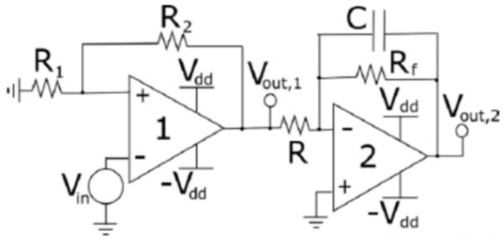
Esercizio 3

Si consideri il circuito basato su amplificatori operazionali, mostrato in Fig. 3. Gli amplificatori operazionali saturino alle tensioni di alimentazione e V_{in} sia un generatore di tensione di segnale sinusoidale con ampiezza 3.5 *V* e frequenza *10 MHz*.



$R_1 = R_2 = 10k\Omega$ $V_{dd} = 5\ V$ $R = 6.25\ k\Omega$ $R_f = 6k\Omega$ $C = 1.5\ pF$

a) Disegnare in due diagrammi temporali, temporalmente allineati, il segnale di ingresso $V_{in}(t)$ dato e ed il corrispondente segnale $V_{out,1}(t)$, quotandone tutti i punti significativi ed assumendo gli amplificatori operazionali ideali.

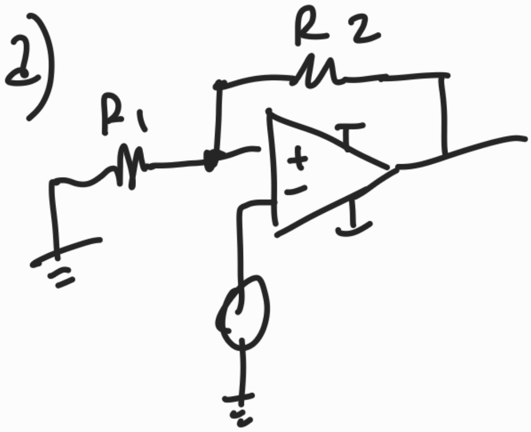
b) Determinare il massimo valore della resistenza R_f che garantisca che il contributo delle correnti di bias, pari a *100 nA*, sulla tensione di uscita $V_{out,2}$ sia al piu' *6 mV*.

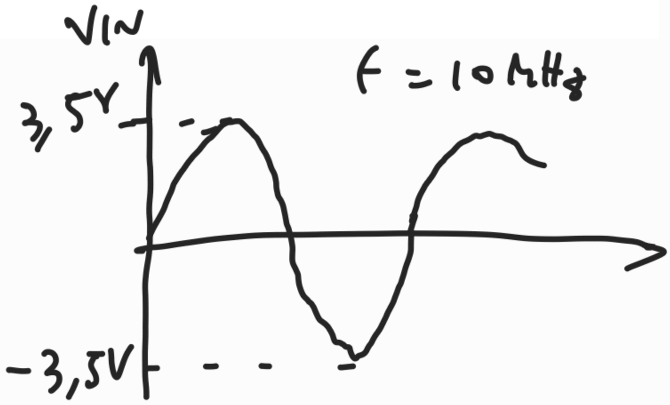
c) Tracciare i diagrammi di Bode del modulo e della fase della funzione di trasferimento $V_{out,2}/V_{out,1}$, assumendo gli amplificatori operazionali ideali.

d) Se l'amplificatore operazionale 2 e' caratterizzato da uno *Slew-Rate SR = 100 V/μs,* determinare se la la forma d'onda di uscita subisca o meno distorsioni e motivare la risposta.

e) Determinare il margine di fase del blocco amplificatore se il prodotto guadagno-larghezza di banda del secondo amplificatore operazionale e' pari a *GBWP = 80 MHz*.

a)





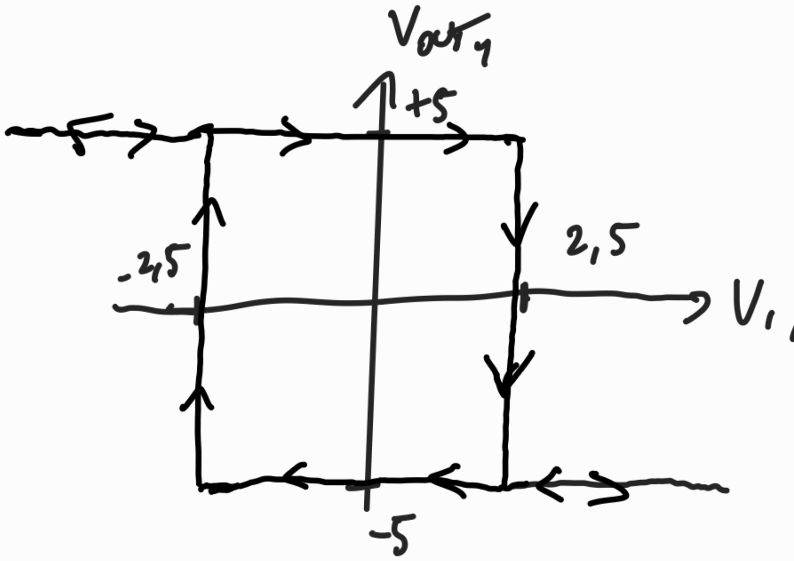
STUDIO LA CARATTERISTICA DEL COMPARATORE

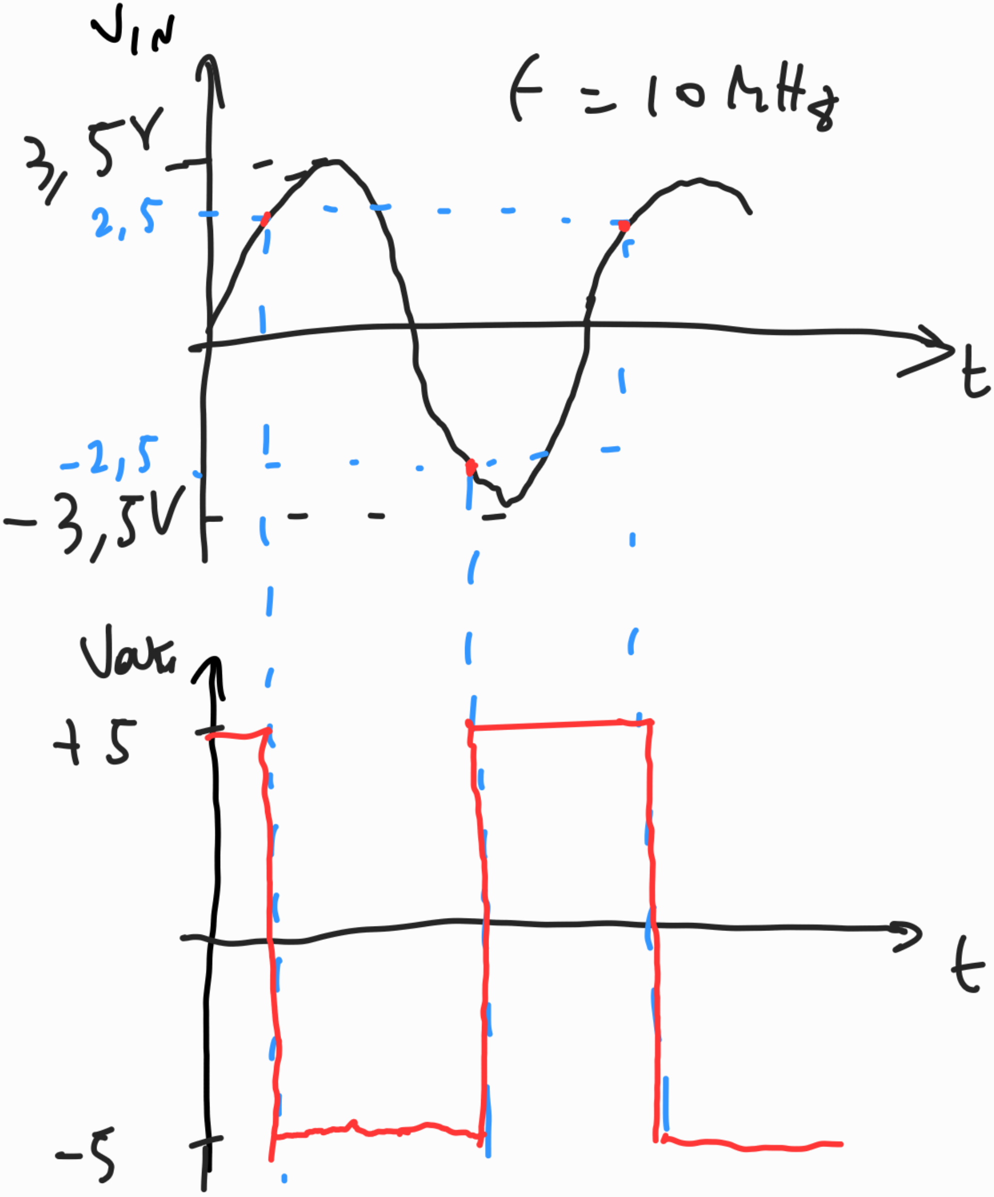
1) $V_{OUT1} = V_{DD}$

$V^+ = V_{DD} \cdot \frac{R_1}{R_1+R_2} = \frac{V_{DD}}{2} = 2{,}5\ V$

2) $V_{OUT1} = -V_{DD}$

$V^- = -2{,}5\ V$

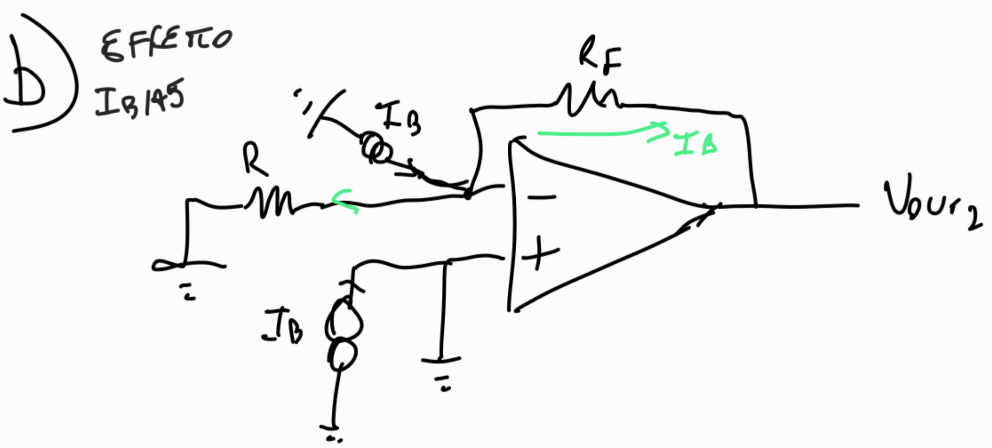




DUTY CYCLE = 50%

$$T = \frac{1}{f} = 100\ ns$$

D) EFFETTO IBIAS

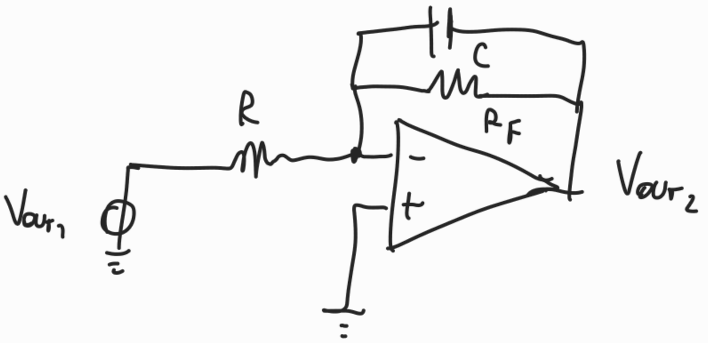


$$V_{OUT_2}\Big|_{I_B} = R_F \cdot I_B < 6\ mV$$

$$R_F < \frac{6\ mV}{100\ nA} = 60\ k\Omega$$

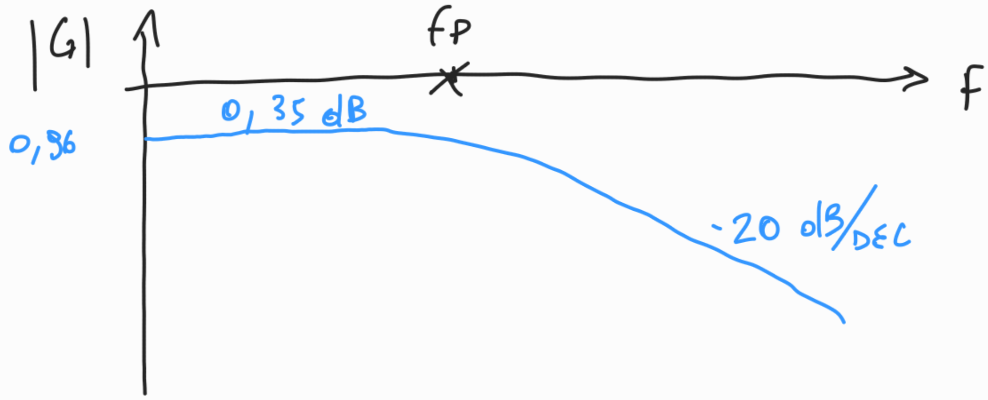
NESSUN EFFETTO SU V_{OUT_1} DI I_B DEL PRIMO OPAMP PERCHÉ LA SUA USCITA SATURA ALLE ALIMENTAZIONI.

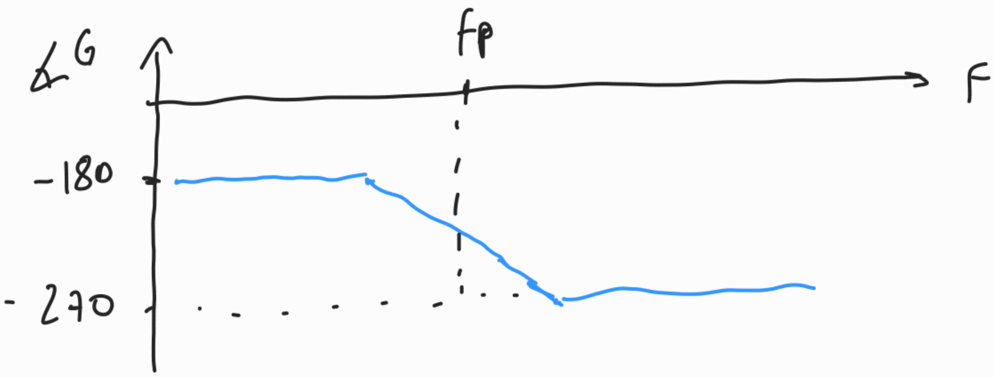
c) $G(s) = \frac{V_{OUT_2}}{V_{OUT_1}}$

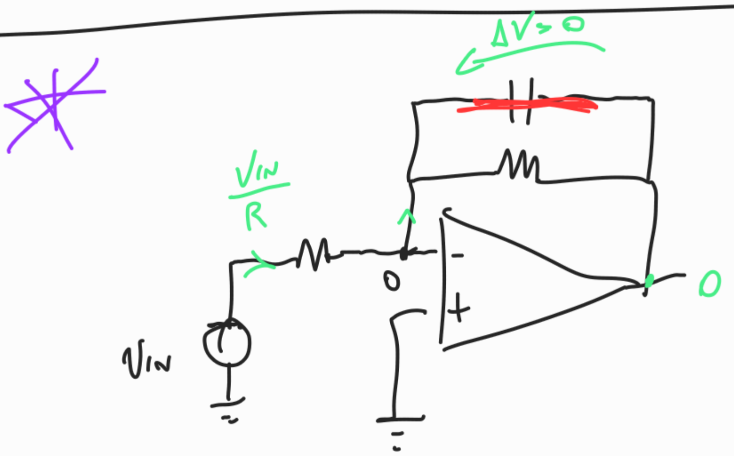


$G(0) = -\frac{R_F}{R} = 0,96$ $G(\infty) = 0$ ✱

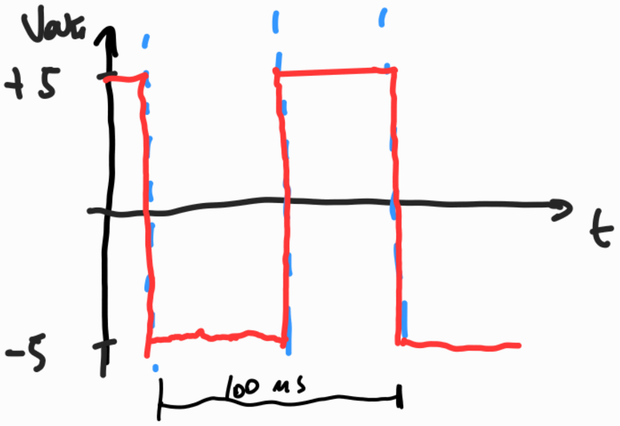
POLI $C \rightarrow \tau_p = C \cdot R_F = 9\ \mu s \longrightarrow f_p = 17,7\ MHz$





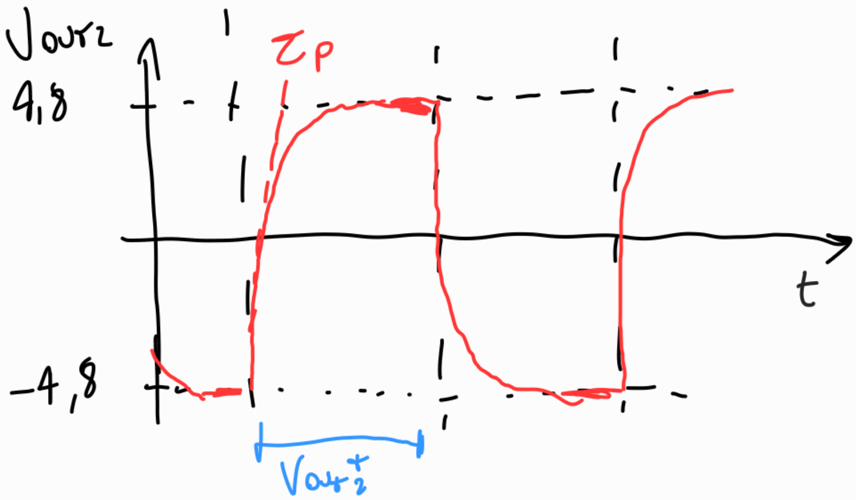


d)



$T/2 = 50m > 5 \cdot \tau_p \longrightarrow$ ESPONENZIALE A REGIME NEL SEMIPERIODO

$\longrightarrow V_{out_2}$ IDEALE (SENZA SLEW RATE)



$$V_{out_2}\Big|_{REGIME} = \pm 5 \cdot G(0) = \pm 5 \cdot (-0{,}96) = \mp 4{,}8\,V$$

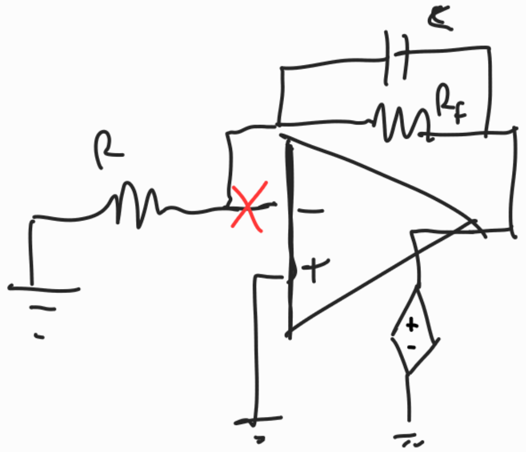
$$\boxed{V^+_{out_2}}(t) = -4{,}8V + 9{,}6V\left(1 - e^{-t/\tau_p}\right)$$

$$\frac{dV^+_{out_2}}{dt} = 9{,}6\, e^{-t/\tau_p} \cdot \frac{1}{\tau_p}$$

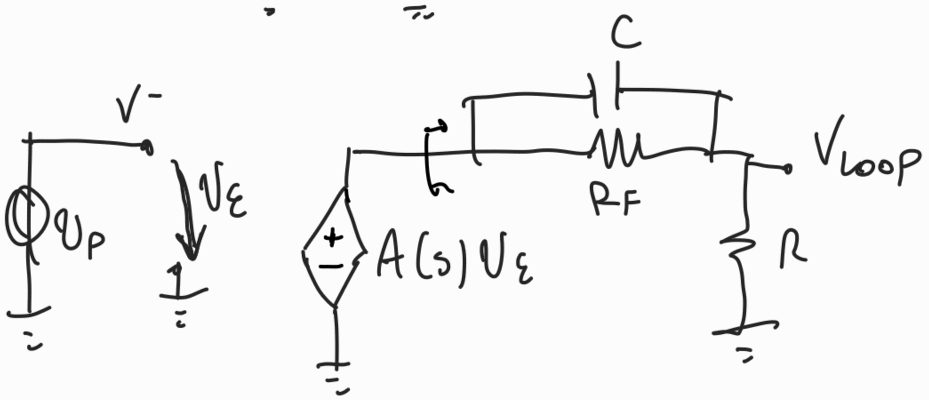
$$\frac{dV^+_{out_2}}{dt}\Bigg|_{MAX} = \boxed{\frac{9{,}6}{\tau_p}} = 1067\ V/\mu s > SR = 100\,V/\mu s$$

$\Longrightarrow$ FORMA D'ONDA USCITA SARÀ DISTORTA

e) $\varphi_M = ?$ $\qquad GBWP = 80\,MHz$



$$G_{loop}(0) = -\frac{A_0}{1+s\tau_0} \cdot \frac{R}{R+R_F}$$

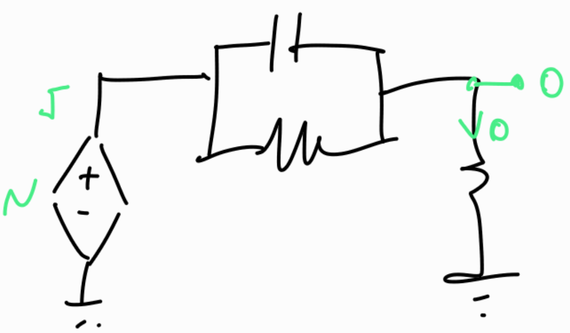


POLI

$$\tau_p = C \cdot (R_F /\!/ R) = 4{,}59\ ms$$

$$f_p = 34{,}7\ MHz$$

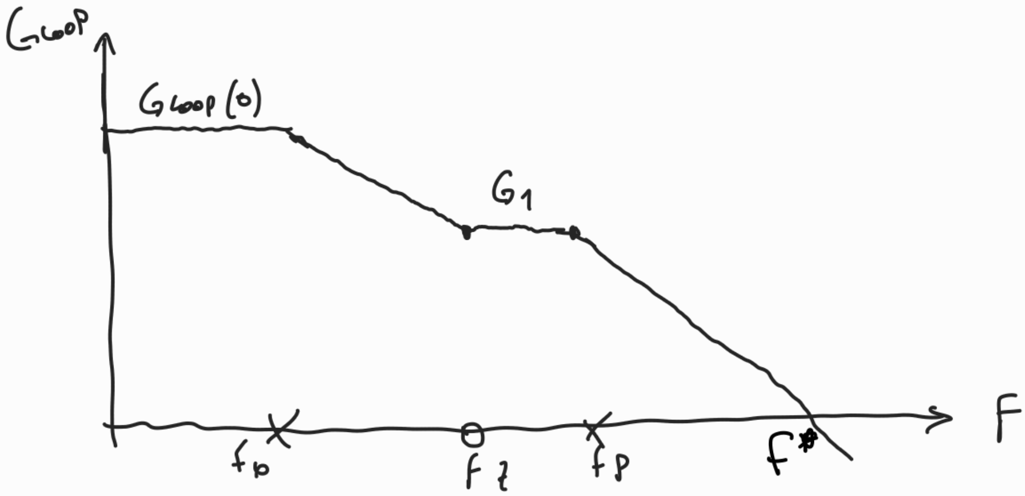
ZERO PER ISPEZIONE



$$\frac{1}{sC} /\!/ R_F = \infty$$

$$\tau_z = C \cdot R_F = 9\ \mu s$$

$$F_z = 17{,}7\ MHz$$



TROVARE F^*

PROPRIETÀ FUNZIONI DI TRASFERIMENTO $\rightarrow$ $G \cdot F = G \cdot F$

PRIMO TRATTO, TROVARE G_1

$$G_{loop}(0) \cdot f_0 = \frac{R}{R+R_F} \cdot \underbrace{A_0 \cdot f_0}_{GBWP} = f_z \cdot G_1 \longrightarrow G_1 = 2,3$$

SECONDO TRATTO, TROVARE F^*

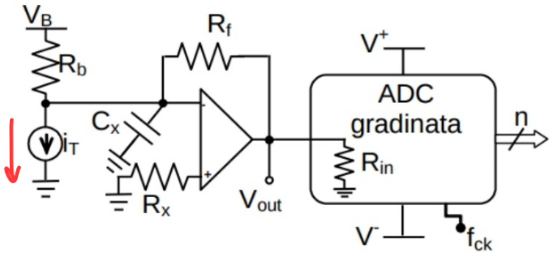
$$G_1 \cdot f_p = 1 \cdot F^* \rightarrow F^* \simeq 80\,MHz$$

$$\varphi_M = 360° - 180 - \operatorname{atan}\left(\frac{F^*}{f_0}\right) + \operatorname{atan}\left(\frac{F^*}{f_z}\right) - \operatorname{atan}\left(\frac{F^*}{f_p}\right)$$

$$\simeq 360° - 180° - 90° + 77{,}5° - 66{,}6° = 100{,}9°$$

Esercizio 2

Si consideri la catena di acquisizione, mostrata in Fig. 3, per la misura della temperatura mediante un sensore *AD590*, in cui la relazione tra la corrente di uscita $i_T(T)$ e la temperatura assoluta T e' data dalla relazione $i_T(T) = \alpha T$ dove $\alpha = 1\ \mu A/K$, nell'intervallo di temperatura *-55°C - +150°C*. Il convertitore analogico digitale e' del tipo a gradinata.



$V_B = +15V$
$V^+ = -V = 5V$
$R_{in} = 50\Omega$
$R_f = 100\ k\Omega$
$C_x = 2.5pF$
$f_{ck} = 10MHz$
$n = 8\ bits$

Fig. 3

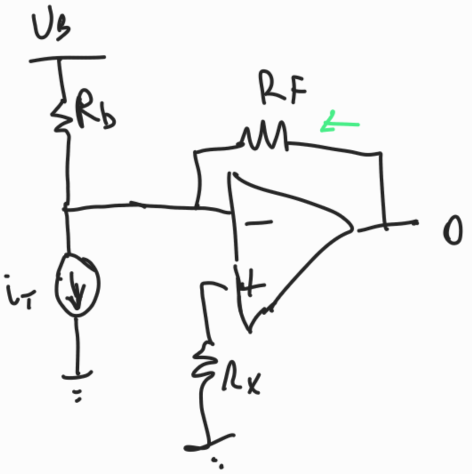
a) Determinare il valore della resistenza R_b che consenta di avere V_{out} = 0V, quando T=0°C=273K. Determinare, quindi, la relazione tra la tensione di uscita e la temperatura *in gradi centigradi*, assumendo l'amplificatore operazionale ideale.

b) Determinare il massimo ed il minimo valore di temperatura che possono essere correttamente misurati e la risoluzione minima ottenibile, assumendo che il sensore abbia una accuratezza e una precisione infinite.

c) Determinare il valore della resistenza R_x che garantisca di minimizzare l'effetto delle correnti di *bias*. Determinare, inoltre, il massimo *offset* ammissibile per le correnti di *bias* perche' l'effetto in uscita non pesi piu' di *LSB/10*.

d) Determinare il margine di fase dello stadio a transimpedenza, se e' collegata una capacita' $C = 1pF$ tra il morsetto invertente e l'uscita dell'amplificatore operazionale e l'amplificatore operazionale e' caratterizzato da un prodotto guadagno larghezza di banda $GBWP = 10\ MHz$.

a) $V_{OUT} = 0$ @ $T = 273K \rightarrow R_B = ?$



$V_{OUT} = 0 \rightarrow I_{RF} = 0 \rightarrow I_{RB} = i_T$

$$I_{RB} = \frac{V_B - 0}{R_B} = i_T$$

$$R_B = \frac{V_B}{i_T(273K)} = \frac{15\ V}{1\mu A/K \cdot 273K} = 54,94\ K\Omega$$

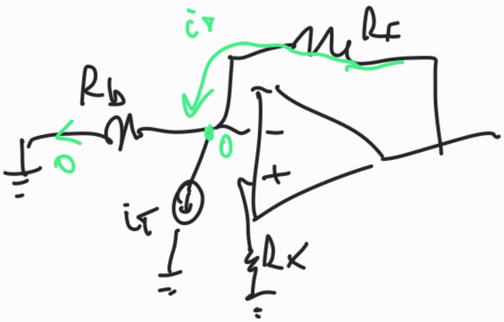
$$\frac{V_{OUT}}{T\,[°C]} = ?$$

SOVRAPPOSIZIONE EFFETTI

$$V_{OUT} = V_B \cdot \left(-\frac{R_F}{R_b}\right) + i_T R_F$$

EFFETTO DI VB

EFFETTO DI iT



$$V_{OUT} = -V_B \frac{R_F}{R_b} + R_F \cdot \alpha T_K \qquad T_K = T_C + 273$$

$$= -V_B \frac{R_F}{R_b} + R_F \alpha (T_C + 273)$$

$$= -27{,}29\,V + 0{,}1\,(T_C + 273)$$

b) 1) DINAMICA IN INGRESSO: MAX/MIN T

LIMITE DATO DA FONDO SCALA ADC $\pm 5V$

$V_{OUT} > -5V \qquad -27{,}29 + 0{,}1(T_C + 273) > -5 \rightarrow T_C > -50{,}1°C$

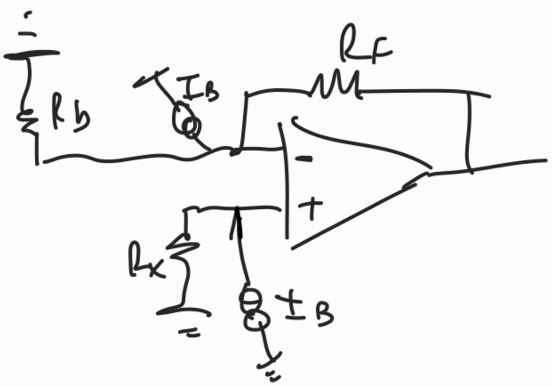
$V_{OUT} < +5V \rightarrow T_C < 49{,}9°C$

2) $$LSB = \frac{FSR}{2^n} = \frac{V^+ - V^-}{2^n} = 39{,}06\,mV$$

LSB IN TEMPERATURA?

$$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta T} = R_F \cdot \alpha \rightarrow LSB_T = \frac{\Delta V_{OUT}}{R_F \cdot \alpha} = 0{,}39\,m°C \quad [mK]$$

c) 1) $R_x = ?$ MINIMIZZARE EFFETTO I_B



$$V_{OUT}\big|_{I_B^-} = -R_F \cdot I_B$$

$$V_{OUT}\big|_{I_B^+} = R_x \left(1 + \frac{R_F}{R_b}\right)$$

$$V_{out}\Big|_{I_B^-} = -V_{out}\Big|_{I_B^+} \to R_F = R_x\left(1+\frac{R_F}{R_b}\right)$$

$$R_x = \frac{R_F}{1+\frac{R_F}{R_b}} = R_F // R_b = 35,4\ k\Omega$$

METODO RAPIDO

RESISTENZA VISTA DA MORSETTO − OPAMP

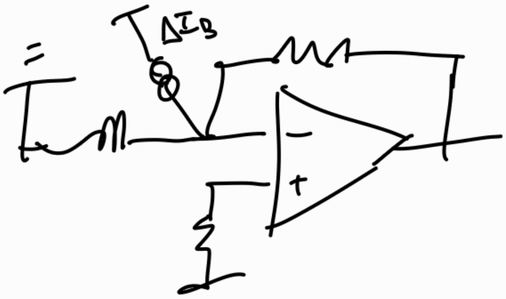
UGUALE A

RESISTENZA VISTA DA MORSETTO + OPAMP

$R_F // R_b = R_x$

2) MAX ΔI_B

TALE CHE $\Delta V_{OUT} < \frac{LSB}{10}$

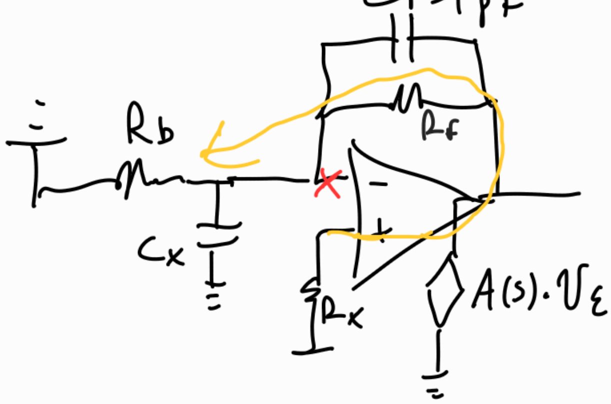


$$\Delta I_B \cdot R_F < \frac{LSB}{10}$$

$$\Delta I_B < 39,06\ nA$$

AVENDO APPENA IMPOSTO IL GUADAGNO DI I_B UGUALE DA ENTRAMBI I MORSETTI, SI PUÒ VALUTARE L'EFFETTO DI ΔI_B INDIFFERENTEMENTE DA + O −

3)

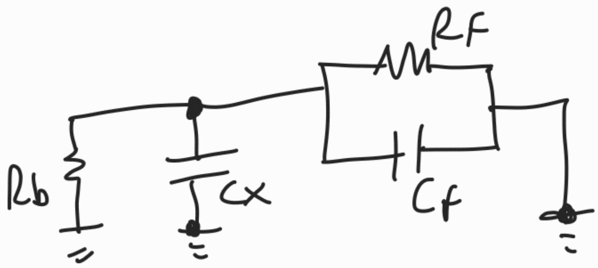


$$G_{loop}(0) = -A_0 \cdot \frac{R_b}{R_b + R_F}$$

SINGOLARITÀ G_{LOOP}

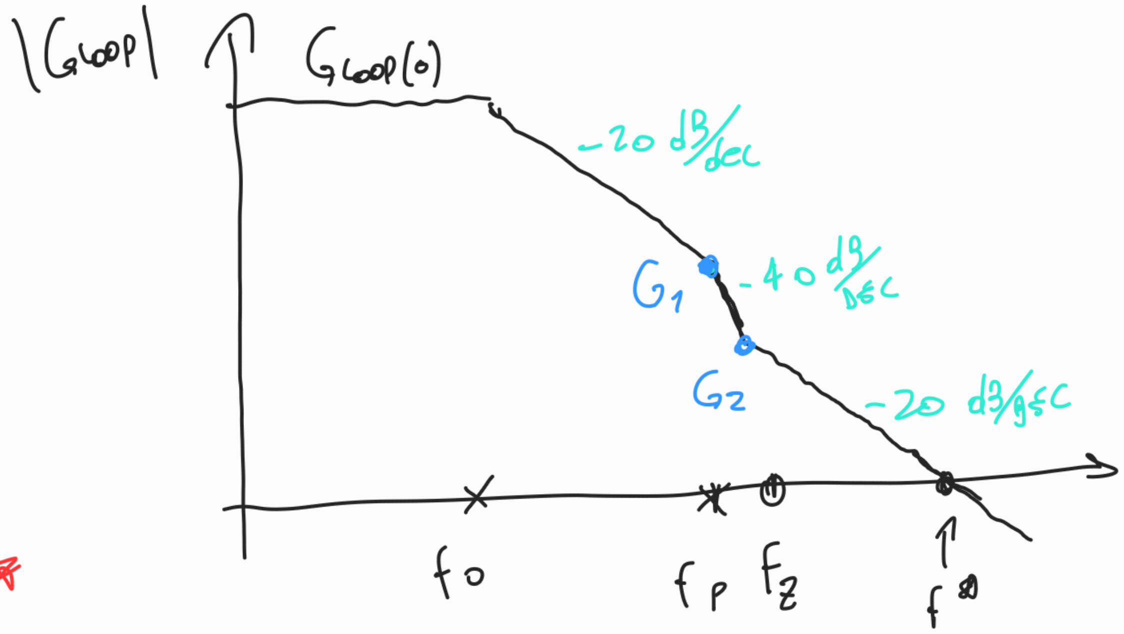
2 POLI

- f_0 DI $A(s)$
- $\tau_p = (C_x + C_F)\cdot(R_b // R_F) = 124\ ns \to f_p = 1,28\ MHz$



1 ZERO

$$\frac{1}{sC_F} // R_F = \infty \to \tau_z = C_F R_F = 100\ ns \to f_z = 1,59\ MHz$$



TROVARE F^*

$$G_{loop}(0) \cdot F_0 = GBWP \cdot \frac{R_b}{R_b + R_F}$$

PRIMO TRATTO, TROVARE G_1

$$G_{loop}(0) \cdot F_0 = G_1 \cdot F_p \rightarrow G_1 = GBWP \cdot \frac{R_b}{R_b + R_F} \frac{1}{f_p}$$

SECONDO TRATTO, TROVARE G_2

$$G_1 f_p^2 = G_2 f_z^2 \rightarrow G_2 = G_1 \cdot \left(\frac{f_p}{f_z}\right)^2$$

TERZO TRATTO, TROVARE F^*

$$G_2 \cdot f_z = 1 \cdot F^*$$

$$F^* = G_2 \cdot f_z = G_1 \cdot \left(\frac{f_p}{f_z}\right)^2 \cdot F_z = GBWP \cdot \frac{R_b}{R_f + R_b} \cdot \frac{F_p}{F_z}$$

$$\overset{!}{=} 2{,}85 \text{ MHz}$$

$$\varphi_M = 360 - 180 - \underbrace{2\tan\left(\frac{F^*}{f_0}\right)}_{-30°} - \underbrace{2\tan\left(\frac{F^*}{f_p}\right)}_{-65{,}8°} + \underbrace{2\tan\left(\frac{F^*}{f_z}\right)}_{+60{,}8°}$$

$$\overset{!}{=} 85°$$