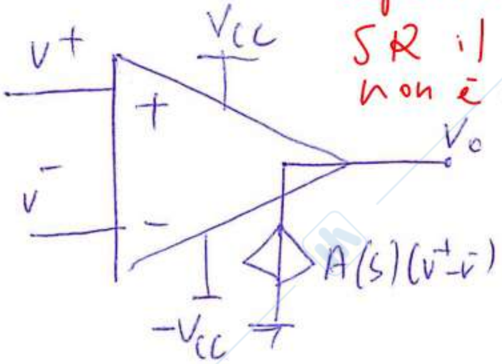
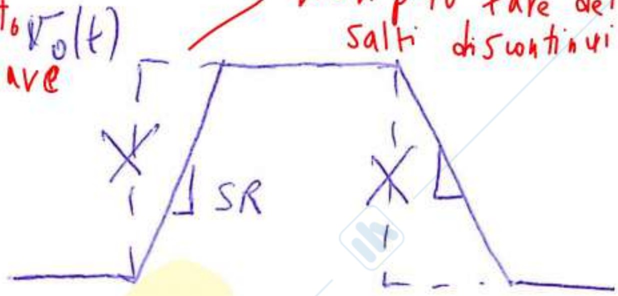
"SLEW RATE" NEGLI AMP. OPERAZIONALI

dopo il limite di SR il circuito non è + lineare

l'uscita in realtà non può fare dei salti discontinui

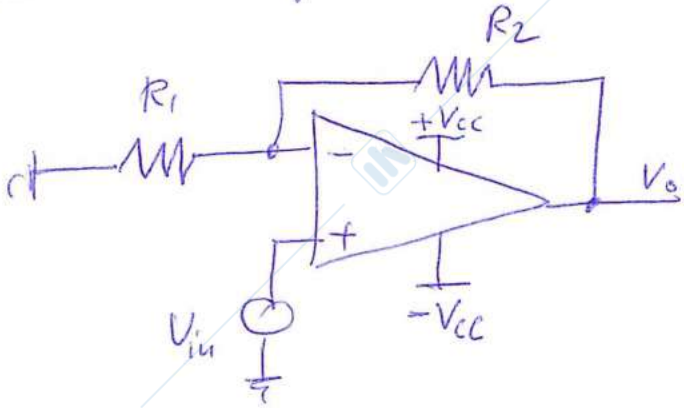


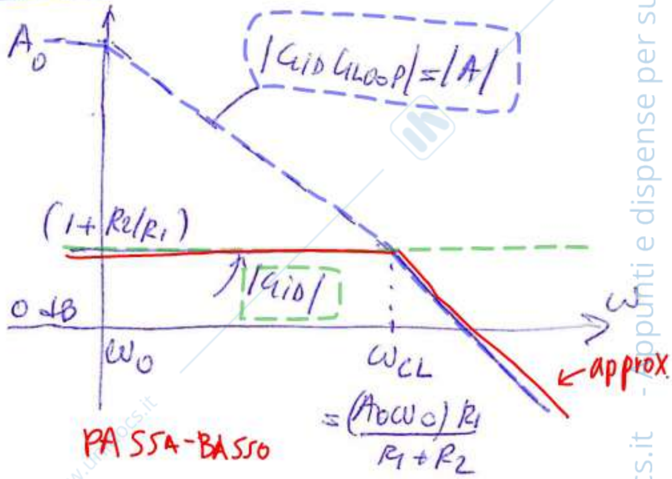


$\boxed{\text{SLEW RATE (SR)}}$ = max velocità di variazione possibile di $V_0(t)$ = (sull'uscita)

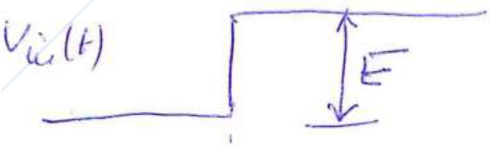
Velocità di variazione max $= \left|\frac{dV_0}{dt}\right|_{max}$ (tipico SR = 10 − 500 V/μs)

ESEMPIO: Amplificatore NON INVERTENTE

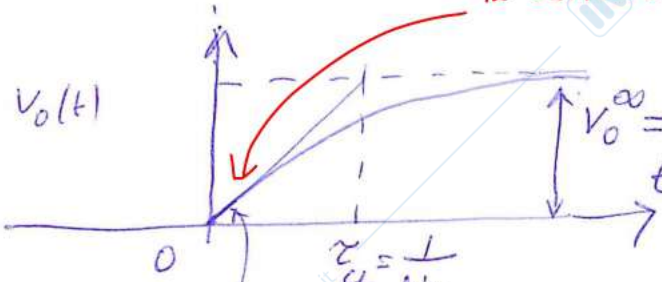




↳ Risposta al gradino



la derivata (in modulo) è maggiore all'inizio



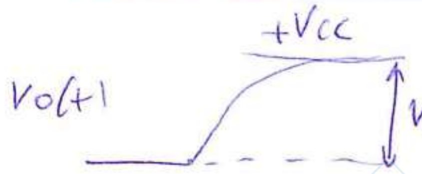
$V_0^\infty = E\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) \rightarrow$ prop. a E

$\tau_{CL} = \frac{1}{\omega_{CL}}$

$$\left.\frac{dV_0}{dt}\right|_{t=0^+} = \frac{V_0^\infty}{\tau_{CL}} = \frac{E}{\tau_{CL}}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) \rightarrow \text{prop. a } E$$

Limite all'ampiezza del gradino in ingresso E?

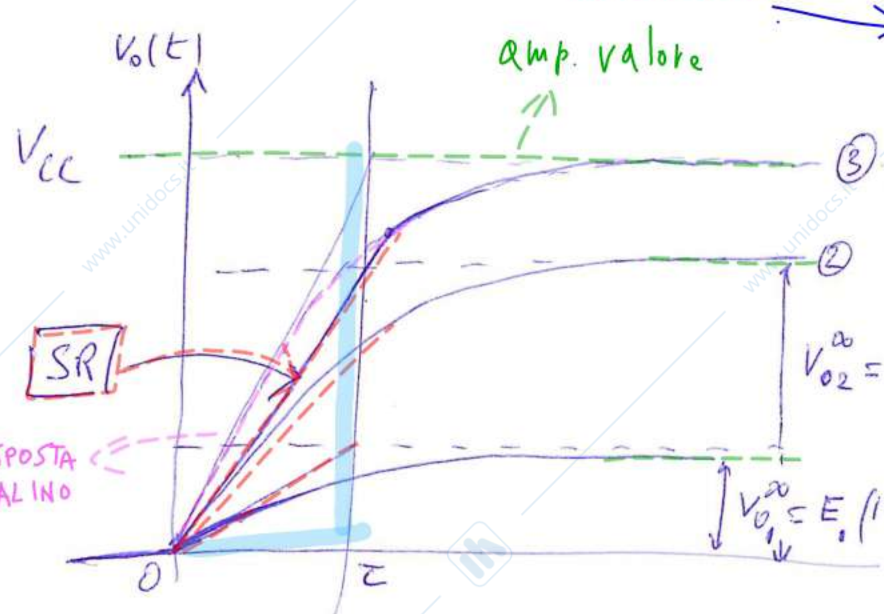
- **Ampiezza in uscita entro le alimentazioni $\pm V_{CC}$**



$V_o^\infty = V_{CC} \rightarrow \boxed{E\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) = V_{CC}} \rightarrow \boxed{E_{max}}$

Valore in uscita max a regime

- **Limitazione di SR (Slew-Rate)** → limitazione dell'ampiezza non solo del valore in uscita, ma anche dell'ampiezza della derivata (variaz.)



V_{o3}^∞

$V_{o2}^\infty = E_2\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)$

$V_{o1}^\infty = E_1\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)$

caso ① $\begin{cases} V_{o1}^\infty = E_1\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) < V_{CC} \\ \left.\frac{dV_{o1}}{dt}\right|_{0^+} = \frac{E_1}{\tau}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) < SR \end{cases}$ } sistema lineare, risposta valida

derivata nell'origine ↓ la calcolo con base x altezza

altezza / base

caso ② $\begin{cases} V_{o2}^\infty = E_2\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) < V_{CC} \\ \left.\frac{dV_{o2}}{dt}\right|_{0^+} = \frac{E_2}{\tau}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) = SR \end{cases}$ ← $\boxed{E_{max} = \frac{SR \cdot \tau}{1+R_2/R_1}}$

V_o ha raggiunto la derivata limite $= SR$! $V_o(t)$ è ancora valida.

caso ③ $\begin{cases} V_{o3}^\infty = E_3\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) = V_{CC} \\ \left.\frac{dV_{o3}}{dt}\right|_{0^+} = \frac{E_3}{\tau}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) > SR \end{cases}$

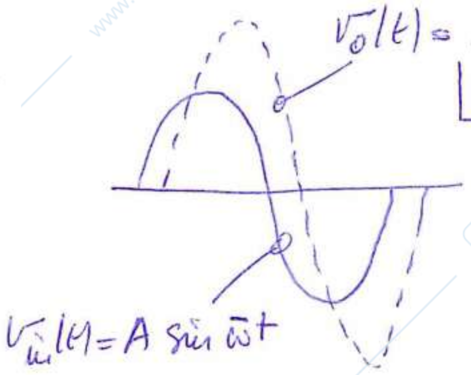
← è il caso in cui l'uscita satura alla tens. di al. Vcc.

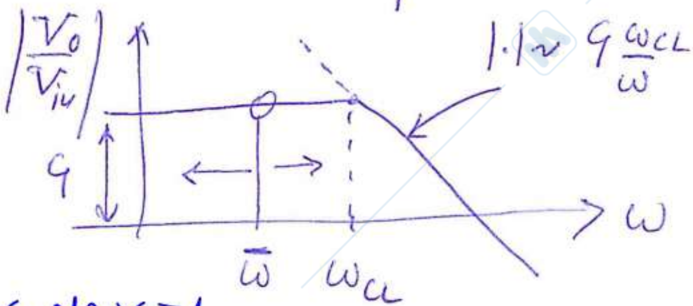
← Vo(t) sarebbe ancora valida se non che viene superato il limite di SR!

↳ DISTORSIONE NON LINEARE DI Vo(t)!

Ingresso sinusoidale

$$v_0(t) = \underbrace{A\left|\frac{V_0}{V_{in}}(j\bar\omega)\right|}_{V_0} \cdot \sin\Big[\bar\omega t + \underbrace{\measuredangle \frac{V_0}{V_{in}}(j\bar\omega)}_{\varphi}\Big] = V_0 \sin(\bar\omega t+\varphi)$$





Calcolo $\frac{dv_0}{dt}\Big|_{max}$:

COS MAX = 1

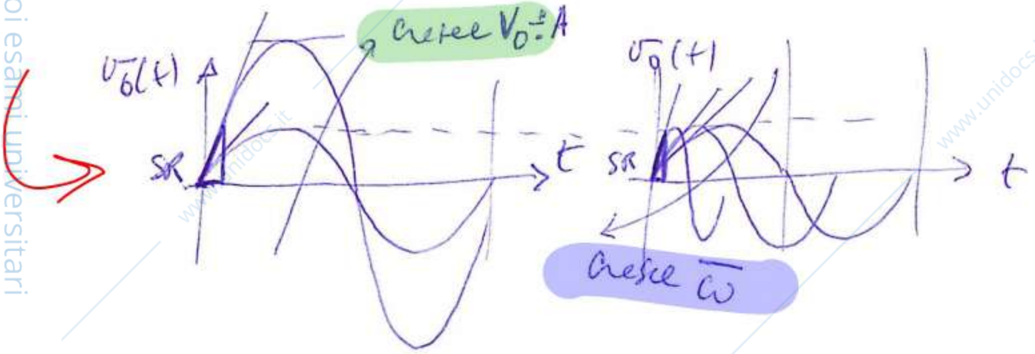
$$\frac{dv_0}{dt} = V_0\bar\omega \cos(\bar\omega t+\varphi)\Big|_{\substack{max\\ t=0}} = V_0\bar\omega$$

la condiz. limite non si applica solo all'ampiezza del segnale in uscita V_0, ma anche alla puls. $\bar\omega$

Impongo il limite di SR:

$$\frac{dv_0}{dt}\Big|_{max} \le SR \rightarrow \boxed{V_0\bar\omega \le SR}$$

← posso eccedere il limite di SR sia aumentando l'ampiezza V_0, sia la frequenza $\bar\omega$



NEL CASO IN ESAME (V_0/V_{in} a singolo polo ω_{CL}) che condizione devo porre su A per non avere distorsioni da SR $\forall \bar\omega$ di v_{in}?

↳ la condizione $\left|\frac{dv_0}{dt}\right| < SR$ $\forall$ armonica $\bar\omega$ di v_{out}.

per NON avere fenomeni di Slew-Rate

Se $\bar\omega \le \omega_{CL}$: $V_0 = A\cdot\left|\frac{V_0}{V_{in}}(j\bar\omega)\right| \sim A\left|\frac{V_0}{V_{in}}(j0)\right| = A\cdot G$

↳ cond. SR: $V_0\bar\omega \le SR \longleftrightarrow AG\bar\omega \le SR \quad \forall \bar\omega \le \omega_{CL}$

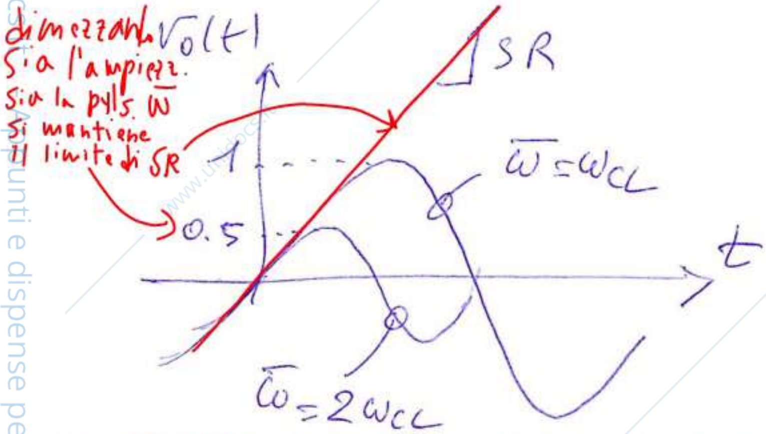
↳ caso peggiore per $\bar\omega = \omega_{CL} \rightarrow \boxed{AG\omega_{CL} \le SR} \rightarrow \boxed{A_{max} = \frac{SR}{G\,\omega_{CL}}}$

Se $\bar{\omega} > \omega_{CL}$: $V_0 = A \underbrace{\left| \frac{V_0}{V_{in}}(j\bar{\omega}) \right|}_{\sim G \frac{\omega_{CL}}{\bar{\omega}}} \sim A G \frac{\omega_{CL}}{\bar{\omega}}$

↳ Cond. SR : $V_0 \bar{\omega} \leq SR \longleftrightarrow A G \frac{\omega_{CL}}{\cancel{\bar{\omega}}} \cdot \cancel{\bar{\omega}} \leq SR$ Stessa cond. di prima

NON DIPENDE PIÙ DA $\bar{\omega}$! → $\boxed{A G \omega_{CL} \leq SR}$ $\forall \omega \geq \omega_{CL}$

la stessa condizione che vale per $\bar{\omega} = \omega_{CL}$

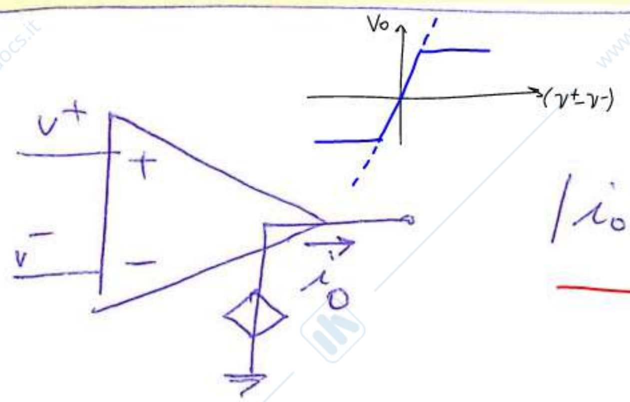


← nel tratto a $-20dB/dec$ ($\bar{\omega} > \omega_{CL}$), un aumento di frequenza determina anche un abbattimento dell'ampiezza dello stesso fattore per cui il prodotto ($V_0 \bar{\omega}$) non varia più!

→ DUNQUE LA LIMITAZ. è che la derivata dell'uscita non superi lo slew-rate (SR)

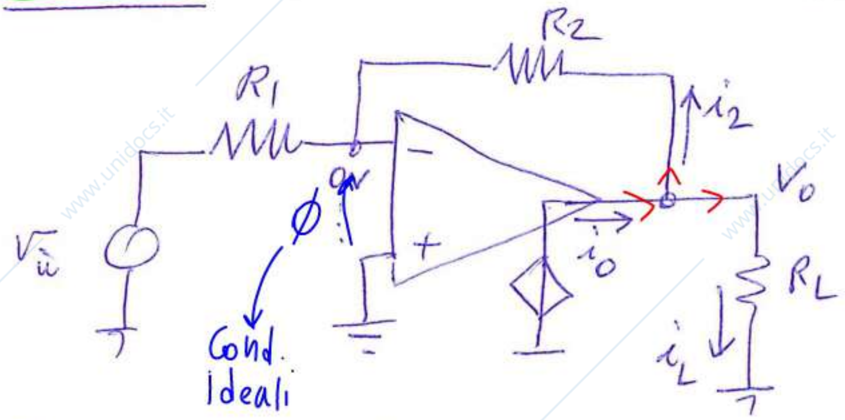
→ Se la condizione di SR è verificata per $\boxed{\bar{\omega} = \omega_{CL}}$, è anche verificata per $\bar{\omega} \leq \omega_{CL}$ (ovviamente, avendo pari ampiezza ma frequenza inferiore) e per $\bar{\omega} > \omega_{CL}$ (prodotto $V_0 \bar{\omega} = V_0 \omega_{CL}$)

MASSIMA CORRENTE DI USCITA DI UN AMP. OP.



$|i_o| \le I_{OMAX}$ (tip. 1-100 mA)

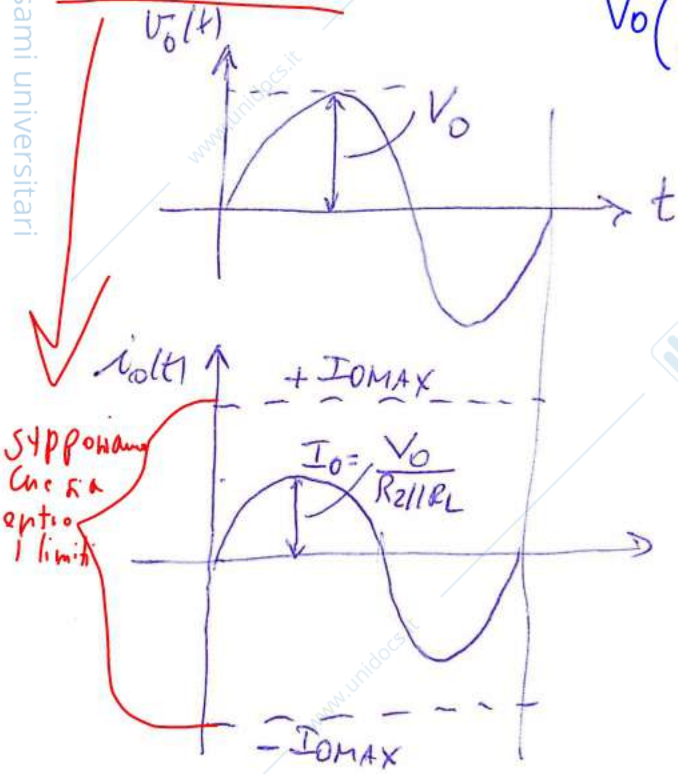
ESEMPIO: Amplificatore invertente con CARICO RESISTIVO

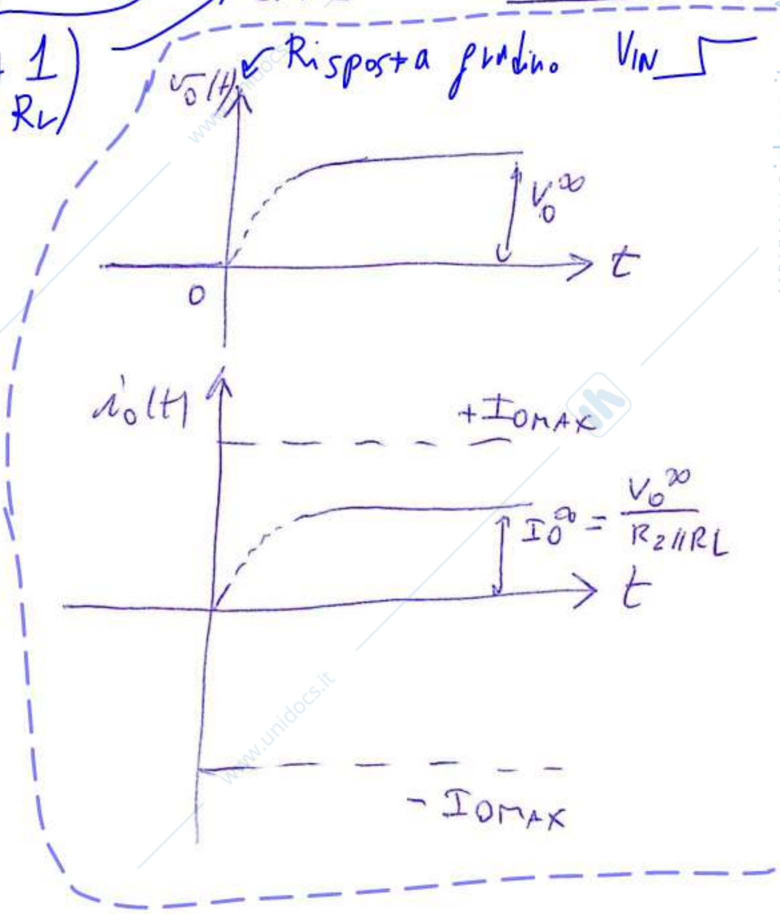


Per determinare i_o uso la LKC al nodo di uscita.

LKC $\quad i_o = i_2 + i_L = \underbrace{\frac{V_o}{R_2} + \frac{V_o}{R_L}}_{V_o\left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_L}\right)} = \frac{V_o}{R_2 /\!/ R_L}$ ← $v_o(t)$ e $i_o(t)$ sono proporzionali

a) $|i_o| < I_{OMAX}$

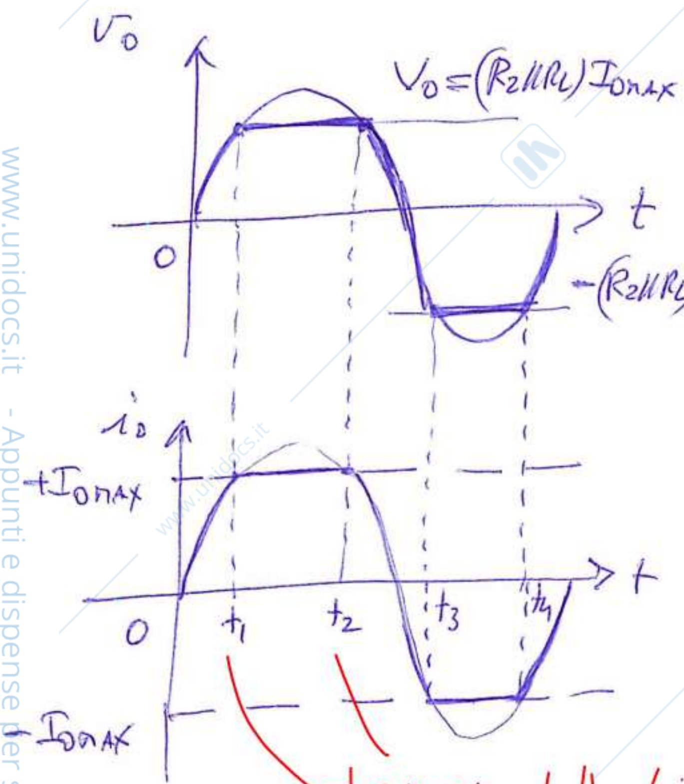


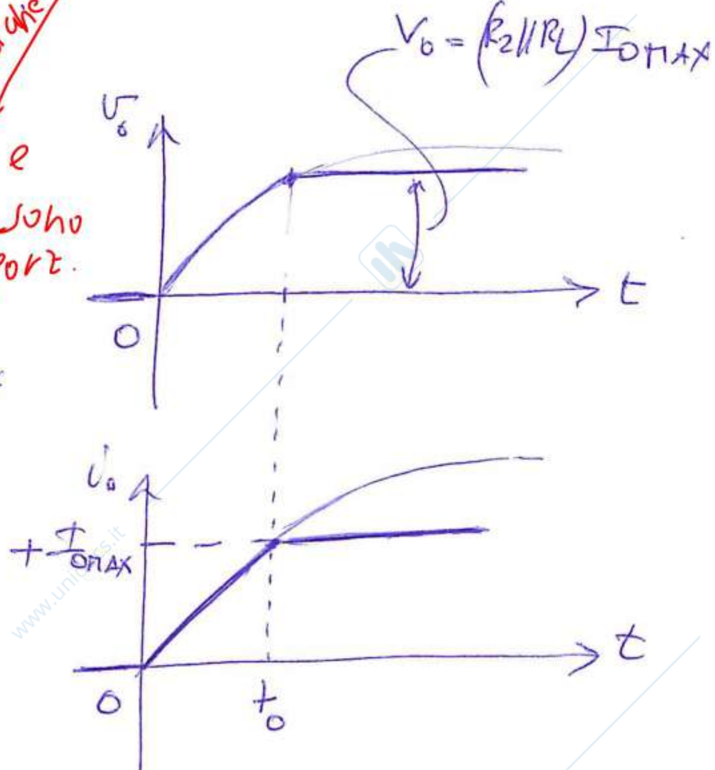


– è richiesta + corrente di quella possibile

b) $|i_o| > I_{OMAX}$ → i_o e v_o saturano ad un livello costante finché $|i_o| < I_{OMAX}$

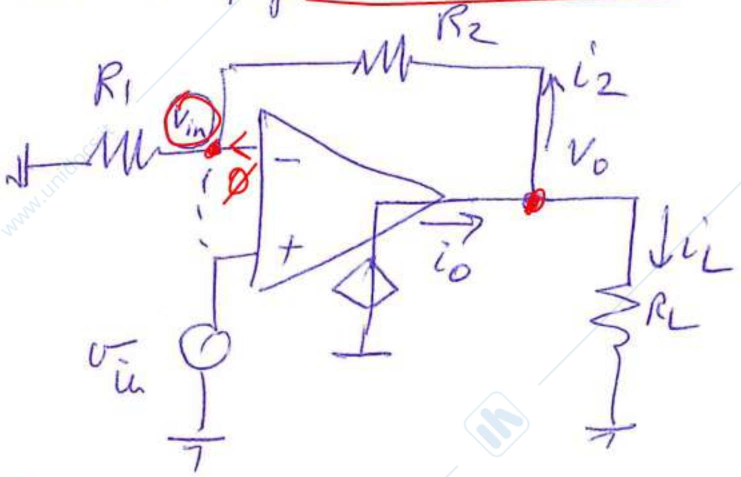
poiché V_o e i_o sono proporz.





tempi dettati dall'interv. di I_{OMAX} e $i_{o\infty}$

N.B. caso ampl. NON INVERTENTE



LKC: $i_o = i_2 + i_L = \boxed{\dfrac{V_o}{R_1+R_2}} + \dfrac{V_o}{R_L} = V_o \dfrac{1}{(R_1+R_2)//R_L}$

oppure: $i_2 = \dfrac{V_{in}}{R_1}$ (dato che la corrente in R_1 e R_2 sono uguali)

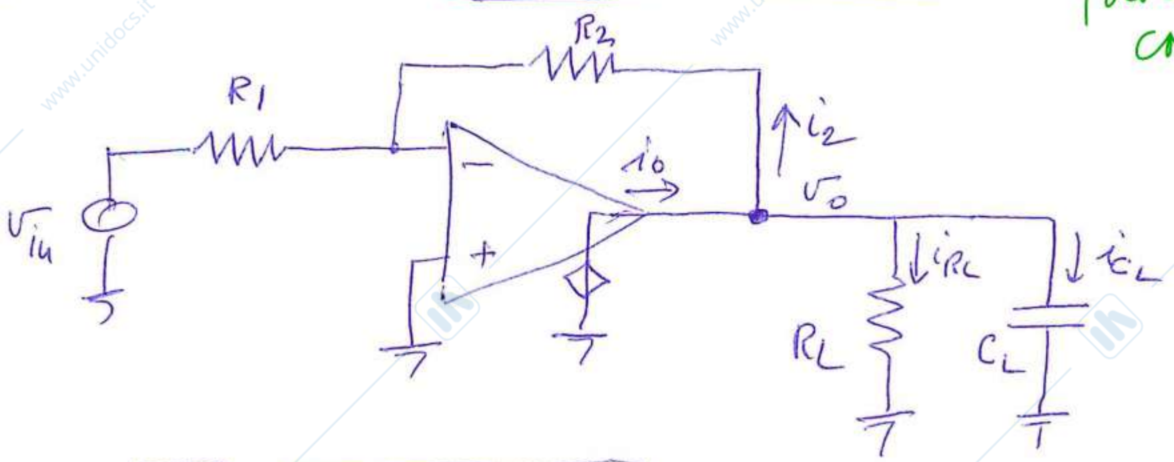
$\left[\dfrac{V_o}{R_1+R_2} = \left(1+\dfrac{R_2}{R_1}\right) V_{in} \dfrac{1}{R_1+R_2} = \dfrac{V_{in}}{R_1} \quad \checkmark \text{ OK} \right]$

R_1 e R_2 in serie poiché attr. entrambe da i_2

☐ CASO CARICO RESISTIVO + CAPACITIVO

provare a fare a casa

3



$\underline{\text{LKC}}$ $\boxed{i_0} = \boxed{i_2 + i_{RL} + i_{CL}} =$

$$= \frac{v_0}{R_2} + \frac{v_0}{R_L} + C_L \frac{dv_0}{dt} = \boxed{\frac{v_0}{R_2 /\!/ R_L} + C_L \frac{dv_0}{dt}}$$

[oppure $\frac{v_0}{R_1+R_2}$ se amp. non invertente]

☐ In regime sinusoidale (fasori)

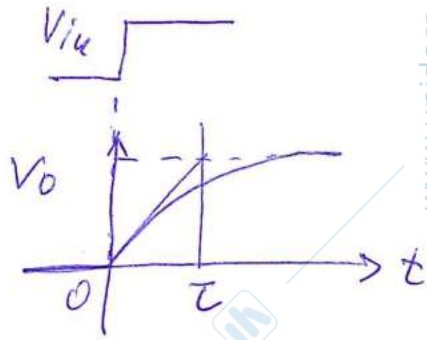
AMMETTENZA

$$I_0 = \frac{V_0}{R_2 /\!/ R_L} + j\omega C_L V_0 = V_0 \overbrace{\left(\frac{1}{R_2 /\!/ R_L} + j\omega C_L\right)}$$

+ GRANDE è la puls. + si avvicina al limite I_{max}

$$\rightarrow |I_0| = |V_0| \cdot \left| \frac{1}{R_2 /\!/ R_L} + j\omega C_L \right| < I_{0MAX}$$

☐ In regime transitorio (gradino, 1 polo)



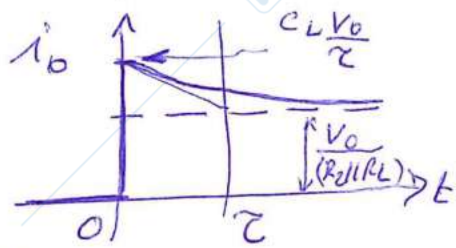
A regime $(t \to \infty)$: $i_0(\infty) = \frac{v_0(\infty)}{R_2 /\!/ R_L}$

A $t=0^+$: $i_0(0^+) = \cancel{\frac{v_0(0^+)}{R_2 /\!/ R_L}} + C_L \left.\frac{dv_0}{dt}\right|_{0^+} = C_L \frac{V_0}{\tau}$

$=\varnothing$

Prop. sia a V_0 che alla derivata di V_0 (per $t=0$)

devo assumere banda finita altrimenti $i_0 \to \infty$



PER cui per verificare che $|i_0(t)| < I_{0MAX}$ $\forall t$, devo verificare:

$$\rightarrow \boxed{\frac{V_0}{R_2 /\!/ R_L} < I_{0MAX}} \quad \text{AND} \quad \boxed{\left.\frac{dV_0}{dt}\right|_{0^+} < \frac{I_{0MAX}}{C_L}}$$