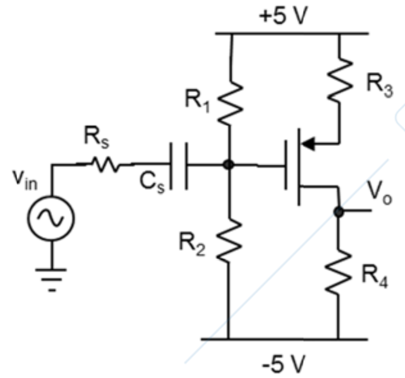
www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

Fondamenti di Elettronica – Ing. AUTOMATICA - AA 2016/2017

Appello del 7 Luglio 2017

Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a) …
Risolvere per prime le domande in grassetto (domande obbligatorie)

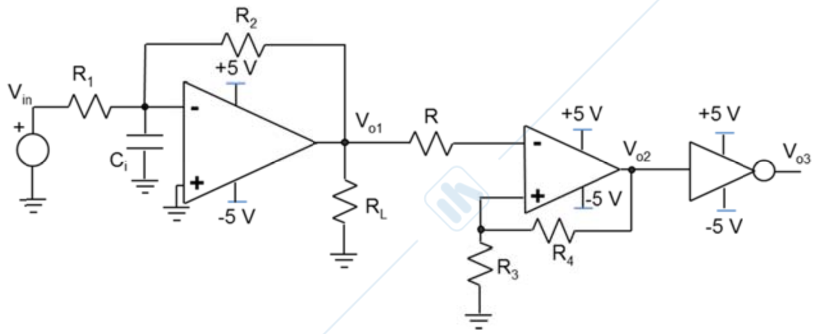
Esercizio 1.
Si consideri l'amplificatore a MOSFET in figura.



k = 1 mA/V², V_T = -1V
R_s=1 kΩ, R_1=600 kΩ, R_2=400 kΩ, R_4=4 kΩ

a) **Determinare il valore di R3 tale che la corrente di drain sia pari a 1 mA. Calcolare la polarizzazione di tutto il circuito.**
b) **Determinare l'espressione ed il valore del guadagno v_o/v_{in} ad alta frequenza (usare il valore di R3 trovato al punto precedente).**
c) Assumendo che il segnale di ingresso abbia uno spettro di frequenze nella banda 1 kHz – 100 kHz, determinare il valore raccomandabile di C_s tale da poterla considerare un corto circuito per il segnale.
d) Si determini l'espressione della tensione di uscita Vo(t) (polarizzazione + segnale) in risposta ad un gradino positivo in ingresso. Successivamente determinare la massima ampiezza di tale gradino che mantenga il transistore in zona di saturazione, motivando la risposta.

Esercizio 2.
Si consideri il circuito mostrato in figura. Gli amplificatori operazionali saturano alle tensioni di alimentazione. La porta NOT (inverter) e' in tecnologia CMOS ed e' simmetrica.

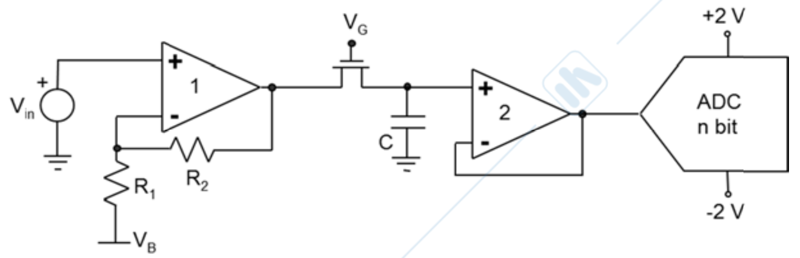


Dati:
GBWP(A.O.)=1 MHz
R_1=1 kΩ, R_2=10 kΩ
R_L=1 kΩ
R=1 kΩ
C_i=2nF

R_4=8 kΩ
Inverter CMOS simmetrico

a) **Si calcoli il guadagno ideale V_{o1}/V_{in} del primo stadio e si determini la massima frequenza per cui il guadagno reale possa essere considerato pari al valore ideale trovato.**
b) **Si valuti la stabilita' del primo stadio e si calcoli il margine di fase.**
c) Si determini il valore di R3 tale che il secondo stadio riesca a discriminare correttamente l'attraversamento della linea di zero della tensione Vo1(t) anche quando ad essa e' sovrapposto un disturbo di 500mV picco-picco.
d) Disegnare il grafico di Vo1(t), Vo2(t), Vo3(t) in risposta al segnale di ingresso Vin=0.4V*sin(2πft), quotando i punti significativi ed allineando i grafici con il medesimo asse temporale (si assuma f a bassa frequenza).

Esercizio 3.
Si consideri la catena di conversione A/D mostrata in figura. Il segnale di ingresso e' **Vin(t)=0.4V*sin(2πf*t) + 0.4V**.



Dati:
R_1=1 kΩ
R_2=4 kΩ
C=1 nF

a) **Determinare il valore della tensione di polarizzazione VB ed il numero di bit del convertitore A/D tali da consentire la digitalizzazione del segnale di ingresso con risoluzione (riferita all'ingresso) migliore di 2 mV.**
b) **Determinare la minima frequenza di clock (f_{ck}) dell'ADC, supposto a gradinata e con n=12 bit, che consenta la corretta digitalizzazione del segnale di ingresso Vin(t) quando f=20 kHz.**
c) Assumendo che l'A.O.2 abbia uno Slew Rate di 10 V/μs, determinare il valore del parametro Io|max (massima corrente di uscita) dell'A.O.1 necessario per non peggiorare la risoluzione.

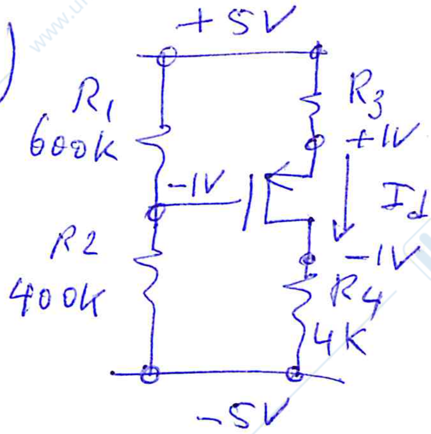
www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

TRACCIA SOLUZIONE T.E. 7/7/17

Es. 1

1a)



In polarizzazione $V_{in}=0$ e C_S aperto.

$V_G = -5V + 10V \frac{400k}{1000k} = -5V + 4V = \underline{-1V}$

Se $I_d = 1mA$ e MOS saturo:

$I_d = kV_{OD}^2 \rightarrow V_{OD} = -\sqrt{\frac{I_D}{K}} = -\sqrt{\frac{1mA}{\frac{1mA}{V^2}}} = \underline{-1V}$

$\rightarrow V_{GS} = V_{OD} + V_T = -2V$

$\rightarrow V_S = V_G - (-2V) = \underline{+1V}$

$\rightarrow V_D = -5V + 4k\Omega \times 1mA = \underline{-1V}$

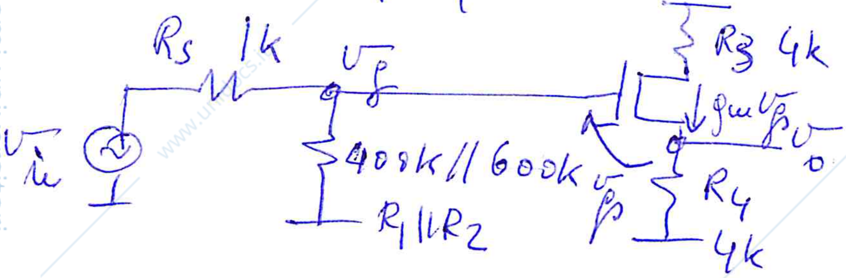
Quindi $R_3 = \frac{V_{R3}}{I_d} = \frac{5V - 1V}{1mA} = \underline{\underline{4k\Omega}}$

Verifica saturazione:

$V_{DS} = -1V - 1V = -2V < V_{OD} = -1V \rightarrow$ OK! MOS SAT.

1b) Assumo $R_3 = 4k\Omega$ dal pto. 1a.

Circuito eq. per piccoli segnali → spengo alim. DC.
Ad alta frequenza assumo che C_S → chiusa.



$g_m = \frac{2I_d}{|V_{OD}|} = 2\,mA/V$

$v_g = v_{in} \frac{400k//600k}{\underbrace{400k//600k}_{240k} + 1k} \simeq v_{in}$

$v_o = -v_g \frac{\overbrace{g_m R_4}^{=8}}{1 + \underbrace{g_m R_S}_{=8}} = -v_g \frac{8}{9} = -v_{in} \frac{8}{9}$

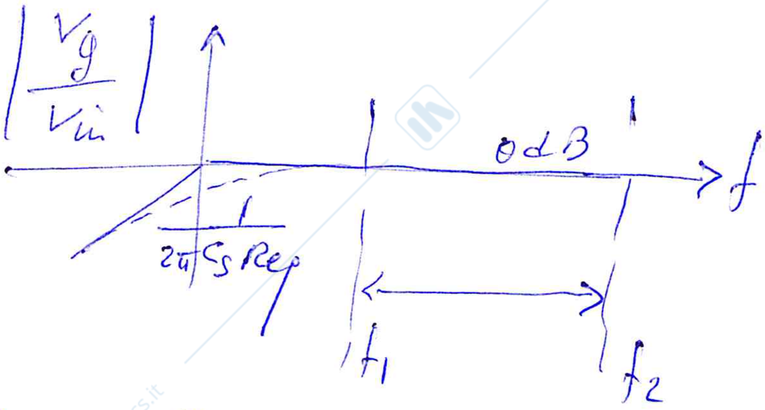
$\Rightarrow \frac{v_o}{v_{in}} = -\frac{8}{9} \simeq \underline{-0.89}$

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

1c) C_S ha l'effetto di introdurre uno zero nell'origine e un polo (passa-alto)

polo di C_S → $\tau_S = C_S(\underbrace{R_S + R_1 \| R_2}_{R_{eq} \text{ "vista" da } C_S}) \simeq C_S \cdot 240k\Omega$

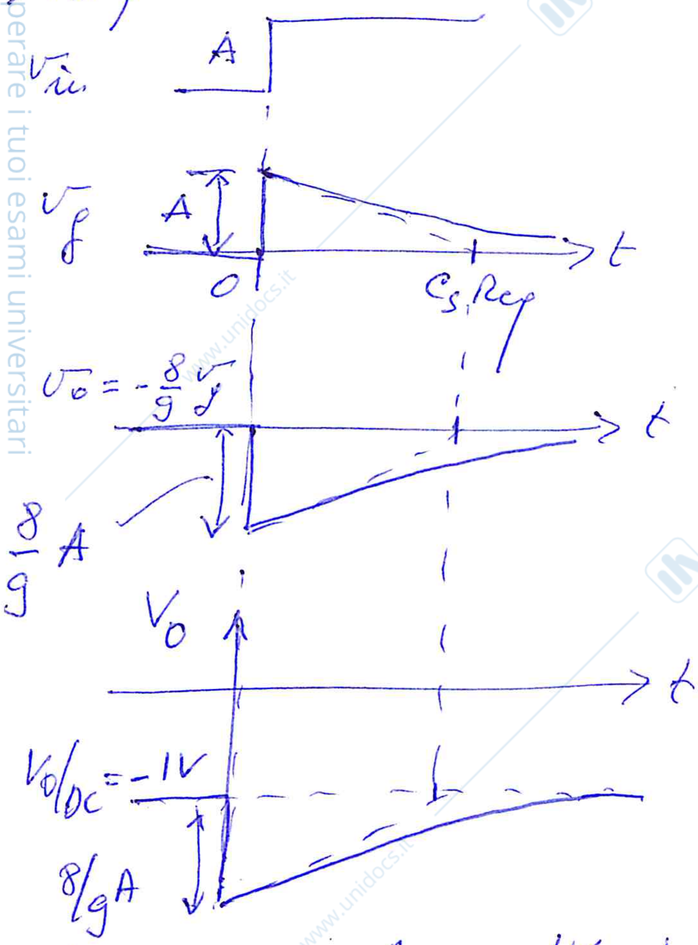


Deve essere:

$$\frac{1}{2\pi C_S R_{eq}} \ll f_1 \to C_S \gg \frac{1}{2\pi f_1 R_{eq}} = \cancel{66}\ 663\ pF$$

Prendo ad es. $C_S = 10 \cdot 66pF = \cancel{0.66}\ \underline{6.6\ nF}$

1d)



$$v_o(t) = \left(-\frac{8}{9}\right) A e^{-t/R_{eq}C_S}$$

$$V_O(t) = V_O|_{DC} + v_o(t) = -1V + \left(-\frac{8}{9}\right) A e^{-t/R_{eq}C_S}$$

- Al crescere di A → $|V_{GS}|$, I_d diminuiscono

Al limite, per $V_{GS} = -1V$ → MOS OFF ($I_d = 0$) → $V_G|_{max} = 5V - 1V = \underline{4V}$

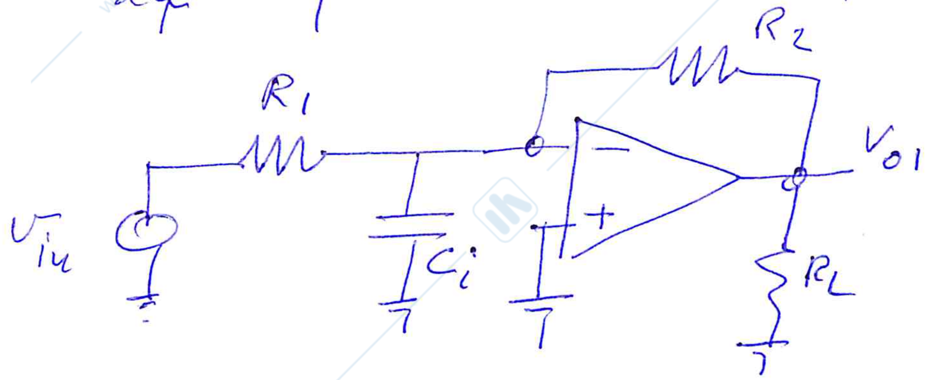
Per cui: $V_G = V_G|_{DC} + A = 4V \to \underline{A|_{max} = 5V}$.

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

ES. 2

2a) Disegniamo il 1° stadio, considerando che la Req del ramo R è infinita.

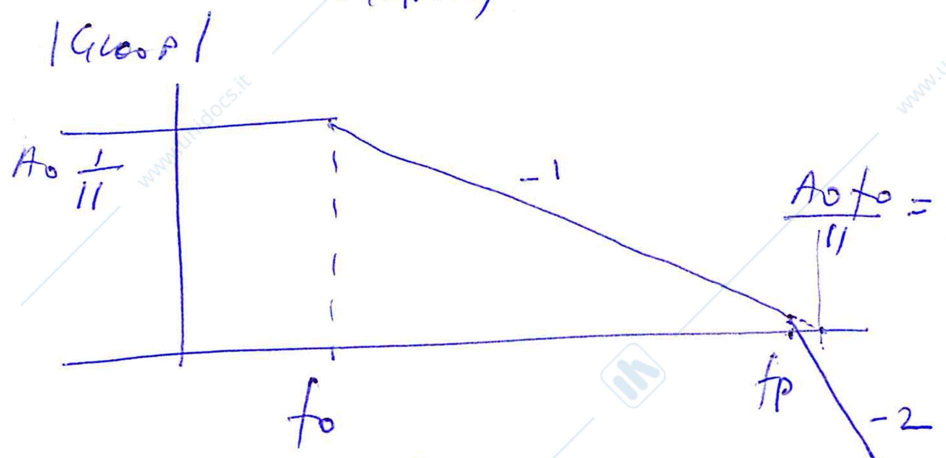


$G_{ID} = -\frac{R_2}{R_1} = \underline{-10}$ classica conf. inv. ($v^+ = v^-$)

Per verificare l'intervallo di freq. per cui $\frac{V_{O1}}{v_{in}} \simeq G_{ID}$ calcoliamo G_{LOOP} e verifichiamo la condizione $|G_{LOOP}| > 1$.

$$G_{LOOP}(s) = -A(s)\frac{R_1}{R_1+R_2}\frac{1}{1+sC_i R_1 \| R_2}$$

$$f_P = \frac{1}{2\pi C_i (R_1 \| R_2)} \simeq 90\,kHz$$



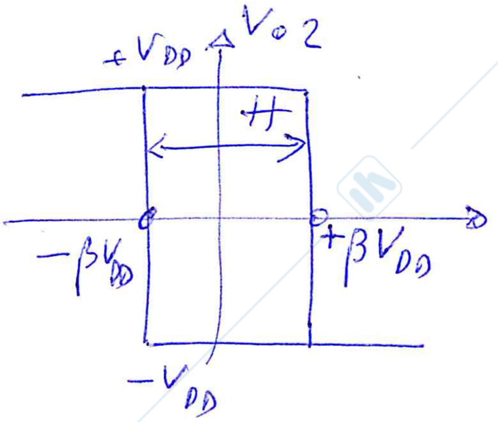
→ massima frequenza per cui $\frac{V_{O1}}{v_{in}} \simeq G_{ID}$ è circa pari a $\underline{f_P = 90\,kHz}$.

2b) Dal grafico di Bode del G_{LOOP} (vedi pto 2a) si deduce facilmente che $\varphi_m \simeq 45°$.

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

2c) Il 2° stadio è un TdS invertente con valore medio delle soglie di scatto pari a Ø. La caratteristica statica in/out è la seguente



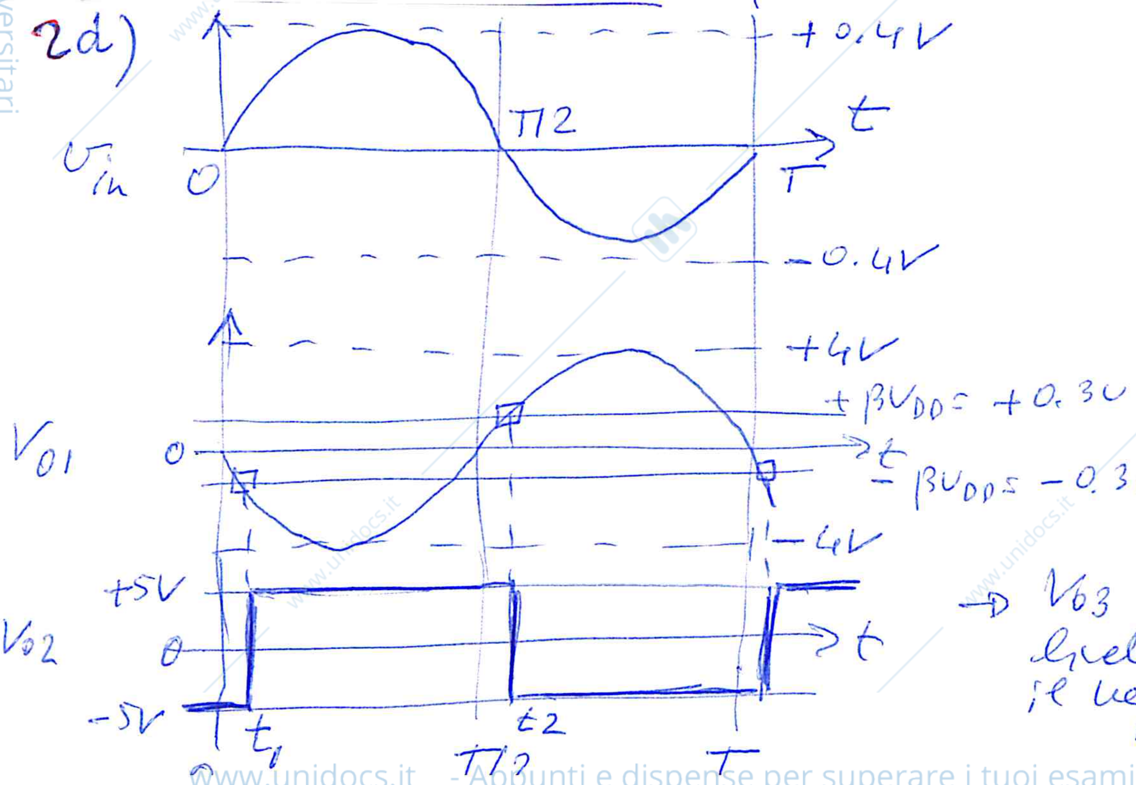
L'ampiezza dell'isteresi H vale: $H = 2\beta V_{DD}$ con $\beta = \dfrac{R_3}{R_3 + R_4}$

In presenza di disturbi sovrapposti alla tensione $V_{o1}(t)$, quando questa attraversa la linea di zero possono verificarsi scatti indesiderati se l'ampiezza di isteresi H non è sufficientemente grande rispetto all'ampiezza dei disturbi.
Per cui basta imporre $H > 500\,mV$, da cui:

$$2\beta V_{DD} = 500\,mV \rightarrow \beta > \frac{0.5V}{2 \times 5V} = \frac{1}{20}$$

$$\rightarrow \underline{R_3 > 0.421\,k\Omega} \quad (\text{ad es. } R_3 = 0.5\,k\Omega)$$

2d)



→ V_{o3} scatta tra i livelli $\pm 5V$ ed è il negato di V_{o2} –

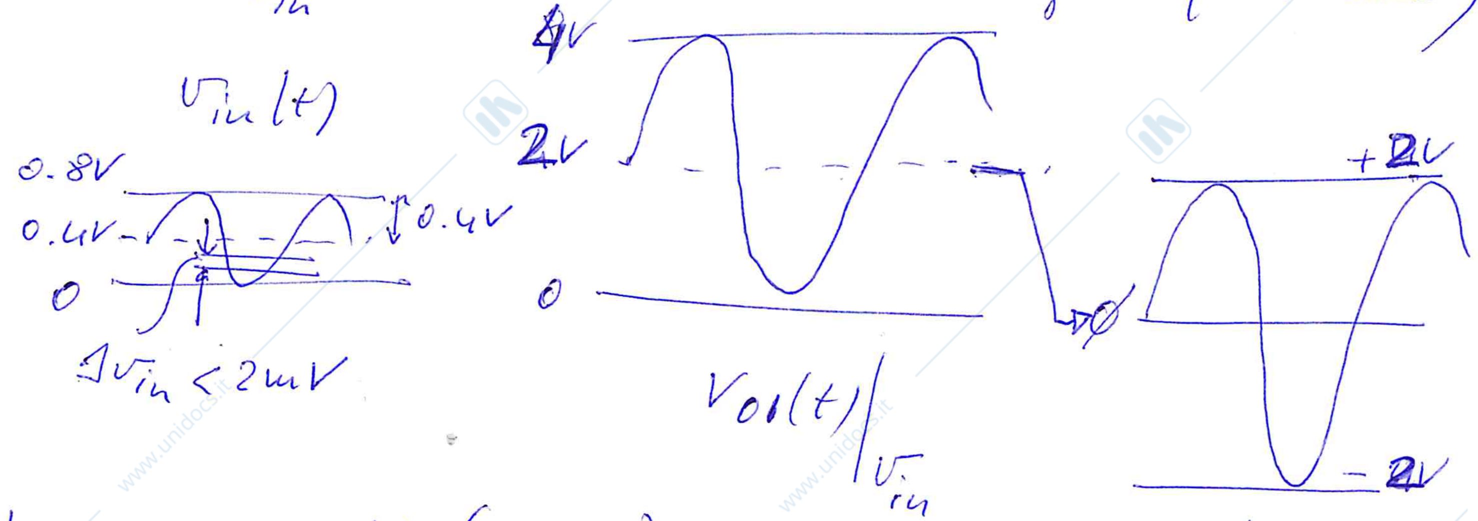
www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

Es. 3

3a) $v_{in}(t) = 0.4V \times \sin 2\pi f t + 0.4V$

$$V_{o1}\Big|_{v_{in}} = v_{in}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) = 5 \times v_{in}$$ (Si assume il guadagno ideale)



In assenza di V_B ($V_B = 0$), il segnale $V_{o1}(t)$ copre l'intervallo 0 – 4V che non è allineato all'intervallo analogico dell'ADC. E' necessario traslare V_{o1} di (-2)V, per cui:

$$V_{o1}\Big|_{V_B} = -V_B\frac{R_2}{R_1} = -2V \rightarrow V_B = \frac{2V}{R_2/R_1} = \frac{2V}{4} = \underline{0.5V}$$

- Risoluzione richiesta $\Delta v_{in} < 2mV$, per cui:

$$\Delta V_{ADC} = 5 \times \Delta v_{in} = 10mV$$

$$\rightarrow LSB_{ADC} = \frac{4V}{2^n} < 10mV$$

$$2^n > \frac{4V}{10mV} = 400 \rightarrow n \geq 9 \quad (n = 9,\ 2^n = 512)$$

3b) $T_{conv} = 2^{12} \times \frac{1}{f_{ck}}$ ADC a gradinata

La frequenza di campionamento è:

$$f_c = \frac{1}{T_S + T_H} \overset{T_H = T_{conv}}{=} \frac{1}{T_S + T_{conv}} \cong \frac{1}{T_{conv}}$$ (tipicamente $T_S \ll T_H$)

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

La cond. del Th. campionamento richiede

$$f_c > 2 f_{in}\big|_{max} = 2 \times 20\,kHz = 40\,kHz$$

Di qui si ottiene:

$$f_c \sim \frac{1}{T_{conv}} > 2 f_{in}\big|_{max} \rightarrow T_{conv} < \frac{1}{2 f_{in}\big|_{max}} = \frac{1}{40\,kHz} = \cancel{0.0125}\ 0.025 \cdot 10^{-3}\,s$$

$$T_{conv} = \frac{2^{12}}{f_{ck}} < \underbrace{\cancel{0.0125}\ 0.025 \times 10^{-3}\,s}_{\cancel{12.5}\ 25\,\mu s} \rightarrow f_{ck} > \frac{2^{12}}{\cancel{12.5}\ 25\,\mu s} \simeq \cancel{318}\ 159\,MHz$$

3c) All'inizio della fase di sample (MOS acceso), nel caso di interruttore ideale ($R_{MOS} \sim \phi$), la massima corrente erogata dal 1° stadio limita la derivata di v_C e, dopo il buffer, quindi di v_{02}.

Deve essere:

$$i_C\big|_{max} = C \frac{dv_C}{dt} > C\, SR_2 = 10^{-9}\,F \times 10^{\cancel{6}\,7}\,\frac{V}{s} = 10\,mA$$

Essendo $I_O\big|_{A01} = i_C + i_{R_2}$

Prendiamo per i_{R_2} il valore massimo (caso peggiore)

$$i_{R_2}\big|_{max} = \frac{V_{01}\big|_{max}}{R_1 + R_2} = \frac{2V}{5k} = 0.4\,mA$$

$$\rightarrow I_{OMAX}\big|_{A01} \geq 10\,mA + 0.4\,mA = 10{,}4\,mA$$

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari