o = (V_+ - V_-) \times A$
- 输出无限大？



2.2.2 理想运放的线性与非线性应用

✓ 线性区与非线性区:

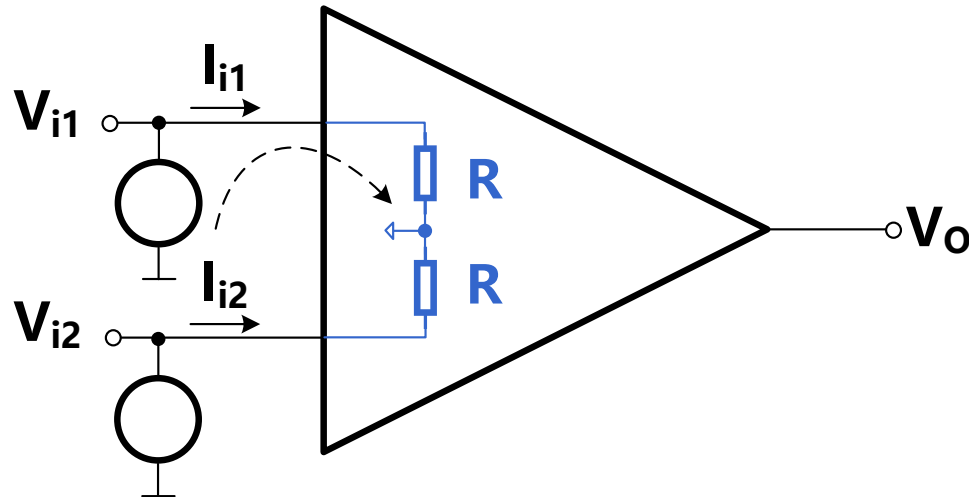
- **线性区**: $V_O = (V_+ - V_-) \times A$
- **非线性区**: 输出饱和, V_O 最高受电源电压 V_{CC} 限制, 最低受地gnd限制



2.2.2 理想运放的线性与非线性应用

✓ 虚断:

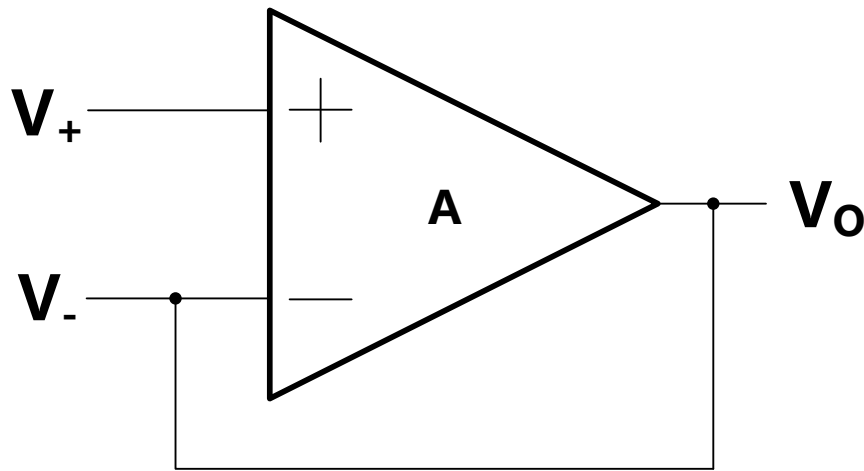
- 理想运放，流入两输入端的电流为零，开路，称之为虚假开路，“虚断”
- **电流**的角度理解：
 - **输入电阻无穷大**时，理想运放从信号源抽取的电流为0
 - 运放输入端口流不进电流，就像**断开**一样



2.2.2 理想运放的线性与非线性应用

✓ 虚短（线性区）：

- 理想运放连接为负反馈，两输入端的电压相等，虚假短路，“虚短”
- 电压的角度理解：
 - 基于运放输入输出关系， ∞ 放大，输出有限： $V_O = (V_+ - V_-) \times A$
 - 基于运放连接为负反馈的前提：



$$\begin{aligned} & \begin{cases} V_O = V_- \\ V_O = (V_+ - V_-) \times A \end{cases} \\ & \quad \downarrow \\ & V_O = (V_+ - V_O) \times A \\ & \quad \downarrow \\ & V_O = V_+ \times \frac{A}{A+1} \end{aligned}$$