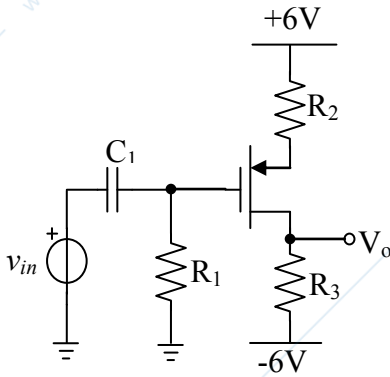


Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a) ...

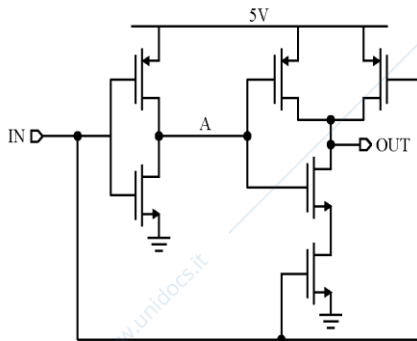
Esercizio 1.



Dati:
 $k=0.5 \text{ mA/V}^2$, $|V_T|=0.5 \text{ V}$
 $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $C_1=10 \text{ nF}$
 $R_2 = 1.75 \text{ k}\Omega$
 $R_3 = 2 \text{ k}\Omega$

- Calcolare la polarizzazione del circuito.
- Calcolare l'intervallo dei valori utilizzabili per la resistenza R_3 per cui il transistore MOSFET e' polarizzato in saturazione.
- Trovare l'espressione della funzione di trasferimento $v_{out}/v_{in}(s)$ e disegnarne i grafici di Bode in modulo e fase quotando i punti significativi.
- Sia $v_{in}(t)$ un'onda quadra di frequenza 1 kHz con livelli di +200mV e -200mV. Determinare l'espressione del segnale di uscita $v_o(t)$ e disegnare l'andamento della tensione di uscita complessiva (polarizzazione + segnale) in un periodo.
- Dato l'ingresso $v_{in}(t)$ del punto precedente, stabilire se il transistore MOSFET puo' essere considerato in condizioni di piccolo segnale (assumere un fattore 10 di margine)

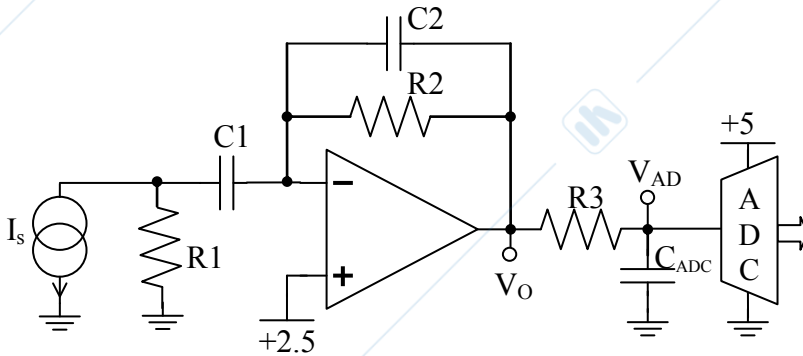
Esercizio 2.



Dati: $k_n=k_p=200\mu\text{A/V}^2$; $V_{Tn}=-V_{Tp}=1\text{V}$

- Considerando una capacit  $C_{L,1} = 5\text{pF}$ afferente al nodo A, calcolare i tempi di propagazione alto-basso e basso-alto da IN ad A.
- Data in ingresso un'onda quadra di ampiezza 5V, frequenza 1MHz e duty cycle 50%, disegnare in un grafico quotato le forme d'onda in A ed OUT. Si consideri per la seconda porta logica tempo di propagazione nullo e soglia di commutazione a met  dinamica.
- Considerando la forma d'onda di ingresso al punto precedente ed una capacit  $C_{L,2}=10\text{pF}$ in uscita, calcolare la potenza dinamica dissipata dal circuito.
- Come cambia il tempo di propagazione calcolato al punto 1 se si raddoppia la tensione di alimentazione? E se vengono raddoppiate K_n e K_p ?

Esercizio 3.



Dati:
 $R_1= 1\text{M}\Omega$ $C_1= 100\text{nF}$
 $R_2=10\text{M}\Omega$ $C_2= 1\text{pF}$
 $R_3= 8\text{k}\Omega$ $C_{ADC}= 1\text{nF}$

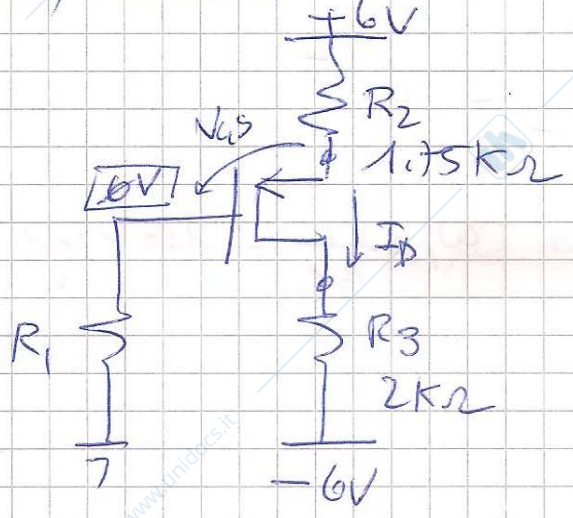
ADC ad approssimazioni successive a 14 bit comandato da un clock a 100 MHz.

Si assuma l'amplificatore operazionale ideale e $i_s(t)=A\cdot\sin(2\pi ft)$ con $A=100\text{nA}$ e $f=1\text{kHz}$

- Determinare la funzione di trasferimento $V_o(s)/I_s(s)$ e tracciare il modulo del suo diagramma di Bode
- Determinare la tensione $v_o(t)$ e rappresentarla su un diagramma temporale quotato
- Calcolare la differenza tra l'ampiezza massima di $v_o(t)$ e l'ampiezza massima di $v_{ADC}(t)$ esprimendola in LSB dell'ADC.
- Trovare la variazione massima del segnale $v_{ADC}(t)$ durante il tempo di conversione dell'ADC. Alla luce del risultato ottenuto   opportuno inserire un S&H nella catena di acquisizione? Giustificare la risposta.
- Si assuma l'amplificatore operazionale con un guadagno $A_0=1000$. Di quanto cambia l'ampiezza della tensione v_{ADC} rispetto al caso di amplificatore ideale? Esprimere l'errore in LSB.

ES. 1

1a) Polarizzazione



$$\begin{cases} V_G = 0 \\ 6V = V_G - V_{GS} + R_2 I_D \quad (LKT) \end{cases}$$

$$\hookrightarrow 6V = -V_{GS} + R_2 k (V_{GS} - V_T)^2$$

$$(V_{OD} = V_{GS} - V_T)$$

$$\hookrightarrow 0.875 V_{OD}^2 - V_{OD} - 5.5 = 0$$

$$V_{OD} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + 4 \times 0.875 \times 5.5}}{2 \times 0.875} = \begin{cases} -2 \text{ si} \\ +3.14 \text{ no} \end{cases}$$

$$\rightarrow I_D = k V_{OD}^2 = 0.5 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2} \times 4V^2 = \underline{2 \text{ mA}}$$

$$V_S = 6V - R_2 I_D = 6V - 3.5V = +2.5V$$

$$V_D = -6V + R_3 I_D = -6V + 4V = -2V$$

$\rightarrow V_{DS} = -4.5 < V_{OD} = -2$ transistor saturo ok

1b) intervallo di valori di R_3

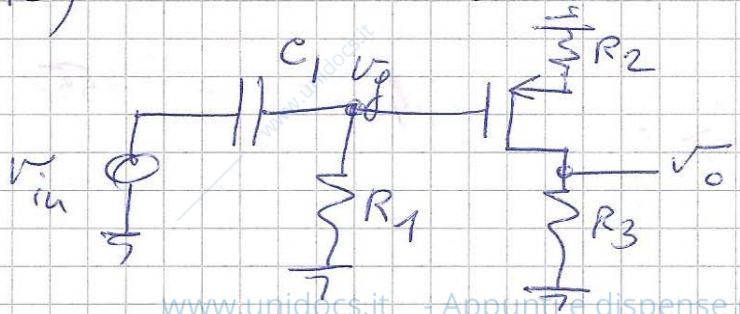
Affinché il MOS sia saturo, deve valere la condizione: $V_{GD} \geq V_T$

$$\rightarrow V_{GD} = -V_D = -(-6 + R_3 \times 2 \text{ mA}) \leq -0.5V$$

da cui si ottiene: $R_3 \leq \frac{6.5V}{2 \text{ mA}} = \underline{3.25 \text{ k}\Omega}$

Perciò per $0 \leq R_3 \leq 2.75 \text{ k}\Omega$ il MOS è saturo, mentre per $R_3 > 2.75 \text{ k}\Omega$ il MOS è in zona triodo.

1c) Funzione di trasferimento v_o/v_{in} (s)



$$v_g = \frac{R_1}{R_1 + \frac{1}{sC_1}} v_{in} = \frac{sC_1 R_1}{1 + sC_1 R_1} v_{in}$$

$$v_o = \frac{-\mu_m R_3}{1 + \mu_m R_2} v_g$$

da cui si ottiene:

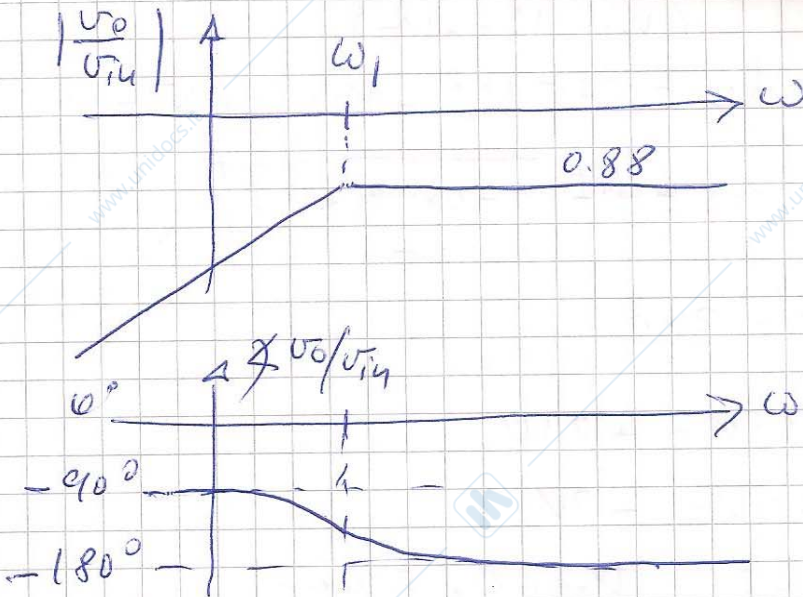
$$\frac{V_0(s)}{V_{in}} = \frac{f_{in} R_3}{1 + f_{in} R_2} \frac{s R_1 C_1}{1 + s R_1 C_1}$$

$$f_{in} = \frac{2f_D}{|V_{od}|} = 2 \text{ ms}^{-1}$$

$$\frac{f_{in} R_3}{1 + f_{in} R_2} = \frac{2 \text{ ms}^{-1} \times 2 \text{ k}\Omega}{1 + 2 \text{ ms}^{-1} \times 1.75 \text{ k}\Omega} = \frac{4}{4.5} = 0.88$$

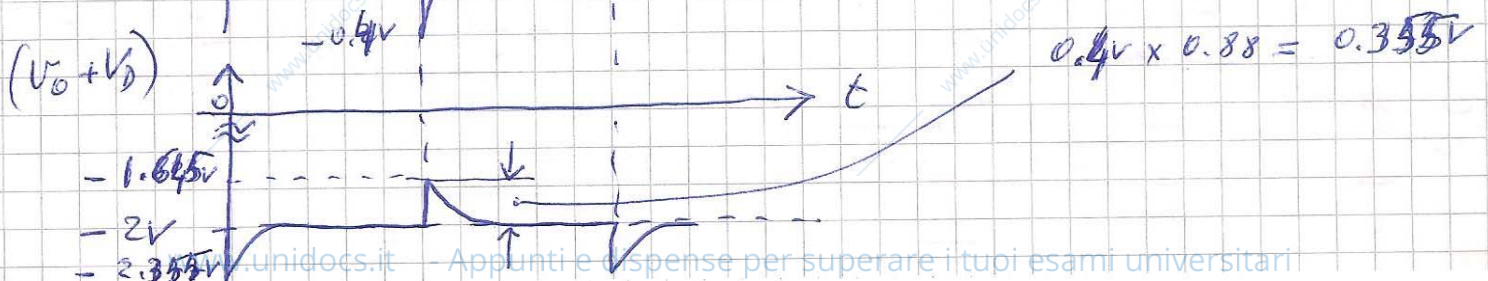
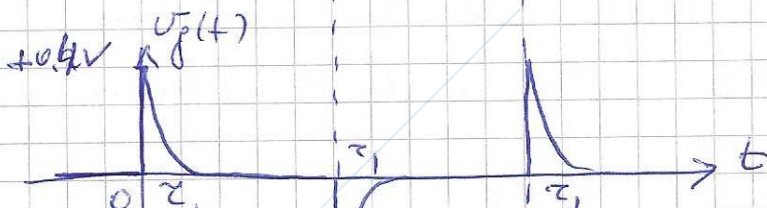
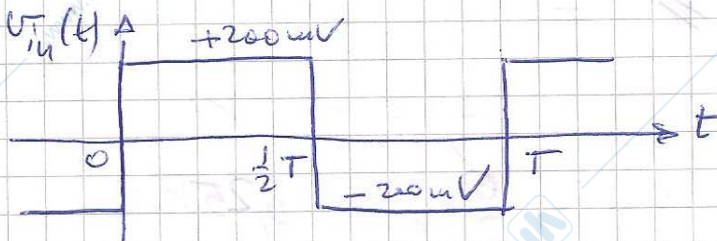
$$\tau_i = R_1 C_1 = 1 \text{ k}\Omega \times 10 \text{ nF} = 10 \mu\text{s}$$

$$\omega_1 = \frac{1}{R_1 C_1} = \frac{100 \text{ krad}}{\text{s}}$$



Ad) $V_{in}(t)$ onda quadrata 1 kHz

Essendo $R_1 C_1 = 10 \mu\text{s} \ll 500 \mu\text{s}$ (semiperiodo onda q.)
 si trascurano gli transienti entro ogni semiperiodo



1e) Condizione di piccolo segnale.

$$v_{gs} = v_g \frac{1}{1 + g_m R_2} = \frac{1}{4.5} v_g$$

per cui $|v_{gs}|_{\max} = \frac{1}{4.5} |v_g|_{\max} = \frac{0.4}{4.5} = \frac{88.8}{44.4} \mu\text{V}$

Essendo $\frac{88.8}{44.4} \mu\text{V} \ll 2 |V_{DS}| = 4\text{V}$, il pMOS può essere considerato in condi. di piccolo segnale $\left(\frac{4\text{V}}{\frac{88.8}{44.4} \mu\text{V}} \approx \frac{45}{10} > 10 \right)$

2) MOS simmetrici, tempi di propagazione alto-basso e basso-alto uguali. Soglia di commutazione a 2,5V. Considero la commutazione alto-basso.

2 Fasi:

① NMOS saturo per $V_A \geq 4V$

$$\Delta t_1 = \frac{C_{L,1} \cdot \Delta V}{I_{SAT}} = \frac{C_{L,1} \cdot (5V - 4V)}{k_n \cdot (5V - V_{Tn})^2} = 1,56 ns$$

② NMOS triodo per $V_A < 4V$

$$R_{eq} = \frac{V_{DS,SAT}}{I_{SAT}} = \frac{4V}{3,2mA} = 1,25 k\Omega$$

$$\tau = R_{eq} \cdot C_{L,1} = 6,25 ns$$

Scarica RC:

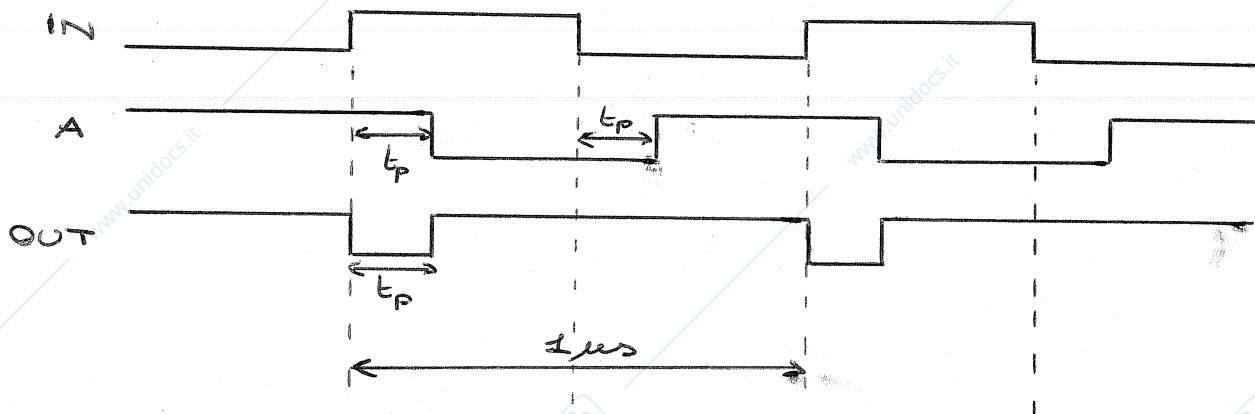
$$V_A = (V_0 - V_{\infty}) e^{-t/\tau} + V_{\infty}$$

$$2,5V = 4V e^{-\Delta t / 6,25 ns}$$

$$\Delta t_2 = 6,25 ns \cdot \ln\left(\frac{4V}{2,5V}\right) = 2,94 ns$$

Tempo di propagazione: $t_p = \Delta t_1 + \Delta t_2 = 4,5 ns$

b)



c)

Frequenza di commutazione della NOT: 1 MHz

Frequenza di commutazione della NAND: 1 MHz

$$P_{D,NOT} = f \cdot C_{L,1} \cdot V_{DD}^2 = 1 MHz \cdot 5 pF \cdot (5V)^2 = 125 \mu W$$

$$P_{D,NAND} = f \cdot C_{L,2} \cdot V_{DD}^2 = 1 MHz \cdot 10 pF \cdot (5V)^2 = 250 \mu W$$

$$P_{TOT} = 125 \mu W + 250 \mu W = 375 \mu W$$

d) Il ritardo di commutazione è inversamente proporzionale a k_n e k_p , e raddoppio k_n e k_p il tempo si dimezza.

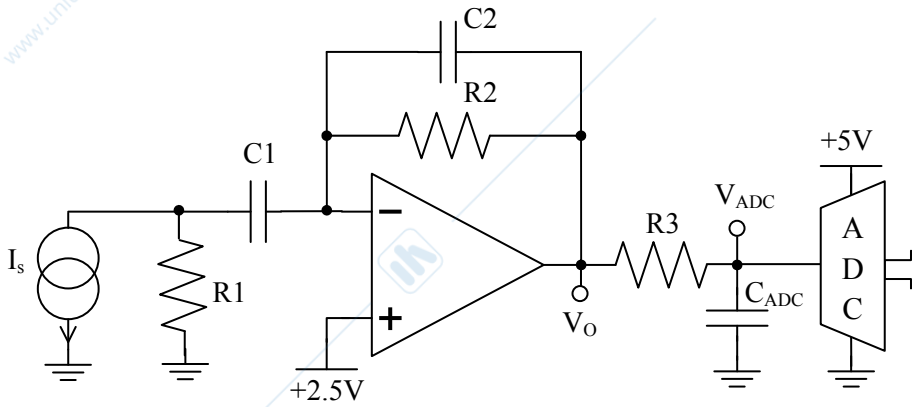
Se si considera la tensione di soglia del MOS molto minore di quella dell'alimentazione il ritardo di propagazione è inversamente proporzionale all'alimentazione. Quindi raddoppiando V_{DD} il tempo si dimezza.

Se si considera anche la tensione di soglia, raddoppiando V_{DD} il tempo è poco meno che dimezzato.

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



$R1= 1M\Omega$ $C1= 100nF$ $R2=10M\Omega$ $C2= 1pF$ $R3= 8k\Omega$ $C_{ADC}= 1nF$
 ADC ad approssimazioni successive a 14 bit comandato da un clock a 100MHz.

Si assuma l'amplificatore operazionale ideale e $i_s(t)=A \cdot \sin(2\pi ft)$ con $A=100nA$ e $f=1kHz$

- Determinare la funzione di trasferimento $V_o(s)/I_s(s)$ e tracciare il modulo del suo diagramma di Bode
- Determinare la tensione $v_o(t)$ e rappresentarla su un diagramma temporale quotato
- Calcolare la differenza tra l'ampiezza massima di $v_o(t)$ e l'ampiezza massima di $v_{ADC}(t)$ esprimendola in LSB dell'ADC.
- Trovare la variazione massima del segnale $v_{ADC}(t)$ durante il tempo di conversione dell'ADC. Alla luce del risultato ottenuto è opportuno inserire un S&H nella catena di acquisizione? Giustificare la risposta.
- Si assuma l'amplificatore operazionale con un guadagno $A_0=1000$. Di quanto cambia l'ampiezza della tensione v_{ADC} rispetto al caso di amplificatore ideale? Esprimere l'errore in LSB.

Soluzione sintetica:

- $I_{C1}=I_s \cdot sC1R1/(1+sC1R1)$
 $V_o=I_{C1} \cdot R2/(1+sC2R2)$
 $V_o(s)/I_s(s) = sC1R1 \cdot R2 / [(1+sR1C1)(1+sR2C2)]$
 $fp1= 1/2\pi R1C1= 1.6Hz$
 $fp2= 1/2\pi R2C2= 16kHz$
 Guadagno a centro banda (tra $fp1$ e $fp2$): $R2$
- Approssimando: $v_o(t)= 2.5V+R2 \cdot i_s(t) = 2.5V+ R2 \cdot A \cdot \sin(2\pi ft) = 2.5V+ 1V \cdot \sin(2\pi \cdot 1kHz \cdot t)$
 (Valori esatti: $|V_{out}/I_s|_{1kHz} = 9.98M\Omega$, $\angle V_{out}/I_s @ 1kHz = 90^\circ - 89.9^\circ - 3.6^\circ = -3.5^\circ$)
- $V_{ADC}=V_o/(1+sR3C_{ADC})$
 La componente stazionaria (2.5V) non è modificata dalla rete RC mentre il segnale sinusoidale è ridotto di $1/|1+sR3C_{ADC}|_{s=j2\pi 1kHz} = 0.99874$ portando a un errore sulle ampiezze di:
 $\Delta V = 1V - 1V \cdot 0.99874 = 1.26mV$

Dato che $LSB = 5V/2^{14} = 0.3mV$, l'errore nelle ampiezze è di 4.1 LSB.

- d) Il tempo di conversione vale: $T_c = 15 \cdot T_{clock} = 150ns$. Durante la conversione la tensione in ingresso all'ADC varia al più di

$$\Delta V_{ADC} \approx V_{ADC,MAX} \cdot 2\pi \cdot 1kHz \cdot T_c = 0.99874 \cdot 2\pi \cdot 1kHz \cdot 150ns = 0.94mV = 3.1LSB$$

Dato che la variazione è maggiore di 1LSB il convertitore produce un valore digitale errato. Per evitare questo errore è sufficiente inserire tra R3 e il convertitore un sample&hold che garantisca un segnale costante durante l'intera conversione.

- e) $Gloop(0) = -A0 \rightarrow$ la tensione dc di 2.5V è riportata all'ingresso dell'ADC con un trasferimento pari a $A0/(1+A0)$ portando ad un errore di $2.5mV = 8.2$ LSB
Il segnale a 1kHz "vede" un $|Gloop(1kHz)| \approx R1/(R1+R2)$ $A0 = -91$ portando ad un errore di circa $1V/(1+|Gloop(1kHz)|) = 10.9mV = 35.6$ LSB