



核心专业课  
B3I493220

# 微电子器件实验

彭守仲

北京航空航天大学 集成电路学院

第一馆203办公室 [shouzhong.peng@buaa.edu.cn](mailto:shouzhong.peng@buaa.edu.cn)

2020年12月7日

# 回顾：基本放大电路

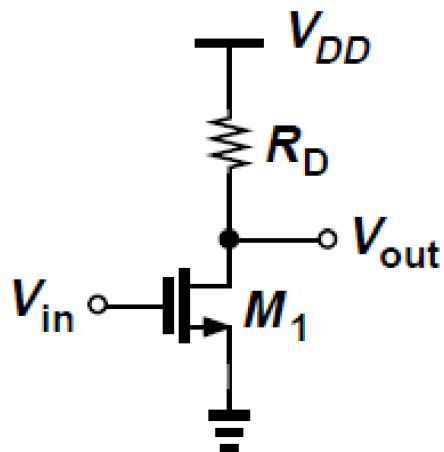


## ■ 场效应管单管放大电路

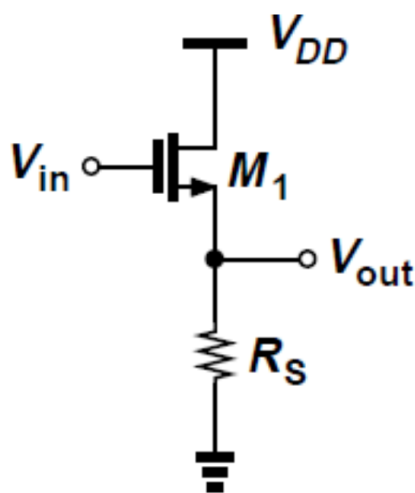
### ■ 共源放大电路

### ■ 共漏放大电路（源随器）

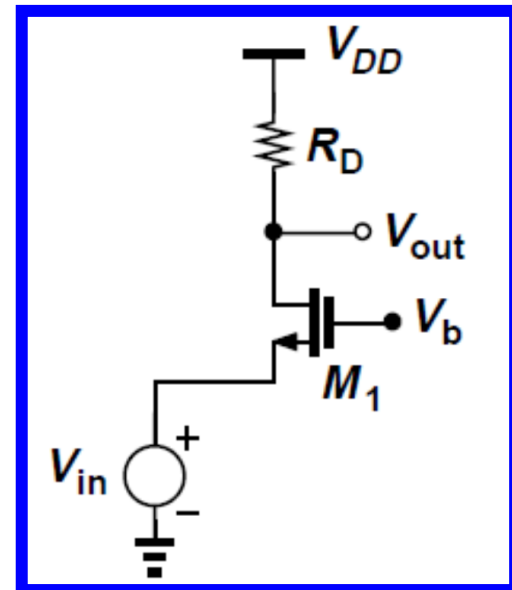
### ■ 共栅放大电路



共源



共漏（源随器）



共栅

# 回顾：步骤1：放大电路参数计算

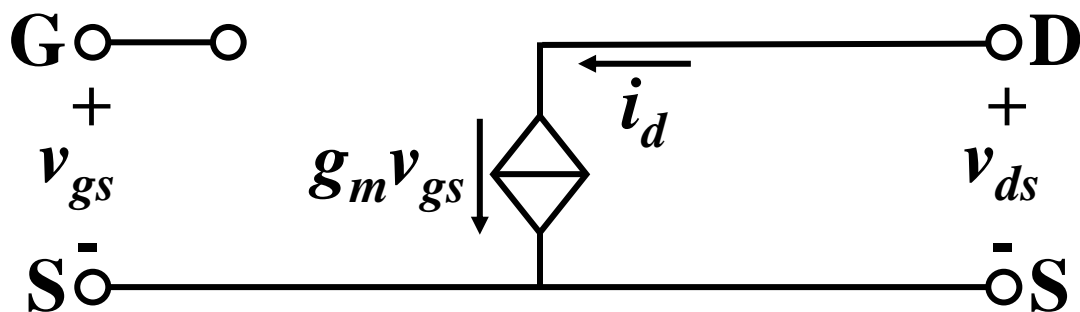
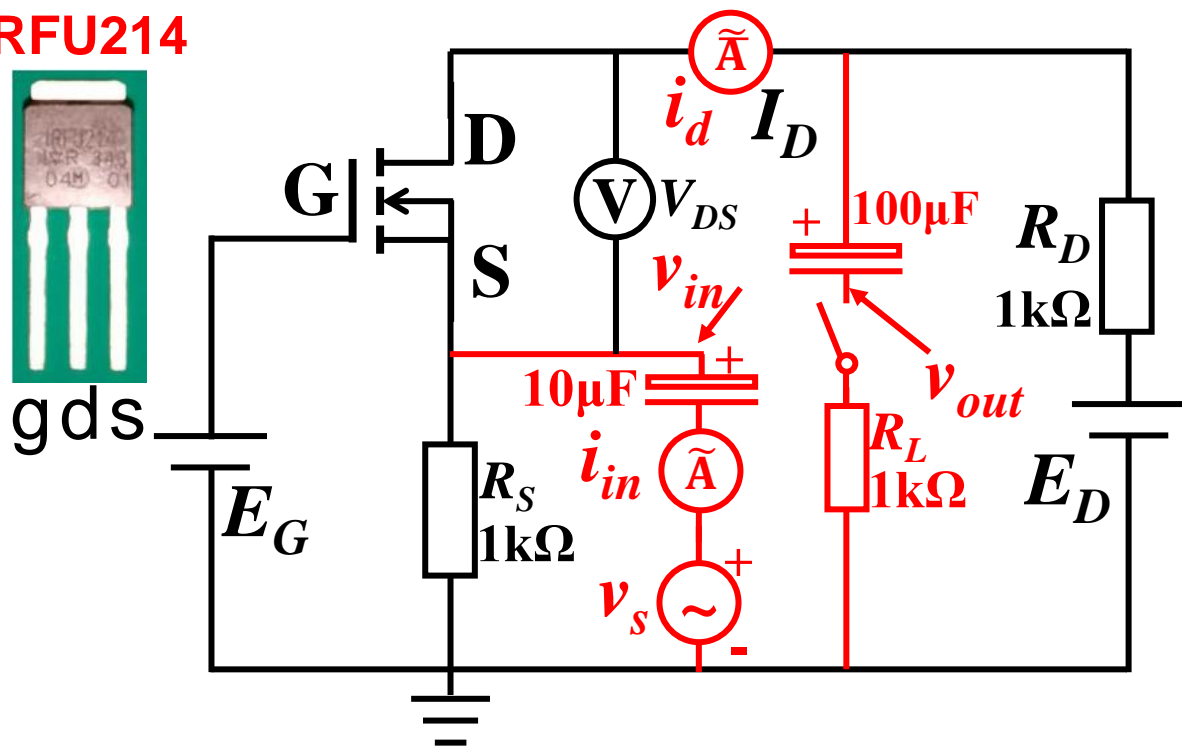


## ■ 放大电路参数计算

1. 画出低频交流小信号等效电路
2. 设  $g_m = 0.01\text{S}$ ，计算出电压放大倍数  $A_v$ 、电流放大系数  $A_i$ 、输入电阻  $R_{in}$ 、输出电阻  $R_{out}$  的具体数值

(课堂测试)

IRFU214

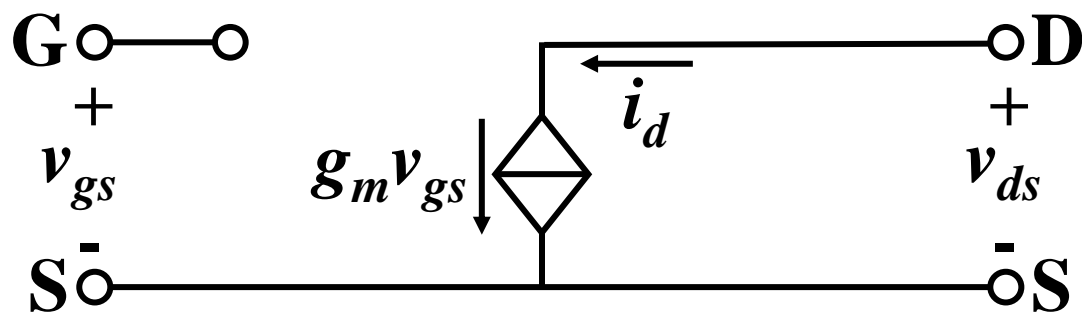
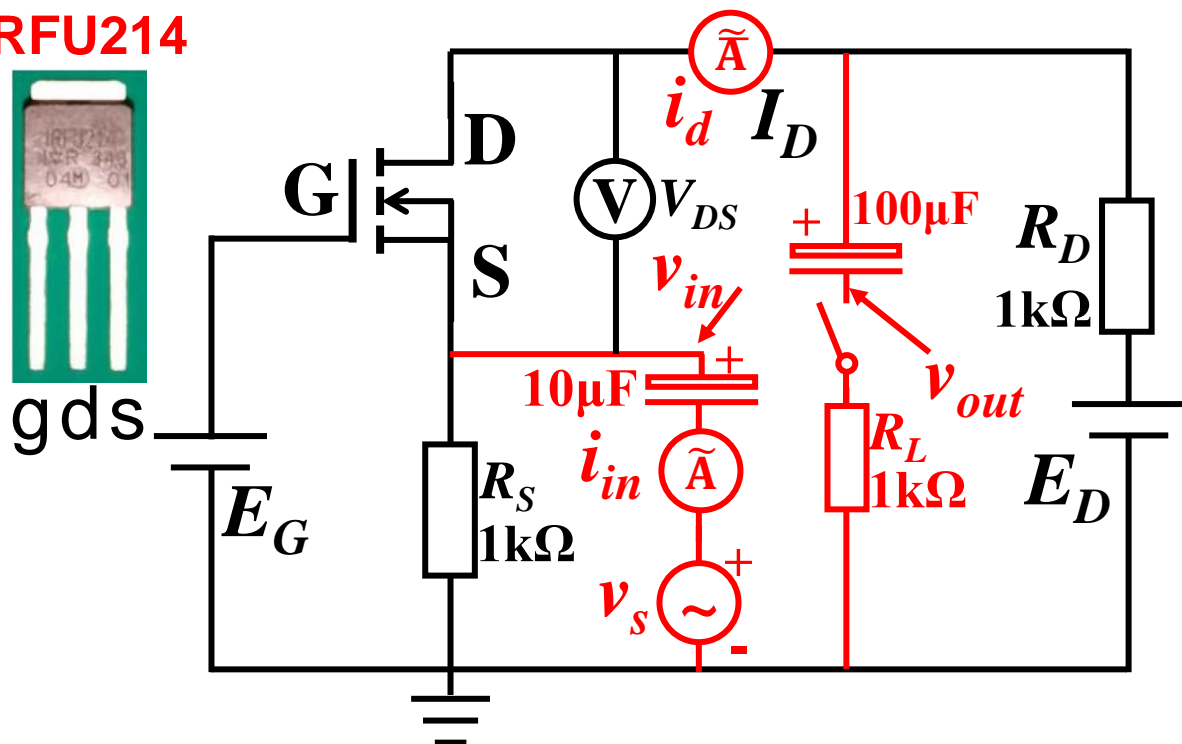


# 回顾：步骤2:直流工作点设置



## ■ 直流工作点设置

IRFU214



- 1.自行设置 $E_G$ 和 $E_D$
- 2.测量 $V_{DS}$ 和 $I_D$ 并画图，  
确保工作在放大区
- 3.测量交流信号 $v_{gs}$ 和 $i_d$   
并计算低频跨导 $g_m$ ：

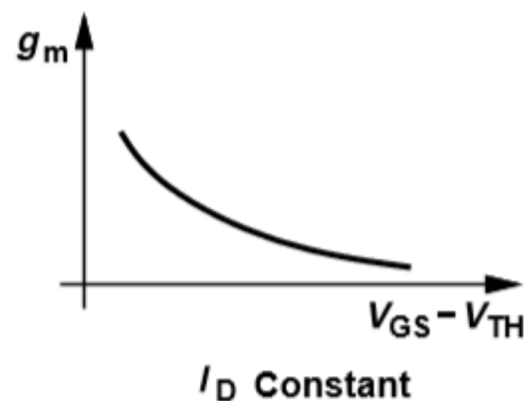
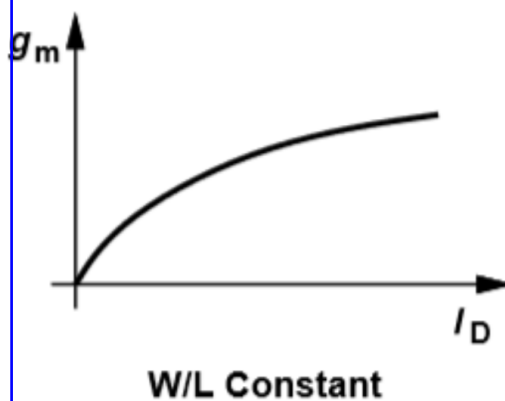
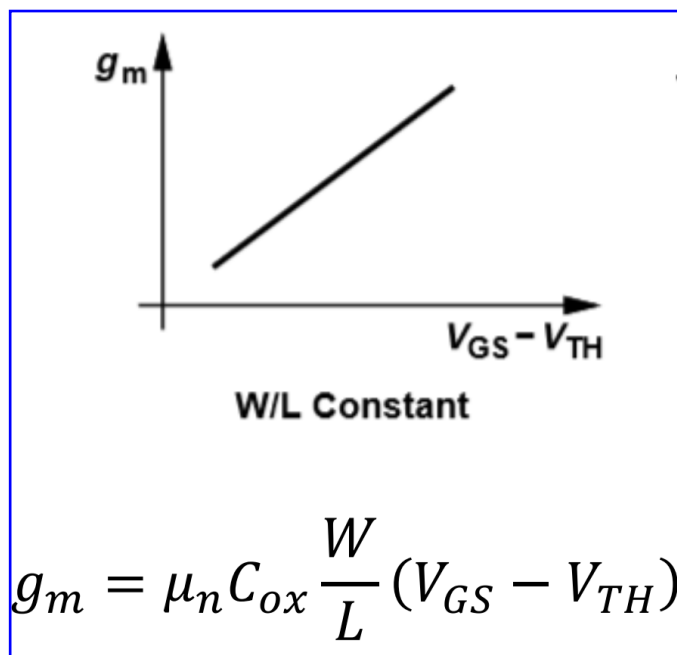
$$g_m = \frac{i_d}{v_{gs}}$$

- 4.调节 $E_G$ 和 $E_D$ ，使低频  
跨导 $g_m=0.01S$

# 回顾：场效应管的模型参数测量

## ■ 饱和区低频跨导（忽略沟道长度调制效应）

### ■ 直流工作点确定后， $I_D$ 和 $g_m$ 保持不变



$$= \sqrt{2\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} I_D}$$

$$= \frac{2I_D}{V_{GS} - V_{TH}}$$

思考：如何改变低频跨导 $g_m$ ？

# 回顾：步骤3:放大电路参数测量

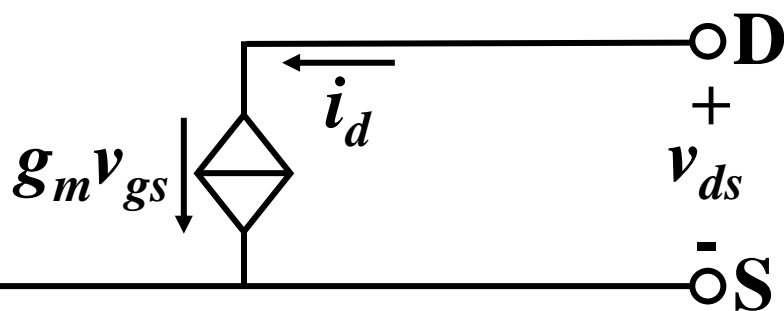
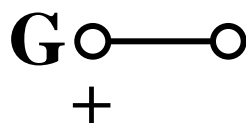
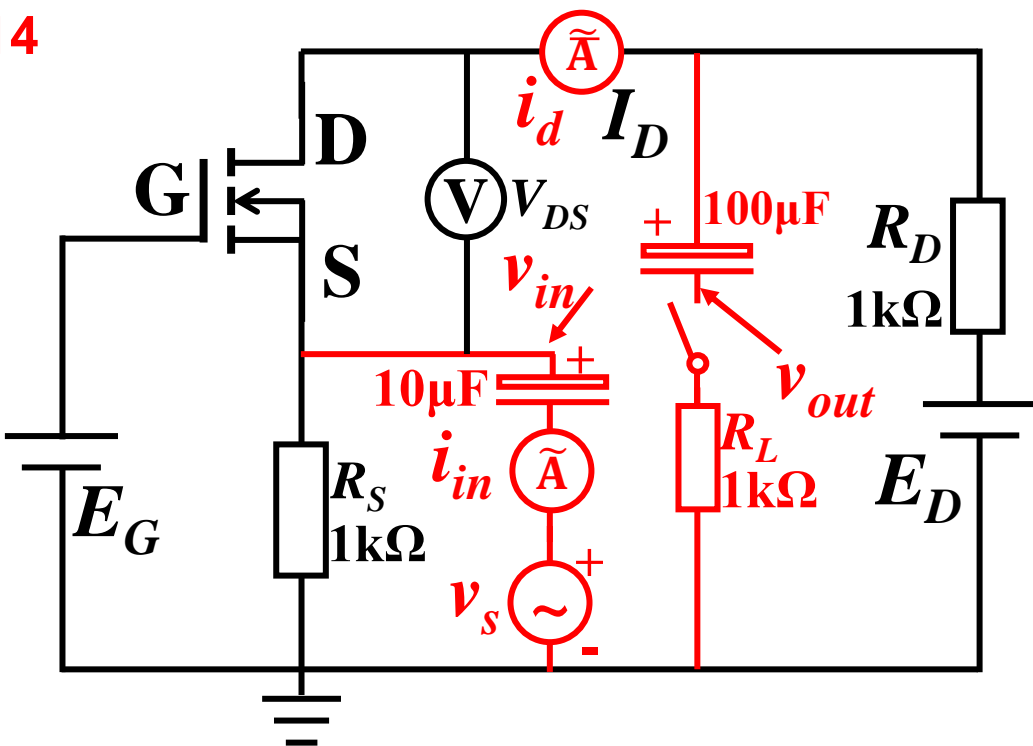


## 放大电路参数测量

IRFU214



gds



1.保持直流工作点不变

2.任意波形发生器输出

1KHz、500mV<sub>PP</sub>信号 $v_{in}$

3.断开 $R_L$ ，用示波器测量 $v_{in}$

和 $v_{out1}$ ，用万用表测量 $i_{in}$

4.计算电压放大倍数 $A_v$ 、

输入电阻 $R_{in}$

5.连接 $R_L$ 测量 $v_{out2}$ ，计算电流

放大倍数 $A_i$ 和输出电阻 $R_{out}$

# 基本运算电路



## ■ 运算放大器

- 广泛应用于信号运算、高速放大、滤波、缓冲器等电路。
- 通常以负反馈形式使用，以提供稳定性、精度等指标。

### 理想集成运放：

开环差模电压增益 $A_{od}$  无穷大

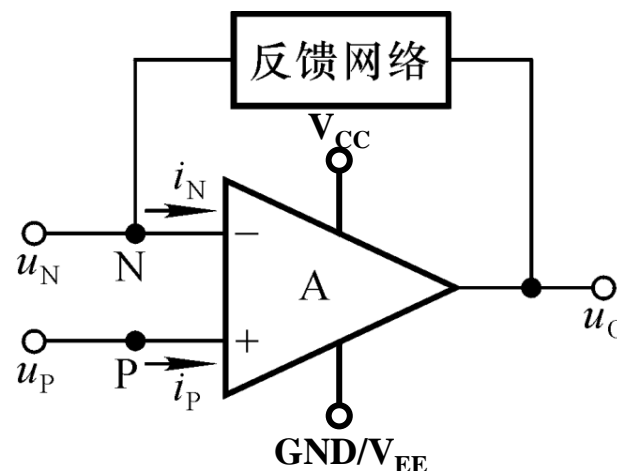
开环差模输入电阻 $r_{id}$  无穷大

带宽 $f_H$  无穷大

共模抑制比无穷大

输出电阻 $r_o$  为零

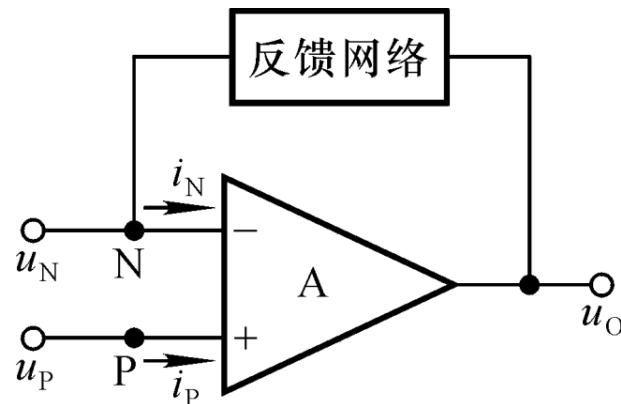
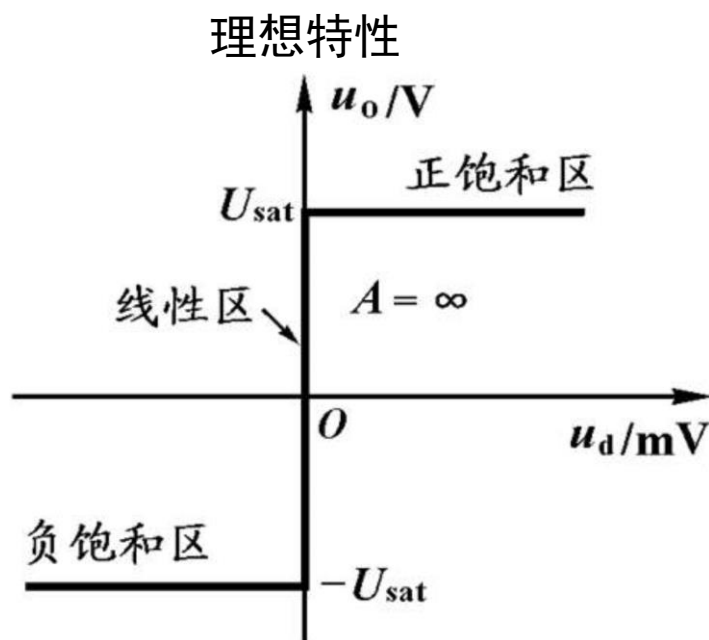
噪声为零



# 基本运算电路



## ■ 运放的线性/非线性工作区



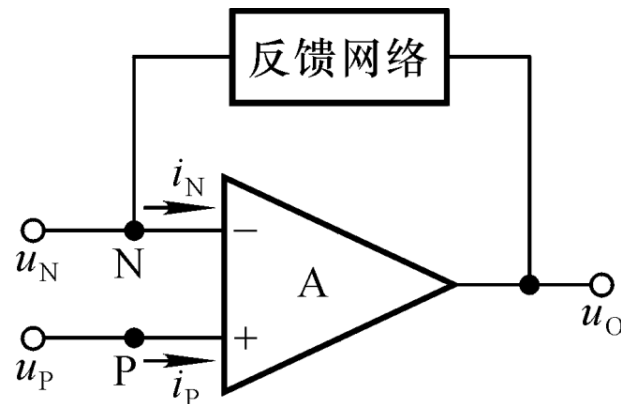
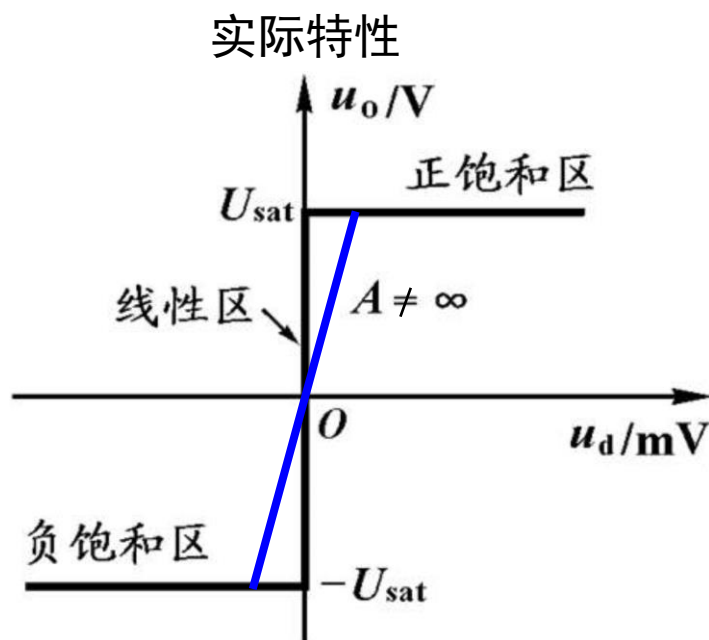
- 运放分为线性工作区和非线性工作区 (正向/负向饱和区)。
- 线性工作区:  $u_o = A_{od} (u_P - u_N)$
- 用来设计运算电路时, 处于线性工作区。
- 用来设计比较器时, 处于非线性工作区。



# 基本运算电路



## ■ 运放的线性/非线性工作区

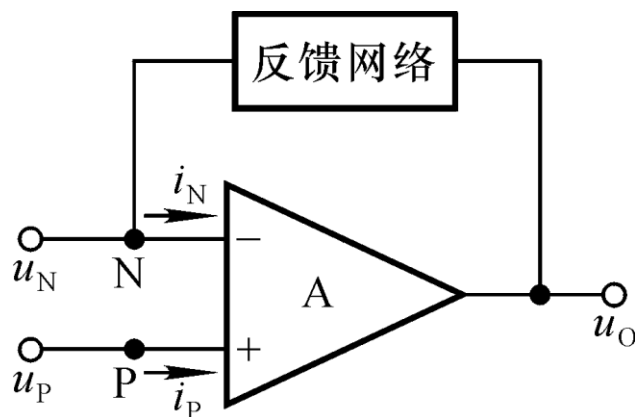


- 运放分为线性工作区和非线性工作区 (正向/负向饱和区)。
- 线性工作区:  $u_o = A_{od} (u_P - u_N)$
- 用来设计运算电路时, 处于线性工作区。
- 用来设计比较器时, 处于非线性工作区。

# 基本运算电路



## ■ 理想运放的“虚短”和“虚断”



$$u_o = A_{od}(u_P - u_N)$$

因为  $u_o$  为有限值，而  $A_{od} = \infty$   
所以  $u_N - u_P = 0$ ，即  $u_N = u_P$   
此为 “虚短路”！

因为  $r_{id} = \infty$ ，所以

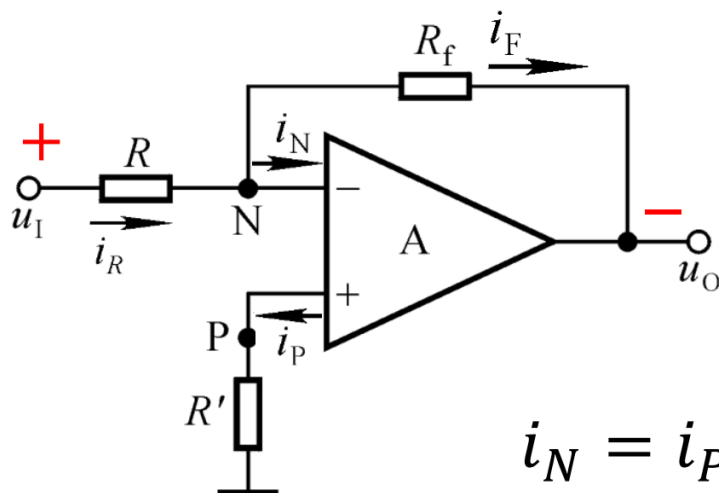
$$i_N = i_P = 0$$

此为 “虚断路”！

# 基本运算电路



## ■ 反相比例运算电路



$$R' = R \parallel R_f$$

确保差分输入端的对称性

$i_N = i_P = 0$ ，虚断； $u_N = u_P = 0$ ，虚短

在节点N处应用KCL：
$$i_F = i_R = \frac{u_I}{R} = -\frac{u_O}{R_f}$$

达到反相比例运算效果：
$$u_O = -\frac{R_f}{R} \cdot u_I$$

# 基本运算电路



## ■ 四运放集成电路LM324N



封装类型:DIP

引脚数:14

工作温度范围:-40°C to +85 °C

-3dB带宽增益乘积:1MHz

变化斜率:0.5V/ $\mu$ s

最大输入偏移电压:7mV

最大电源电压:32V

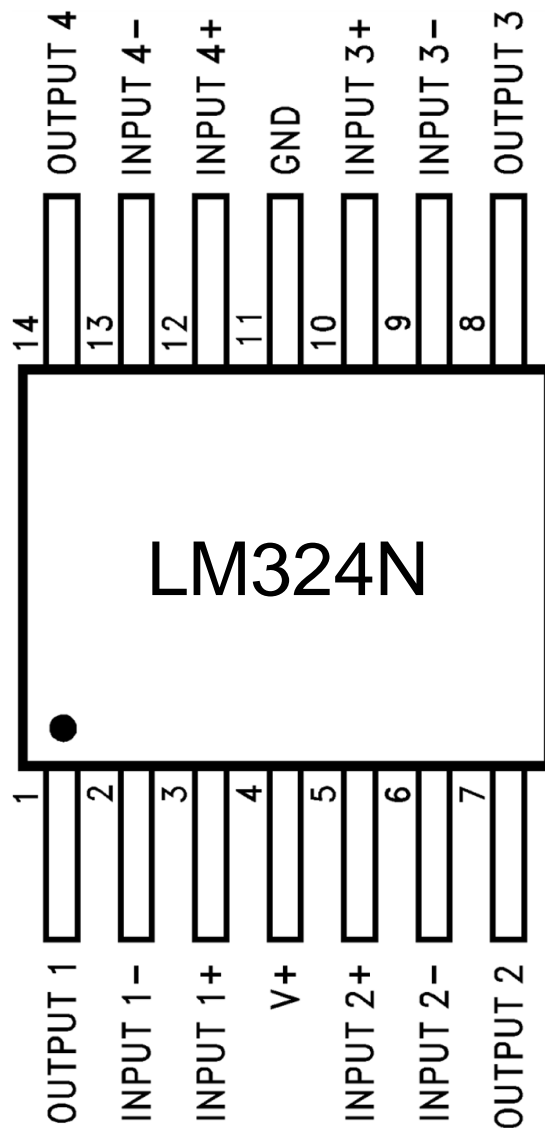
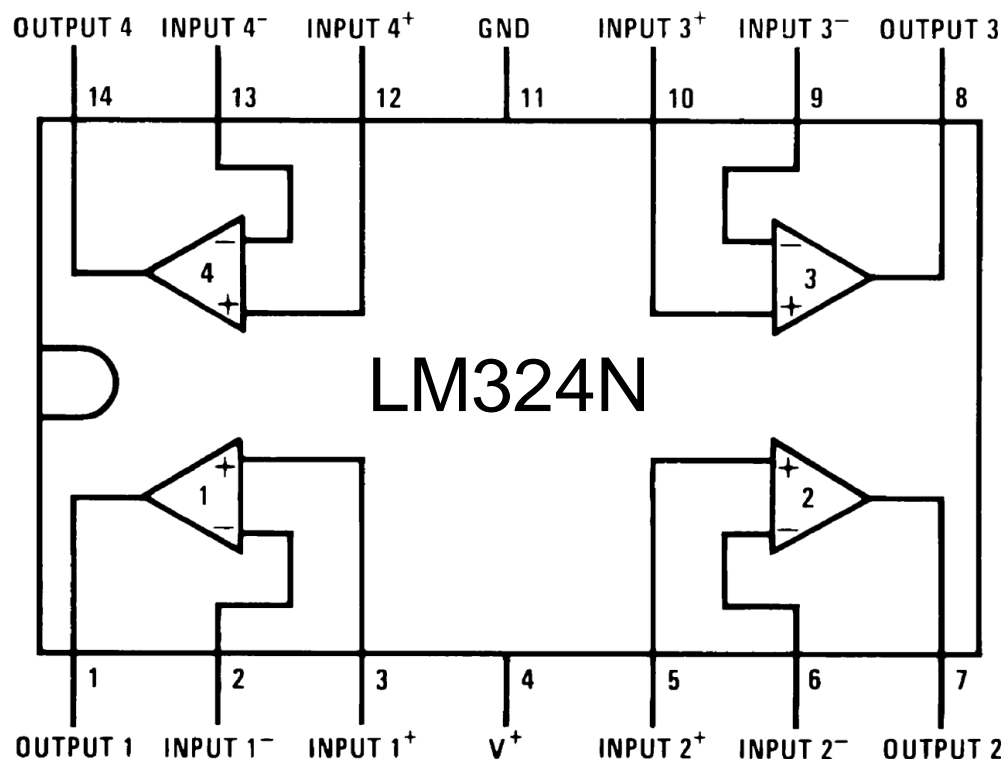
最小电源电压:3V

额定电源电压:+5V

# 基本运算电路



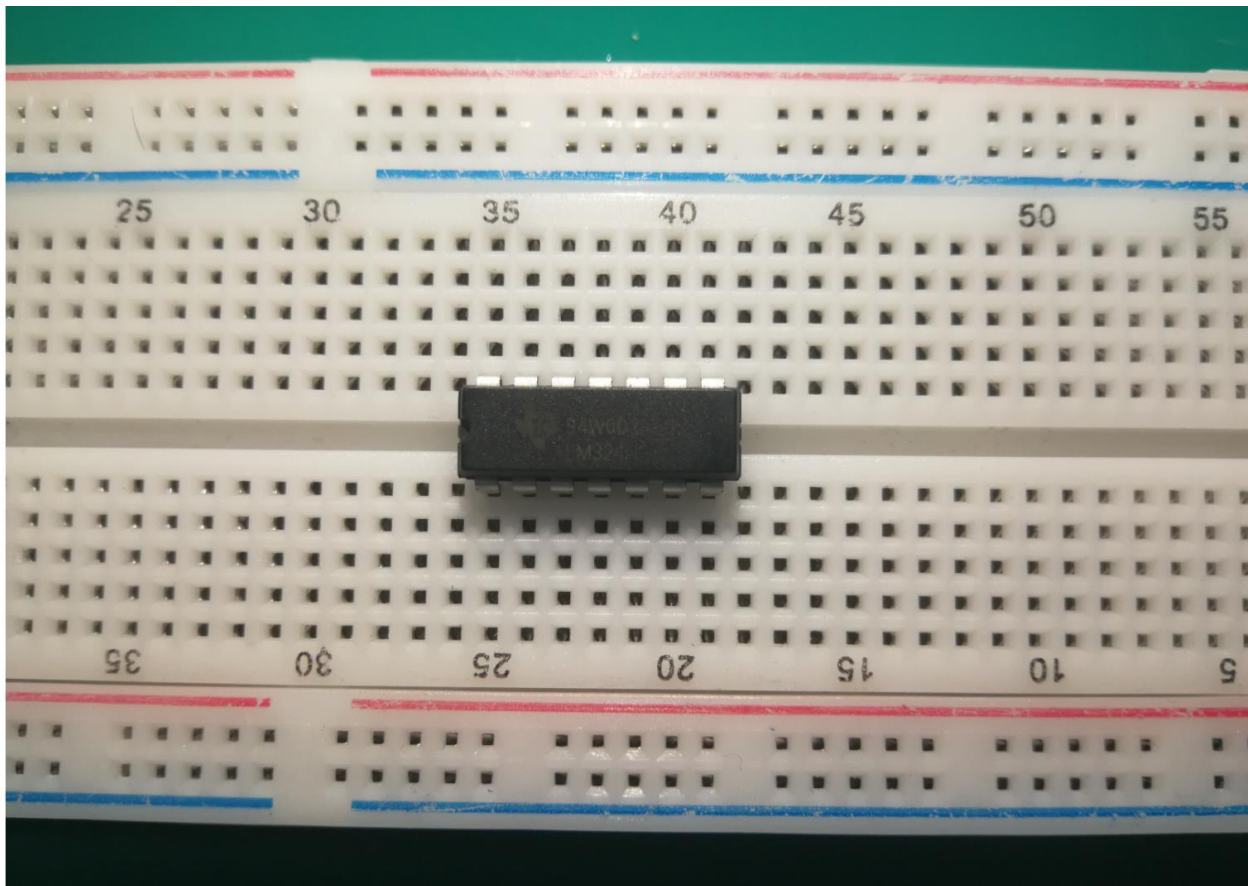
## ■ 四运放集成电路LM324N



# 基本运算电路



## ■ 四运放集成电路LM324N



# 步骤1:设计基本运算电路



## ■ 设计基本运算电路

利用集成运放设计电路:

①反相比例运算电路

②同相比例运算电路

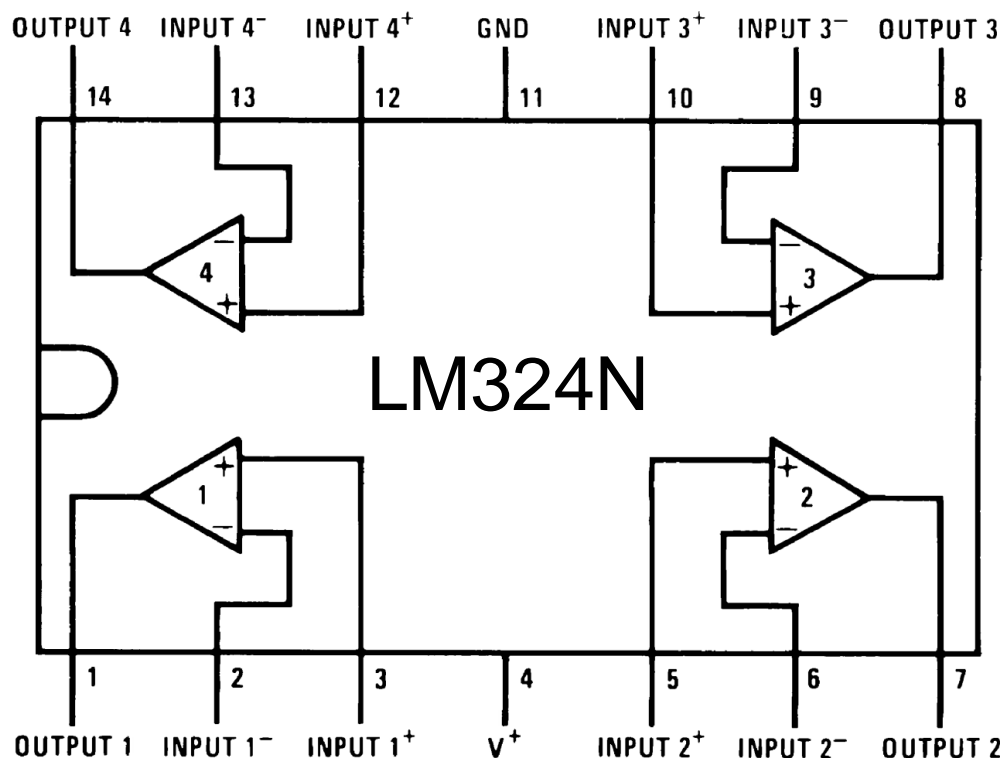
③电压跟随器

设置合适的电阻值,使闭

环增益 $A = u_O / u_I$ 分别

为-2、-1、2、1。

(课堂测试)



## 步骤2: 测量基本运算电路



### ■ 测量基本运算电路

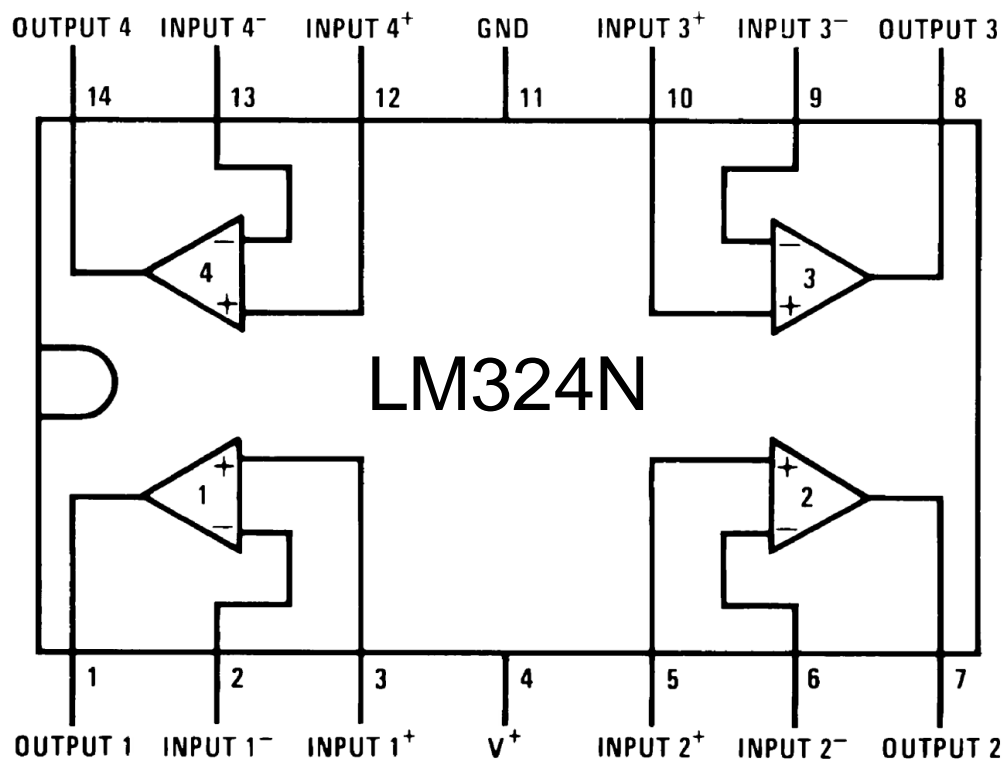
搭建所设计的电路:

- ①反相比例运算电路
- ②同相比例运算电路
- ③电压跟随器

测量并验证闭环增益

$$A = u_O / u_I \text{ 等于}$$

-2、 -1、 2、 1。





# 课后思考



## ■ 课后思考

1. 在我们的实验中如何提高反相比例运算电路的放大倍数？
2. 如果放大倍数过高，会带来什么不利影响？

谢谢！