

Cognome e nome	
Matricola	
Data	29 Maggio 2003
Corso di Laurea	Telecomunicazioni

Circuiti Elettronici Digitali L

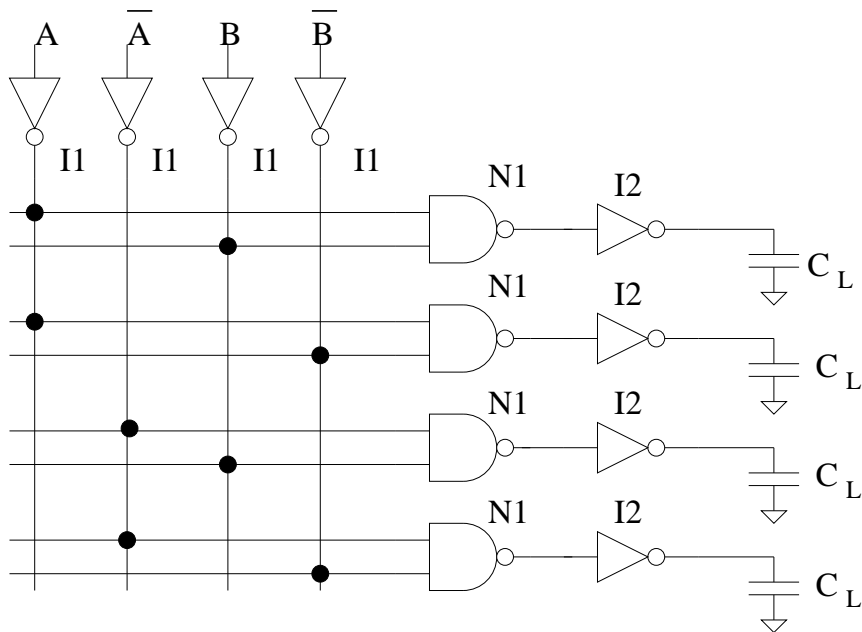
Parametri tecnologici

	n-channel	p-channel
V_{TO}	0.5V	-0.5V
β'	$100 \mu A/V^2$	$50 \mu A/V^2$
γ	$0.2 V^{1/2}$	$0.2 V^{1/2}$
λ	0	0
C_{ox}	$4 \text{ fF}/\mu m^2$	$4 \text{ fF}/\mu m^2$
L_{min}	$0.25 \mu m$	$0.25 \mu m$
Φ	0.6 V	0.6 V

$$V_{DD} = 2.5V$$

Scrivere sempre espressione analitica e valore numerico. Utilizzare $f = f_r = f_f = 0.8$ nel calcolo dei transistori

1. Con riferimento al circuito in figura, ai parametri tecnologici riportati in tabella, considerando i transistori esauriti al 90% ($f = f_r = f_f = 0.8$):



(a) Assumendo che il transistor a canale n che compone l'invertitore CMOS statico I2 abbia fattore di forma pari a $S_{n,I2} = 10$ e che l'invertitore sia stato dimensionato affinché si abbia $T_{P,HL}(I2) = T_{P,LH}(I2)$, dimensionare il nand CMOS statico N1 pienamente complementare a due ingressi affinché si abbia $T_{P,HL}(N1) \leq 80ps$ e $T_{P,HL}(N1) = T_{P,LH}(N1)$.

(b) Considerando per i transistori che compongono il nand CMOS statico N1 i fattori di forma $S_{n,N1}$ e $S_{p,N1}$ calcolati nel punto precedente, calcolare la capacità equivalente ad ogni ingresso di N1.

(c) Dimensionare l'invertitore CMOS statico I1 affinché sia verificata la condizione $T_{P,HL}(I1) = T_{P,LH}(I1) = 12ps$.

2. Si consideri un invertitore CMOS statico pienamente complementare. Supponendo che i transistori che lo compongono abbiano fattori di forma pari a $S_n = 10$, $S_p = 40$ e $C_L = 10fF$:

(a) Calcolare il valore di soglia logica V_{LT} .

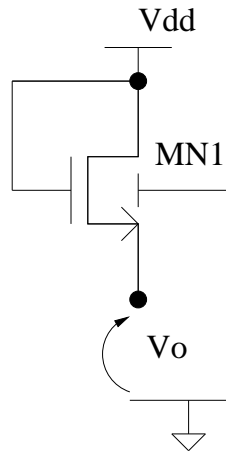
(b) Calcolare la potenza statica dissipata.

3. Un transistore MOS a canale n funziona correttamente se e solo se (motivare la risposta):

- $V_{SB} \geq 0$
- $V_{SB} < 0$

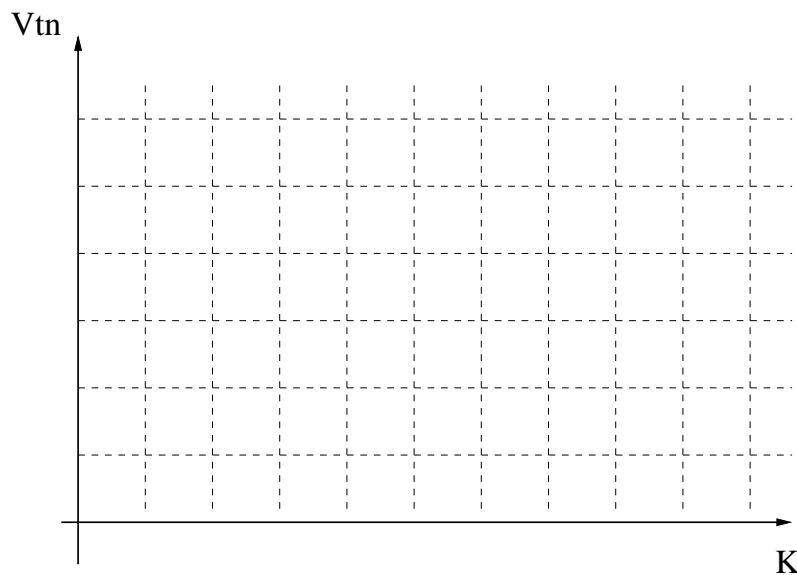
4. Con riferimento al circuito in figura, considerando I_D e $I_{D_{BODY}}$ rispettivamente la corrente del transistore MN1 **senza effetto body** e con *effetto body*, $V_O > 0$ e il transistore ON ($V_{GS} > V_{TN}$), indicare se (motivando la risposta):

- $I_D > I_{D_{BODY}}$
- $I_D = I_{D_{BODY}}$
- $I_D < I_{D_{BODY}}$



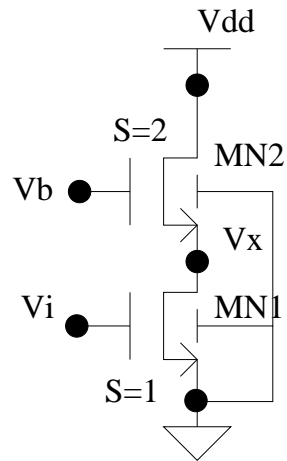
5. Con riferimento ad un transistore a canale n caratterizzato dai parametri tecnologici riportati in tabella:

(a) Graficare l'andamento della tensione di soglia $V_{TN} = V_{TN}(k)$ in funzione della grandezza $k = (\Phi + V_{SB})^{0.5} - (\Phi)^{0.5}$



(b) Indicare, motivando la risposta, quali parametri tecnologici sono direttamente ricavabili dalla caratteristica graficata $V_{TN} = V_{TN}(k)$.

6. Con riferimento al circuito in figura, ai parametri tecnologici riportati in tabella, trascurando l'effetto body e considerando per i transistori MN1 e MN2 i fattori di forma in figura, completare la seguente tabella (scrivere inoltre il procedimento eseguito per i diversi punti della tabella).



	$I_D(MN1)$	Regione di funzionamento MN1	V_B	V_X	V_I
a			2.5V	0.5V	0.4V
b			1.0V	0.211V	1.0V
c	$13 \mu A$		1.0V		1.5V
d	$100 \mu A$		2.5V	1.0V	

Indicare di seguito il procedimento svolto per i diversi punti della tabella.

(a)

(b)

(c)

(d)

Circuiti Elettronici Digitali L: soluzione prova 29/05/2003

1. Soluzione domanda 1

$$(a) T_{P,HL}(I2) = T_{P,LH}(I2) \rightarrow \frac{2 \cdot C_L(I2) \cdot f}{\beta'_n \cdot S_{n,I2}} = \frac{2 \cdot C_L(I2) \cdot f}{\beta'_p \cdot S_{p,I2}} \rightarrow \alpha(I2) = \frac{S_{p,I2}}{S_{n,I2}} = 2 \rightarrow S_{p,I2} = 20$$

$$T_{P,HL}(N1) = \frac{2 \cdot C_L(N1) \cdot f}{\beta'_n \cdot S_{neq,N1}}$$

$$C_L(N1) = C_{IN}(I2) = C_{OX} \cdot L^2 \cdot S_{n,I2} (1 + \alpha(I2)) = 7.5 fF$$

$$S_{neq,N1} = S_{n,N1} / 2$$

$$T_{P,HL}(N1) = \frac{2 \cdot 7.5 \cdot 10^{-15} \cdot 0.8}{100 \cdot 10^{-6} \cdot (S_{n,N1} / 2)} = 80 \cdot 10^{-12} \rightarrow S_{n,N1} = 3$$

$$T_{P,HL}(N1) = T_{P,LH}(N1) \rightarrow \frac{2 \cdot C_L(N1) \cdot f}{\beta'_n \cdot S_{neq,N1}} = \frac{2 \cdot C_L(N1) \cdot f}{\beta'_p \cdot S_{peq,N1}} \rightarrow \alpha(N1) = \frac{S_{p,N1}}{S_{n,N1}} = 1 \rightarrow S_{p,N1} = 3$$

$$(b) C_{IN}(N1) = C_{OX} \cdot L^2 \cdot S_{n,N1} (1 + \alpha(N1)) = 4 \cdot 10^{-15} \cdot (0.25)^2 \cdot 3 \cdot (2) = 1.5 fF$$

$$(c) T_{P,HL}(I1) = \frac{2 \cdot C_L(I1) \cdot f}{\beta'_n \cdot S_{n,I1}}$$

Ogni invertitore I2 è collegato a due porte N1, quindi

$$C_L(I1) = 2 \cdot C_{IN}(N1) = 3.0 fF$$

$$T_{P,HL}(I1) = 12 ps \rightarrow S_{n,I1} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^{-15}}{100 \cdot 10^{-6} \cdot 12 \cdot 10^{-12}} \cdot 0.8 = 4$$

$$T_{P,HL}(I1) = T_{P,LH}(I1) \rightarrow S_{p,I1} = 2 \cdot S_{n,I1} = 8$$

2. Soluzione domanda 2

$$(a) V_{LT} = \frac{V_{TN} + r(V_{DD} + V_{TP})}{1+r}$$

$$r = \sqrt{\frac{\beta_p}{\beta_n}} = \sqrt{\frac{\beta'_p \cdot S_p}{\beta'_n \cdot S_n}} = \sqrt{\frac{50 \cdot 10^{-6} \cdot 40}{100 \cdot 10^{-6} \cdot 10}} = \sqrt{2}$$

$$V_{LT} = 1.37V$$

$$(b) P_{Statica} = 0$$

3. Soluzione domanda 3

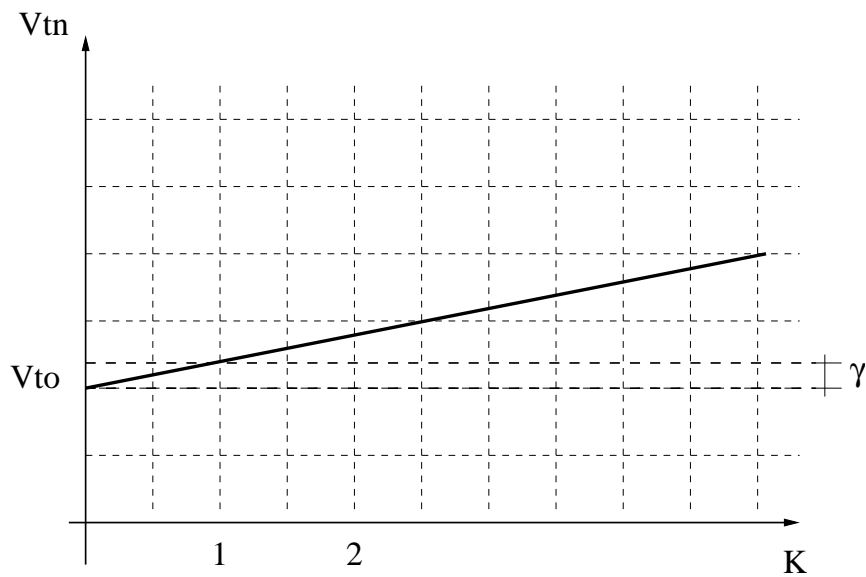
- $V_{SB} \geq 0$

4. Soluzione domanda 4

- $I_D > I_{D_{BODY}}$

5. Soluzione domanda 5

(a)



(b) L'intersezione con l'asse delle ordinate fornisce il parametro V_{TO} , mentre la pendenza della retta $\frac{dV_{TN}}{dk} = \gamma$.

6. Soluzione domanda 6

	$I_D(MN1)$	Regione di funzionamento MN1	V_B	V_X	V_I
a	0A	Off	2.5V	0.5V	0.4V
b	$8.32 \cdot 10^{-6} \text{ A}$	Lineare	1.0V	0.211V	1.0V
c	$13 \mu\text{A}$	Lineare	1.0V	0.139 V	1.5V
d	$100 \mu\text{A}$	Lineare	2.5V	1.0V	2 V

(a) MN1 è OFF, infatti $V_{GS}(MN1) = 0.4V$, $V_{TN} = 0.5$, $V_{GS}(MN1) < V_{TN} \rightarrow I_D(MN1) = 0A$

(b) MN1 è ON e LINEARE, infatti $V_{GS}(MN1) = 1.0V$, $V_{DS}(MN1) = 0.211V$
 $0.211 < 1.0 - 0.5 \rightarrow \text{LINEARE}$

$$I_D(MN1) = \beta' \cdot 1 \cdot ((1.0 - 0.5) \cdot 0.211 - 0.5 \cdot 0.211^2) = 8.32 \mu\text{A}$$

(c) MN2 è ON e SATURO, infatti $V_{GS}(MN2) = 1.0 - V_X$, $V_{DS}(MN2) = 2.5 - V_X$
 $2.5 - V_X > 1.0 - V_X - 0.5 \rightarrow \text{SATURO}$

$$I_D(MN1) = I_D(MN2) = \frac{\beta' \cdot 2}{2} (V_B - V_X - 0.5)^2 = 13 \cdot 10^{-6} \rightarrow V_X = 0.139V$$

(d) HP: MN1 è LINEARE

$$I_D(MN1) = \beta' \cdot 1 \cdot ((V_I - 0.5) \cdot 1.0 - 0.5 \cdot 1.0^2) = 100 \cdot 10^{-6}$$

$$V_I - 0.5 - 0.5 = 1.0 \rightarrow V_I = 2$$

$$V_{DS}(MN1) = 1.0V, V_{GS}(MN1) - V_{TN} = 2.0 - 0.5V \rightarrow 1.0 < 1.5 \rightarrow \text{LINEARE}$$

L'ipotesi fatta è quindi corretta.