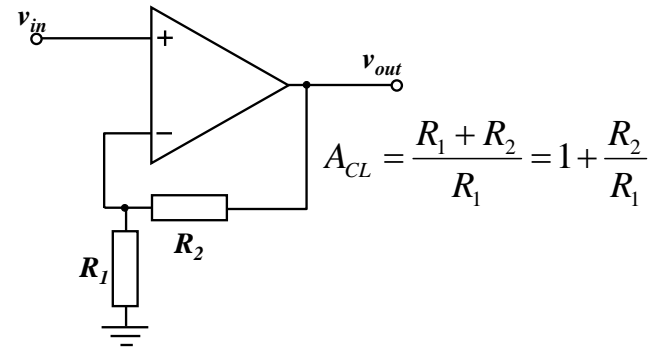


# Kopplingar med Operationsförstärkaren

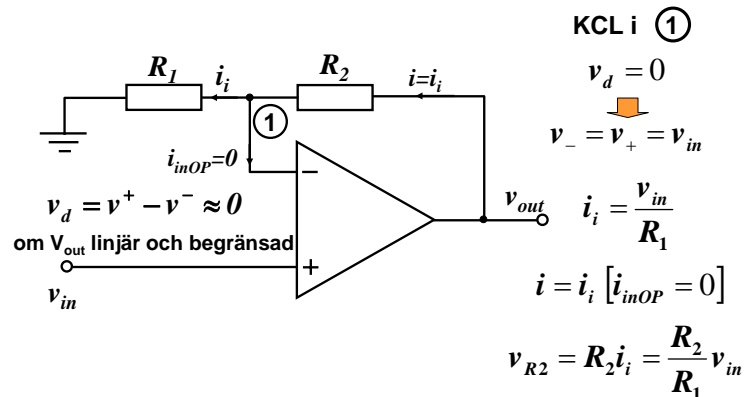
- Icke-inverterande spänningsförstärkare
- Följare (Buffert)
- Transimpedans
- Inverterande spänningsförstärkare
- Transkonduktans
- Strömförstärkare

## Spänningsförstärkare med OP



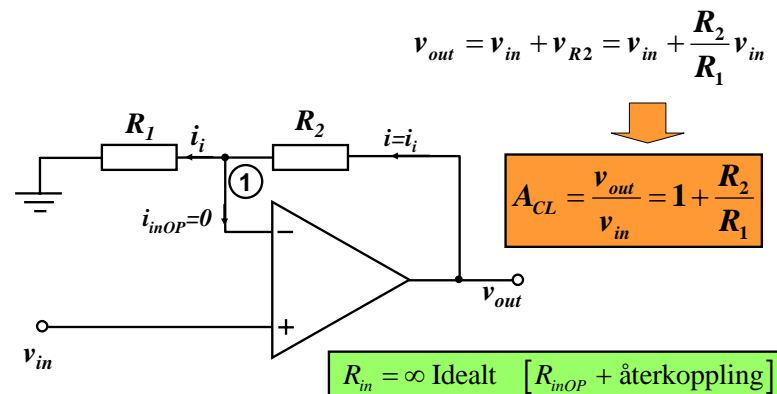
## Nodanalys av Spänningsförstärkare

Icke-inverterande OP:koppling

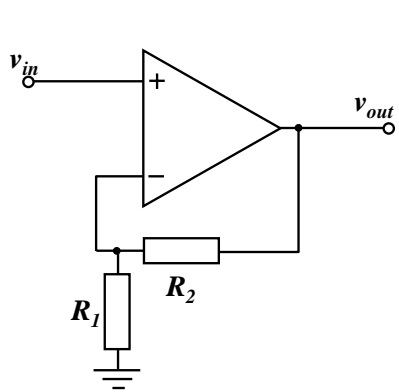


## Spänningsförstärkare med OP

Icke-inverterande OP:koppling



### Spänningsförstärkare med OP



$$A_{CL} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$



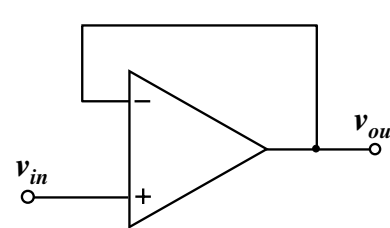
Icke-inverterande  
OP:koppling

$$i_{inOP} = 0$$



Obelastad  
spänningsdelning

### Följare - Buffert



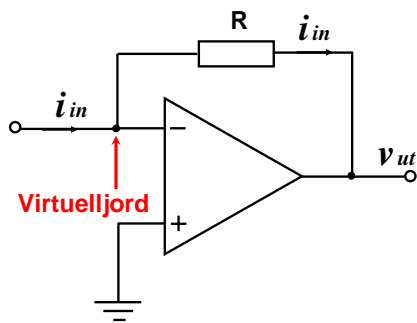
$$A_{CL} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_1 = \infty$$

$$R_2 = 0$$

$$\Rightarrow A_{CL} = 1 + \frac{0}{\infty} = 1$$

### Ström till Spänning: Transimpedans



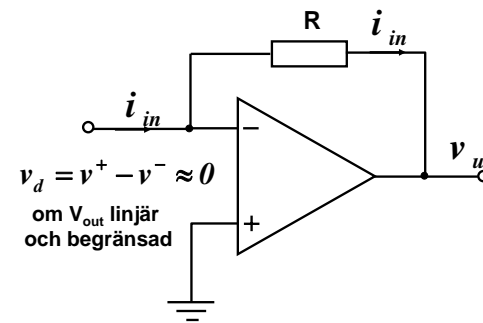
Transimpedans

$$\frac{v_{ut}}{i_{in}} = -R$$

Strömingång

$$R_{in} = 0 \text{ (Idealt)}$$

### Nodanalys: Transimpedans med OP



$v_d = v^+ - v^- \approx 0$   
om  $v_{out}$  linjär  
och begränsad

Ingen ström  
in i OPN!

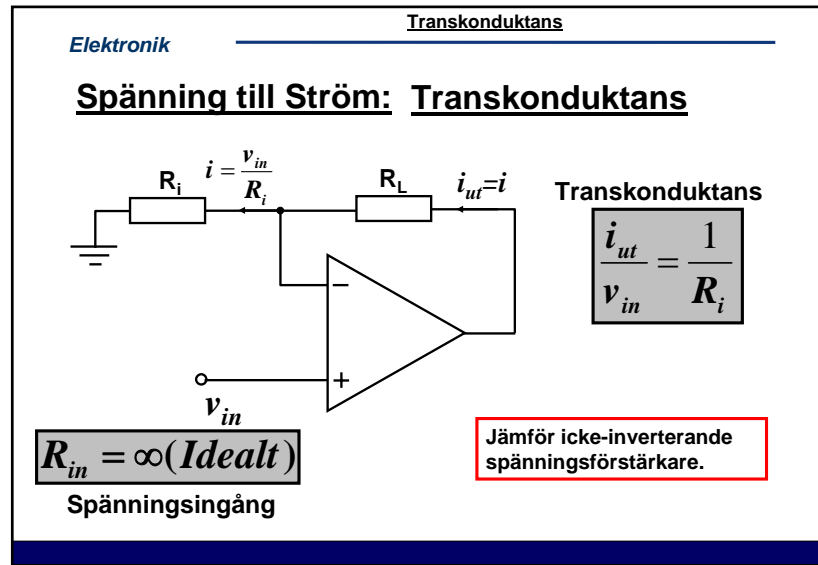
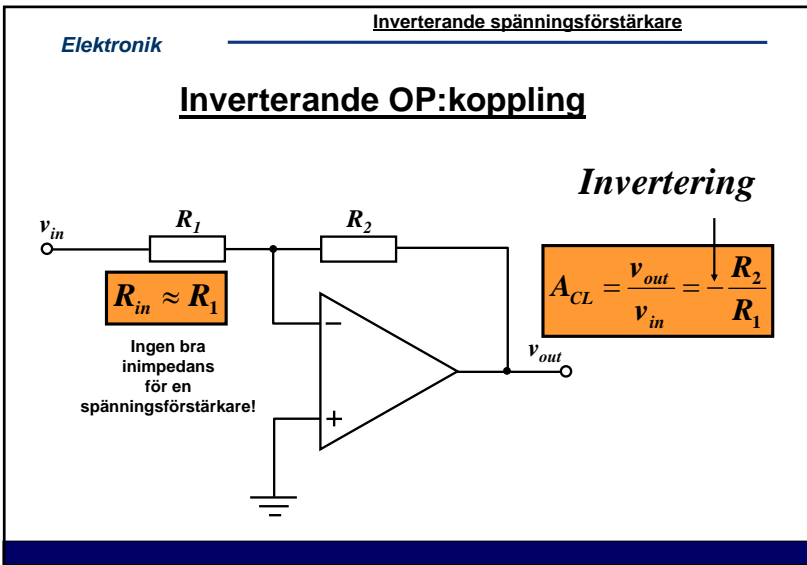
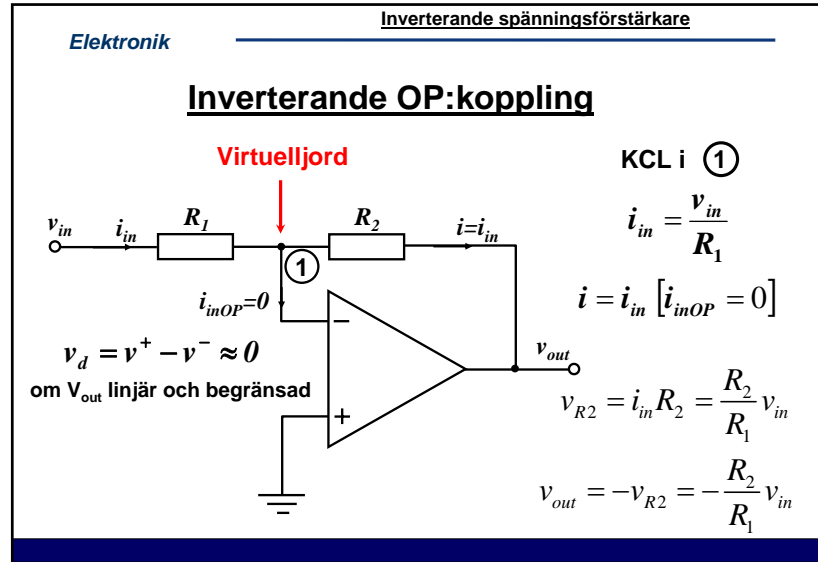
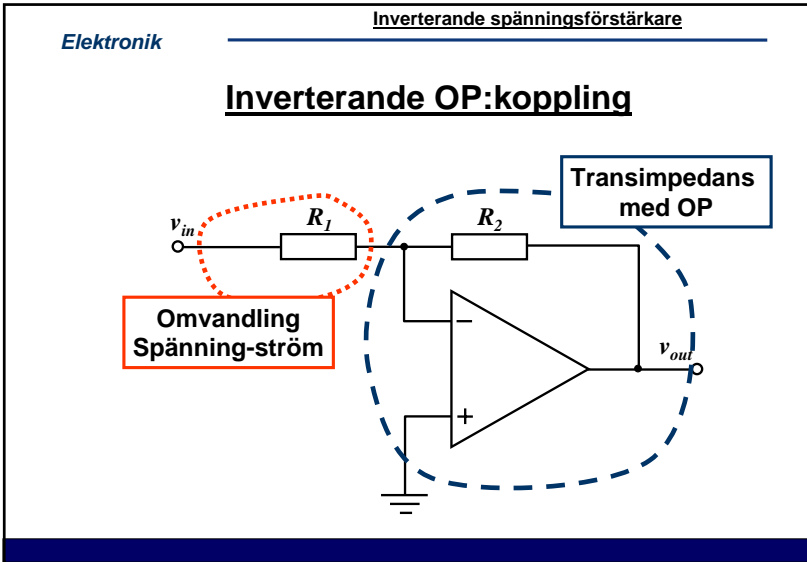


$$v_{ut} = -R i_{in}$$

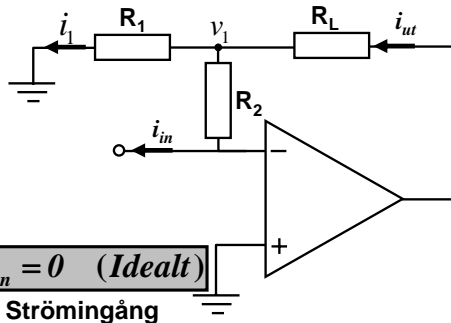


Transimpedans

$$\frac{v_{ut}}{i_{in}} = -R$$



### Strömförstärkare



$R_{in} = 0$  (Idealt)  
Strömingång

$$v_1 = i_{in} R_2$$

$$\downarrow$$

$$i_1 = \frac{v_1}{R_1} = i_{in} \frac{R_2}{R_1}$$

$$\downarrow$$

$$i_{ut} = i_{in} + i_1$$

$$\downarrow$$

$$i_{ut} = i_{in} + i_{in} \frac{R_2}{R_1}$$

$$\downarrow$$

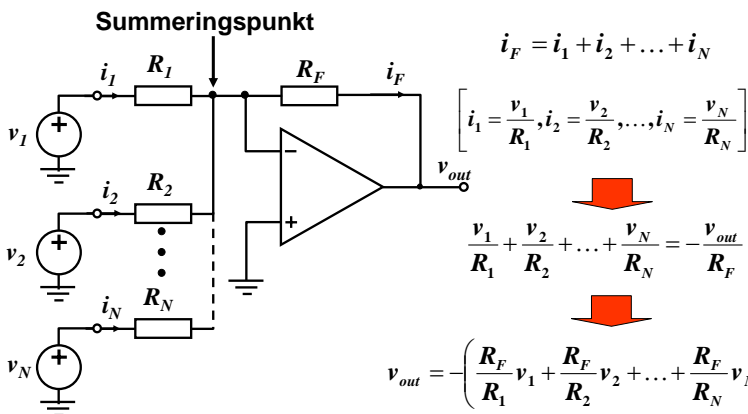
$$\frac{i_{ut}}{i_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

### Fler OP-kopplingar

- Summerande förstärkare
- Differentialförstärkare
- Instrumentförstärkare



### Summerande OP:koppling



Summeringspunkt

$$i_F = i_1 + i_2 + \dots + i_N$$

$$\left[ i_1 = \frac{v_1}{R_1}, i_2 = \frac{v_2}{R_2}, \dots, i_N = \frac{v_N}{R_N} \right]$$

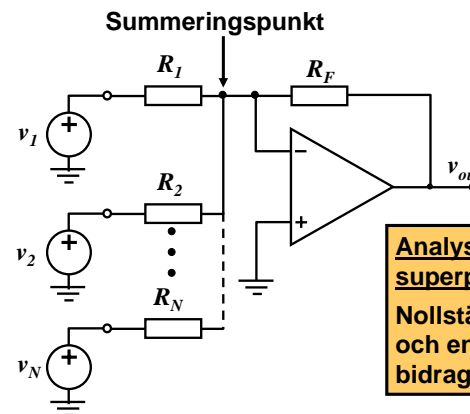
$$\downarrow$$

$$\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \dots + \frac{v_N}{R_N} = -\frac{v_{out}}{R_F}$$

$$\downarrow$$

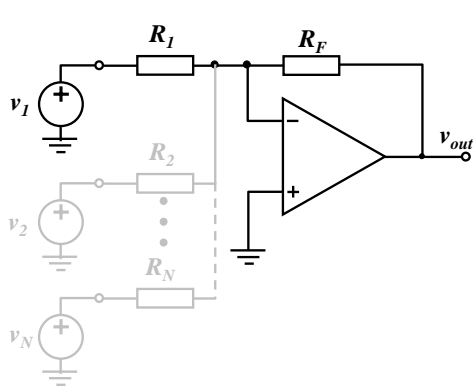
$$v_{out} = -\left( \frac{R_F}{R_1} v_1 + \frac{R_F}{R_2} v_2 + \dots + \frac{R_F}{R_N} v_N \right)$$

### Summerande OP:koppling, Superposition (1)



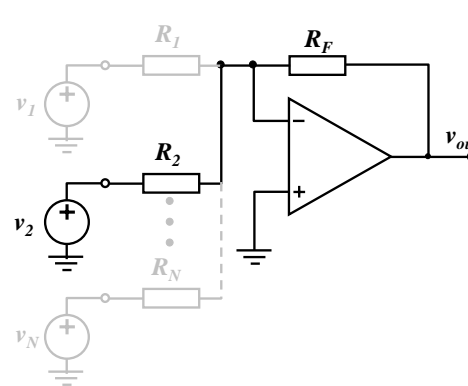
**Analysera genom att använda superposition:**  
Nollställ oberoende källor var och en för sig och summera bidragen.

**Summerande OP:koppling, Superposition (2)**



Bidrag  $v_1$ :  $-\frac{R_F}{R_1}$

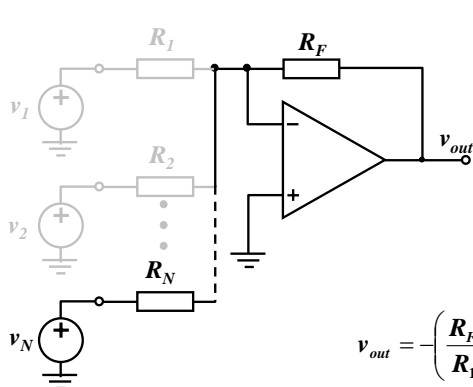
**Summerande OP:koppling, Superposition (3)**



Bidrag  $v_1$ :  $-\frac{R_F}{R_1}$

Bidrag  $v_2$ :  $-\frac{R_F}{R_2}$

**Summerande OP:koppling, Superposition (4)**



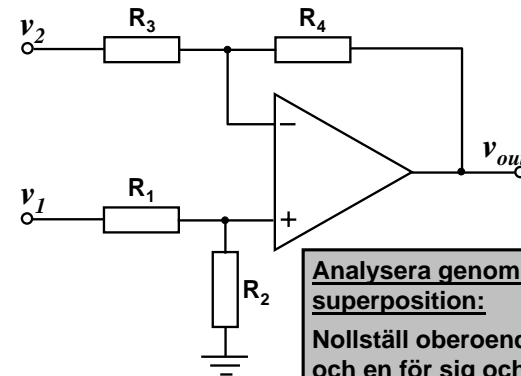
Bidrag  $v_1$ :  $-\frac{R_F}{R_1}$

Bidrag  $v_2$ :  $-\frac{R_F}{R_2}$

Bidrag  $v_N$ :  $-\frac{R_F}{R_N}$

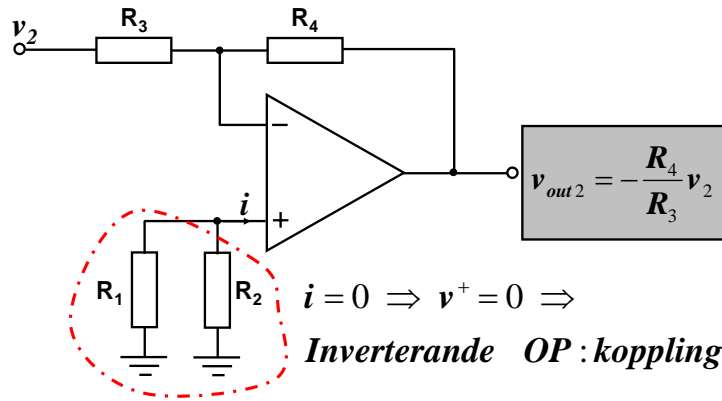
$$v_{out} = -\left(\frac{R_F}{R_1}v_1 + \frac{R_F}{R_2}v_2 + \dots + \frac{R_F}{R_N}v_N\right)$$

**Differentialförstärkare**

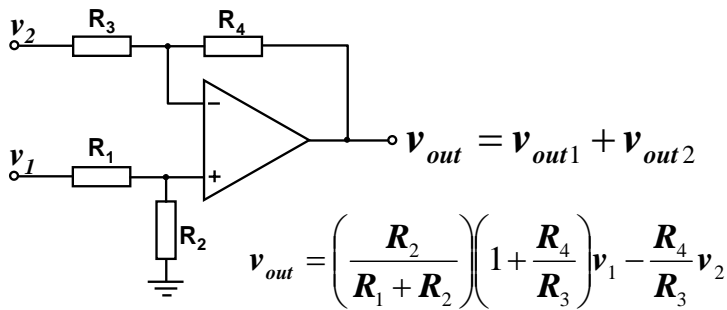
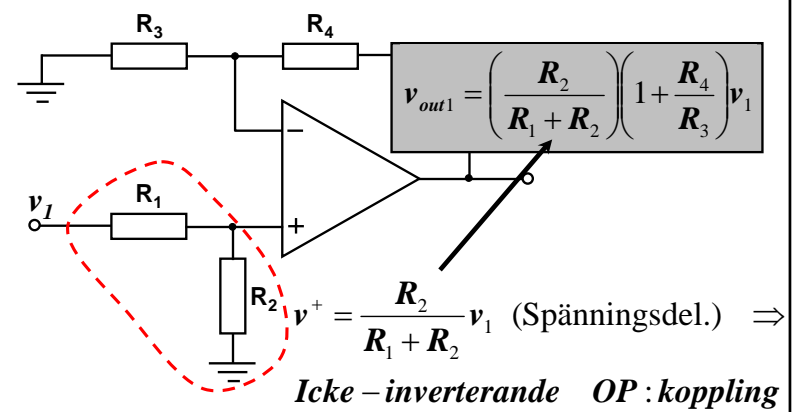


**Analysera genom att använda superposition:**  
Nollställ oberoende källor var och en för sig och summera bidragen.

**Nollställ  $v_1$**



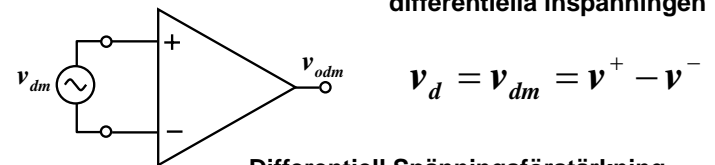
**Nollställ  $v_2$**



om  $R_1 = R_3$  och  $R_2 = R_4 \Rightarrow v_{out} = \frac{R_2}{R_1} (v_1 - v_2)$

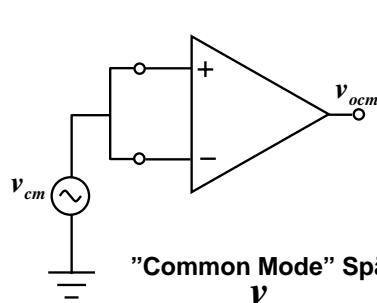
**$A_{dm}$  - Differential Mode**

OPn förstärker skillnaden i spänning mellan ingångarna, differentiella inspänningen



$A_{dm} = \frac{v_{odm}}{v_{dm}}$ , **Idealt** :  $A_{dm} = \infty$

### $A_{cm}$ – Common Mode



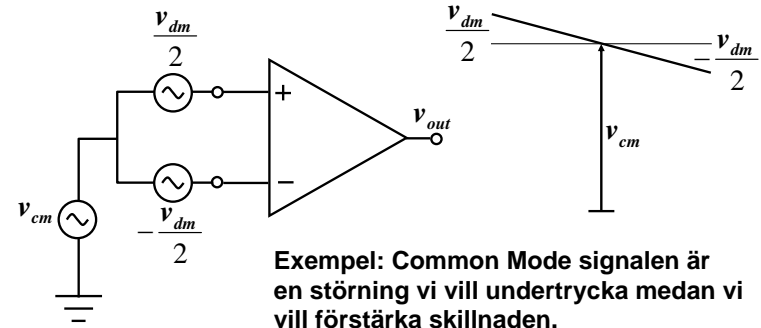
En spänning som läggs på bägge ingångarna, common mode, skall undertryckas

$$v_{cm} = \frac{v^+ + v^-}{2}$$

"Common Mode" Spänningsförstärkning

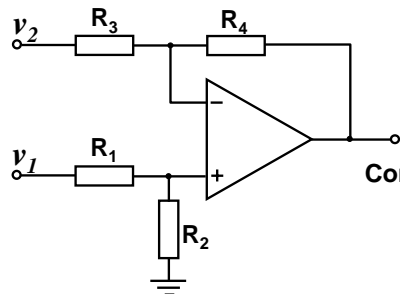
$$A_{cm} = \frac{v_{ocrm}}{v_{cm}}, \text{ Idealt : } A_{cm} = 0$$

### $A_{dm} - A_{cm}$



Exempel: Common Mode signalen är en störning vi vill undertrycka medan vi vill förstärka skillnaden.

### CMRR



Om OPn ideal och perfekt anpassning mellan R

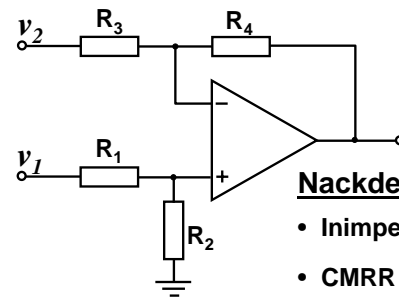
$$A_{cm} = 0$$

Definition  
Common Mode Rejection Ratio

$$CMRR = \frac{A_{dm}}{A_{cm}}$$

$$\text{Idealt : } CMRR = \infty$$

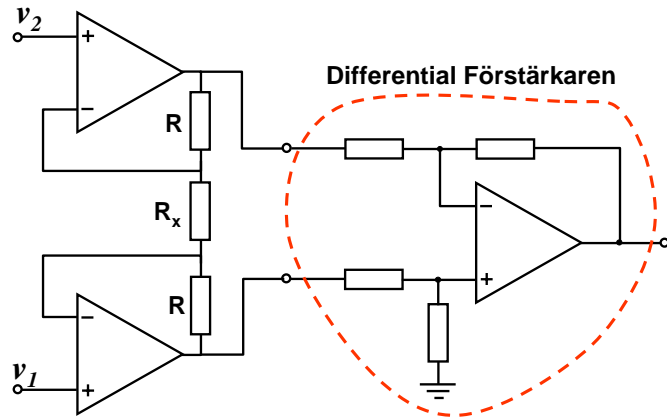
### Differentialförstärkare



#### Nackdelar

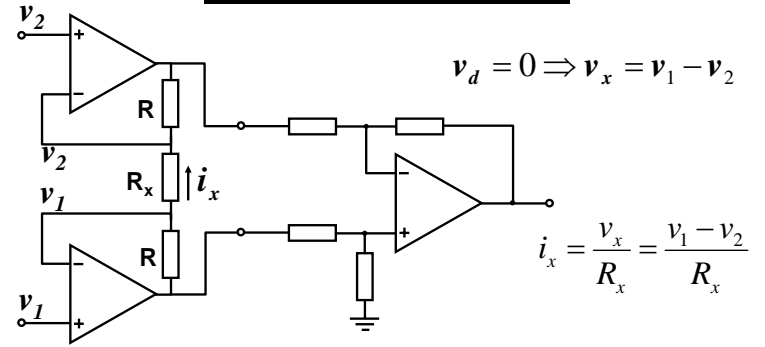
- Inimpedansen begränsad och olika
- CMRR beror på matchning av fyra externa värden
- Två motstånd måste ändras för att ställa förstärkningen

### Instrumentförstärkaren



Differential Förstärkaren

### Instrumentförstärkaren

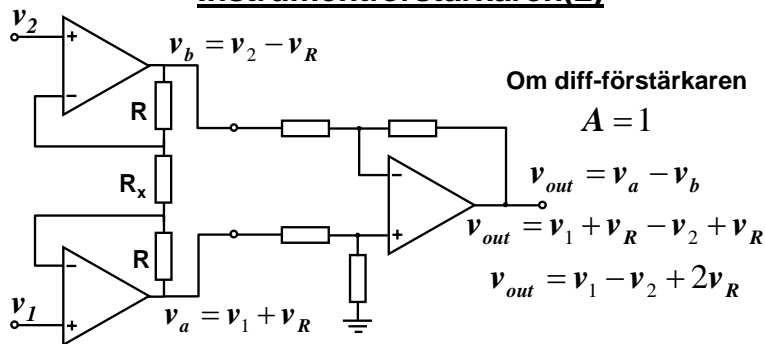


$$v_d = 0 \Rightarrow v_x = v_1 - v_2$$

$$i_x = \frac{v_x}{R_x} = \frac{v_1 - v_2}{R_x}$$

Ingen ström in i OPförstärk.  $\Rightarrow v_R = Ri_x = \frac{R}{R_x}(v_1 - v_2)$

### Instrumentförstärkaren(2)



Om diff-förstärkaren

$$A = 1$$

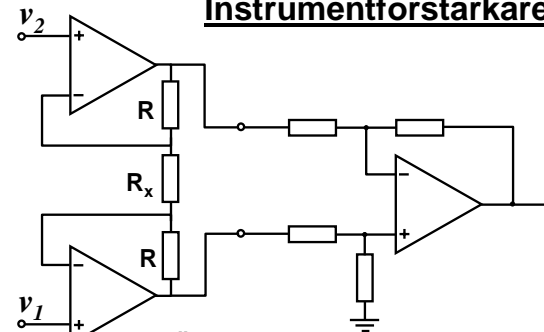
$$v_{out} = v_a - v_b$$

$$v_{out} = v_1 + v_R - v_2 + v_R$$

$$v_{out} = v_1 - v_2 + 2v_R$$

$$v_R = Ri_x = \frac{R}{R_x}(v_1 - v_2) \Rightarrow v_{out} = \left(1 + 2\frac{R}{R_x}\right)(v_1 - v_2)$$

### Instrumentförstärkaren(3)



#### Fördelar

- Ingångar in på OP med hög inimpedans
- Common Mode förstärkning tages bort i steg 1
- Förstärkningen beror på ett  $R=R_x$