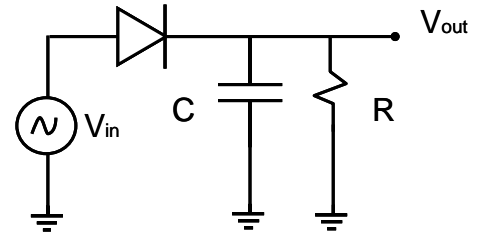


Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a) ...

Esercizio 1. Si consideri il circuito raddrizzatore in Fig. 1.

- Ipotizzando C di valore nullo, rappresentare V_{out} in funzione del tempo su un grafico quotato (almeno due periodi; si assuma $V_D=0.7V$).
- Rappresentare la forma d'onda V_{out} assumendo una tensione di breakdown del diodo di $V_{BD}=-9V$. Qual è la minima V_{BD} per non mandare in breakdown il diodo?
- Sia $V_{BD}=-40V$ e $C=1\mu F$. Rappresentare $V_{out}(t)$ e la corrente nella resistenza $I_R(t)$.
- Calcolare la massima corrente nel diodo.

Fig. 1



$$V_{in}=15V\sin\omega t$$

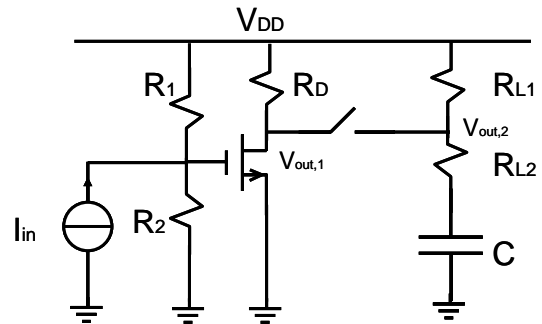
$$\omega=10\text{krad/s}$$

$$R=10\text{k}\Omega$$

Esercizio 2. Nel circuito di Fig. 2, il segnale di corrente è dato da $I_{in}=1\text{nA}\sin\omega t$.

- Studiare la polarizzazione del circuito ipotizzando l'interruttore aperto.
- Studiare la polarizzazione del circuito ipotizzando l'interruttore chiuso.
- Calcolare la funzione di trasferimento $V_{out,2}(s)/I_{in}(s)$ nelle condizioni del punto b).
- Rappresentare il modulo e la fase della funzione di trasferimento in un diagramma di Bode quotato.

Fig. 2



$$R_1=5\text{k}\Omega, R_2=3\text{k}\Omega, V_{DD}=4V$$

$$V_T=0.5V, k=1\text{mA/V}^2$$

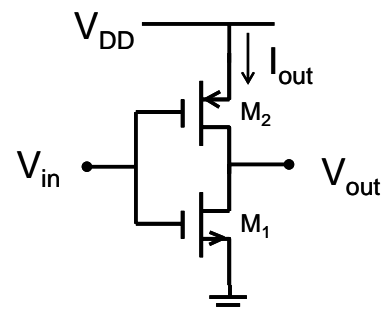
$$R_D=R_{L1}=2\text{k}\Omega, R_{L2}=10\Omega$$

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

Esercizio 3. Si consideri il circuito inverter di Fig. 3.

- Tracciare le caratteristiche statiche $V_{out}(V_{in})$ e $I_{out}(V_{in})$ del circuito, quotandole.
- L'inverter pilota una porta con una capacità di 25fF . Calcolare il tempo di commutazione (al 90% della escursione totale) del segnale V_{out} quando in ingresso viene applicato un gradino $0V \rightarrow 5V$.
- Calcolare la potenza media dissipata dalla porta, con una frequenza di commutazione di $0.1f_{CK}$.
- Per una irregolarità degli stadi a monte, il circuito viene pilotato con una tensione $V_{in}=1.8V$, costante. Calcolare la potenza dissipata.

Fig. 3



$$V_{DD}=5V$$

$$V_{Tn}=|V_{Tp}|=1V$$

$$k_n=k_p=1\text{mA/V}^2$$

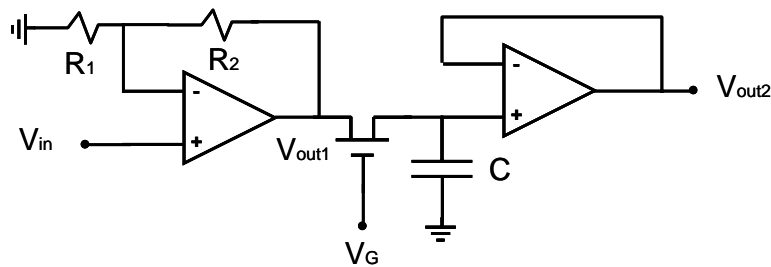
$$f_{CK}=100\text{MHz}$$

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

Esercizio 1. Il circuito in Fig. 4 è usato come Sample & Hold per un ADC a 8bit, caratterizzato da una dinamica di ingresso 0-5 V. Il segnale d'ingresso ha una dinamica 0-0.8V.

- Calcolare il valore di R_2 in modo che venga sfruttata tutta la dinamica dell'ADC per campionare e convertire il segnale di ingresso V_{in} .
- Si consideri la condizione $V_G = V_{GL}$. Determinare l'uscita V_{out1} a fronte di un gradino $0 \rightarrow 0.8V$ in ingresso.
- Calcolare il minimo SR del primo operazionale tale che V_{out1} nel punto precedente non sia limitata da SR.
- Calcolare l'errore di guadagno introdotto dal secondo operazionale, se esso ha un guadagno a anello aperto $A_0 = 60dB$. Si esprima l'errore in unità LSB.
- Sia il tempo di hold $T_H = 200\mu s$. Calcolare il minimo valore della capacità C tale che la diminuzione di V_{out2} per effetto della corrente di bias sia inferiore a $LSB/2$.
- Assumendo la capacità tra gate e drain del MOS $C_{gd} = 1.4pF$ e la capacità $C = 25nF$, calcolare il massimo errore di iniezione di carica.
- Ipotizzando di disporre di un clock con frequenza $f_{CK} = 1MHz$ discutere con argomenti quantitativi quale ADC è in grado di convertire nel tempo di hold di $200\mu s$. Si rappresenti lo schema interno del convertitore scelto.

Fig. 4



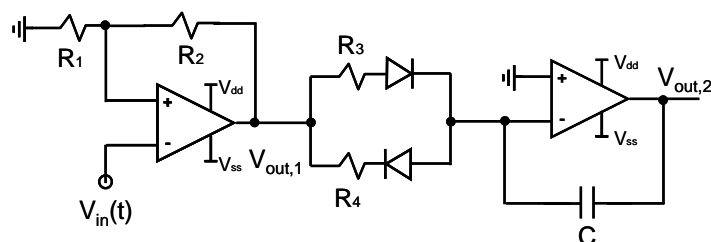
$R_1 = 10K\Omega$, $GBWP = 1MHz$, $V_{GL} = -5V$, $V_{GH} = 10V$, $I_B = 100nA$.

Esercizio 2. Si consideri il circuito in Fig. 5.

- Rappresentare la caratteristica ($V_{in} - V_{out1}$) del trigger, specificando le soglie di commutazione.
- Si applichi in ingresso un'onda sinusoidale $V_{in}(t) = 2V \sin \omega t$, con $f = \omega/2\pi = 1kHz$. Determinare l'andamento dell'uscita V_{out1} .
- Determinare l'uscita V_{out2} in risposta al segnale del punto b), assumendo $V_D = 0.7V$ per entrambi i diodi.
- La resistenza R_3 viene aumentata a $12k\Omega$. Si discuta l'effetto sull'andamento V_{out2} in risposta alla sinusoide del punto b).
- Tracciare l'andamento di V_{out2} a regime nelle condizioni del punto d).

$R_1 = 10K\Omega$, $R_2 = 20K\Omega$, $R_3 = R_4 = 10k\Omega$, $V_{DD} = 5V$, $V_{SS} = -5V$, $C = 50nF$

Fig. 5

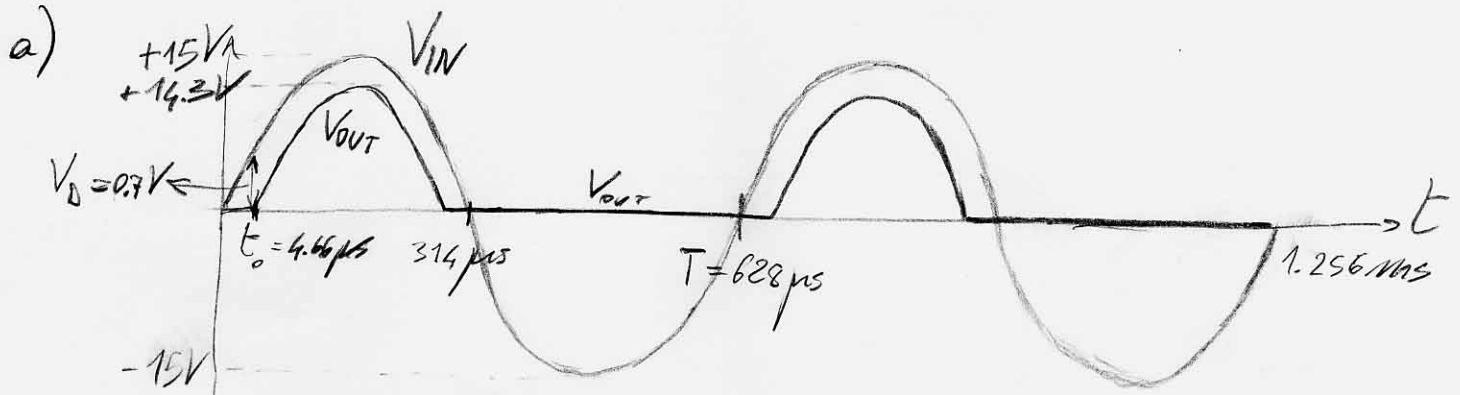


SOLUZIONI TEMA D'ESAME DI FONDAMENTI DI ELETTRONICA

22 FEBBRAIO 2005

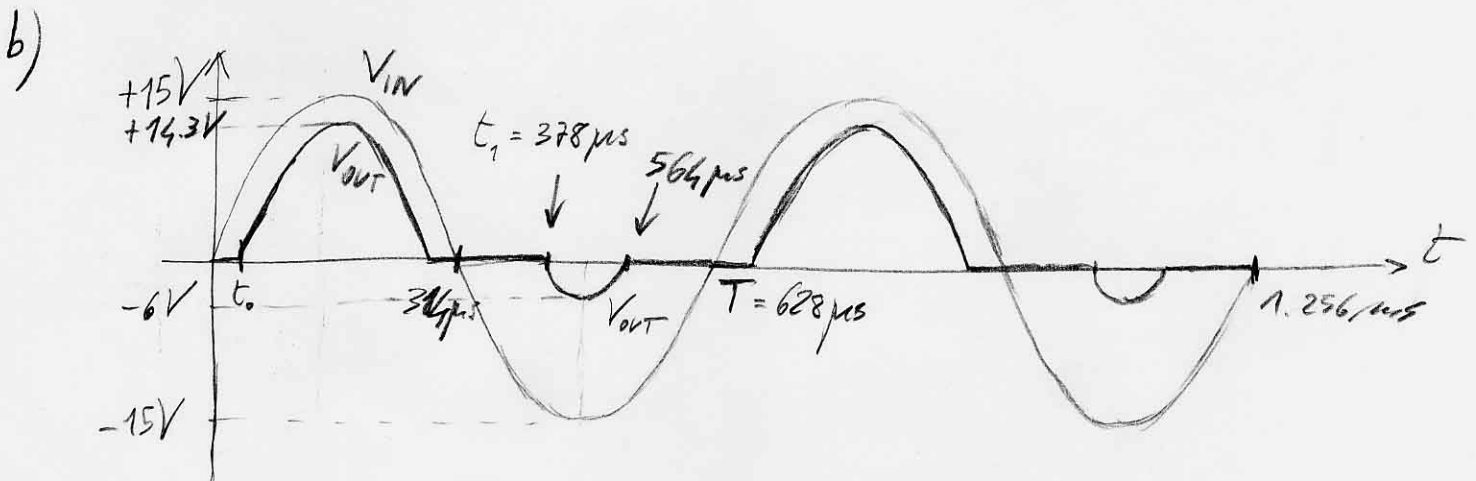
PARTE 1

Es. 1



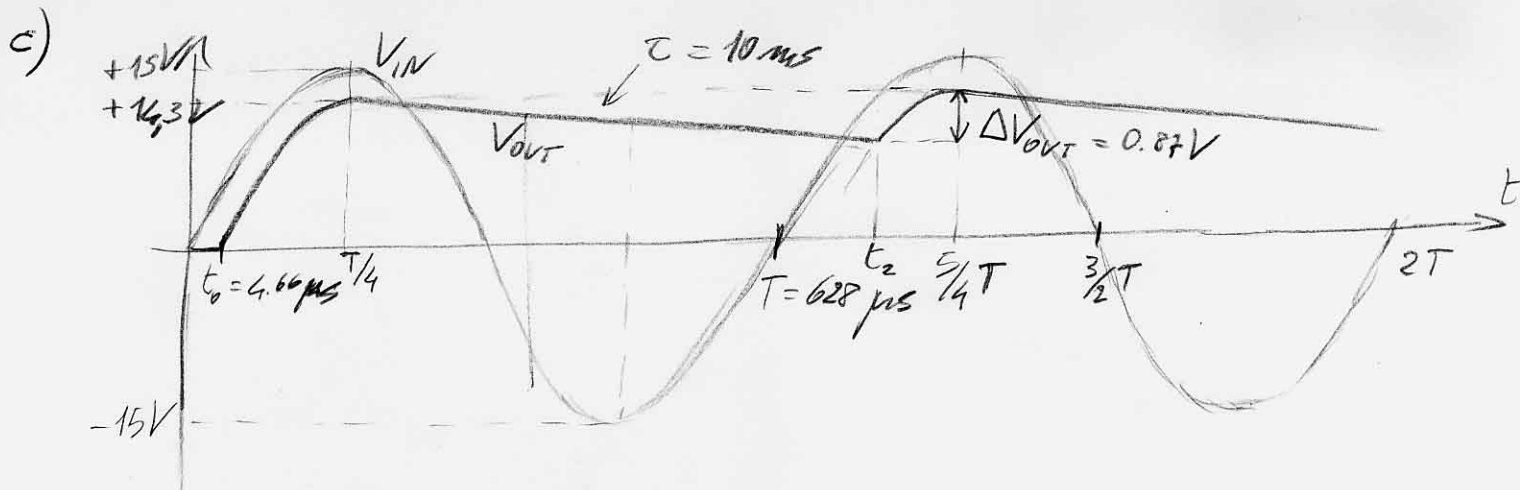
$$f = \frac{\omega}{2\pi} = 1591 \text{ Hz} \Rightarrow T = \frac{1}{f} = 628 \mu s$$

$$0.7V = 15V \cdot \sin \omega t_0 \Rightarrow t_0 = 4.66 \mu s$$



$$-9V = 15V \sin \omega t_1 \Rightarrow t_1 = 378 \mu s$$

Minima $V_{BA} = -15V$



Da $t = T/4$ a $t = t_2$: scarica esponenziale con
costante di tempo $\tau = RC = 10 ms$

$\tau \gg T \Rightarrow$ scarica molto lenta:

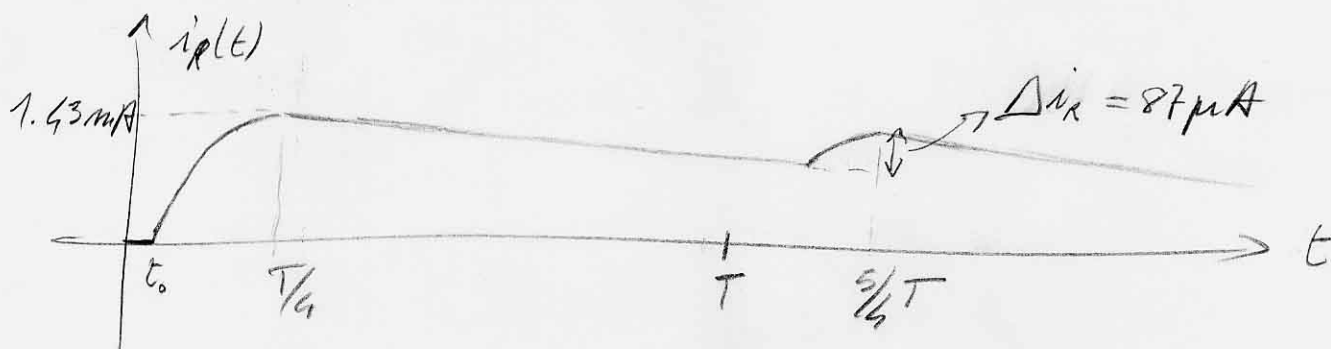
in un periodo $T = 628 \mu s$, V_{OUT} scende di

$$\Delta V_{OUT} = 14.3V \cdot (1 - e^{-T/\tau}) = 0.87 V$$

Aggancio: $15V - 0.87V = 15V \cdot \sin \omega t_0' \Rightarrow t_2 = T + t_2' = 750 \mu s$

$i_R(t) = \frac{V_{OUT}(t)}{R}$ e quindi $i_R(t)$ ha lo stesso

andamento di $V_{OUT}(t)$:



d) Corrente massima a regime: durante l'aggancio
c'è un picco di corrente nel condensatore:

$$i_C|_{MAX} = C \left. \frac{dV_{OUT}}{dt} \right|_{t_2} = C \cdot \underbrace{14.3 \cdot \omega \cdot \cos(\omega t_2)}_{49568 V/s} = 49.5 mA$$

Nella resistenza: $i_R|_{i_C MAX} = \frac{14.3 - 0.87}{R} = 1.34 mA$

$$\Rightarrow i_{D MAX} = 49.5 mA + 1.34 mA = 50.84 mA$$

Con C scarico: $i_{D MAX} = 14.3 \cdot \omega = 143 mA$

Es. 2

$$a) V_{GS} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{DD} = 1.5V$$

Ipotesi: MOS saturo

$$\Rightarrow I_{DS} = K (V_{GS} - V_T)^2 = 1mA$$

$$\Rightarrow V_{DS} = V_{DD} - I_{DS} \cdot R_D = 2V$$

Poiché $V_{DS} > V_{GS} - V_T \Rightarrow$ MOS saturo

$$b) V_{GS} = 1.5V$$

Ipotesi: MOS saturo

$$\Rightarrow I_{DS} = K (V_{GS} - V_T)^2 = 1mA$$

$$\Rightarrow V_{DS} = V_{DD} - I_{DS} \cdot \underbrace{R_D \parallel R_{L1}}_{1k\Omega} = 3V$$

Poiché $V_{DS} > V_{GS} - V_T \Rightarrow$ MOS saturo

$$c) V_{GS}(t) = i_{in}(t) \cdot R_1 \parallel R_2$$

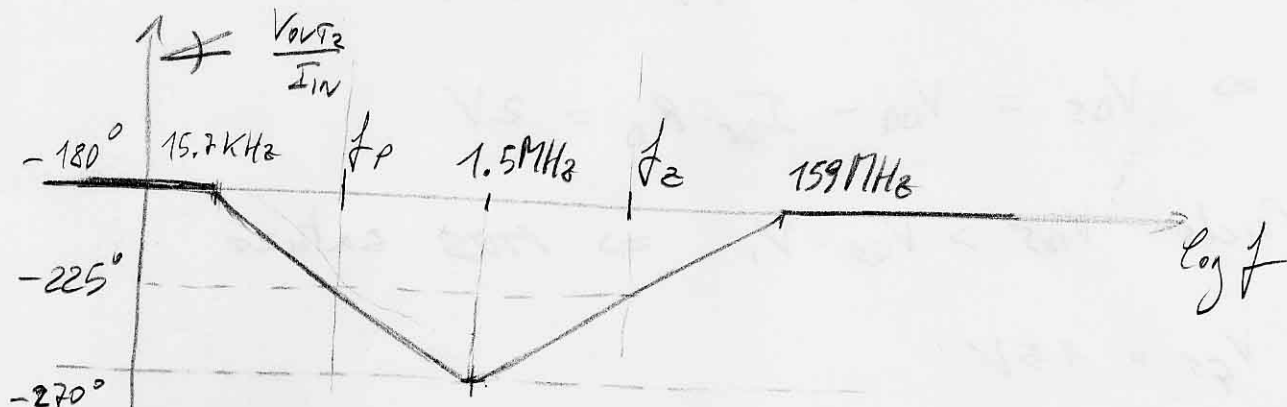
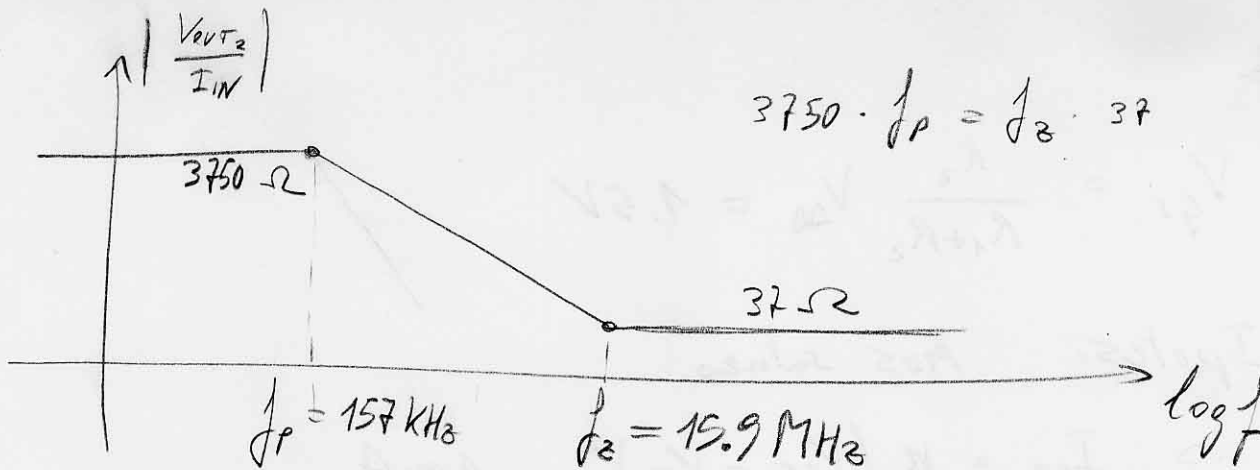
$$V_{GS}(s) = I_{in}(s) \cdot R_1 \parallel R_2$$

$$I_{DS}(s) = g_m \cdot V_{GS}(s) \quad ; \quad g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 2mA/V$$

$$\Rightarrow \frac{V_{OUT,2}(s)}{I_{in}(s)} = -g_m \cdot (R_1 \parallel R_2) \cdot (R_D \parallel R_{L1} \parallel (R_{L2} + 1/sC))$$

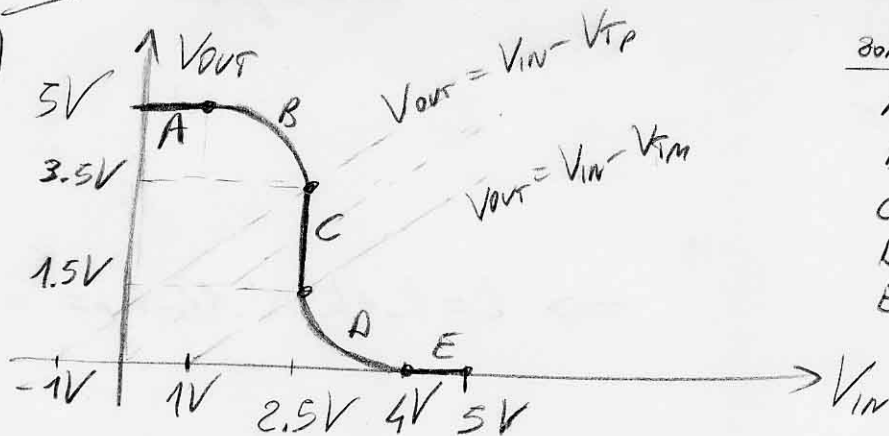
$$= \underbrace{-g_m}_{2mA/V} \cdot \underbrace{(R_1 \parallel R_2)}_{1.875K} \cdot \underbrace{(R_D \parallel R_{L1})}_{1K} \cdot \frac{\underbrace{1 + sCR_{L2}}_{\downarrow f_P = 157KHz}}{\underbrace{1 + sC(R_{L2} + R_D \parallel R_{L1})}_{\downarrow f_Z = 15.9MHz}}$$

d)

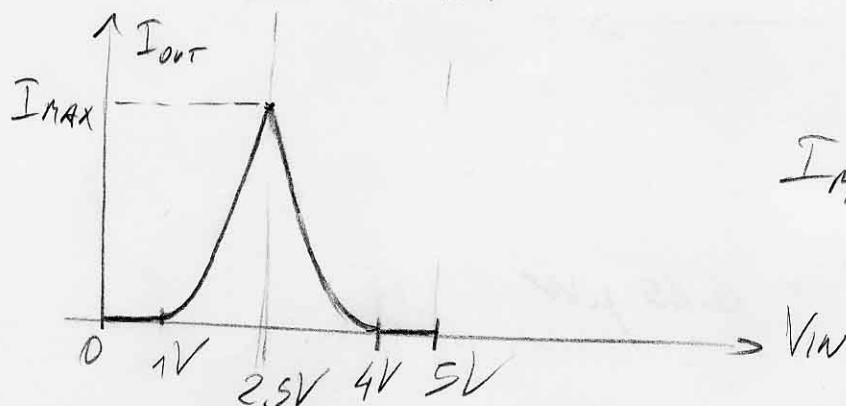


Es. 3

a)



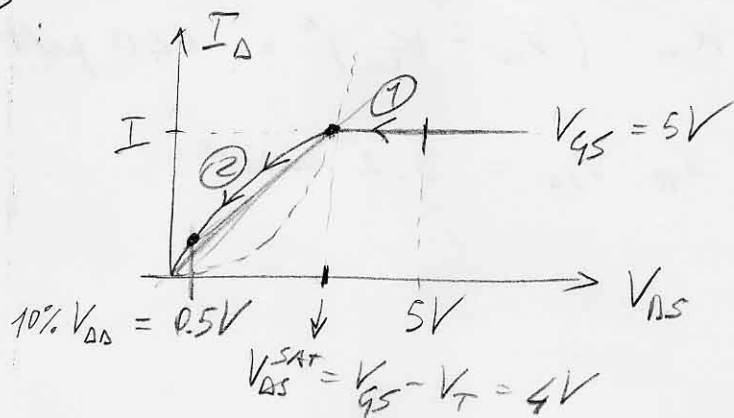
2014	M-MOS	P-MOS
A	OFF	lineare
B	Saturo	lineare
C	Saturo	Saturo
D	lineare	Saturo
E	lineare	OFF



$$I_{MAX} = K_n \cdot (2.5V - 1V)^2 = 2.25mA$$

b)

La capacità viene scaricata dall' n-mos che ha $V_{GS} = 5V$:



$$I = K_n (V_{GS} - V_T)^2 = 16mA$$

Considerando una spezzata:

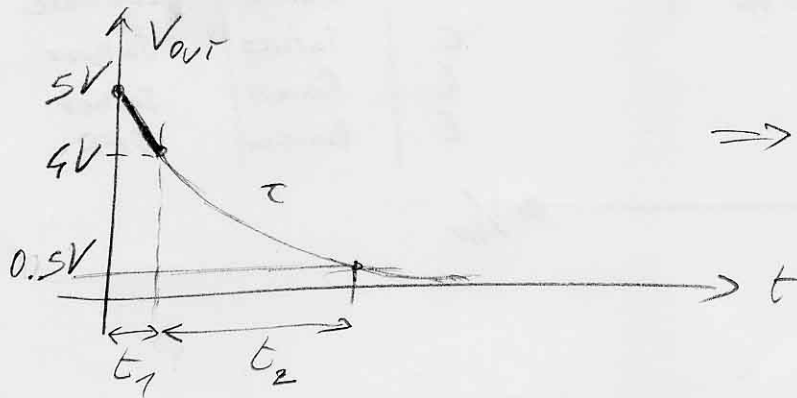
1. primo tratto a corrente costante I (t_1)
2. secondo tratto con scarica esponenziale (t_2)

$$t_1 = \frac{C \Delta V}{I} = \frac{25fF \cdot (5V - 4V)}{16mA} = 1.56ps$$

$$t_2: 10\% \cdot V_{DD} = 4V \cdot e^{-t_2/\tau} \quad \text{con } \tau = R_{eq} \cdot C$$

$$R_{eq} = \frac{4V}{16 \mu A} = 250 \Omega \Rightarrow \tau = 6.25 \text{ ps}$$

$$\Rightarrow t_2 = 12.9 \text{ ps}$$



$$\Rightarrow t = t_1 + t_2 = 14.5 \text{ ps}$$

c) $P = 0.1 f_{ck} \cdot C \cdot V_{DD}^2 = 6.25 \mu W$

d) $V_{IN} = 1.8V \Rightarrow$ ZONA B: n-MOS SATURO
p-MOS LINEARE

$$\Rightarrow I_n = K_n \cdot (V_{IN} - V_{Tn})^2 = 640 \mu A$$

$$\Rightarrow P = I_n \cdot V_{DD} = 3.2 \text{ mW}$$

PART 2

ES. 1

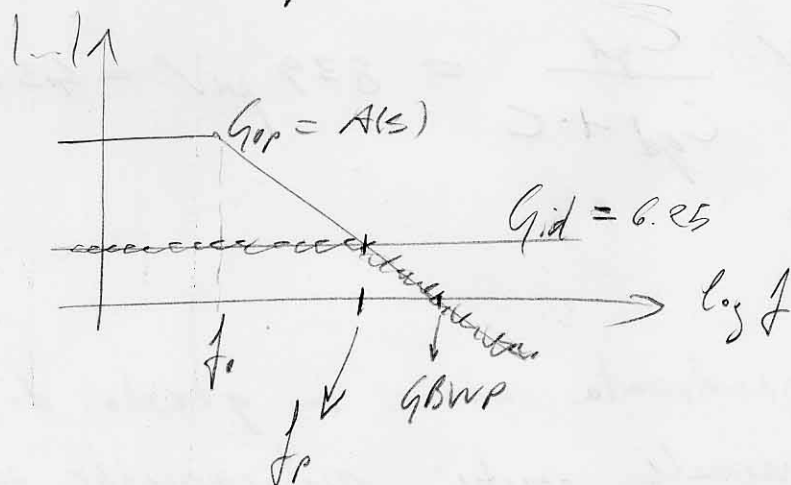
a) $G_{id} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow 0.8V \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 5V$

$\Rightarrow R_2 = 52.5 \text{ K}\Omega$

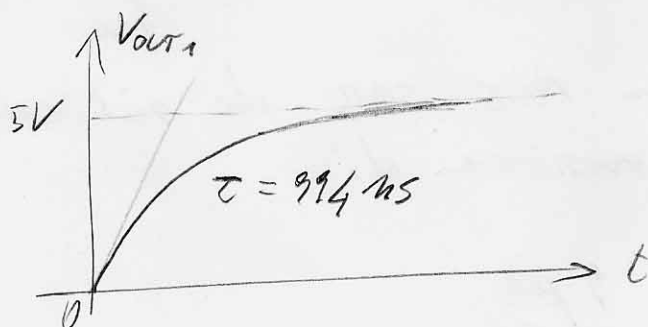
b) La risposta al gradino sarà a singolo polo a causa della funzione di trasferimento dell' OpAmp $[A(s)]$.

$G_{id} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 6.25$; $G_{loop} = - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot A(s)$

$G_{op} = -G_{loop} \cdot G_{id} = A(s)$



$GBWP = f_p \cdot G_{id} \Rightarrow f_p = 160 \text{ KHz} \Rightarrow \tau = \frac{1}{2\pi f_p} = 994 \text{ ns}$



c) Minimum $SR = \frac{5V}{\tau} = 5.03 \text{ V}/\mu\text{s}$

$$d) \quad \varepsilon = \frac{1}{1 - G_{loop}} = \frac{1}{1 + A_0} \approx \frac{1}{A_0} = 0.1\% \Rightarrow 5 \text{ mV}$$

$$G_{loop} = -A_0$$

$$LSB = \frac{5V}{2^8} = 19.5 \text{ mV}$$

$$\Rightarrow \varepsilon = \frac{5 \text{ mV}}{19.5 \text{ mV}} = 25.6\% \cdot LSB$$

$$e) \quad T_H = 200 \mu s$$

$$\frac{Q}{T_H} = \frac{C \cdot \Delta V}{T_H} = I_B \Rightarrow C = \frac{I_B \cdot T_H}{\frac{LSB}{2}} = 2.05 \text{ nF}$$

$$f) \quad V_{injection} = \Delta V \cdot \frac{C_{gd}}{C_{gd} + C} = 839 \mu V = 4.3\% \cdot LSB$$

\downarrow
 $15V$

g) Un ADC a gradinata non è in grado di convertire il segnale perché richiederebbe un tempo di conversione di $T_c = \frac{2^n}{f_{ck}} = 256 \mu s$.

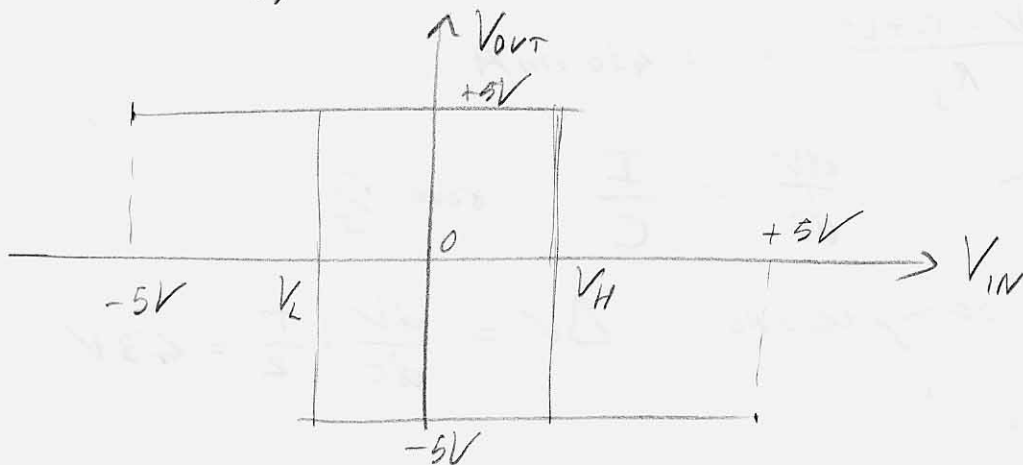
Può essere usato un ADC SAR che richiede un tempo di conversione di

$$T_c = \frac{n+1}{f_{ck}} = 9 \mu s$$

Schema interno: vedere i testi.

Es. 2

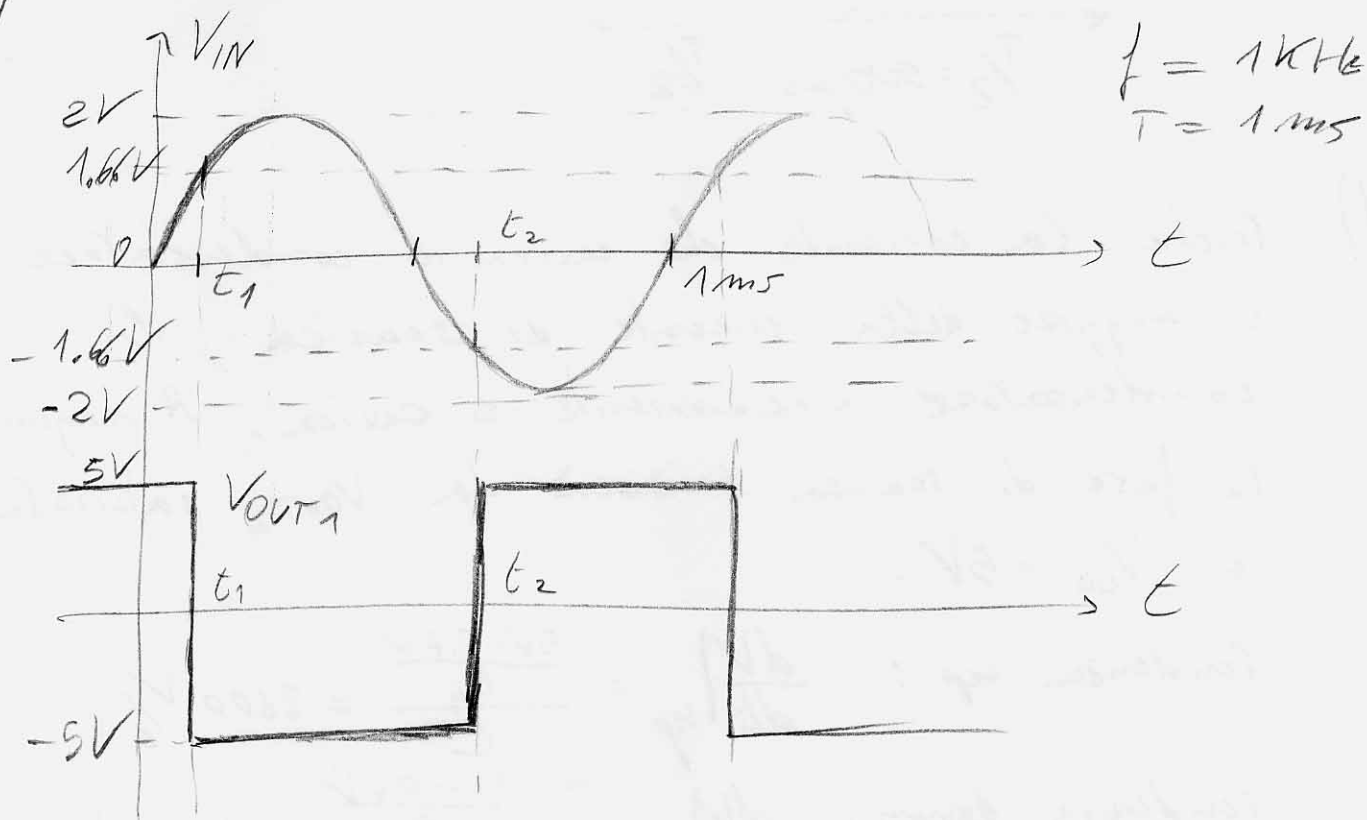
a) E' un trigger di Schmitt invertente:



Sollec: $V_L = - \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD} = -1.66V$

$V_H = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD} = +1.66V$

b)



$1.66V = 2V \cdot \sin(2\pi f t_1) \Rightarrow t_1 = 155 \mu s$

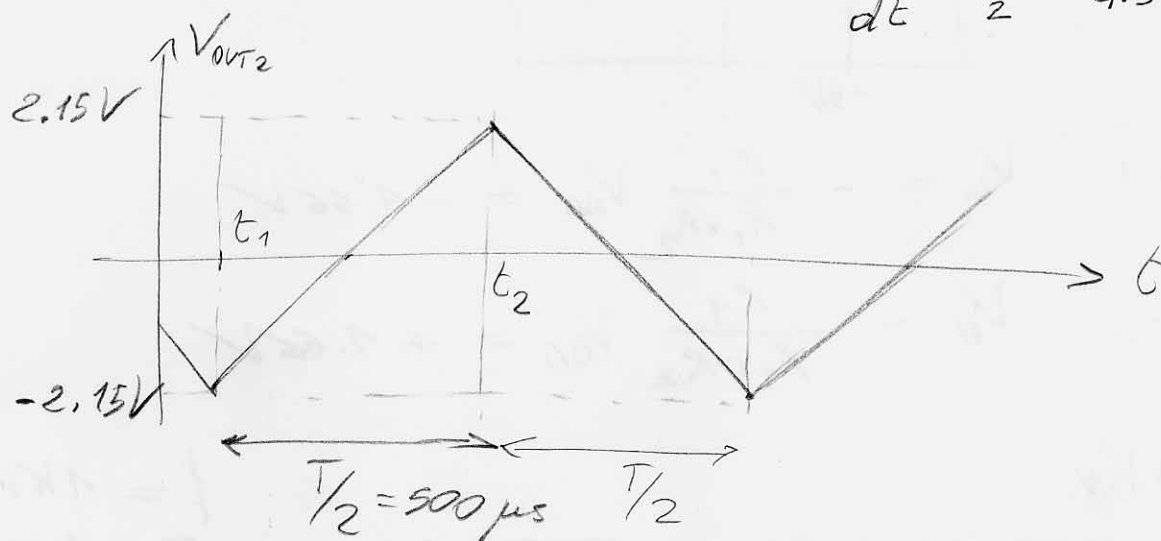
$-1.66V = 2V \cdot \sin(2\pi f t_2) \Rightarrow t_2 = 655 \mu s$

c) Il condensatore C viene caricato e scaricato a corrente costante:

$$I = \frac{5V - 0.7V}{R_3} = 0.430 \text{ mA}$$

$$\text{Pendenza: } \frac{dV}{dt} = \frac{I}{C} = 8600 \frac{V}{s}$$

$$\text{In un semiperiodo: } \Delta V = \frac{dV}{dt} \cdot \frac{T}{2} = 4.3V$$



d) Poiché la corrente che carica il condensatore è maggiore della corrente di scarica, il condensatore mediamente si carica. A regime la fase di scarica inizierà da V_{OUT2} saturata a $V_{DD} = 5V$.

$$\text{Pendenza up: } \left. \frac{dV}{dt} \right|_{up} = \frac{\frac{5V - 0.7V}{R_4}}{C} = 8600 \frac{V}{s}$$

$$\text{Pendenza down: } \left. \frac{dV}{dt} \right|_{down} = \frac{\frac{5V - 0.7V}{R_3}}{C} = 7166 \frac{V}{s}$$

$$\text{In scarica: } \Delta V = \left. \frac{dV}{dt} \right|_{down} \cdot \frac{T}{2} = 3.58V$$

$$\text{In salita: } \Delta T_{up} = \frac{\Delta V}{\left. \frac{dV}{dt} \right|_{up}} = 416 \mu s$$

