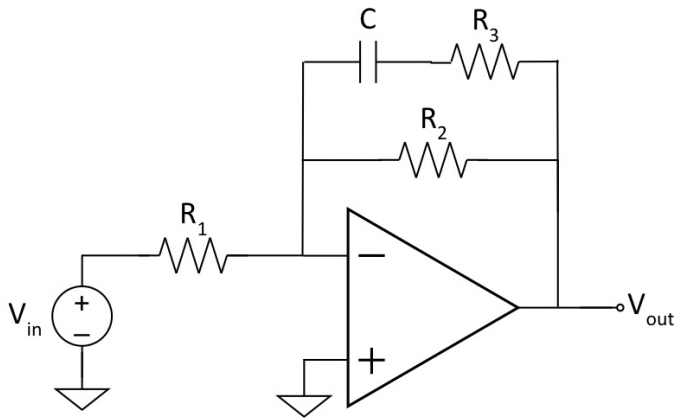


24/11/2020

- 1) Disegnare i diagrammi di Bode del modulo e della fase del guadagno ideale $G_{ID}(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$
- 2) Considerando il G_{ID} , scrivere l'espressione di $V_{OUT}(t)$ in risposta ad un segnale di ingresso
 $V_{IN}(t) = 1mV * \sin(2\pi 5Hz * t) + 5mV * \sin(2\pi 100Hz * t) + 20mV * \sin(2\pi 1MHz * t)$
- 3) Valutare l'effetto delle correnti di bias entranti pari a 50 nA
- 4) Valutare l'effetto della tensione di offset pari a $V_{OS} = \pm 100\mu V$



DATI:

$$R_1 = 10k\Omega$$

$$R_2 = 1M\Omega$$

$$R_3 = 10k\Omega$$

$$C = 1.6nF$$

1) È RETROAZIONATO, NEGATIVAMENTE
 CONSUETA CONFIGURAZIONE INVERTENTE (— "SOPRA"
 "SOTTO")

$$G_{ID} = -\frac{1}{R_1} \left(\frac{1}{sC} + R_3 \right) \parallel R_2 = -\frac{R_2}{R_1} \left(\frac{1+sCR_3}{1+s(R_2+R_3)} \right)$$

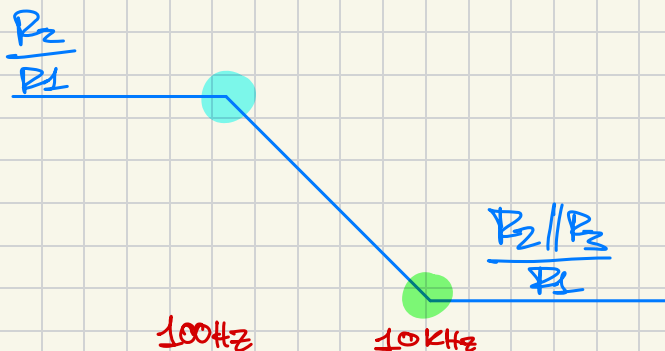
1.6nF
 1MΩ
 10kΩ

CONTROLLIAMO INTUITIVAMENTE:

HO UN CONDENSATORE $\Rightarrow$ ALMENO UN POLO, FORSE UNO ZERO
 (QUI: SÌ)

$$A \rightarrow 0 \rightarrow \left| \frac{R_2}{R_1} \right| \quad (C \text{ APERTO})$$

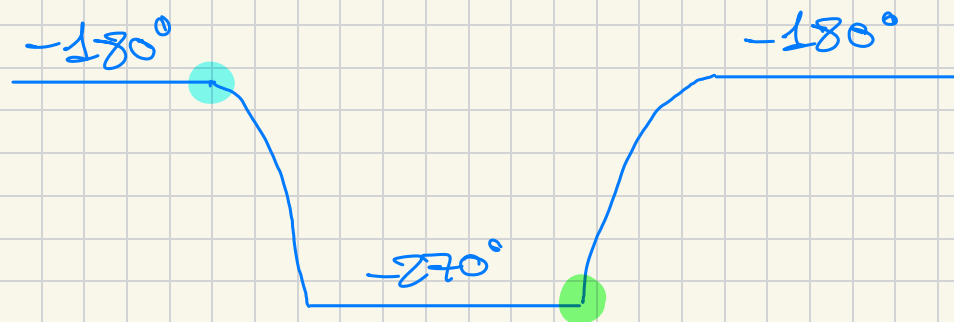
$$A \rightarrow \infty \rightarrow \left| \frac{R_3 \parallel R_2}{R_1} \right| \quad (C \text{ CHIUSO})$$



CHE TORNA ANCHE CON
 LA FORMULA

NOTO INOLTRE CHE IL POLO VIENE PRIMA DELLO ZERO
E LA FASE?

PARTO DA -180° (GUADAGNO NEGATIVO)



2) IL SISTEMA È LINEARE
IN INGRESSO ABBIAMO 3 SINUSOIDI E QUINDI
ANCHE IN USCITA, CHE VARIERANNO IN:

$$V_{IN}(t) = 1\text{mV} * \sin(2\pi 5\text{Hz} * t) + 5\text{mV} * \sin(2\pi 100\text{Hz} * t) + 20\text{mV} * \sin(2\pi 1\text{MHz} * t)$$

AMPIEZZA

FASE (QUI O A TUTTE)

LA FREQUENZA NON VIENE MODIFICATA
MA ANALIZZIAMO:

- PRIMA SINUSOIDE: $5\text{Hz} \ll 100\text{Hz}$ (PRIMO POLO)
 $\Rightarrow$ AVRÒ $\frac{R_2}{R_1}$ ($= 100$)

$$1\text{mV} \cdot \frac{R_2}{\underbrace{R_1}_{100}}$$

E FASE -180° (MOLTO PRIMA DEL PRIMO POLO)

- TERZA: $1\text{MHz} \gg 10\text{kHz}$

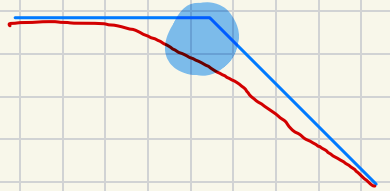
$$20\text{mV} \cdot \frac{R_2 // R_3}{\underbrace{R_1}_{=1}}$$

E FASE -180° (DOPO LO ZERO)

LA SECONDA È ESATTAMENTE SUL POLO:

FASE È $-180^\circ - 45^\circ$
 $\omega \tan(1)$

È MODULO $5\text{mV} \cdot \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$



IL DIAG. DI BODE
 È ASINTOTICO

GUADAGNO
 A BASSA
 FREQUENZA

NO PERSO
 3dB IN
 POTENZA

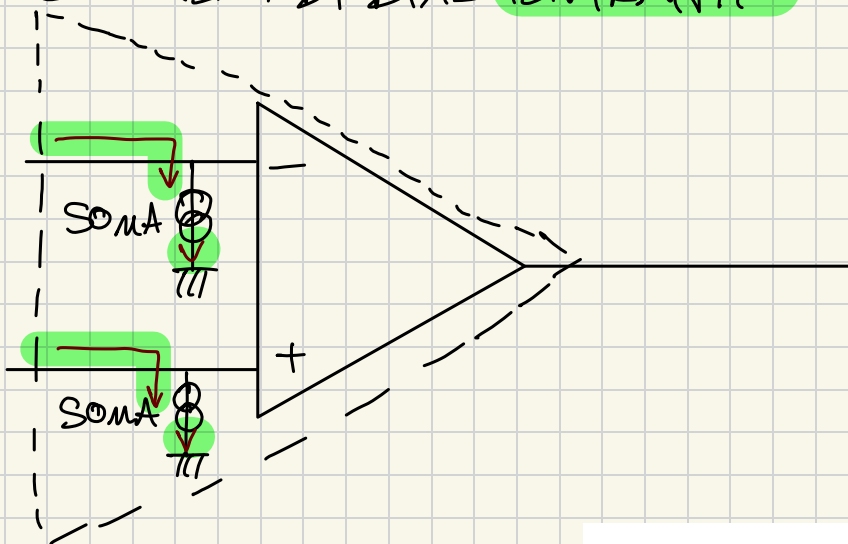
(DAU' AUTOMATICA)

$\Rightarrow V_{out} = 5\text{mV} \cdot \frac{R_2}{R_1} \sin(2\pi 50\text{Hz}t - 180^\circ)$

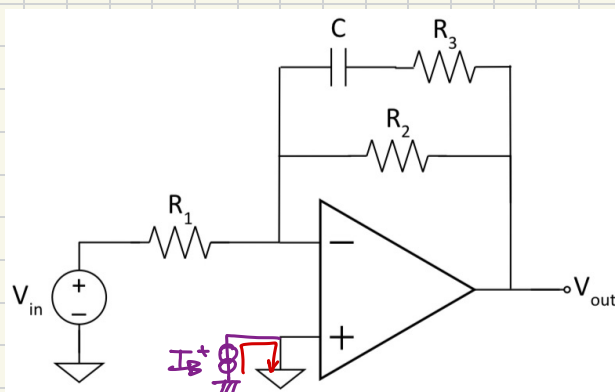
$+ 5\text{mV} \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{\sqrt{2}} \sin(2\pi 100\text{Hz}t - 180^\circ - 45^\circ) +$

$+ 20\text{mV} \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1} \sin(2\pi 1\text{MHz}t - 180^\circ)$

3) "CORRENTI DI BIAS ENTRANTI"

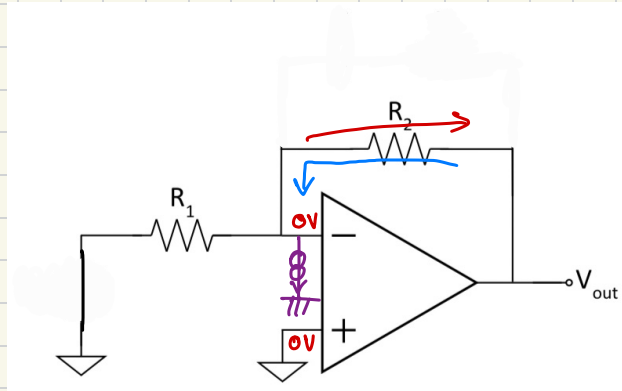


PARTIAMO DAL NODO +:



QUESTA CORRENTE VEDERE CIRCUITO $\Rightarrow$ AL NODO +
AVRÒ 0

SEMPRE PER PSE ORA SPENGO I GENERATORI E METTO
C.A. AI CONDENSATORI (CORRENTI/TENSIONI DI BIAS/OFFSET
SONO TUTTE NON IDEALITÀ IN CONTINUA)



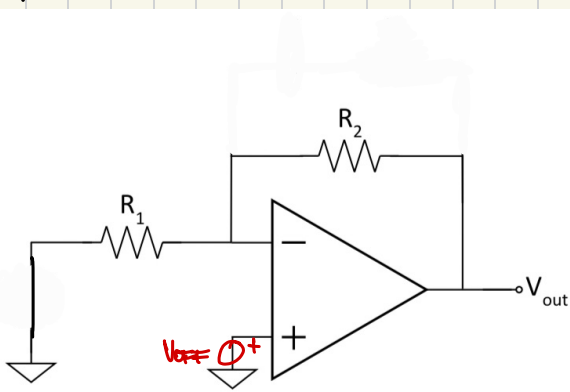
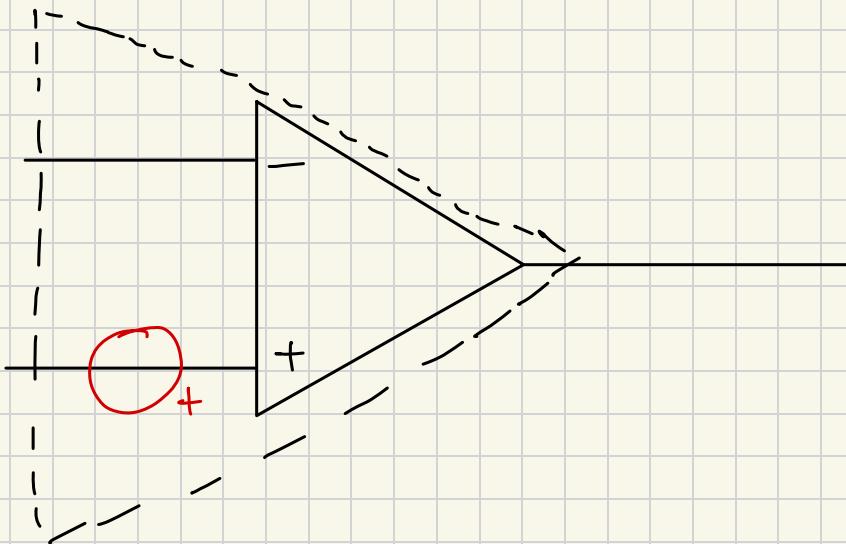
IN R_1 HO 0V A ENTRAMB/
 $I_{CAP1} \Rightarrow$ PROVIENE SOLO DA
 R_2

$$\Rightarrow V_{out} = 0V + I_B R_2$$

$$\Rightarrow \left. \begin{array}{l} I_{B+} \rightarrow 0V \\ I_{B-} \rightarrow 0V + I_B R_2 \end{array} \right\} V_{out} = I_B \cdot R_2 = 50mV$$

$\downarrow$ $\downarrow$
50mA 1k Ω

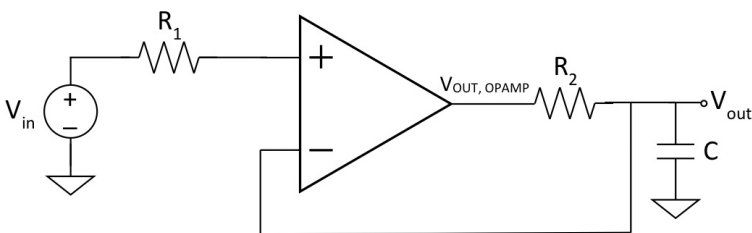
4) LE TENSIONI DI ~~OFF~~SET NON HANNO UN VERSO
IMPOSTO: (LO SCELGO)



DATA Volt, CALCOLO Volt
 APPLICO PSR, COME PRIMA (OPENDO GENERATORI)
 CONF. NON INVERTENTE $\Rightarrow V_{out} = \underbrace{V_{off}}_{(CHE \text{ È } 0 \pm)} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) =$
 $= \pm 100 \text{ mV} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$

2)

- 1) Sia $V_{in}(t)$ un segnale sinusoidale di ampiezza 1V e frequenza $10\text{Hz} < f < 10\text{kHz}$. Considerando il guadagno ideale del circuito, determinare la corrente di uscita dell'amplificatore operazionale, $I_{OUT,OPAMP}$, necessaria per non distorcere il segnale $V_{OUT}(t)$.
- 2) Sia $GBWP=1\text{MHz}$. Considerando il guadagno reale del circuito e lo stesso segnale del punto 1, determinare il minimo SR dell'amplificatore operazionale necessario per non distorcere il segnale in uscita.
- 3) Valutare l'effetto sull'uscita V_{OUT} e sull'uscita dell'amplificatore operazionale $V_{OUT,OPAMP}$ delle correnti di Bias uscenti pari a $I_B = 3\text{nA}$



DATI:

$$R_1 = 1\text{k}\Omega$$

$$R_2 = 100\Omega$$

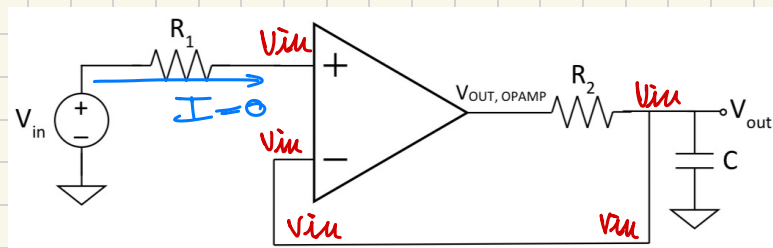
$$C = 1\text{nF}$$

TESTO DIVERSO

- 4) Determinare il massimo GBWP dell'OPAMP per garantire un margine di fase $\geq 45^\circ$

OSSERVO CHE IN R_1 NON PASSERÀ CORRENTE NEL GID, MA PROBABILMENTE RICHIEDERANNO I_B

1) $V_{in}(t) = 1\text{V} \sin(2\pi \times t)$ CON $10\text{Hz} < \omega < 10\text{kHz}$
 INIZIAMO A CALCOLARE GID: È RETROAZIONATO, NEGATIVAMENTE



$$\Rightarrow V_{out} = V_{in} \quad (GID = 1)$$

ORA DOBBIAMO CAPIRE COME SI PUÒ DISTORCERE V_{out}
 E COSA C'ENTRA LA CORRENTE

1) L'OPAMP BUTTA FUORI CORRENTE SU R_2 , MA IL CIRCUITO È RETROAZIONATO E FA DI TUTTO PER MANTENERE V_{in} , MA LO FA REGOLANDO LA TENSIONE, MA QUI NON MI PARLANO DI ESCURSIONE DELL'OPAMP

2) LA CORRENTE DI USCITA VA ANCHE SUL CONDENSATORE

$$I_{out, OPAMP} = C \frac{dV_c}{dt}$$

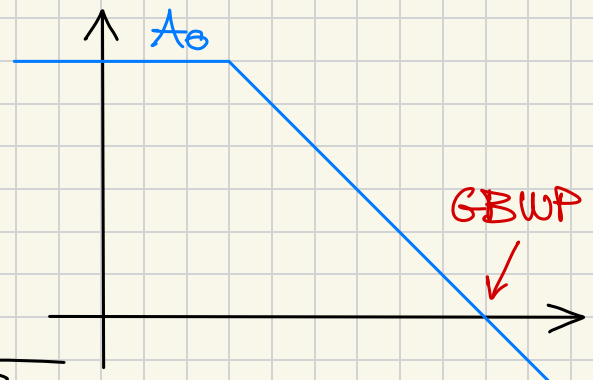
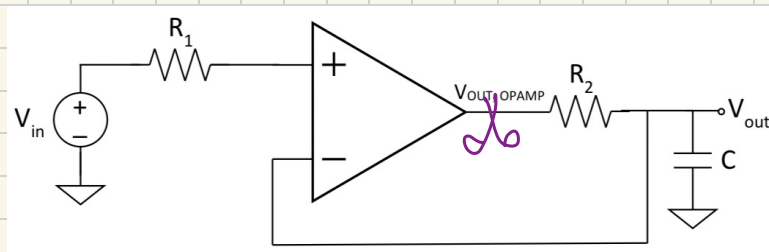
$\downarrow$ $\quad \quad \quad \downarrow$
 $1\mu F \quad \frac{dV_{in}}{dt} = 1V \cdot 2\pi \cdot f \cdot \cos(2\pi f t)$

VOGLIO LA MASSIMA, QUINDI SCELGO $f = 10 \text{ kHz}$ E COS HA MASSIMO 1 NATURALMENTE

$= 62,8 \mu A$ "SLEW RATE ESTERNO"
 (CAPACITÀ · AMPIEZZA IN · GUADAGNO · AMPIEZZA OUT)

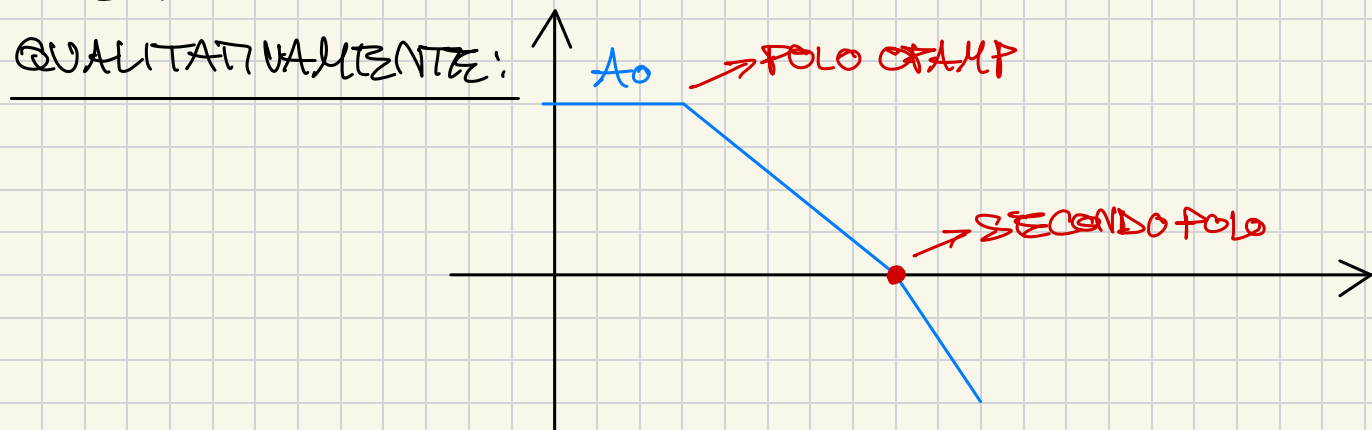
(SE LA CORRENTE È MINORE IL CONDENSATORE NON SI CARICA ALLA STESSA VELOCITÀ)

4) PARTIAMO AL SOLITO CON GLOOP
 MA NOTIAMO SUBITO COME C'ENTRA IL GBWP:



$$\Rightarrow G_{loop} = -A(s) \frac{\frac{1}{sC}}{\frac{1}{sC} + R_2} = -A(s) \frac{1}{1 + sCR_2}$$

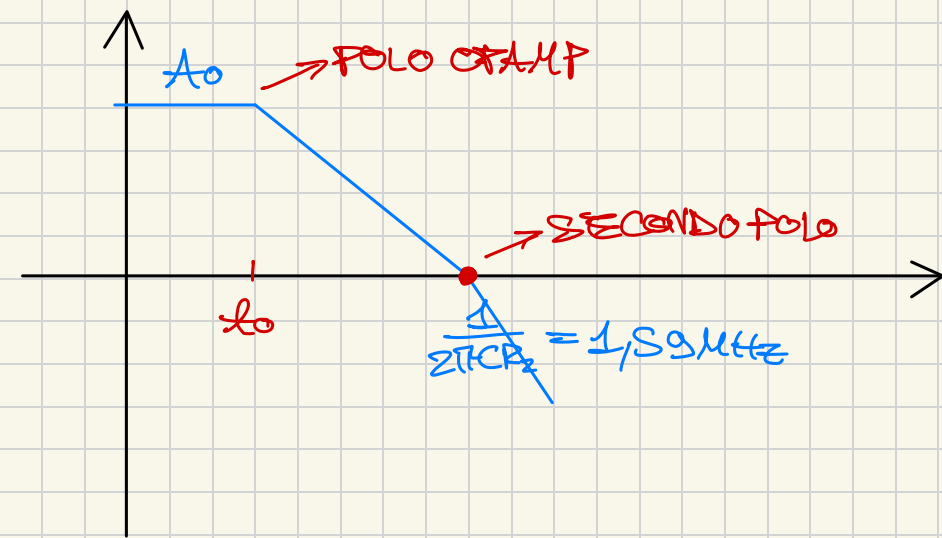
$$= \frac{A_o}{1 + s\omega_o} \frac{1}{1 + sCR_2}$$



NOTA: SE AVESSI IL SECONDO POLO PRIMA DELL'ATTRAVERSA-
ATTRAVERSEI CON $-40 \text{ dB/dec} \Rightarrow \varphi_m < 45^\circ$

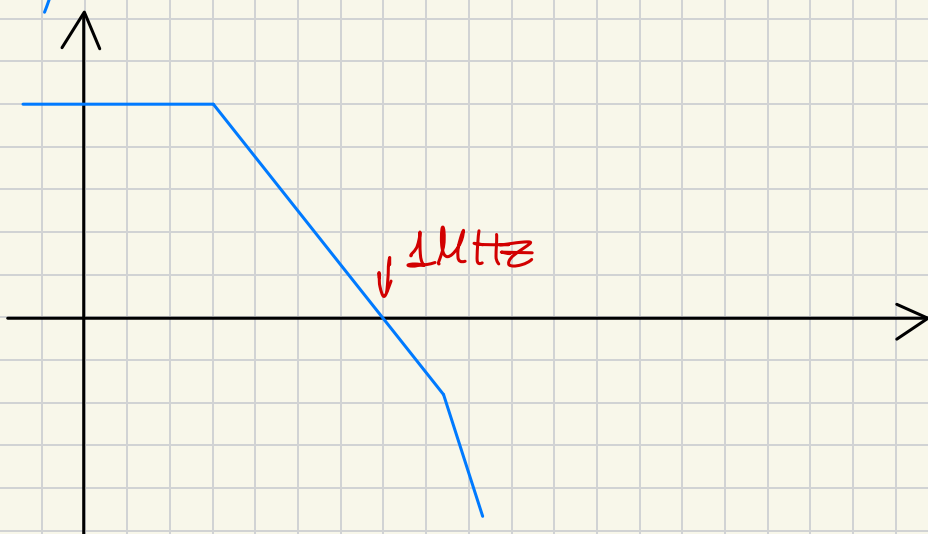
MENTRE CON IL SECONDO POLO DOPO AVEI $\varphi_m > 45^\circ$
RESTANO CONSERVATIVI E GUARDIAMO IL CASO LIMITE ($\varphi_m = 45^\circ$)
CON SECONDO POLO SU ATTRAVERSAMENTO (AL SOLITO,
 $\arctan(1) = 45^\circ$)

MA NOTO:



NON CONOSCO A_0 O f_0 MA $A_0 \cdot f_0 = \text{GBWP}$!

MA ALLORA SE $\text{GBWP} = 1.59 \text{ MHz}$ IL GRAFICO È
2) ORA È PIÙ BASSO:



IL POLO È QUINDI DOPO
STAVOLTA
(E $\varphi_m > 45^\circ$)

L'INTUIZIONE CI DICE CHE ANCHE STAVOLTA USEREMO 1
10 KHz, ESSENDO CHE PIÙ È ALTA LA FREQUENZA, PIÙ
LO SR È PROBLEMATICO

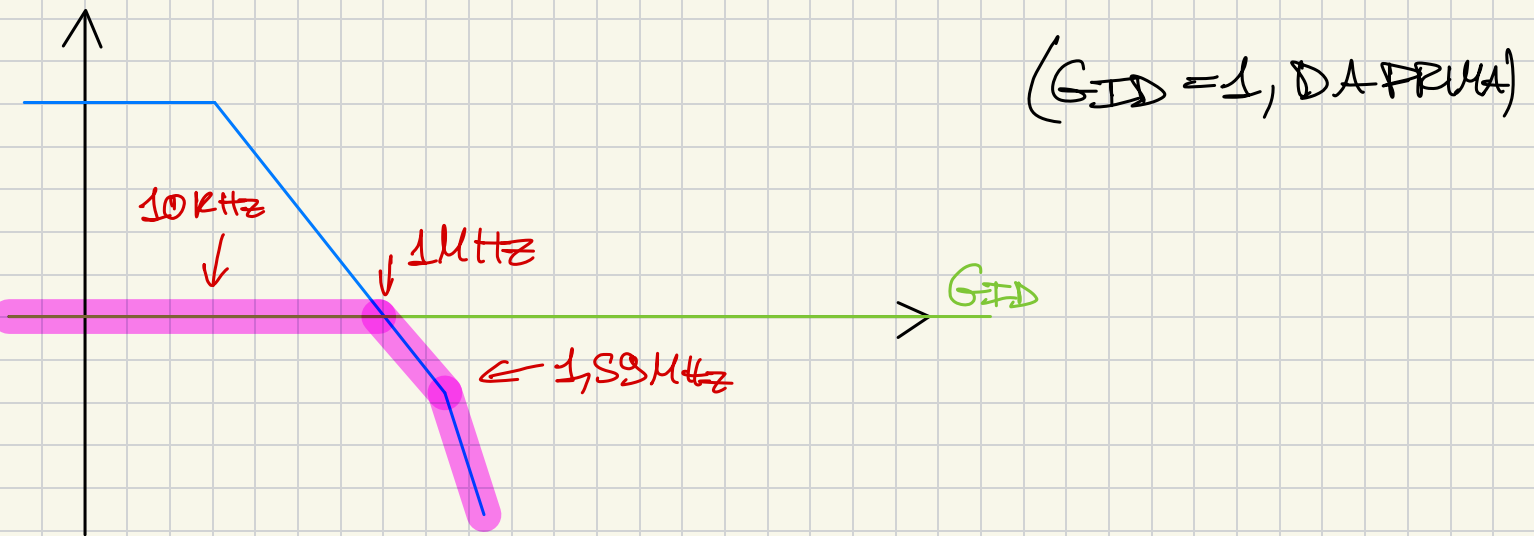
ORA,

$$SR = \frac{dV_{out}}{dt} = V_{in} \cdot G_{REAL} \cdot 2\pi f_{MAX}$$

$\downarrow$ 1V $\downarrow$ 10kHz

→ (IMPLICITO, $\cos = 1$)

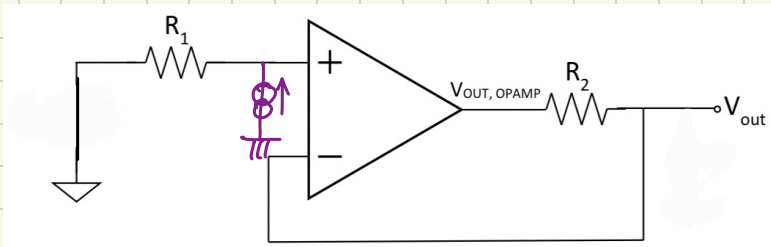
ABBIAMO IL G_{LOOP} E IL $G_{ID} \Rightarrow |G_{OPEN}| = G_{ID} \cdot G_{LOOP}$
 MA SAPPIAMO CHE G_{REAL} E IL G_{ID} FINCHÉ NON
 INTERSECO IL G_{OPEN} (A QUEL PUNTO E G_{OPEN})



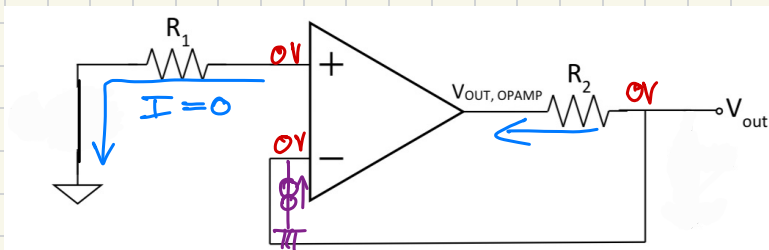
E SICURAMENTE (ESSENDO DUE DECADI PRIMA, SONO
 NELLE CONDIZIONI DI $G_{REAL} = G_{ID}$)

$$\Rightarrow SR = 62,8 \frac{V}{ms}$$

3) SPENGO I GENERATORI (E APRO I CONDENSATORI)



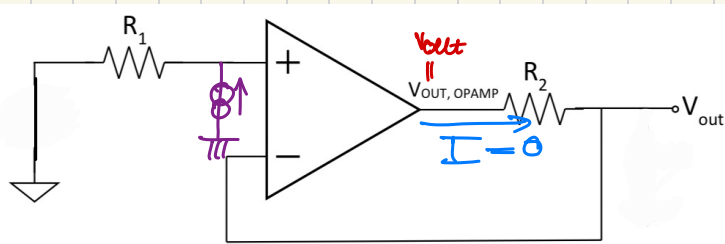
$$V^+ = I_B \cdot R_1 \Rightarrow V^+ = V^- \Rightarrow V_{out} = I_B \cdot R_1 = 3\mu V$$



$$\Rightarrow V_{out} = V^- = 0V$$

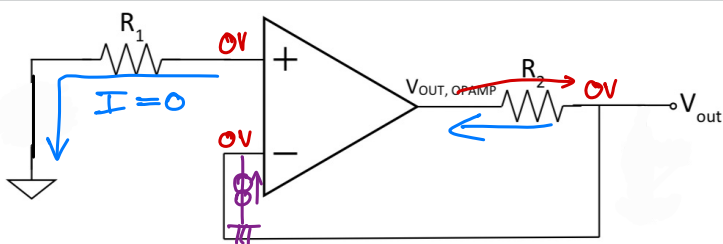
$$\Rightarrow V_{out} = I_B \cdot R_1 + 0V$$

Per $V_{out, OPAMP}$?



I PER FORZA = 0
PERCHÉ "CHI SELA PENDE?"
NON L'OPAMP DI SICURO

$$\Rightarrow V_{out, OPAMP} = I_B \cdot R_1$$

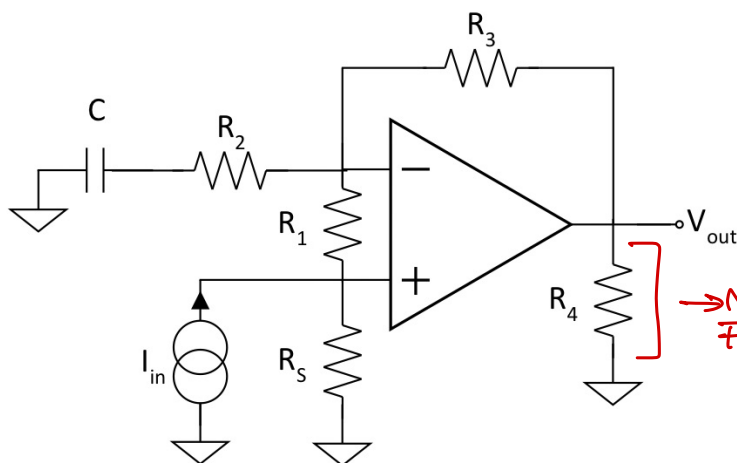


PER "MANTENERE 0V"
L'OPAMP DEVE "SCENDERE"
DI V_{R2}

$$\Rightarrow V_{out, OPAMP} = -I_B \cdot R_2$$

3)

- 1) Valutare l'effetto sull'uscita delle correnti di Bias entranti pari a $I_B = 1\mu A$
- 2) Valutare l'effetto sull'uscita della corrente di offset pari a $I_{OS} = 100nA$
- 3) Valutare l'effetto sull'uscita della tensione di offset pari a $V_{OS} = 1mV$



→ NON MI PREOCCUPA (USCITA È COME FOSSE GEN. DI TENSIONE)

TESTO DIVERSO:

- 4) Determinare l'espressione V_{out} / I_{in}

DATI:

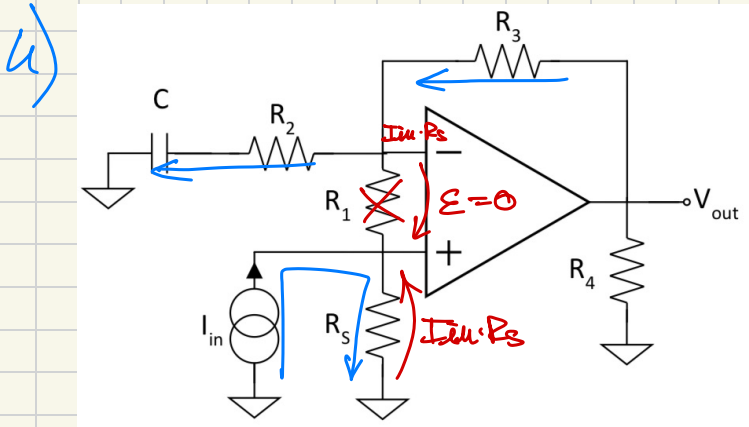
$$R_1 = R_5 = 100k\Omega$$

$$R_2 = 1k\Omega$$

$$R_3 = 10k\Omega$$

$$R_4 = 20k\Omega$$

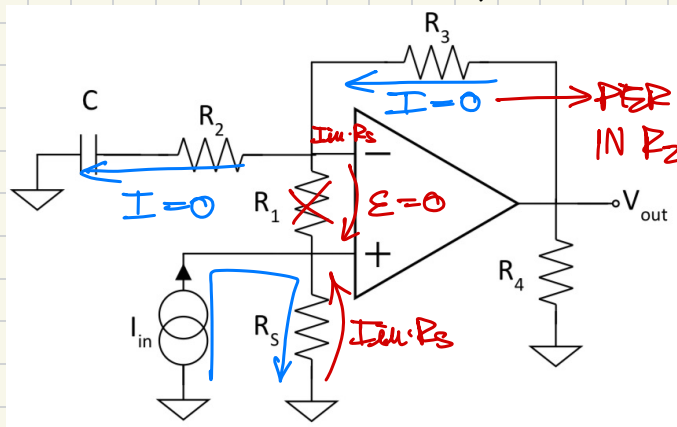
$$C = 1nF$$



$$\Rightarrow V_{out} = I_{in} \cdot R_s \left(1 + \frac{R_3}{R_2 + \frac{1}{sC}} \right)$$

$$= I_{in} \cdot R_s \cdot \frac{1 + sC(R_2 + R_3)}{1 + sCR_2}$$

CENTROLO:
A 0 Hz (CAPERTO)



PERCHÉ SE NON LO FOSSE ALLE CORRENTE IN R2 CHE INVECE È FLUTTANTE

$$\Rightarrow V_{out} = I_{in} \cdot R_s$$

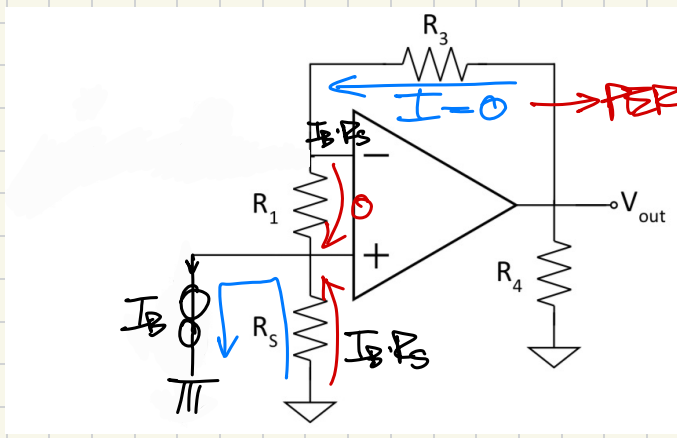
AD ∞ Hz: (C APERTO)

$$V_{out} = I_{in} \cdot R_s \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$



(AL SOLITO CALCOLO $\frac{1}{2\pi C(R_2 + R_3)}$...)

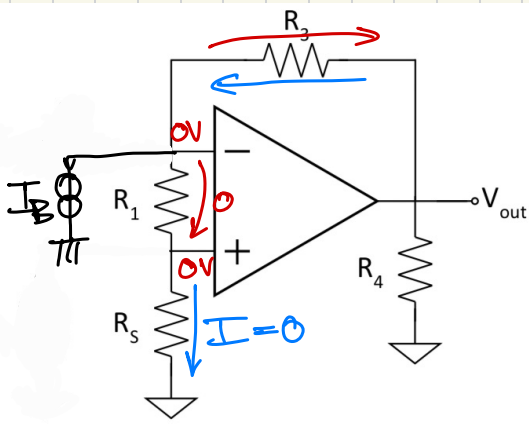
1) SPENGO TUTTI I GENERATORI E APRO I CONDENSATORI



PERCHÉ IN R1 NON CIRCOLA CORRENTE

$$\Rightarrow V_{out} = -I_B \cdot R_s = 100mV$$

↓ ↓
1 μA 100kΩ



I_B VIENE PER FORZA DA R_3
 $\Rightarrow V_{out} = 0V + I_B \cdot R_3$

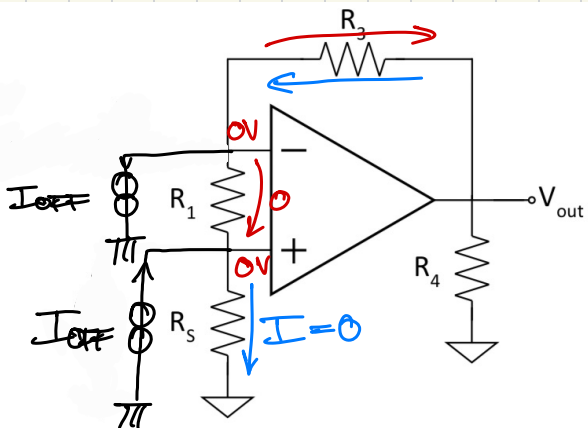
$$\Rightarrow V_{out} = I_B (R_3 - R_5)$$

2) CAMBIA MOLTO? NO!

NEGLIE CORRENTI DI OFFSET DEVO IMPORRE UN
 VERSO I_O , MA QUESTO DEVE ESSERE OPPOSTO TRA LE
 DUE

INOLTRE, ATTENZIONE CHE I_{OFF} AI MORSETTI
 È IN REALTÀ $\frac{I_{OFF}}{2}$

SCELGO:



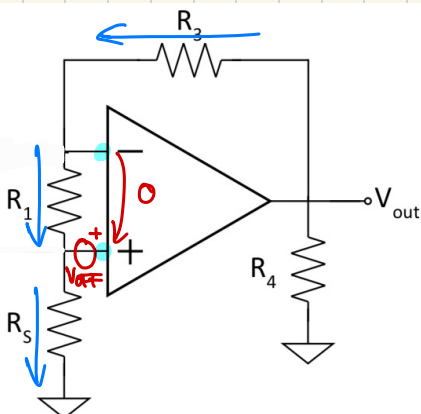
$$\Rightarrow I_{OFF+} \rightarrow V_{out} = + \frac{I_{OFF}}{2} \cdot R_3$$

$$\Rightarrow I_{OFF-} \rightarrow V_{out} = 0V + \frac{I_{OFF}}{2} \cdot R_3$$

$$\Rightarrow V_{out} = \frac{I_{OFF}}{2} (R_3 + R_5)$$

$\rightarrow \pm$ È GIÀ INCLUSO DA

3) DOBBIAMO SCEGLIERE DOVE PIAZZARE LA TENSIONE DI
 OFFSET



$$\Rightarrow V_{R1} = -V_{OFF}$$

$$\Rightarrow I = \frac{V_{OFF}}{R_1}$$

$$\Rightarrow V_{out} = I \cdot (R_5 + R_1 + R_3)$$

$$= \frac{V_{out}}{R_1} (R_2 + R_1 + R_3) =$$

$$= \pm 2,1 \text{ mV}$$