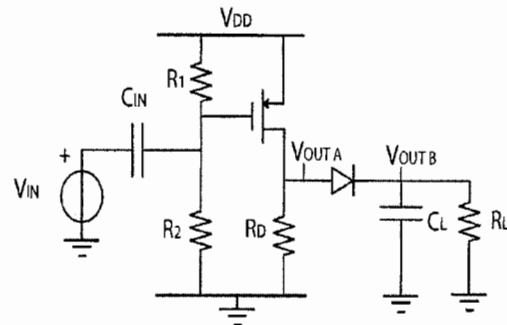


Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a) ...

Esercizio 1. Si consideri lo schema rappresentato in figura, in cui $V_T = -1V$, $\frac{1}{2} (W/L) \mu_p C_{ox} = 2 \text{ mA/V}^2$, $V_{DD} = 5V$, $R_2 = 6k\Omega$, $R_1 = 4k\Omega$, $\kappa_D = 1k\Omega$, $R_L = 10k\Omega$, $C_L = 1\mu F$

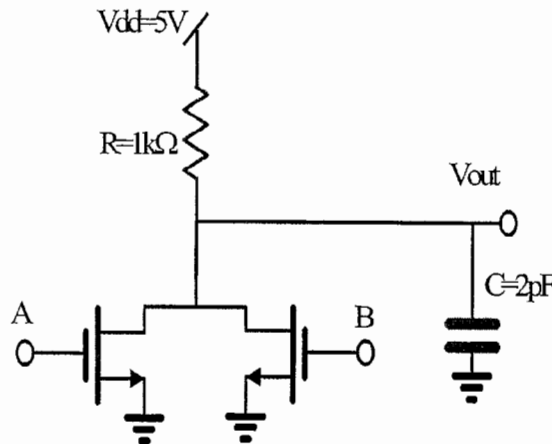
- Si calcoli la polarizzazione del circuito non considerando il diodo (considerare il diodo un circuito aperto)
- Come cambia la polarizzazione applicando il diodo?
- Calcolare il valore di C_{IN} affinché la capacità possa essere considerata un corto quando in ingresso è presente un segnale a 20kHz
- Data in ingresso una sinusoide a 20kHz di 10mV di ampiezza, quanto vale la $V_{OUT A}$? (considerando il diodo un circuito aperto)
- Calcolare e disegnare l'andamento della $V_{OUT B}$



Esercizio 2.

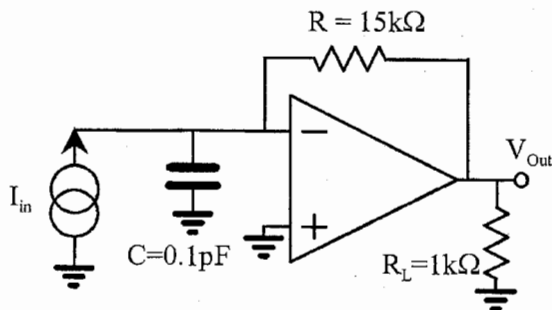
Si consideri la porta logica in figura. Per ciascun transistor è $V_T = 1V$ e $(W/L) \mu_n C_{ox} = 2.5 \text{ mA/V}^2$.

- Che funzione logica realizza la porta?
- Calcolare i valori di tensione per lo stato "basso" in uscita. Qual è il valore più critico e perché?
- Scrivere l'espressione esatta (non approssimata) di $V_{out}(t)$ per un transitorio di pull-up, e tracciarne il grafico quotato. Si immagini di partire dal livello basso più critico calcolato nel punto precedente.
- Si assuma $B = 0$ (0 Volt) mentre A è un onda quadra a 20 MHz, tra 0 e 1 (ossia tra 0 Volt e 5 Volt). Calcolare la dissipazione di potenza media statica e dinamica.
- Si ripeta lo stesso calcolo del punto precedente cambiando solo il valore di B , ponendo in questo caso $B = 1$ (ossia $B = 5V$)



Esercizio 3. Il segnale di corrente per l'amplificatore in figura è una sinusoide di frequenza 10 MHz, e ampiezza 0.1 mA (centrata attorno a 0mA). L'amplificatore ha prodotto guadagno banda $A_0/(2\pi\tau) = 500 \text{ MHz}$ e $A_0 = 10^6$.

- Calcolare il guadagno ideale V_{out}/I_{in} .
- Calcolare la corrente totale di picco erogata dall'amplificatore.
- Calcolare il guadagno d'anello, tracciarne il diagramma di Bode in modulo e fase quotato, indicando in particolare il valore del guadagno d'anello al secondo polo, e la frequenza a cui il guadagno d'anello diventa unitario.
- Calcolare il minimo valore di slew-rate necessario per un corretto funzionamento.
- Se viene variato il valor del carico R_L cambia il valore dello SR calcolato precedentemente? E quello della corrente erogata?



Esercizio 4.

- Definire l'errore di linearità differenziale e di linearità integrale per un ADC e per un DAC.

- Treccia delle soluzioni

1a) Polarizzazione

$$V_G = \frac{V_{DD}}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = 3V \quad |V_{GS}| = 2V$$

$$I_D = K_p (|V_{GS}| - |V_t|)^2 = 2mA$$

$$V_D = I_D \cdot R_D = 2V = V_{outA} \Rightarrow \text{MOS saturo}$$

$$g_m = \frac{2I_D}{V_{GS}} = 4mA/V$$

$$1b) I_{R_D} + I_{R_L} = I_D = 2mA \quad \text{dove } I_{R_D} = \frac{V_{outA}}{R_D}, \quad I_{R_L} = \frac{V_{outA} - 0.7}{R_L}$$

$$\text{da cui } V_{outA} = 1.88V \quad \text{e quindi } V_{outB} = 1.18V$$

MOS ancora saturo.

$$1c) \tau_{in} = C_{in} \cdot (R_1 // R_2) = C_{in} \cdot 2.4k$$

$$f_{pin} = \frac{1}{2\pi\tau_{in}} \leq 20 \cdot 10^3 \quad \text{assumiamo } f_{pin} = \frac{1}{10} \quad f_{segnale} = \frac{1}{10} \cdot 20 \cdot 10^3$$

$$\text{da cui } C_{in} > 10 \frac{1}{2\pi \cdot 2.4 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^3} = 33 nF$$

$$1d) \text{ guadagno} = -g_m R_D = -4$$

$$V_{outA} = \overset{2V}{\cancel{2V}} - 4 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \sin 2\pi \cdot 20 kHz \cdot t = -40 mV \sin 2\pi 20 kHz \cdot t + \overset{2V}{\cancel{2V}}$$

$$1e) Z_{out} = R_D // R_L // \frac{1}{sC_L} = \frac{R_D R_L}{R_D + R_L} \cdot \frac{1}{sC_L} = \frac{\frac{R_D R_L}{R_D + R_L}}{1 + sC_L \frac{R_D R_L}{R_D + R_L}} = \frac{\frac{10 \cdot 10^3}{11}}{1 + s \cdot 10^{-6} \cdot \frac{10 \cdot 10^3}{11}}$$

$$\text{Guadagno tra } V_{in} \text{ e } V_{outA} = -g_m Z_{out} \quad \text{Guadagno in continua} = -g_m \cdot \frac{10^4}{11}$$

$$f_{pout} = \frac{1}{2\pi\tau_{out}} \quad \text{dove } \tau_{out} = C_L \cdot \frac{R_D R_L}{R_D + R_L} = -\frac{40}{11} = -3.63$$

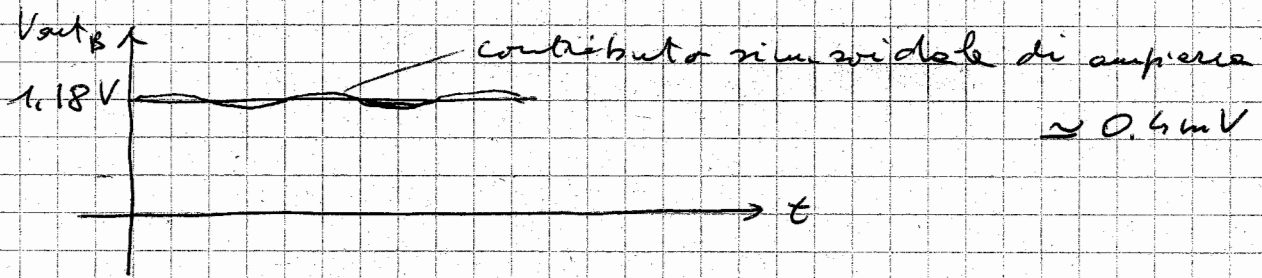
$$= 175 Hz \quad \approx 10^{-6} \cdot 909$$

Un segnale a 20 kHz viene attenuato di un fattore ~ 100 rispetto al valore in banda

Quindi $V_{outB} \approx V_{outA \text{ senza}} - 0.7 - \frac{1}{100} \left(3.63 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \sin(2\pi \cdot 20kzt + \varphi) \right)$ (2)

Il contributo sinusoidale è trascurabile, resta la continua

$$V_{outB} = 1.88 - 0.7 = 1.18V$$



2a) $\bar{Y} = A + B$ $Y = \overline{A+B}$ NOR

2b) Caso $A=1$ e $B=0$ oppure $A=0$ e $B=1$

Il MOS che conduce (A oppure B) lavora in zona ohmica

Infatti, se lavorasse in saturazione avremmo $I_D = K_n V_{GS}^2 = 5mA$

e $V_{out} = V_{DS} = 0V < V_{GS} - V_T = 4V$ quindi l'ipotesi di saturazione è errata.

V_{out} è allora fissato dalla partizione tra R e R_{CH}

$$V_{out} = V_{DD} \frac{R_{CH}}{R + R_{CH}} \quad \text{dove } R_{CH} = \frac{1}{\left(\frac{W}{L}\right) \cdot \mu_n C_{ox} \cdot V_{GS}}$$

$$= 0.45V \quad = \frac{1}{2.5mA/V^2 \cdot L} = 0.1k$$

Caso B $A=1$ $B=1$

V_{out} è fissato dalla partizione tra R e $\frac{1}{2} R_{CH}$

$$V_{out} \approx 0.24V$$

Il valore più critico è il primo ($V_{out} \approx 0.45V$) perché un invertor a valle uguale a quello dato introdurrebbe con un minor margine di ripulimento ($0.55V$) rispetto al secondo ($0.76V$)

2c) Nel transitorio di pull-up l'uscita parte da $0.45V$ e sale esponenzialmente a $5V$, con costante di tempo $= RC_L$ (i mos sono entrambi spenti). ③
 $= 2 \mu s$

Quindi

$$V_{out}(t) = 0.45V + (V_{DD} - 0.45V)(1 - e^{-t/\tau}) =$$

$$= 0.45V + 4.55(1 - e^{-t/2 \cdot 10^{-8}})$$

2d) L'onda quadra a $20MHz$ ha un periodo di $50ns$. Nella metà periodo in cui c'è a $5V$ il mos A conduce mentre B è spento.

Nel semiperiodo in cui c'è a $0V$, entrambi i mos sono spenti.

La potenza statica verrà dissipata quindi solo nel semiperiodo in cui A è acceso.

$$P_{statica} = \frac{1}{2} V_{DD} \cdot I \quad (\text{il fattore } \frac{1}{2} \text{ deriva dal fatto che per metà del tempo i mos sono spenti})$$

I varia nel semiperiodo in cui il mos A è acceso. Consideriamo

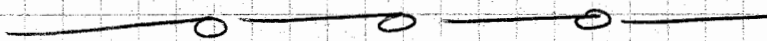
I assumendo $I = \frac{V_{DD}}{R} = 5mA$. Da cui ricaviamo una sovrastima

per P_{stat}

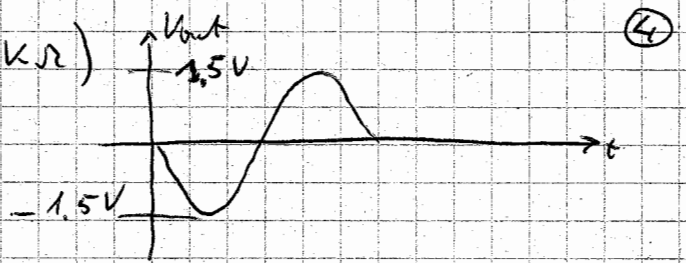
$$P_{statica} = \frac{1}{2} 5 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 12.5 mW$$

$$P_{din} = f \cdot C \cdot V_{DD}^2 = 20 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-12} \cdot 25 = 1000 \cdot 10^{-6} = 1 mW$$

2e) La porta non commuta e resta bloccata con l'uscita a livello basso. Quindi $P_{din} = 0$ $P_{stat} = V_{DD} \cdot I = 25 mW$



3a) $\frac{V_{out}}{I_{in}} = -R = -15 \text{ V/mA} (= -15 \text{ k}\Omega)$



3b) Assumendo I_{out} ~~entrante~~ ^{entrante} ~~abnorme~~ ^{abnorme}, al nodo di uscita

$$-I_{out} + I_{in} = I_{RL} \quad I_{out \max} = I_{in \max} - I_{RL \min} =$$

$$= 0.1 \text{ mA} - \left(-\frac{1.5}{R_L} \right) =$$

$$= (0.1 + 1.5) \text{ mA} = 1.6 \text{ mA}$$

3c) $G_{loop}(s) = -A(s) \cdot \frac{1/s}{R + 1/s} =$

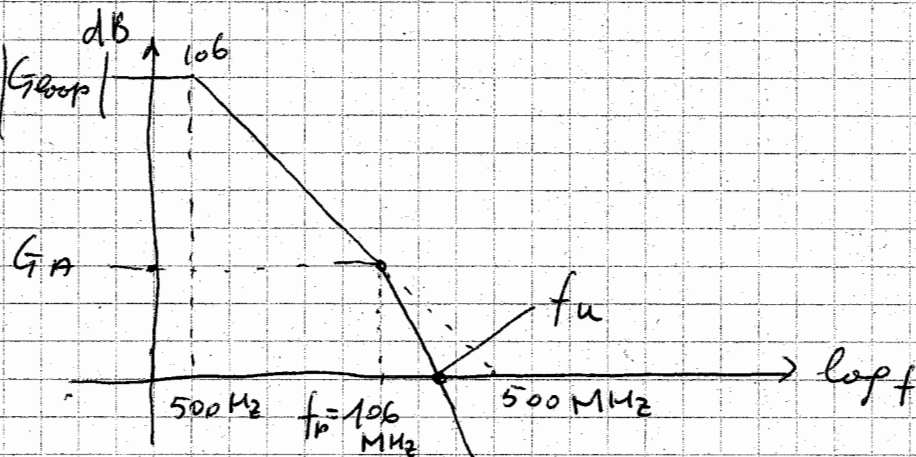
$$= -\frac{A_0}{1 + s \frac{1}{2\pi f_{A0}}} \cdot \frac{1}{1 + sRC}$$

Due poli a

$$f_{A0} = \frac{500 \cdot 10^6}{10^6} = 500 \text{ MHz}$$

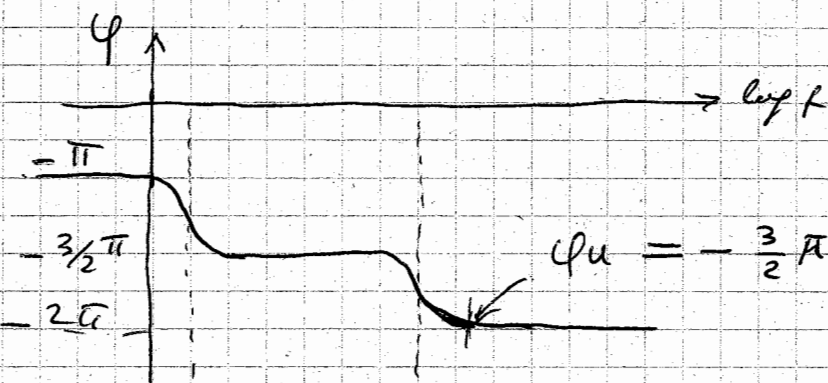
$$f_p = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 0.1 \cdot 10^{-12}} =$$

$$= \frac{10^9}{2\pi \cdot 1.5} = 106 \text{ MHz}$$



$$10^6 \cdot 500 = G_A \cdot f_p \Rightarrow G_A = \frac{500}{106} \approx 5$$

$$G_A \cdot (f_p)^2 = 1 \cdot f_u^2 \Rightarrow f_u \approx 106 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{5} = 237 \text{ MHz}$$



$$\phi_u = -\frac{3}{2}\pi - \arctg \frac{f_u}{f_p} = -5.86 \text{ rad} = -335.9^\circ$$

3d) Essendo $V_{out} = 1.5 V \sin 2\pi \cdot 10^7 t$ dobbiamo

5

imporre:

$$SR \geq \left. \frac{dV_{out}}{dt} \right|_{max} = 1.5 \cdot 2\pi \cdot 10^7 [s^{-1}] = 94.2 V/\mu s$$

3e) Se varia R_L non varia SR (che non dipende da R_L), ma varia la corrente erogata, che aumenta al diminuire di R_L .

4a) Si veda nei testi indicati in bibliografia.