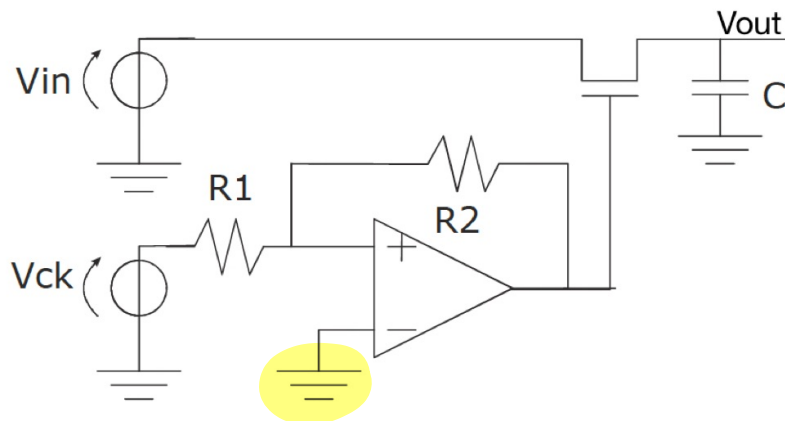


1)

Nel circuito di acquisizione in figura, $R_1=10k\Omega$; $R_2=30k\Omega$; l'Amplificatore Operazionale ha tensione massima di uscita $V_{max}=10V$; tensione minima di uscita $V_{min}=-10V$, per il resto è ideale; il transistorore ha $V_T=1.4V$; $k=5mA/V^2$; $V_{ck}(t)=4V \cos(2\pi 100MHz t)$.

10/12/2020

- 1) Determinare la durata della fase di sample e della fase di hold.
- 2) Calcolare i valori massimo e minimo di tensione dell'ingresso $V_{in}(t)$ compatibili con il corretto funzionamento del circuito di S&H
- 3) Se $V_{in}(t)$ ha ampiezza contenuta nell'intervallo $-2V < V_{in} < 2V$, stimare il valore massimo di C compatibile con il campionamento nei tempi dati dal clock. Si consideri ammissibile un errore pari a 1 parte su 2000 del segnale di ingresso.
- 4) Calcolare il valore minimo della resistenza R_2 che permette al segnale di comando del S&H di avere la forma richiesta.

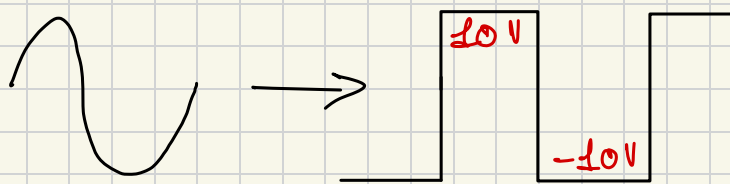


1) L'OPAMP È RETROAZIONATO POSITIVAMENTE!
L'USCITA DIVERGE A $+10V$ E $-10V$

(È UN TRIGGER DI SCHMITT)

QUI HO MASSA (SIVEDA E 17) $\Rightarrow$ LE USCITE SONO
SIMMETRICHE (± 10 , NON TRASLATE)

$\Rightarrow$ L'ASPETTO CHE IN RISPOSTA A UNA SINUSOIDE IN
INGRESSO IO ABBIAMO:



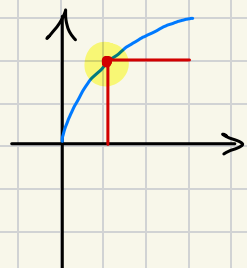
QUESTA USCITA VA SUL GATE, SUPPONENDO I VALORI
SIANO ADEGUATI AD ACCENDERE/SPEGNERLO,
UN SI ACCENDE A $+10$, SPEGGE A -10 (SAMPLE,
HOLD)

ESSENDO TUTTO SIMMETRICO, IL DUTY CYCLE È
DEL 50% (METÀ DEL PERIODO), CHE È QUELLO
DELLA SINUSOIDE $\Rightarrow T_{ck} = \frac{1}{100kHz} = 10\mu s$

$$T_{SAMPLE} = D \cdot T_{ck} = 50\% \cdot 10 \mu s = 5 \mu s$$

$$T_{HOLD} = D \cdot T_{ck} = 50\% \cdot 10 \mu s = 5 \mu s$$

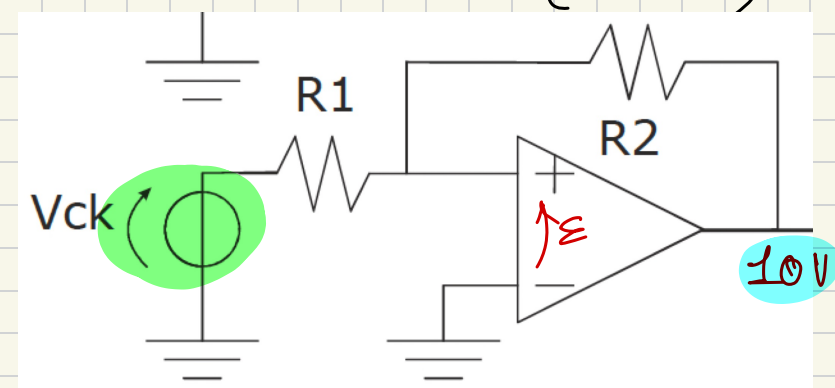
NOTA SULLA FASE: HO UNO SFASAMENTO DELL'ONDA QUANDA RISPETTO ALLA SINUSOIDE, AL SOLITO:



= RITARDO DOVUTO AL PRIMO
ATTRAVERSAMENTO DELLA SOGUA

MA NON ~~ABBIAMO~~ VERIFICATO SE CON QUESTA
SINUSOIDE IL TRIGGER SCATTA!

PARTE DA $V_{out} = 10V (\Rightarrow E > 0)$



PER FARLO SCATTARE
VOGLIO $E < 0$
(QUINDI $V^+ < 0$)

APPLICO PSE: ON

$$V^+ = 10V \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

ON:
ON:

$$V^+ = V_{ck} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

EGUAGLIANDOLI, OTTENGONO $V^+ A 0V$ (E QUINDI SCATTA SE $>$)

$$10V \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_{ck} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow V_{ck} = \frac{10V}{3}$$

$\Rightarrow$ IL NOSTRO SEGNALE
CE LA FA

OFFORE, PSE CLASSICO:

$$10V \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{V_{ref} R_2}{R_1 + R_2} \text{ È NOTO } < 0 \text{ (QUINDI È SCATTATO)}$$

$\nearrow$ NEGATIVA
 $(-4V)$
 $\searrow$ CON $|V_{ref}| = 4V$

2) SUL GATE AZIONANO $+10V$ o $-10V$
 VOGLIO CHE $\downarrow$ SIA ACCESO $\downarrow$ SPENTO

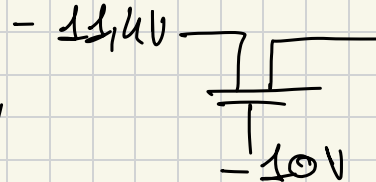
FASE DI SAMPLE: $V_{GS} \geq V_t$ (ACCESO)

$$\Rightarrow V_{in} \leq 10V - 1,4V$$

FASE DI HOLD: $V_{GS} \leq V_t$

$$\Rightarrow V_{in} \geq -10V - 1,4V$$

SE VADO SOTTO
 $\rightarrow$ SI ACCENDE!

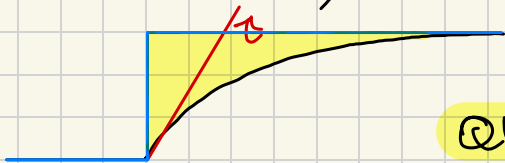


3) CON UN ADC SAREMO LEGATI ALL'LSB, QUI $\frac{1}{2000}$

NON CI SONO PARTICOLARI CONVENZIONI, SI PUÒ SCEGLIERE L'AMPIEZZA (DA $-2V$ A $2V$) $\rightarrow \frac{4}{2000}$ OPPURE $\frac{2}{2000}$ (2V)

QUESTA È LA NOSTRA TOLLERANZA, DOVUTA AL SAMPLE & HOLD

COME DALLA VOLTA SCORSA, IL CASO PESSIMO È UN GRADINO, CON RISPOSTA SUL CONDENSATORE:



QUESTO È L'ERRORE (VALORE FINALE

$$= 4V e^{-t/\tau} \text{ (ESPONENZIALE DECRESCENTE) DOVE SONO}$$

MITORNA, CON L'AUMENTARE DI t DIMINUISCE CON L'ESPONENZIALE ($t \rightarrow \infty$ AURELIO)

HA VISTO CHE NON HO TEMPO INFINITO;

$$4V e^{-t/\tau} = \frac{1}{2000} \frac{1}{4000}$$

MI MANCA LA $\tau = RC$ (LA R È QUELLA DEL MOS)

$$R_{\text{DS(on)}} = \frac{1}{2K(V_{GS} - V_T)} \cong 15\Omega$$

$\uparrow$ $\frac{5mA}{V^2}$ $\downarrow$ $\uparrow$ $14V$

$V_G = 10V$

V_S È IL CASO PESSIMO (2V)

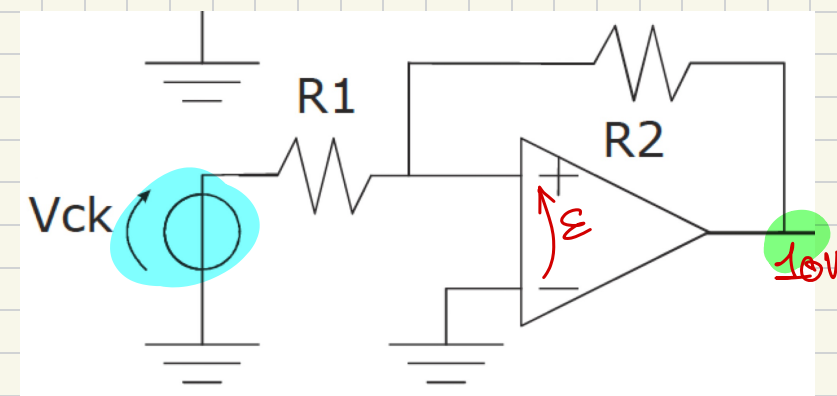
$\Rightarrow V_{GS}$ PIÙ PICCOLA POSSIBILE (8V)

MI MANCA t MA IL TESTO CI DICE CHE IL CIRCUITO DEVE FUNZIONARE CORRETTAMENTE, QUINDI t È LA

$$T_{\text{SAMPLE}} = S_{MS}$$

$$\Rightarrow \tau \leq \frac{t_{\text{SAMPLE}}}{\ln(4000)} \quad \tau = 15\Omega \cdot C \Rightarrow C \leq \frac{S_{MS}}{\ln(4000)} \cdot 15\Omega = 40pF$$

4) VUOLLO LA MINIMA RESISTENZA AFFINCHÉ



QUINDI VUOLLO $V^+ < 0$ PER SCATTARE ($\epsilon < 0$)

SEMETTO $V_{CK} = 4V$

NATURALMENTE NON HO SPERANZA (V^+ NON SARÀ MAI < 0)

PENGO $V_{CK} = -4V$

PSE: SPENGO

$$10V \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

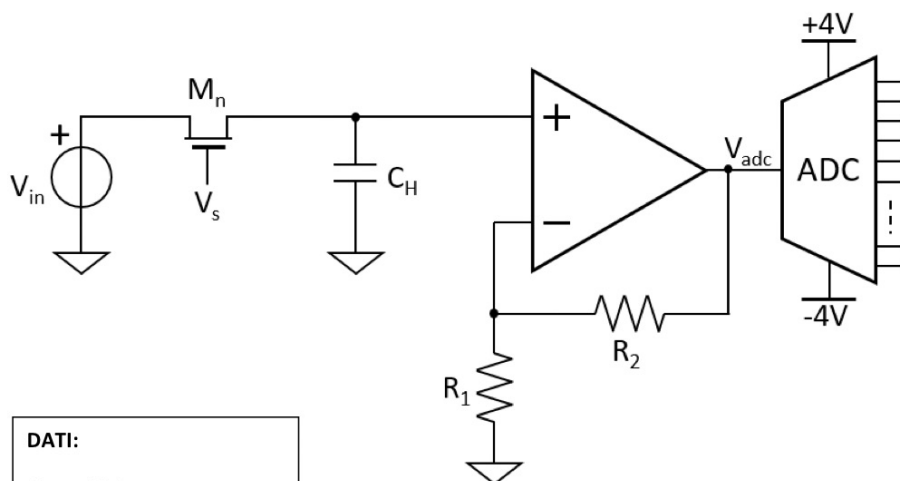
SPENGO

$$-4V \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow 10V \frac{R_1}{R_1 + R_2} - 4V \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} < 0 \Rightarrow R_2 \geq 25k\Omega$$

Dato il circuito in figura:

- Calcolare la risoluzione all'ingresso del circuito di conversione;
- Sia $V_{in}(t)$ un segnale compreso tra $\pm 20\text{mV}$, determinare T_{sample} minimo con $R_{\text{on}}=100\Omega$;
- Determinare la massima durata della fase di hold (T_{hold}) se l'operazionale presenta una corrente di bias al nodo d'ingresso $I_b=2\text{nA}$;
- Calcolare l'errore in LSB dovuto ad una tensione di offset dell'operazionale $V_{\text{os}}=100\mu\text{V}$



DATI:

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

$$R_2 = 9\text{k}\Omega$$

$$C_H = 10\text{nF}$$

$$n_{\text{BIT}} = 13$$

a) $LSB = \frac{FSR}{2^{n \rightarrow 13}} \rightarrow 8\text{V} (-4\text{V} \rightarrow 4\text{V}) = 976\mu\text{V}$

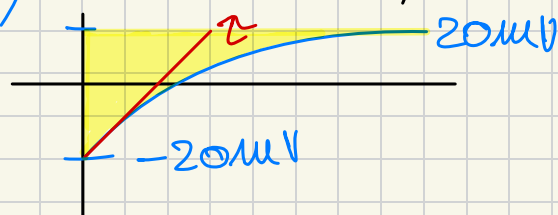
QUESTA PERÒ È ALL'INGRESSO DELL'ADC, MA NOI LA VOGLIAMO SULL'INGRESSO

HO UN SAMPLE & HOLD E UN AMPLIFICATORE, CHE INVECE CAMBIA LE COSE!

È UNA CONF. NON INVERTENTE ($G = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 10$)

MA QUINDI $LSB_{IN} = \frac{976\mu\text{V}}{10} = 97,6\mu\text{V}$

b) COME PRIMA, $-20\text{mV} \rightarrow 20\text{mV}$ A GRADINO:



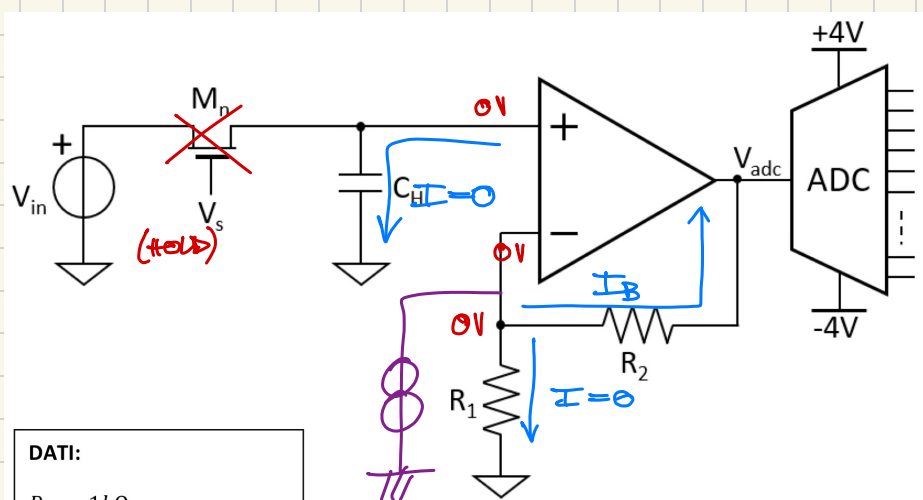
PRIMO PRIMA DELL'AMPLIFICAZIONE

$\Rightarrow \text{ERRORE} = 40\text{mV} \cdot e^{-t/\tau}$

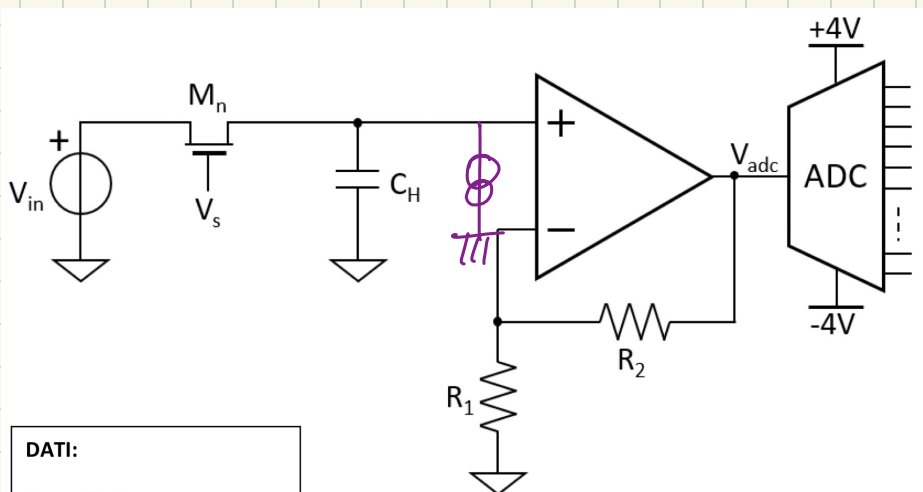
$\tau = RC = 100\Omega \cdot 10\mu\text{F}$

LO VOGLIO UGUALE ALL' LSB IN ("ERRORE MASSIMO")
 $\Rightarrow t = -\tau \ln\left(\frac{97.6 \mu V}{40 mV}\right) = 6 \mu s$ (QUESTO È IL TEMPO MINIMO, PIÙ PASSA IL TEMPO, PIÙ L'ERRORE SI STINGE)

c) AVERÒ LA CORRENTE DI BIAS AI DUE NODI E QUINDI UN OFFSET SULL' USCITA: È UN PROBLEMA MA NON È CIÒ CHE MI STANNO DOMANDANDO (È INDIPENDENTE DALLA DURATA DELLA FASE DI HOLD)
 O MEGLIO, QUELLA AL NODO - NON INFLUISCE:



MA AL NODO +;



C_H SI CARICA/SCARICA!

$$\text{ERRORE} = \frac{I}{C} \cdot t$$

TENSIONE DI UN CONDENSATORE IN CARICA/SCARICA A CORRENTE COSTANTE

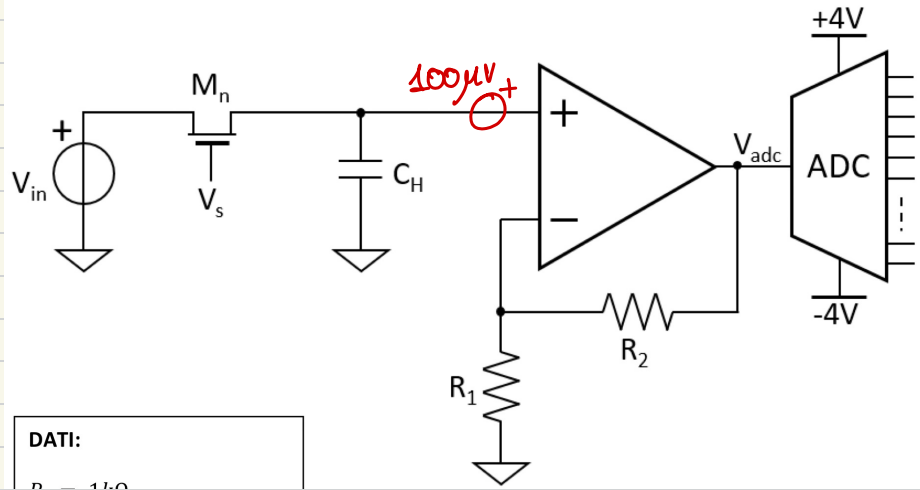
VOGLIO ANCORA SIA MINORE DI UN LSB!

$$\Rightarrow \frac{I}{C} t < \text{LSB} \Rightarrow t = 488 \mu s$$

$\uparrow$ 2 μA
 $\uparrow$ 10 nF
 $\downarrow$ 97.6 μV

QUESTO È IL TEMPO MASSIMO! PIÙ PASSA IL TEMPO, PIÙ SI SCARICA

d)



IN USCITA AVO' $V_{in} \cdot 10$, MA ORA ANCHE $100\mu V \cdot 10$ (QUADRAIO)

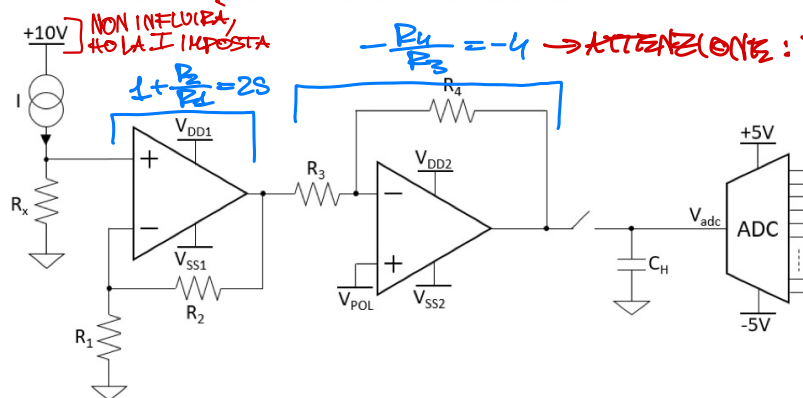
$\rightarrow \text{LSB}_{\text{OFF}} = \frac{100\mu V}{37,6\mu V} = 1,02 \Rightarrow$ STO DICENDO CHE HO UN LSB D'ERRORE

3)

Dato il circuito in figura:

- Determinare il numero di bit necessario per avere una risoluzione di almeno 0.1% ;
- Calcolare il massimo valore di R_x misurabile;
- Determinare le tensioni di alimentazione dei due operazionali per avere un corretto funzionamento del circuito (considerare operazionali con uscita rail-to-rail);
- La resistenza d'ingresso dell'ADC può assumere un valore compreso tra $100k\Omega$ e $1M\Omega$.

Dimensionare C_H per avere un errore $\epsilon < 1\text{LSB}$ con $T_{\text{HOLD}} = 10\mu s$.



DATI:

$R_1 = 2k\Omega$
 $R_2 = 48k\Omega$
 $R_3 = 5k\Omega$
 $R_4 = 20k\Omega$
 $I = 100\mu A$
 $V_{pol} = +1V$

d)

CAPISCO CHE R_x È "IL MIO SEGNALE" E VOGLIO MISURARLA

HO $100\mu A$ SU $R_x \Rightarrow 100\mu A \cdot \underline{0,1\Omega}$ (MINIMO); QUESTO SARÀ IL MIO SEGNALE, MOLTIPLICATO PER $25 \cdot 4$ DEVE ESSERE 1LSB (DELL'ADC)

$100\mu A \cdot 0,1\Omega \cdot 25 \cdot 4 = 1\mu V \Rightarrow 1\mu V \cdot \frac{10V}{2\mu}$ (MODULO)

⇒ QUANTO DEVE ESSERE n ?

QUANTI LIVELLI DOVRÀ AVERE?

$$N_{\text{livelli}} = \frac{10V}{1mV} = 10000 \rightarrow 14 \text{ bit } (\lceil \log_2(10000+1) \rceil)$$

(OVVIAMENTE NE HA DI PIÙ)

b) SE VADO SOPRA/SOTTO $\pm 5V$ DELL'ADC L'HO SATURATO E NON MISURO PIÙ!

→ IL -4 È SOLO RIFERITO A INGRESSO, MA V_{POL} DÀ UN OFFSET

RICORDIAMOCI DELLA V_{POL} A $1V$: QUANDO IL PRIMO OPAMP È A 0, ^(PSE) HO L'USCITA DEL SECONDO A

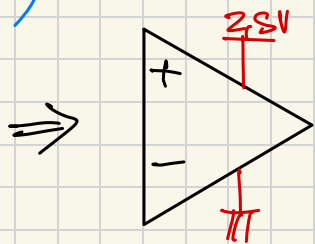
$$V_{\text{POL}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 5V$$

MA ANNO CHE SALE V_{IN} , $V_{\text{IN}} \cdot 25 \cdot (-4)$ INIZIA A SCENDERE FINO A $-5V$ (OLTRE COMunque NON LI VEDO)

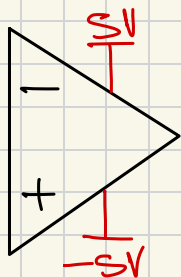
$$10V = 4 \cdot 25 \cdot I \cdot R_x \Rightarrow R_x = \frac{100}{25 \cdot 4 \cdot 100\mu A} = 1k\Omega$$

↓
 $100\mu A$

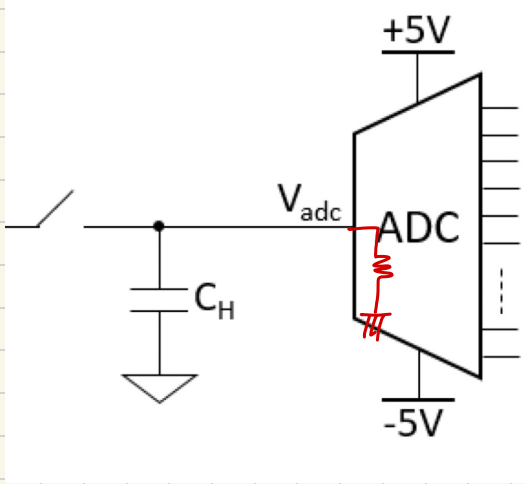
c) IL PRIMO OPAMP ABBIAMO VISTO VA DA 0Ω A $1k\Omega$



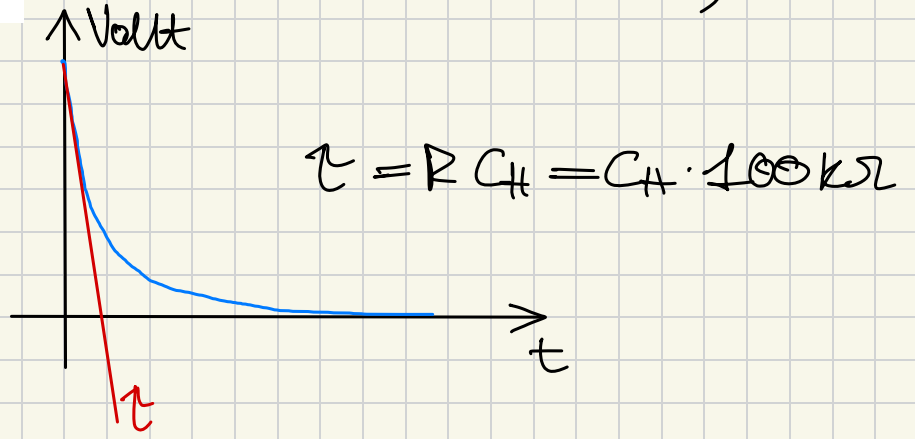
IL SECONDO HA LA V_{POL} CHE TRASLA L'USCITA ⇒ CONSIDERO IL PRIMO E LA V_{POL} :



d)



QUAL È IL CASO PESSIMO?
 INDIVIDUIAMO IL PROBLEMA:
 A CAUSA DELL'PC LA CAPACITÀ
 SI SCARICA: PIÙ R È GRANDE
 PIÙ SI SCARICA VELOCEMENTE
 (IDEALMENTE VORREI ∞)



QUANTO VALE L'AMPREZZA? 5V (VADO DA -5V A 5V)

$$\Rightarrow \text{Volt} = 5V e^{-t/\tau}$$

MA MI INTERESSA L'ERRORE! CHE È $5V(1 - e^{-t/\tau})$

PIÙ PASSA IL TEMPO, PIÙ L'ERRORE SALE

$$5V(1 - e^{-t/\tau}) = 1\text{LSB} \rightarrow \frac{\text{FSR}}{2^n} = \frac{10V}{2^{14}}$$

↓
 $t = 10\mu s$

PIÙ PASSA IL
 TEMPO, PIÙ
 L'ERRORE SALE!

$\tau = R C_H \Rightarrow$ MI MANCA C_H
 ↓
 $100\text{ k}\Omega$

$$\Rightarrow \tau = - \frac{t}{\ln(1 - \frac{2}{10^{14}})} = 81,9\text{ ms}$$

$$\Rightarrow C_H \geq 819\text{ }\mu\text{F}$$