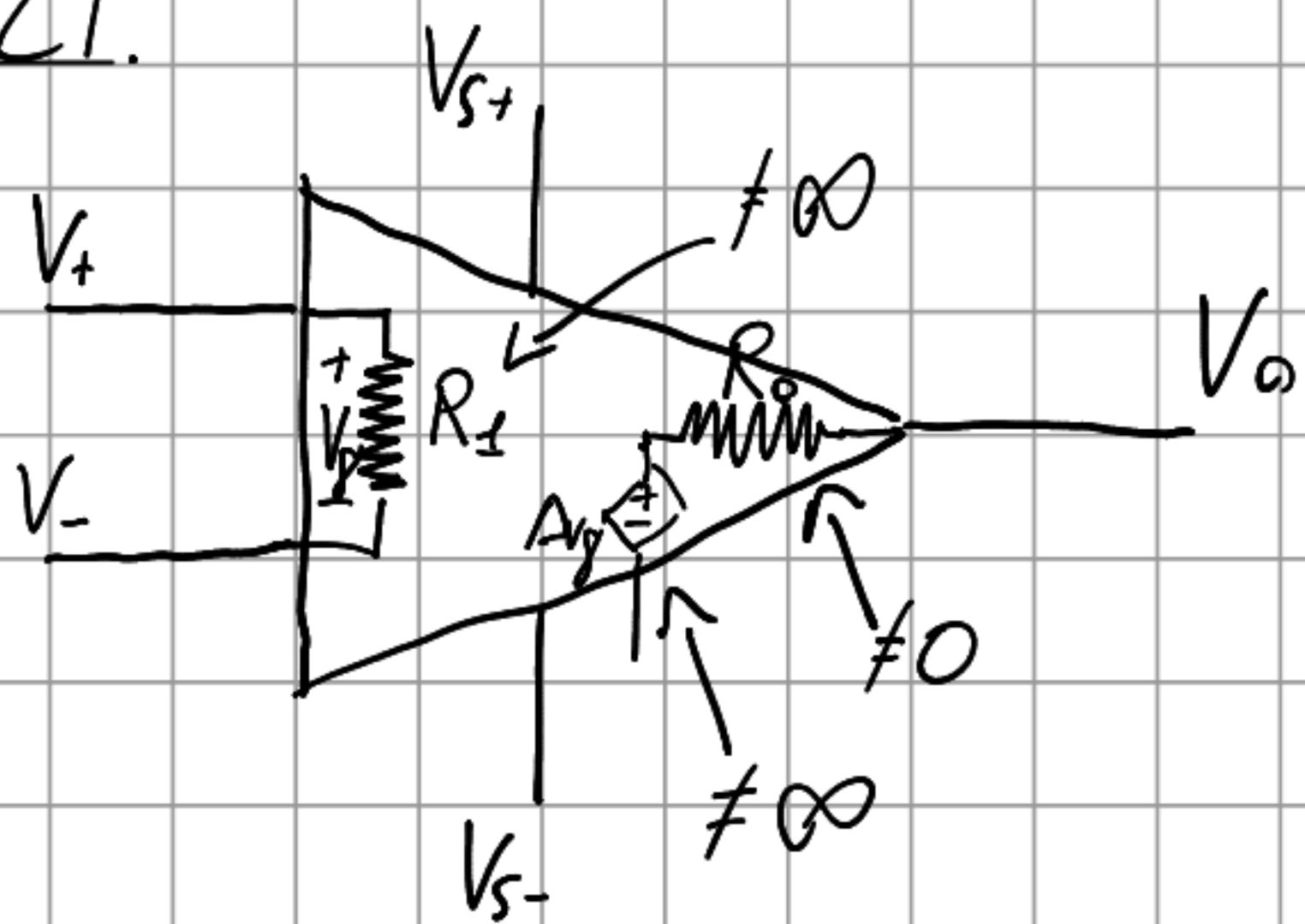


2.56 mm \rightarrow $\frac{1}{10}$ inch \rightarrow 100 minch

Lez 05 (17/10/2025)

OPAmp REALI.



i) Ha resistenza di ingresso finita: $R_1 < \infty$

ii) " uscita non nulla

iii) Amplif. finita

- Non idealità:

i) Abbattute dal feedback (clawne)

ii) Altre resistenze

iii) Altre sono volute \rightarrow Buffer \rightarrow autocou.

\Rightarrow servono modifiche nell'integrato per risolvere i problemi.

OpAmp \rightarrow tecnologia CMOS, con trans. FET

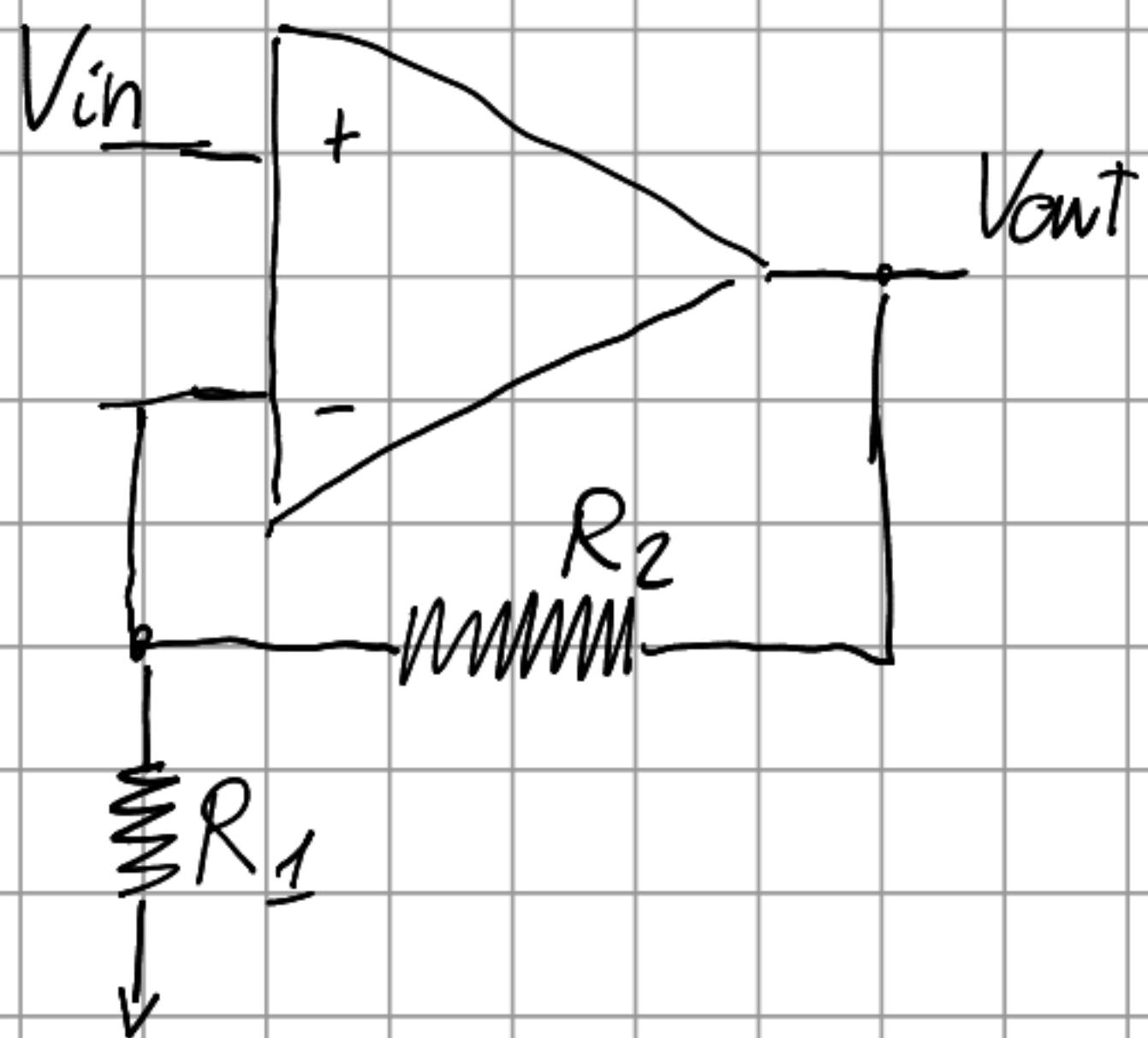
- Non ideale, elenco:

1. Offset voltage \rightarrow circuito ingresso [non simmetrico]

feedback entra sempre su $-$:

?

\hookrightarrow sotto scambio
degli ingressi



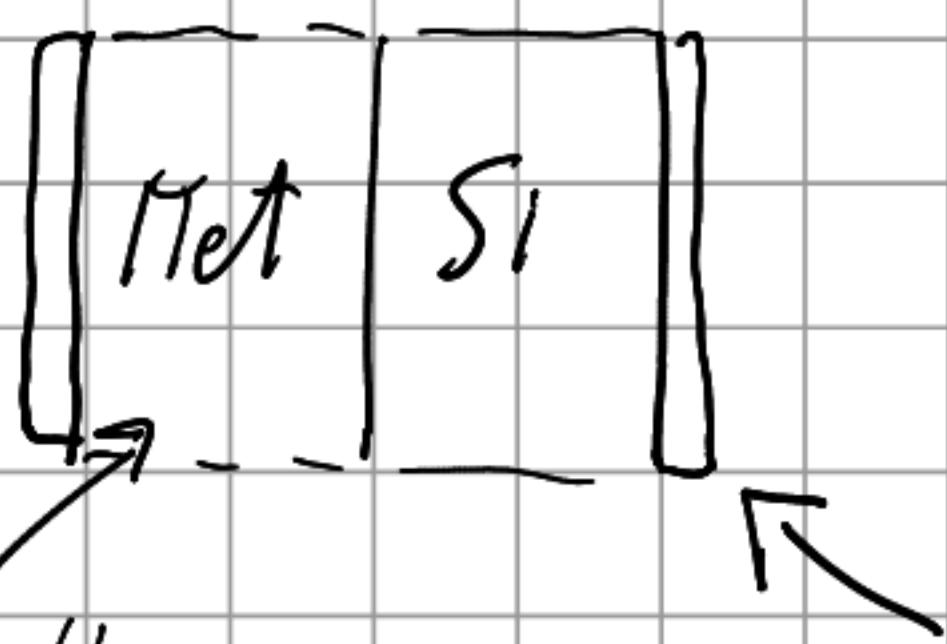
$$V_{out} = \Delta(V_+ - V_- + V_{os})$$

$$V_{out} = G(V_{in} + V_{os})$$

non ideali non risalta dal feedback

Offset \rightarrow transistor non ignora $+ e -$ che mi
sbilanciano gli ingressi da una parte o
l'altra.

FET:

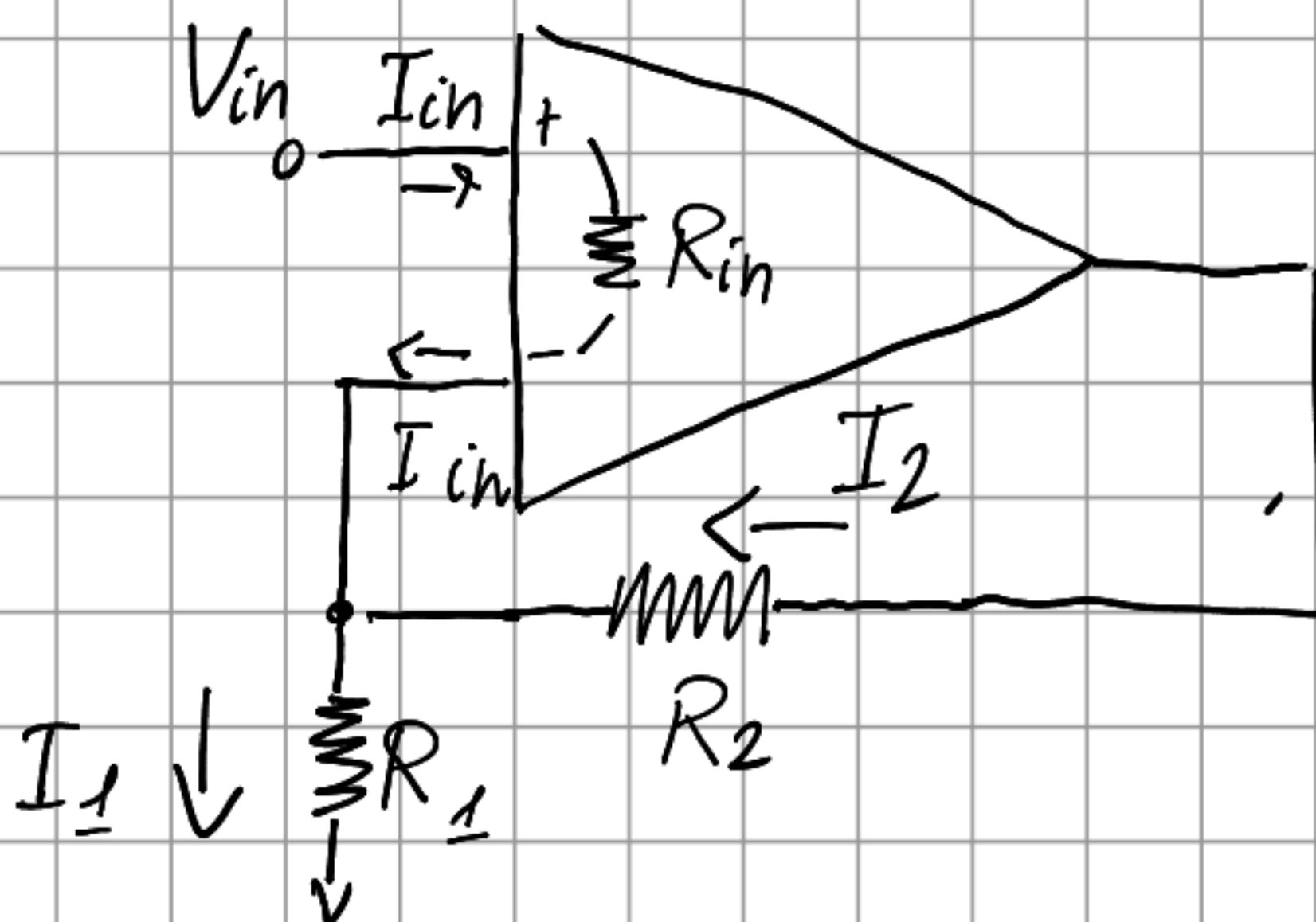


(MOS FET)

controllo carica
at will

elettrodi (capacitor-like)
uso per modulare condutibilità
del Si.

2. Res. ingresso (risultato al I° ordine)



I° golden rule:

$$V_+ \neq V_-$$

$$V_+ = V_- + R_{in} I_{in}$$

$$\Rightarrow I_2 \neq I_1$$

- Provare a risolvere in forma chiusa.

- Stima al I° ordine \rightarrow assume tutto ideale (no offset, però $A < \infty$) tranne R_{in}

$$V_{out} = G V_{in}$$

$$\uparrow \frac{A}{1 + \beta A}$$

$$\text{Chiamando } \Delta V = V_+ - V_-$$

$$\text{Parto da } \Delta = \infty$$

$$\Delta V = \frac{V_{out}}{A} \quad \text{se } A < \infty \text{ ha } \Delta V \neq 0$$

$$I_{in} = \frac{\Delta V}{R_{in}} = \frac{V_{out}}{\Delta R_{in}} = \frac{G V_{in}}{\Delta R_{in}}$$

$$\Rightarrow \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{R_{in} \Delta}{G} = (1 + \beta \Delta) R_{in} \underset{\Delta \gg 1}{\sim} \beta \Delta R_{in}$$

se $\Delta \gg 1$ pongo $R_{in} < \infty$

\hookrightarrow guadagno di anib

- Esercizio: $(A = \text{open loop gain})$

$$\frac{V_{in}}{I_{in}} = R_{in} \left[1 + \beta \left(A + \frac{R_2}{R_{in}} \right) \right]$$

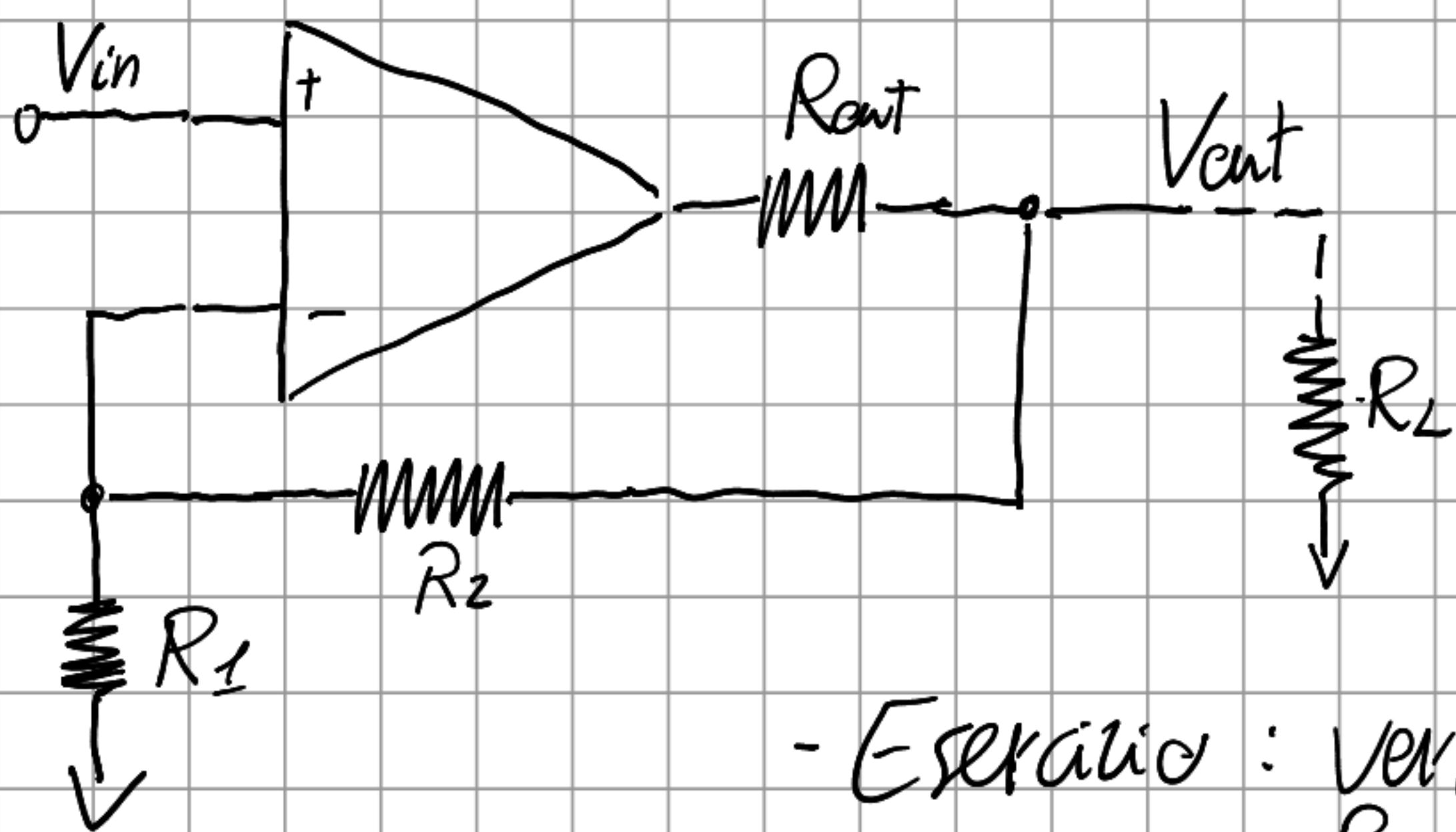
risoluzione senza regole d'oro

verificare con
 $A \rightarrow +\infty$

- Questa non idealità soppressa da feedback ed amplificazione.

3. Res. di usita:

se aggiungo carico



Feedback che risolve cose

- Esercizio: Verificare che per $A \rightarrow +\infty$
Rout non cambia il comportamento dell'amplificatore.

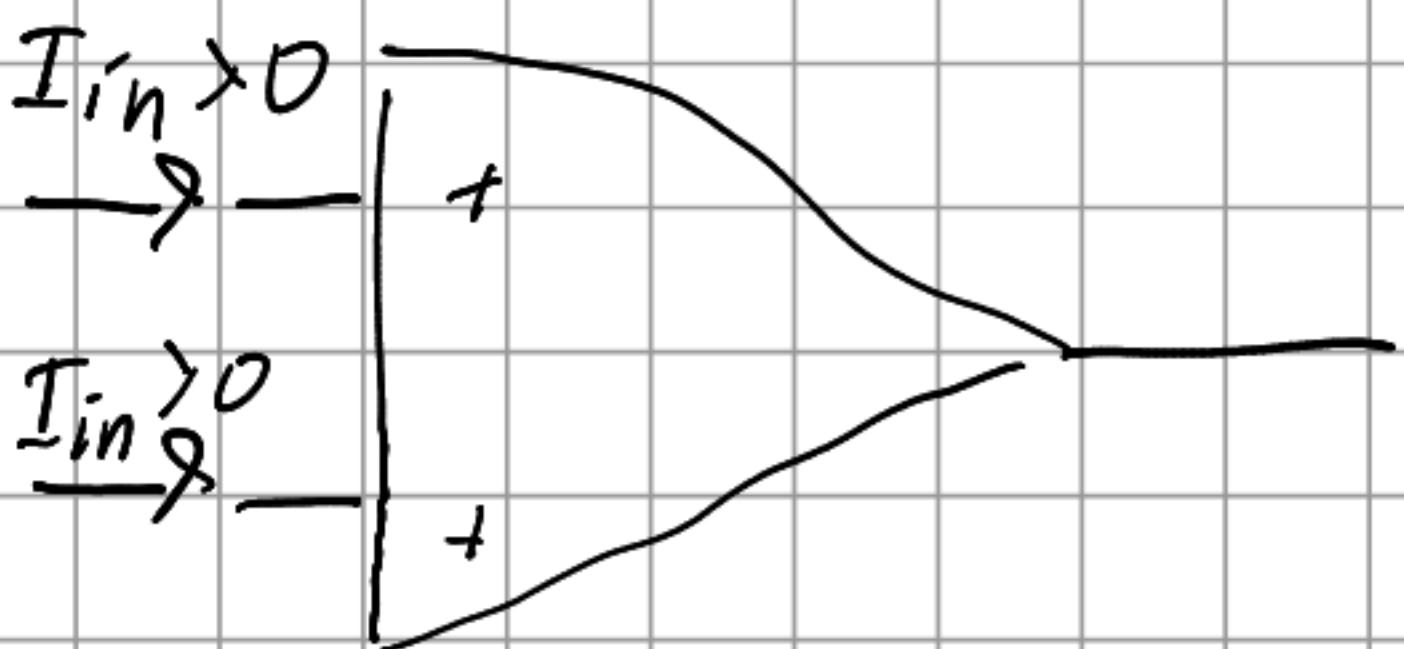
! →

- In pratica: limite concreto è corrente max ~ 10mA

Se $I > 10mA$ OpAmp non funziona:

- no Golden Rule
- no feedback

4. Corrente di bias: OpAmp assorbe o fornisce corrente.



Alimentazione su rails

Gli OpAmp non amplificano.
In genere rail-to-rail

Vedi imm. con OpAmp a 6 transistor Bare-Bone

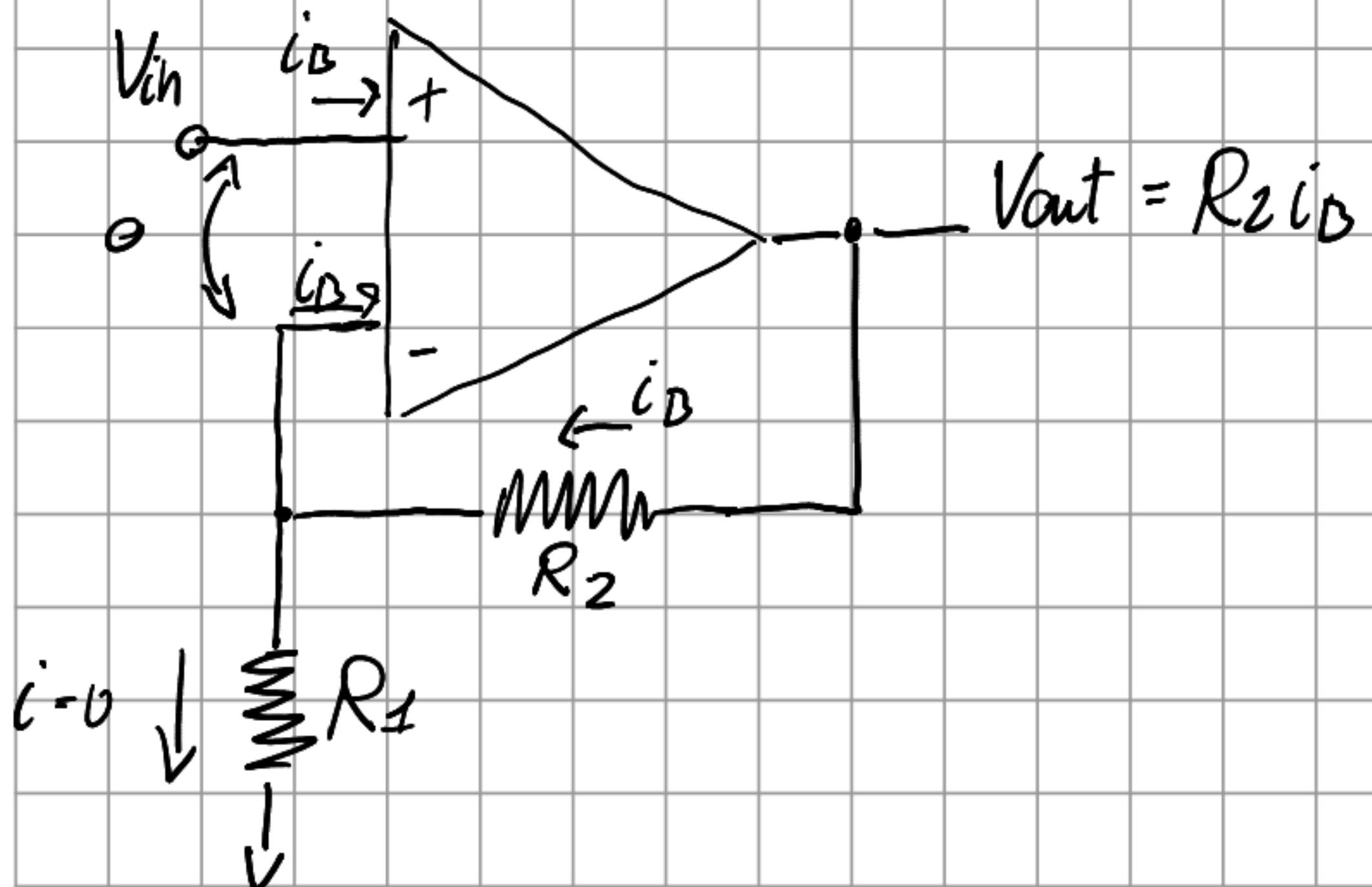
2 tr. in ingresso \rightarrow coppia differenziale

risponde bene a differenze, ma non a variaz. sincrone.

\Leftarrow
W. anche spettro di corrente.

OpAmp a Fet \rightarrow bassa I_{in} perché sono FET n conduttori

- Corrente di bias \rightsquigarrow offset.



Anche con $V_{in} = 0$
 $\Rightarrow V_{out} = 0$

\Rightarrow di fatto ottengo offset.

$$V_{out} = R_2 i_B \neq 0$$

$$I = \frac{G}{G} R_2 i_D$$

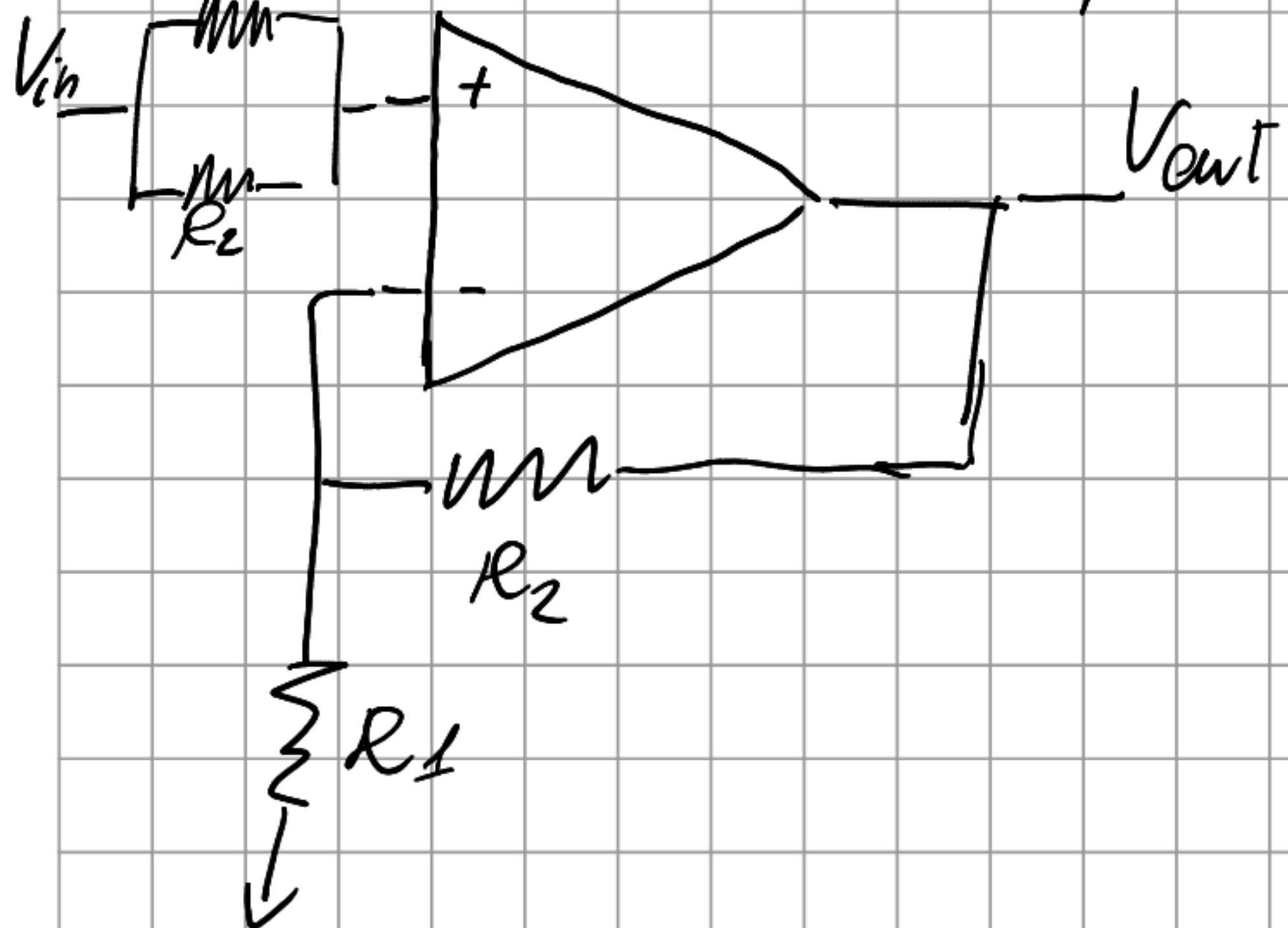
$$I = G \frac{R_1}{R_2 + R_1} R_2 i_B$$

$$I = G \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} i_B$$

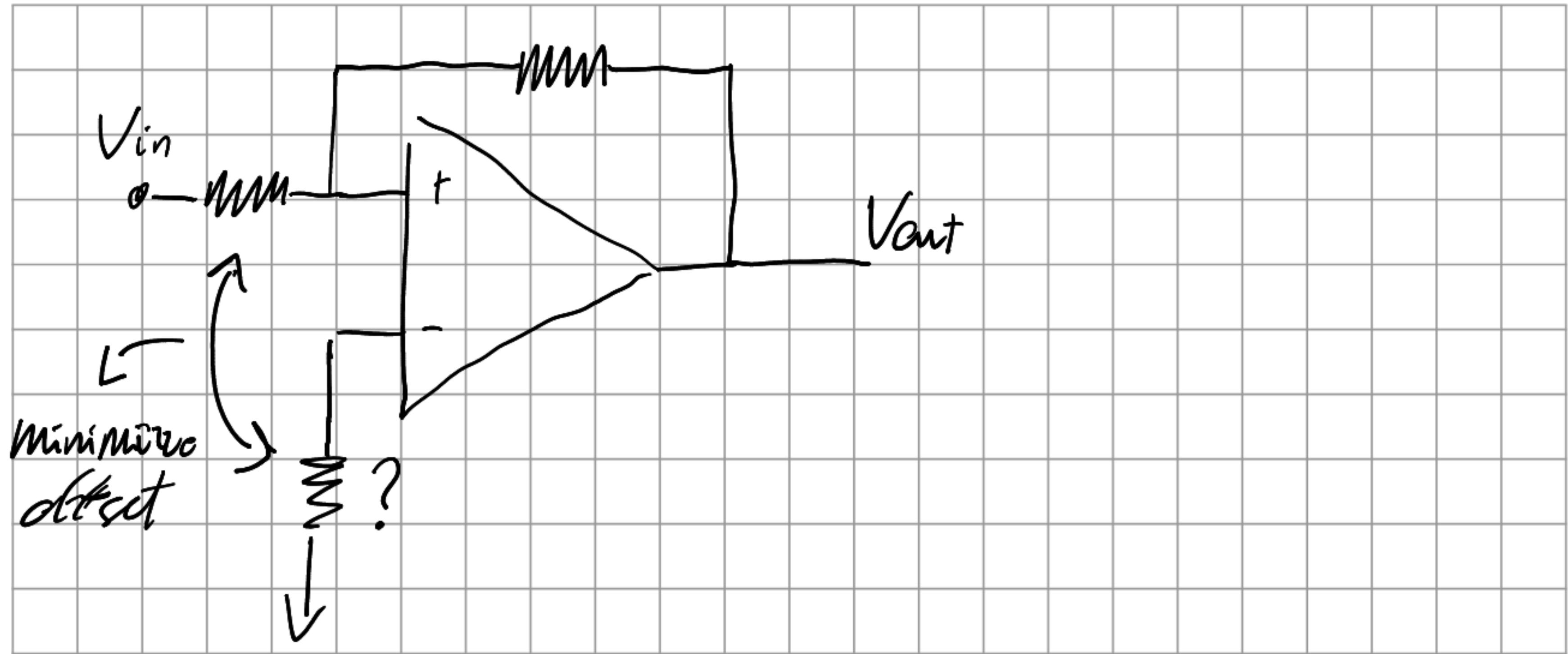
V_{offset} = parallelo tra R_2 ed R_1

- Risolvo con seguente config.

$R_1 \rightarrow$ resistenze di compensazione



- Capita anche in OpAmp invertente.



5. Il modello efficace (altri effetti e passato)

w. immagine (modello non accurato, nel senso non realistico)

- Non è detto che variando V_i e V_o della stessa quantità, non cambi la corrente

- In common mode \rightarrow ha piccola ampl.

\hookrightarrow OpAmp non perfettamente differenziali

\rightarrow compensatione in frequenza

$$- \Delta(W) = \frac{\Delta_0}{1 + jW^2_0} \quad \rightarrow \text{OpAmp hanno cl lage int. config. a passo basso}$$

\hookrightarrow OpAmp tante capacità parassite.
 $W \uparrow \rightarrow$ uscite sfocate.

\Rightarrow forcis (rollare l'empl. ad alte freq.

- In generale avrò $\Delta(\omega)$ e $\beta(\omega)$, perciò:

$$G(\omega) = \frac{\Delta(\omega)}{1 + \beta(\omega)\Delta(\omega)} \quad (*)$$

Se ho slasamento dovuto ad $\Delta(\omega)$ di 180° posso arrivare a feedback positivo.

• MARGINI DI FASE E DI GUADAGNO.

Obiettivo: fare in modo che (con $\beta \in \mathbb{R}$ e $\beta < 1$, feedback con partitore) OpAmp non autocilli.

2 possibili condizioni:

1. $\Delta(\omega) = |\Delta(\omega)| e^{i\varphi(\omega)}$

Voglio arrivare a $\varphi(\omega) = \pi$ quando $|\Delta| < 1$

(quando è impossibile mandare a 0 il den in $(*)$)

Def. GAIN MARGIN

$$\frac{1}{|\Delta_{\text{des}}|}$$

2. Voglio arrivare a $|\Delta| = 1$ quando φ non c'è ancora π

Def. PHASE MARGIN $\tilde{\pi} - \varphi(w_1)$

- I 2 numeri definiti ci dicono quanto siamo lontani dai guai.