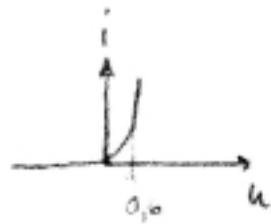
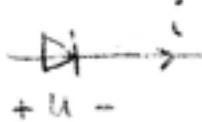


## Repetition av F4.

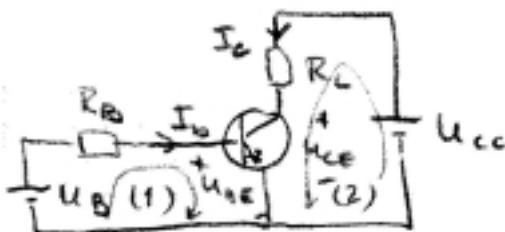
Dioden:



Pos u  $\Rightarrow$  ström i potens nötkrig  $\Rightarrow$  konstktiv

Neg u  $\Rightarrow$  ringen ström  $\Rightarrow$  avbrott

Transistor som switch:



A. Stängt transistorn:  $I_B = 0$   
 $\Rightarrow$  Avbrott, dvs  $I_C = 0$

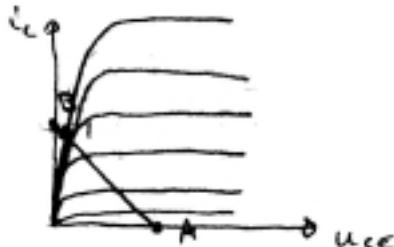
B. Bottenad transistorn

$I_B > \frac{I_C}{h_{FE}}$   $h_{FE}$  = ström  
 faktor

$$\begin{cases} -U_B + R_B i_B + U_{BE} = 0 & (1) \\ -U_{CE} + R_L i_C + U_{CE} = 0 & (2) \end{cases}$$

$$U_{BE} = 0,6 \text{ V} \quad \left. \begin{array}{l} \text{faktor} \\ U_{CE} = 0,2 \text{ V} \end{array} \right\} \text{för bottenad} \\ \text{transistor}$$

$$(2) \text{ vid bottenig: } i_C = \frac{U_{CE} - 0,2}{R_L} \text{ . Sätt } i_B > \frac{i_C}{h_{FE}}$$



$i_C$  beräknas inte av  $i_B \cdot h_{FE}$

F5

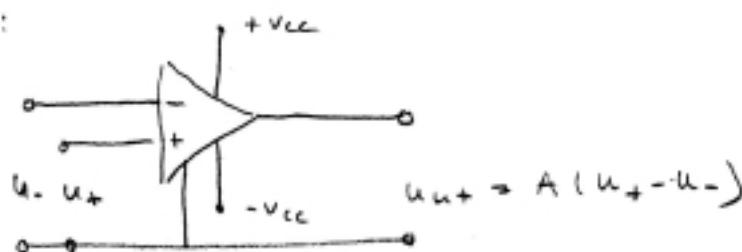
Op-förstärkaren är en integrerad krets med följande egenskaper:

$$\text{Förstärkning } A = \frac{U_{\text{ut}}}{U_{\text{in}}} \text{ mycket stor} \quad (10^4 - 10^6 \text{ ggr})$$

$$\text{Inressistans } R_{\text{in}} = \frac{U_{\text{in}}}{I_{\text{in}}} \text{ mycket stor} \quad (10^5 - 10^{14} \Omega)$$

$$\text{Utressistans } R_{\text{ut}} = \frac{U_{\text{ut}}}{I_{\text{out}}} \text{ liten} \quad (< 10^3 \Omega)$$

Symbol:



För att transistorkretsen innuti op-förstärkaren ska fungera, måste vi spänningsmata op:n med  $\pm V_{\text{cc}}$ . Den största spänningen som op:n kan ge ut hittas

$V_m = \text{måttmedspänning}$

$$u_+ > u_- \Rightarrow U_{\text{ut}} = +V_m, u_- < u_+ \Rightarrow U_{\text{ut}} = -V_m$$

Här har vi fått en användningen av op:n. Den kan jämföras till spänningar, Komparator (c.14,15)

### OP-förstärker kopplingar (c.16,17)

För att få rimligt reg förstärkning, återkopplar du en del av utsignalen till minusringången. (Negativ återkoppling)



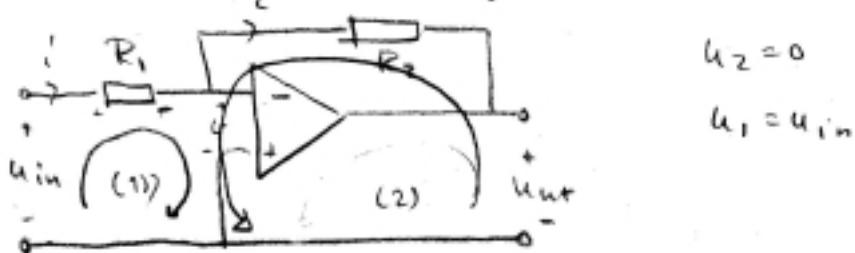
För att utsignalen ska vara meningsfull, måste  $-V_m < U_{\text{ut}} < V_m$ .  $U_{\text{ut}} = -A \cdot u \Rightarrow u = -\frac{U_{\text{ut}}}{A} \rightarrow 0$

Spänningen v mellan ringångarna är mycket liten!

$$i_- \approx 0, i_+ \approx 0$$

## Inverterande förstärkning

2(7)



$$u_2 = 0$$

$$u_1 = u_{in}$$

$$(1) \quad -u_{in} + R_1 \cdot i + 0 = 0 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \quad i \approx 0 \Rightarrow i = \frac{u_{in}}{R_1}$$

$$(2) \quad -u_{out} - R_2 \cdot i + 0 = 0 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \quad u_{out} = -R_2 \cdot i = -\frac{R_2}{R_1} \cdot u_{in}$$

Definition Förstärkning  $\bar{F} = \frac{\bar{u}_{out}}{\bar{u}_{in}}$  (belopp och riktning)

Här ovan är  $\bar{F} = -\frac{R_2}{R_1}$  rent reell;  $F = |\bar{F}| = \frac{R_2}{R_1}$

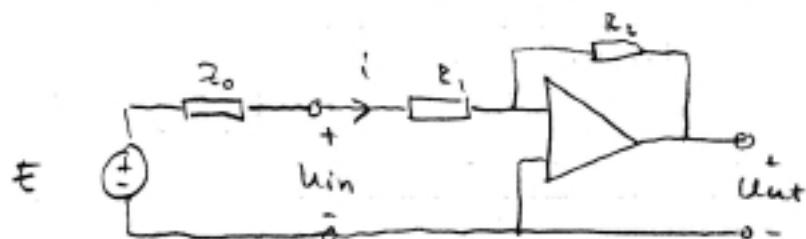
Definition Inrimpedans  $\bar{Z}_{in} = \frac{\bar{u}_{in}}{\bar{i}_{in}}$

Här ovan är  $\bar{Z}_{in} = R_{in} = R_1$

Definition Utimpedans  $\bar{Z}_{out} = \frac{\bar{u}_{out}}{\bar{i}_o}$  (tvekpol)

$$\text{Se sid 20!} \quad R_{out} \approx \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{A} \cdot Z_o \rightarrow 0$$

Exempel Du vill ha spänningförstärkning 120 ggr för att inte belasta signalkällan ( $u_{in}$ ) för mycket  
Ska inresistansen  $R_{in} > 1 k\Omega$



$$|\bar{F}| = \frac{R_2}{R_1} = 120 \quad R_{in} = R_1 > 1 k\Omega$$

Välj mellan  $(100) \cdot 1 k\Omega$  och  $100 \cdot 1 k\Omega$  ( $1 M\Omega$ )

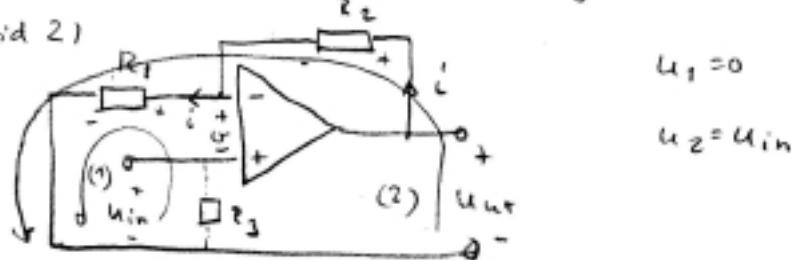
$$\text{Välj t. ex. } R_1 = 2 k\Omega \Rightarrow R_2 = 240 k\Omega$$

Om värdena inte räcker till för önskad förstärkning, förstärk i sk fall i 2 steg!

# Jche - inverterande förförstärkning

3(2)

Sid 2)



$$u_1 = 0$$

$$u_2 = u_{in}$$

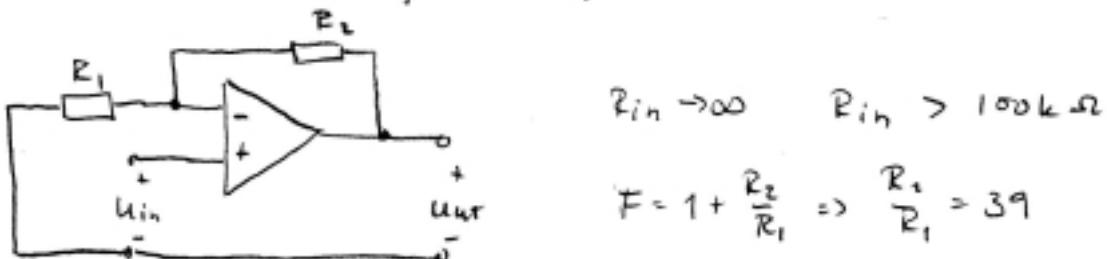
$$\left. \begin{array}{l} (1) -u_{in} -v + R_1 i = 0 \\ (2) -u_{out} + R_2 \cdot i + R_1 \cdot i = 0 \end{array} \right.$$

$$v = 0 \Rightarrow i = \frac{u_{in}}{R_1} \quad (1) \Rightarrow u_{out} = (R_1 + R_2) i = (R_1 + R_2) \frac{u_{in}}{R_1}$$

$$F = \frac{u_{out}}{u_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad \text{Nackdel } F \geq 1$$

$R_{in} = \infty$ . Om man vill ha en mindre inresistans kan man koppla in ett  $R_3 \Rightarrow R_{in} = R_3$

Exempel: Du behöver en förförstärkning på 4000 och inresistansen på din förförstärkare ska vara  $> 100k\Omega$



$$R_{in} \rightarrow \infty \quad R_{in} > 100k\Omega$$

$$F = 1 + \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 39$$

$$\text{Välj t. ex. } R_1 = 1k\Omega \text{ och } R_2 = 39k\Omega$$

Inverterande förförstärkningen klarar inte detta. Där måste man välja  $R_1 > 100k \Rightarrow R_1 = 120k$   
 $\Rightarrow R_2 = 40 \cdot 120 = 4,8 M\Omega$ , förförstärk!

Exempel: Du ska mäta spänningen från en givare med en voltmeter med  $R_i = 20k\Omega$ .

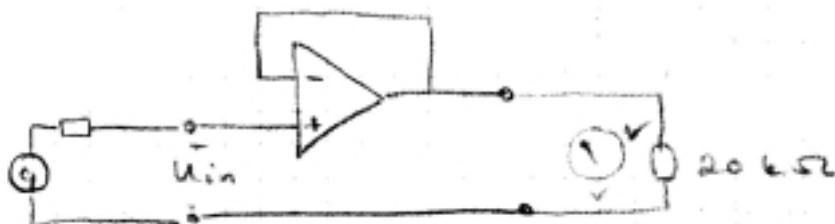
Problemet är att givaren får belastas med lägst  $500\Omega$ . Hur gör du?

$$F = 1, R_{in} = 500 \text{ k}\Omega$$

4(7)

Jcke inverterande förstärkning kopppling  $\Rightarrow R_{in} \rightarrow 0 \Omega$

$$F = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 \Rightarrow R_2 = 0 \text{ och } R_1 = \infty$$



givare buffersteg voltmeter

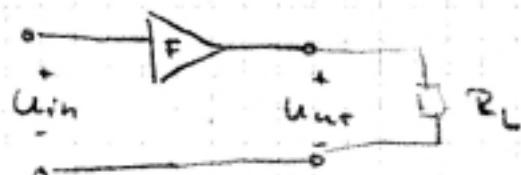
Definition dB begreppet - det sätter att vi har förstärkning

8.9.1849

$$F_B = \log \frac{P_{out}}{P_{in}} [\text{Bel}]$$

$$F_{dB} = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}} [\text{decibel}]$$

Ex:



$$P_{in} = \text{in effekten} = \frac{|\bar{U}_{in}|^2}{R_{in}}$$

$$P_{out} = \text{uteffekten} = \frac{|\bar{U}_{out}|^2}{R_L}$$

$$F_{dB} = 10 \log \frac{|\bar{U}_{out}|^2}{|\bar{U}_{in}|^2} \cdot \frac{R_L}{R_{in}} = 10 \log \frac{|\bar{U}_{out}|^2}{|\bar{U}_{in}|^2} + 10 \log \frac{R_L}{R_{in}}$$

$$\text{Spänningsförstärkningen } F_{dB} = 10 \log \left( \frac{U_{out}}{U_{in}} \right)^2$$

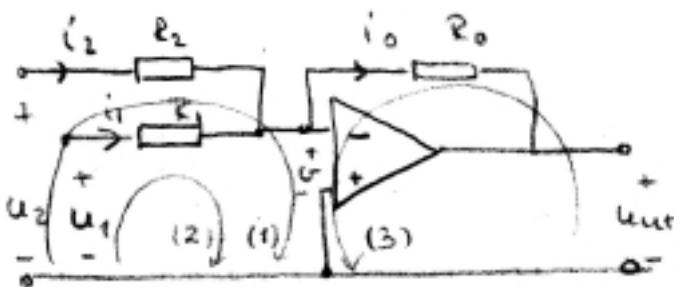
$$F_{dB} = 20 \log \frac{|U_{out}|}{|U_{in}|}$$

Om man har förstärkning i dB,  $F_{dB}$ , blir förstärkningen i "gängen",  $F_{ggr} = \frac{U_{out}}{U_{in}} = 10^{F_{dB}/20}$

## Summator

§. 22

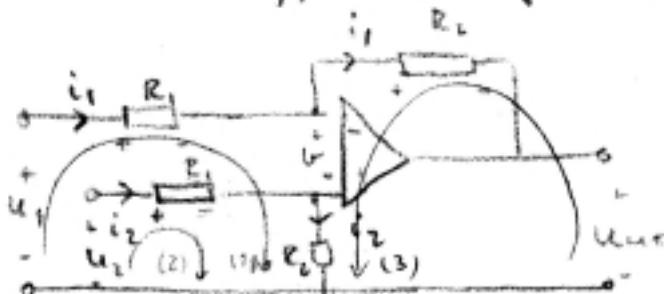
5(7)



$$\left\{ \begin{array}{l} (1) -u_2 + R_2 i_2 + v = 0, v \approx 0 \Rightarrow i_2 = \frac{u_2}{R_2} \\ (2) -u_1 + R_1 i_1 + v = 0, v \approx 0 \Rightarrow i_1 = \frac{u_1}{R_1} \\ (3) -u_{out} - R_o i_o + v = 0, v \approx 0 \Rightarrow i_o = -\frac{u_{out}}{R_o} \\ i_o = i_1 + i_2 \\ -\frac{u_{out}}{R_o} = \frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} \\ u_{out} = -\left(\frac{R_o}{R_1} \cdot u_1 + \frac{R_o}{R_2} \cdot u_2\right) \end{array} \right.$$

Exempel: En udg med 4 givare

## Differentialförstärkare



$$\left\{ \begin{array}{l} (1) -u_1 + R_1 i_1 + v + R_2 i_2 = 0, v \approx 0 \Rightarrow i_1 = \frac{u_1}{R_1} - \frac{R_2}{R_1} \cdot i_2 \\ (2) -u_2 + R_1 i_2 + R_2 i_1 = 0, v \approx 0 \Rightarrow i_2 = \frac{u_2}{R_2} - \frac{R_1}{R_2} \cdot i_1 \\ (3) -u_{out} - R_o i_o + v + R_2 i_2 = 0, v \approx 0 \Rightarrow u_{out} = R_o (i_2 - i_1) \end{array} \right.$$

$$u_{out} = R_o \left( \frac{u_2}{R_2 + R_1} - \frac{u_1}{R_1} + \frac{R_o}{R_1 + R_2} \cdot \frac{u_2}{R_2} \right)$$

$$u_{out} = \frac{R_o}{R_1} \left( \frac{R_1 u_2 + R_2 u_1}{R_1 + R_2} - u_1 \right)$$

$$u_{out} = \frac{R_o}{R_1} (u_2 - u_1)$$

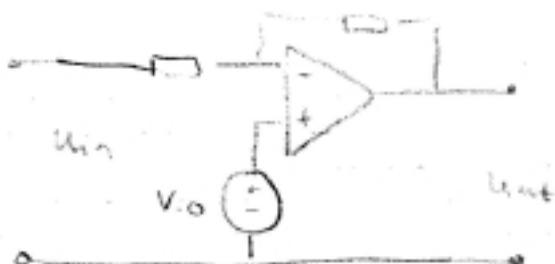
### 3.4.3 Integrator

6(7)

### 3.4.4 Derivator

### Ideale - ideal OP

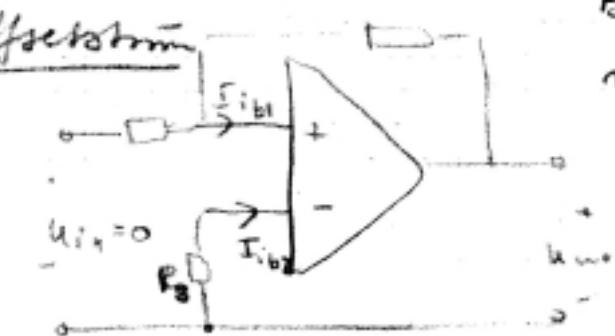
#### Offsetspannung 3.6.1



$$u_{in} = 0 \Rightarrow u_{out} = 0 \\ \text{pga 'offsetfel'}$$

Man kan ofta trimma bort offsetfelet med spec justering.

#### Offsetstrom



Bias-strommen  $I_{ib1}, I_{ib2}$  i OP:N är  $\approx 1\mu\text{A}$ .  
men kan bidra negt + KU utspänning m.

$$u_{out} = R_2 I_{ib1} \quad \text{för } R_3 = 0$$

$$u_{out} = R_2 (I_{ib1} - I_{ib2}) = R_2 I_0 \quad \text{för } R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Offsetstrom

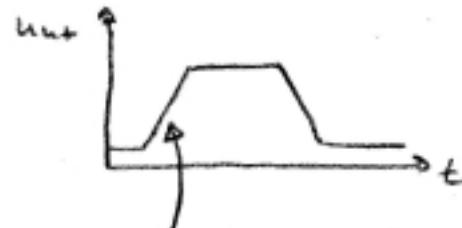
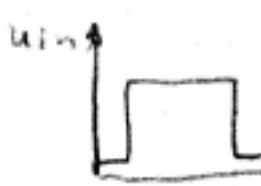
#### CMRR - common mode Rejection Ratio

För differentialeffektorare!  $u_2 = u_1 \Rightarrow u_{out} = 0$ !

$$u_{out} = \frac{R_2}{R_1} (u_2 - u_1) + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{u_{cm}}{CMRR}$$

$$u_{cm} = \text{gemensam del av } u_1, u_2 \quad u_{cm} = \frac{u_1 + u_2}{2}$$

Slow rate anger hur snabbt OP:n  $\tau$ (7)  
ändrar spänning. [V/ $\mu$ s]



$$\text{Slow rate} = \text{spänningens ändring} / \mu\text{s}$$