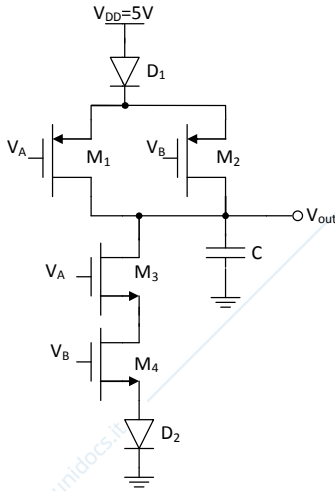


Fondamenti di Elettronica – Ing. AUTOMATICA e INFORMATICA - AA 2012/2013

1° Appello – 18 Luglio 2013

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

Esercizio 1.



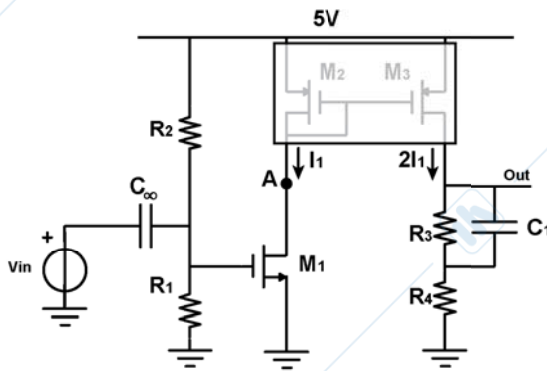
Dati:

$$k_n = k_p = 1 \text{ mA/V}^2, \quad V_{T,n} = |V_{T,p}| = 1 \text{ V}, \quad C = 5 \text{ pF}$$

V_A e V_B segnali digitali tra 0V e V_{DD}

- Determinare la funzione logica del circuito e la tensione di uscita V_{out} per ogni combinazione degli ingressi A e B.
- Tracciare la curva caratteristica V_{out} in funzione di V_A nel caso di V_B costante a V_{DD} quotando i punti significativi e determinare la soglia di commutazione del circuito in questa condizione.
- Stimare il tempo di commutazione (al 50% di V_{DD}) per la transizione $V_A = 0 \text{ V}, V_B = V_{DD} \rightarrow V_A = V_{DD}, V_B = V_{DD}$.
- Calcolare la potenza dissipata dal circuito quando $V_A = V_{DD}$ e V_B è un clock con frequenza 50MHz.

Esercizio 2.



Dati:

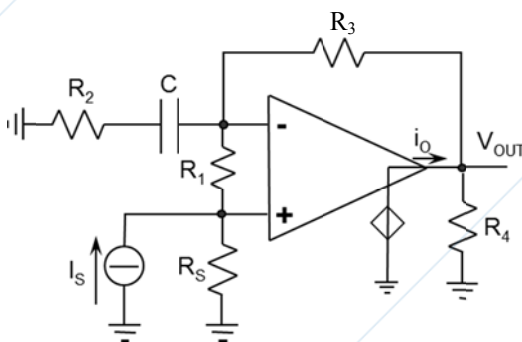
$$R_1 = 2 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 3 \text{ k}\Omega, \quad R_3 = 500 \Omega, \quad R_4 = 1 \text{ k}\Omega, \quad C_1 = 100 \text{ nF}, \quad V_{t,n} = 1 \text{ V}, \quad k_{n1} = 1 \text{ mA/V}^2$$

- Calcolare la polarizzazione del circuito, considerando il MOS M_1 saturo e la relazione tra le correnti riportata in figura.
- Calcolare la potenza dissipata dall'intero circuito.
- Calcolare il guadagno V_{out}/V_{in} a media frequenza (C_1 aperto) e ad alta frequenza.

Si considerino ora $|V_{tp}| = 1 \text{ V}, |k_{p2}| = 1 \text{ mA/V}^2, |k_{p3}| = 2 \text{ mA/V}^2$

- Polarizzare M_2 ed M_3 , verificare la saturazione di M_1 ed il legame fra le correnti I_{D2} ed I_{D3} .
- Determinare il guadagno V_A/V_{in} .

Esercizio 3.



Dati:

$$R_s = 100 \text{ k}\Omega, \quad R_1 = 100 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 2 \text{ k}\Omega, \quad R_3 = 20 \text{ k}\Omega, \quad R_4 = 20 \text{ k}\Omega, \quad C = 1 \text{ nF}$$

Si assumo l'A.O. ideale

- Determinare il guadagno V_{out}/I_s del circuito e tracciarne il diagramma di Bode.
- Si assumo che la corrente di ingresso $I_s(t)$ sia una sinusoide di ampiezza $10 \mu\text{A}$. Determinare l'ampiezza della corrente di uscita $I_o(t)$ a bassa frequenza e ad alta frequenza.
- Determinare l'espressione e disegnare il grafico quotato di $V_{out}(t)$ in risposta ad un gradino di corrente di ingresso di $10 \mu\text{A}$.
- Considerati i dati forniti dal costruttore sulle correnti di bias dell'A.O. ($I_{bias} = 1 \mu\text{A}$ entranti, $I_{OS} = 100 \text{ nA}$), calcolare l'effetto di I_b^+ e I_b^- sulla tensione di uscita V_{out} .

Si assumo ora che l'A.O. abbia $A_0 = 10^5$ e polo $\omega_0 = 1 \text{ rad/s}$

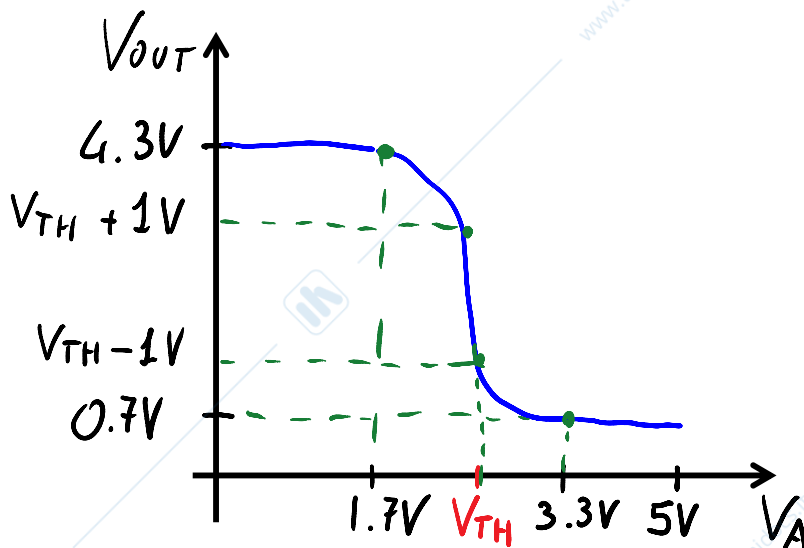
- Determinare il margine di fase del circuito.

Traccia soluzione:

- a) E' una porta NAND con tensione "bassa" di 0.7V e tensione "alta" di 4.3V:

A	B	Out	Vout
0 (0V)	0 (0V)	1	4.3V
1 (5V)	0 (0V)	1	4.3V
0 (0V)	1 (5V)	1	4.3V
1 (5V)	1 (5V)	0	0.7V

- b) Nelle condizioni indicate il circuito si comporta da inverter asimmetrico con $k_{n,eq}=k_n/2$ e $k_{p,eq}=k_p$. I diodi operano da traslatori di livello portando la tensione di alimentazione dell'inverter equivalente a $V_{DD}-0.7V=4.3V$ e la tensione di source dell'nMOS a 0.7V.



La soglia di commutazione si ottiene imponendo la tensione di uscita uguale a quella di ingresso (V_A). Dato che in questa condizione entrambi i transistori equivalenti sono saturi si ha la seguente condizione sulle correnti:

$$I_{d,n,sat} = I_{d,p,sat}$$

$$k_n/2 \cdot (V_{TH}-0.7V-V_T)^2 = k_p \cdot (V_{DD}-0.7V-V_{TH}-V_T)^2$$

Svolgendo la radice quadrata di entrambi i membri si ottiene un'equazione lineare in V_{TH} che risolta fornisce il valore di:

$$V_{TH} = 2.637V$$

- c) La tensione di uscita corrispondente alla combinazione iniziale è 4.3V mentre dopo la transizione V_{out} tende a 0.7V. Approssimando il transitorio con una scarica del condensatore C tramite l'nMOS equivalente in regime di saturazione si ha:

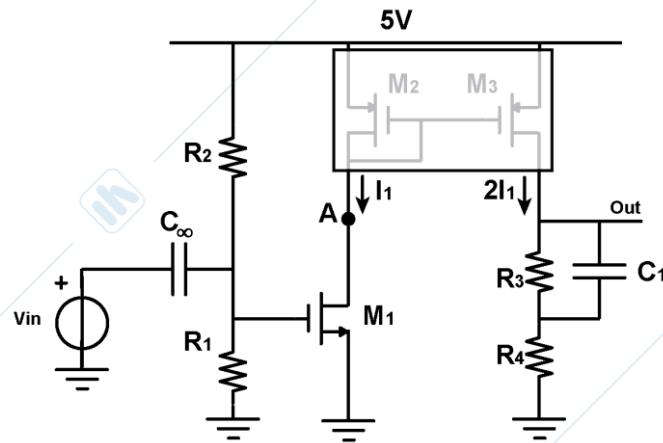
$$\Delta V = (V_{DD}-0.7V) - V_{DD}/2 = 1.8V$$

$$I_{n,sat} = k_n/2 \cdot (V_{DD}-0.7V-V_T)^2 = 5.4mA$$

$$t_c \approx \Delta V \cdot C / I_{n,sat} = 1.65ns$$

d) $P = V_{DD} \cdot C \cdot f \cdot (V_{DD} - 0.7V - 0.7V) = 4.5mW$

Esercizio MOS



$$R_1=2\text{k}\Omega, R_2=3\text{k}\Omega, R_3=500\Omega, R_4=1\text{k}\Omega, C_1=100\text{nF}, V_{t,n}=1\text{V}, k_{n1}=1\text{mA/V}^2$$

- Calcolare la polarizzazione del circuito, considerando il MOS M_1 saturo e la relazione tra le correnti riportata in figura
- Calcolare la potenza dissipata dall'intero circuito
- Calcolare il guadagno $V_{\text{out}}/V_{\text{in}}$ a media frequenza (C_1 aperto) e ad alta frequenza

$$\text{Si considerino ora } |V_{tp}|=1\text{V}, |k_{p2}|=1\text{mA/V}^2, |k_{p3}|=2\text{mA/V}^2$$

- Polarizzare M_2 ed M_3 , verificare la saturazione di M_1 ed il legame fra le correnti I_{D2} ed I_{D3}
- Determinare il guadagno V_A/V_{in}

Soluzione

$$\text{a) } V_{G1} = 2\text{V}, I_{D1}=1\text{mA}, I_{D3}=2\text{mA}, V_{\text{OUT}}=3\text{V}$$

$$g_{m1}=2\text{mA/V}$$

- b) Potenza statica dissipata:

$$P = 5\text{V} \cdot \left(\frac{5\text{V}}{5\text{k}\Omega} + 1\text{mA} + 2\text{mA} \right) = 5\text{V} \cdot 4\text{mA} = 20\text{mW}$$

- c) Guadagno a media frequenza (C_1 aperto):

$$G = g_{m1} \cdot 2 \cdot (R_3 + R_4) = 6$$

- Guadagno ad alta frequenza (C_1 chiuso)

$$G = g_{m1} \cdot 2 \cdot (R_4) = 4$$

- d) $I_{D2}=I_{D1}=1\text{mA}$, $|V_{GS2}|=2\text{V}$, $V_{D1}=3\text{V}$ -> MOS M_1 saturo

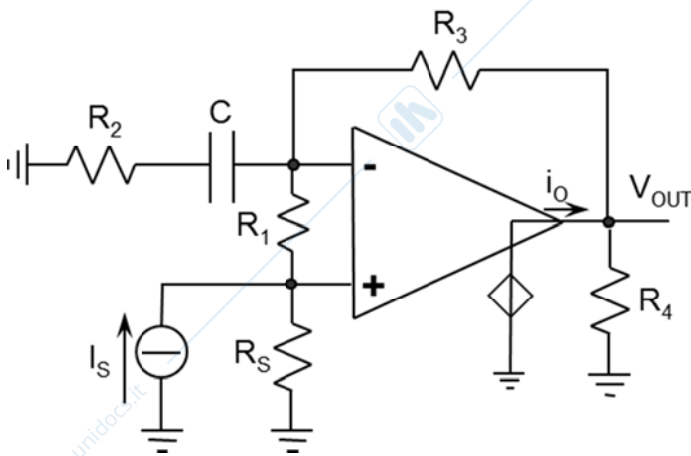
Legame tra le correnti:

$$\frac{I_{D3}}{I_{D2}} = \frac{K_{p3}(|V_{GS3}| - |V_{T,p}|)^2}{K_{p2}(|V_{GS2}| - |V_{T,p}|)^2} = \frac{K_{p3}(|V_{GS2}| - |V_{T,p}|)^2}{K_{p2}(|V_{GS2}| - |V_{T,p}|)^2} = \frac{K_{p3}}{K_{p2}} = 2$$

- e) L'impedenza vista dal nodo A è pari a $1/g_{m2}$, il guadagno è

$$G = -\frac{g_{m1}}{g_{m2}} = -1$$

Esercizio A.O. – 1° appello 2012-13



Dati:

$R_s=100 \text{ k}\Omega$

$R_1=100 \text{ k}\Omega$

$R_2=2 \text{ k}\Omega$

$R_3=20 \text{ k}\Omega$

$R_4=20 \text{ k}\Omega$

$C=1 \text{ nF}$

Si assumi l'A.O. ideale

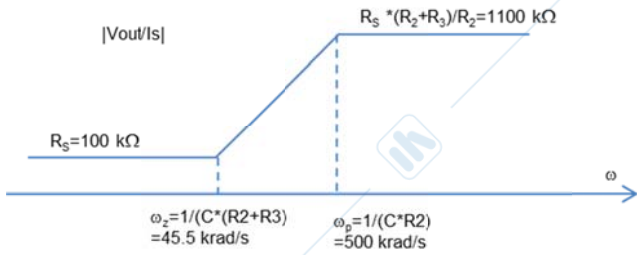
- Determinare il guadagno V_{out}/I_s del circuito e tracciarne il diagramma di Bode.
- Si assumi che la corrente di ingresso $I_s(t)$ sia una sinusoide di ampiezza $10 \mu\text{A}$. Determinare l'ampiezza della corrente di uscita $I_o(t)$ a bassa frequenza e ad alta frequenza.
- Determinare l'espressione e disegnare il grafico quotato di $V_{out}(t)$ in risposta ad un gradino di corrente di ingresso di $10 \mu\text{A}$.
- Considerati i dati forniti dal costruttore sulle correnti di bias dell'A.O. ($I_{bias}=1\mu\text{A}$ entranti, $I_{OS}=100\text{nA}$), calcolare l'effetto di I_b^+ e I_b^- sulla tensione di uscita V_{out} .

Si assumi ora che l'A.O. abbia guadagno in continua $A_0=10^5$ e polo $\omega_0=1 \text{ rad/s}$.

- Determinare il margine di fase del circuito.

Soluzioni

a) $V_{out}/I_s = R_s * (1 + s * C * (R_2 + R_3)) / (1 + s * C * R_2)$, $\omega_p = 1 / C * R_2 = 500 \text{krad/s}$, $\omega_z = 1 / C * (R_2 + R_3) = 45.5 \text{krad/s}$



b) $I_s(t) = A * \sin(\omega t)$, $A = 10 \mu\text{A}$

ad alta freq. (C chiusa):

$V_{out} = R_s * A * (1 + R_3 / R_2) = 100\text{k} * (1 + 20\text{k} / 2\text{k}) * I_s = 100\text{k} * 11 * 10 \mu\text{A} = 11\text{V}$

$I_o = I_3 + I_4 = V_{out} / (R_2 + R_3) + V_{out} / R_4 = 11\text{V} / 22\text{k} + 11\text{V} / 20\text{k} = 0.5\text{mA} + 0.55 \text{mA} = 1.05 \text{mA}$

A bassa freq. (C aperta):

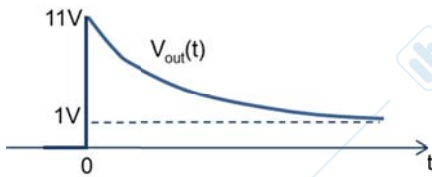
$V_{out} = R_s * A = 100\text{k} * I_s = 100\text{k} * 10 \mu\text{A} = 1\text{V}$

$I_o = I_3 + I_4 = 0 + V_{out} / R_4 = 1\text{V} / 20\text{k} = 0.05 \text{mA}$

c) $I_s(t) = \text{gradino di ampiezza } B = 10 \mu\text{A}$

$V_{out}(0^-) = 0$, $V_{out}(0^+) = B * R_s * (1 + R_3 / R_2) = 10 \mu\text{A} * 100\text{k} * 11 = 11\text{V}$, $V_{out}(+\infty) = B * R_s = 100\text{k} * 10 \mu\text{A} = 1\text{V}$, $\tau = C * R_2 = 2 \mu\text{s}$

$V_{out}(t) = B * R_s * R_3 / R_2 * \exp(-t / \tau) + B * R_s = 10\text{V} * \exp(-t / \tau) + 1\text{V}$



d) dai dati disponibili si ricava $I_b^+ = I_{bias} + 0.5 * I_{OS}$, $I_b^- = I_{bias} - 0.5 * I_{OS}$ (il segno di I_{OS} non e' noto).

sovrapposizione degli effetti:

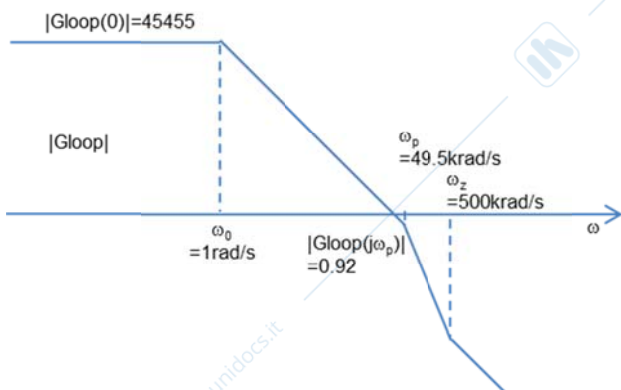
$V_{out} = -R_s * I_b^+ + R_3 * I_b^- = -R_s * (I_{bias} + 0.5 * I_{OS}) + R_3 * (I_{bias} - 0.5 * I_{OS}) = I_{bias} * (-R_s + R_3) - 0.5 * I_{OS} * (R_s + R_3) = -1 \mu\text{A} * 80\text{k}\Omega \pm 0.05 \mu\text{A} * 120\text{k}\Omega$ che da' -86mV o -74mV a secondo del segno di I_{OS} .

e) $G_{loop}(s) = -A(s) * R_s / (R_1 + R_s + R_3) * (1 + s * C * R_2) / (1 + s * C * ((R_1 + R_s) / (R_3 + R_2)))$

$|G_{loop}(0)| = A_0 * R_s / (R_1 + R_s + R_3) = 45455$

poli: $\omega_0 = 1 \text{rad/s}$, $\omega_p = 1 / (C * ((R_1 + R_s) / (R_3 + R_2))) = 49.5 \text{krad/s}$

zero: $\omega_z = 1 / (C * R_2) = 500 \text{krad/s}$.



$|G_{loop}|$ taglia l'asse 0dB poco prima del secondo polo ω_p ($|G_{loop}(j\omega_p)| = 0.92$), il margine di fase e' > 45 gradi.