

Cognoms i Nom:

Codi

Examen parcial de Física - Electrònica i ones
10 de gener de 2022

Model A

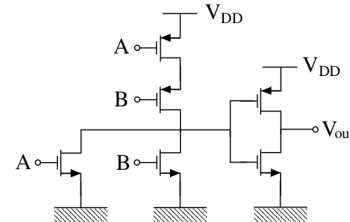
Qüestions: 50% de l'examen

A cada qüestió només hi ha una resposta correcta. Encerclau-la de manera clara.

Puntuació: correcta = 1 punt, incorrecta = -0.25 punts, en blanc = 0 punts.

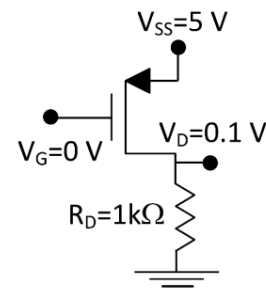
T1) L'esquema CMOS següent correspon a una porta lògica

- a) NAND
- b) AND
- c) OR
- d) NOR



T2) El transistor PMOS de la figura, de $V_T = -1.3\text{ V}$, treballa amb $V_D = 0.1\text{ V}$ quan $V_G = 0\text{ V}$. Llavors podem afirmar que

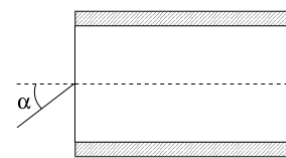
- a) Treballa en saturació i $\beta = 0.0146\text{ mA/V}^2$.
- b) Treballa en règim òhmic i $\beta = 0.125\text{ mA/V}^2$.
- c) Està en tall.
- d) Treballa en saturació i $\beta = 0.125\text{ mA/V}^2$.



T3) Una antena emissora de ràdio emet en totes direccions un senyal electromagnètic de 7 kW. Quan valen, respectivament, els camps elèctric i magnètic màxims a una distància de 30 km? ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{ Tm/A}$, $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}\text{ F/m}$).

- a) 0.153 V/m , $5.1 \times 10^{-10}\text{ T}$.
- b) 0.216 V/m , $7.2 \times 10^{-10}\text{ T}$.
- c) 0.0216 V/m , $7.2 \times 10^{-11}\text{ T}$.
- d) 0.0153 V/m , $5.1 \times 10^{-11}\text{ T}$.

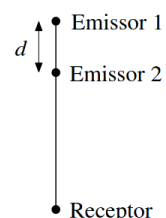
T4) Una fibra òptica de quars amb índex de refracció $n_1 = 1.49$ té un recobriment d'índex de refracció $n_2 = 1.45$. Quin serà l'angle màxim d'entrada α d'un feix de llum a la fibra per tal que aquesta funcioni correctament? ($n_{\text{aire}} = 1$)



- a) 25° .
- b) 15° .
- c) 20° .
- d) 30° .

T5) Disposem de dos emissors d'ultrasons alineats amb un receptor. Els dos emissors emeten en fase ones de 17 kHz i estan separats una distància d variable. Sabent que la velocitat del so és de 340 m/s, per a quina de les següents distàncies d serà mínima l'amplitud del senyal rebuda al receptor?

- a) 15.25 cm
- b) 15 cm
- c) 16 cm
- d) 15.5 cm



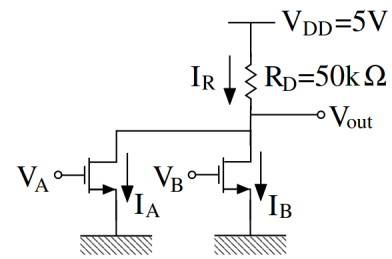
Cognoms i Nom:

Codi

Examen de Física - Electrònica i ones
10 de gener de 2022

Problema: 50% de l'examen

Els dos transistors de la figura són idèntics i de característiques, $\beta = 2.5 \cdot 10^{-4} \text{ A/V}^2$ i $V_T = 1 \text{ V}$. Si les entrades V_A i V_B poden prendre els valors 0 V i 5 V :



- Calculeu els valors de I_A , I_B , I_R i de V_{out} pel cas $V_A = V_B = 0 \text{ V}$. Indiqueu en quin règim treballa cada transistor. (2.5p)
- Calculeu els valors de I_A , I_B , I_R i de V_{out} pel cas $V_A = 0, V_B = 5 \text{ V}$. Indiqueu en quin règim treballa ara cada transistor. (5p)
- Quina funció lògica implementa el circuit? Feu la taula de la veritat corresponent a les quatre possibles entrades lògiques. (2.5p)

COMENCEU LA RESOLUCIÓ DEL PROBLEMA EN AQUEST MATEIX FULL

Respostes correctes de les qüestions del Test

Qüestió	Model A	Model B
T1)	c	d
T2)	a	b
T3)	c	c
T4)	c	d
T5)	b	c

Resolució del Model A

- T1)** La part de la porta que queda a l'esquerra (corresponent als transistors amb entrades marcades A i B) constitueix una porta NOR amb CMOS. La seva sortida està connectada a l'entrada d'un inversor, i per tant a la sortida V_{out} tenim la negació de l'entrada. Així doncs, al negar una NOR tenim una porta OR.
- T2)** Com $V_{GS} = 0 - 5 = -5 \text{ V}$ resulta $V_{GS} - V_T = -5 - (-1.3) = -3.7 \text{ V}$, mentre que $V_{DS} = 0.1 - 5 = -4.9 \text{ V}$. Per tant $0 > V_{GS} - V_T > V_{DS}$ i el transistor treballa en règim de saturació. La intensitat és $I = V_D/R_D = 0.1 \text{ mA}$, i amb $I_D = \beta(V_{GS} - V_T)^2/2$, obtenim $\beta = 2I_D/(V_{GS} - V_T)^2 = 0.0146 \text{ mA/V}^2$.
- T3)** Sabem que la intensitat mitjana de l'ona és $I = P/S = c\eta$, on P és la potència d'emissió, S és la superfície del front d'ones i η és la densitat mitjana d'energia per unitat de volum que transporta l'ona. D'altra banda sabem que $\eta = \epsilon_0 E_0^2/2$, de forma que $E_0 = \sqrt{\frac{P}{2\pi r^2 \epsilon_0 c}}$, on r és la distància que separa el punt d'emissió del punt de recepció. D'aquí s'obté un camp elèctric E_0 de $0.0216 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ i $B_0 = \frac{E_0}{c} = 7.2 \times 10^{-11} \text{ T}$.
- T4)** L'angle crític a l'interior de la fibra és

$$\phi_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = 76.7^\circ .$$

Això fa que l'angle que forma el raig quan entra a la fibra amb l'eix longitudinal de la fibra és de $90 - \phi = 13.3^\circ$. Finalment, aplicant la llei de Snell a la transmissió aire-fibra, tenim que l'angle incident ha de ser de $\alpha = 20^\circ$.

- T5)** Si el receptor registra un mínim d'amplitud és perquè les ones emeses interfereixen destructivament. Això només passa quan la distància que separa els dos centres emissors és igual a un nombre semi-senar de longituds d'ona, és a dir, quan $d = (2n + 1)\lambda/2$, on n és un nombre enter i λ la longitud d'ona. Al cas present ens donen la freqüència i la velocitat de propagació de les ones, de forma que $\lambda = v/f = 340/170000 = 0.020 \text{ m}$. Amb les respostes donades, això només passa pel cas de 15.0 cm .

Resolució del Problema

- a) Tots dos transistors tenen la font connectada a terra, i per tant el seu valor de tensió es $V_S = 0 \text{ V}$ pels dos. Tanmateix, les tensions de porta són precisament les d'entrada V_A i V_B . Quan posem aquestes dues tensions a 0 V , obtenim $V_{GS} = V_G - V_S = 0 - 0 = 0 \text{ V}$ en tots dos transistors, i per tant tots dos treballen en regió de tall. Al treballar en tall, els dos corrents són nuls $I_A = I_B = 0 \text{ A}$, i per tant el corrent total també ho és $I_R = I_A + I_B = 0 \text{ A}$. Amb un corrent total I_R nul, la diferència de potencial $V_{DD} - V_{out} = 0$ ja que és igual a la tensió que cau a la resistència R_D (nul·la ja que no circula corrent a través seu). Per tant, $V_{out} = V_{DD} = 5 \text{ V}$.
- b) Amb $V_A = 5 \text{ V}$, el transistor de l'esquerra sabem que està en tall. Per al transistor de la dreta tenim $V_{GS} = 5 - 0 = 0 \text{ V}$, de forma que $V_{GS} - V_T = 5 - 1 = 4 > 0$, indicant que aquest transistor no treballa en tall. Ixí doncs, cal decidir si es troba en règim òhmic o de saturació.

Si suposem que treballa en saturació, podem determinar fàcilment el corrent de la forma

$$I_B = \frac{1}{2} \beta (V_{GS} - V_T)^2 = \frac{1}{2} 2.5 \cdot 10^{-4} (5 - 1)^2 = 0.002 \text{ A} ,$$

però llavors cal comprovar que també se satisfà l'equació de l'etapa de sortida

$$V_{DS} + R_D I_D = V_{DD} .$$

A partir d'aquesta expressió trobem

$$V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D = 5 - (50 \cdot 10^3)(0.002) = -95 \text{ V}$$

que obviament no pot ser. Així doncs, concluïm que la suposició de que el transistor treballa en règim de saturació era errònia, i per tant ara sabem que treballa en regió òhmica.

El corrent és doncs

$$I_B = \beta \left[(V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] = 2.5 \cdot 10^{-4} \left[4 V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

que, insertat a l'equació de l'etapa de sortida que hem escrit abans, ens porta a

$$V_{DS} + 50 \cdot 10^3 2.5 \cdot 10^{-4} \left[4 V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] = 5 .$$

Simplificant, arribem doncs a

$$6.25 V_{DS}^2 - 51 V_{DS} + 5 = 0 ,$$

que té dues solucions: $V_{DS} = 8.06 \text{ V}$ i $V_{DS} = 0.10 \text{ V}$

Observem que la primera és inadmissible ($8.06 \text{ V} > V_{DD}$), de forma que la solució correcta és $V_{DS} = 0.10 \text{ V}$. Així doncs, $V_{out} = V_{DS} = 0.10 \text{ V}$.

Amb aquest valor i amb l'equació del corrent I_B en règim òhmic escrita a dalt, obtenim

$$I_B = \beta \left[(V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] = 2.5 \cdot 10^{-4} \left[4 \cdot 0.10 - \frac{0.10^2}{2} \right] = 98 \mu\text{A}$$

Amb tota aquesta informació concluïm que $I_A = 0$, $I_B = 98 \mu\text{A}$, i per tant el corrent total és $I_R = I_A + I_B = 98 \mu\text{A}$.

- c) Els dos casos analitzats als apartats anteriors ens diuen que, identificant un 0 i un 1 lògics amb tensions $\approx 0\text{ V}$ i $\approx 5\text{ V}$ respectivament, l'entrada $A=B=0$ té per sortida un 1, mentre que $A=0$ amb $B=1$ dona un 0 lògic a la sortida. Tal com veiem de la figura, el circuit és simètric sota l'intercanvi $A \leftrightarrow B$, la qual cosa ens diu que el tercer estat $A=1$ amb $B=0$ també dona un 0 lògic a a la sortida.

El cas en que tant A com B estan a 1 lògic no s'ha analitzat explícitament, però veiem que amb una tensió d'entrada de 5 V tots dos transistors treballaran al mateix règim, que no pot ser de tall ja que $V_{GS} - V_T > 0$.

També sabem que el règim de saturació està exclòs (per l'anàlisi del punt anterior, que no es veu modificat en el present cas). Amb una extrada de valor 1 lògic, corresponent a 5 V, cap dels dos transistors es troba en tall, de forma que treballaran en règim òhmic. Aixó implica que la seva tensió de sortida V_{DS} serà baixa, i com tots dos tenen la font connectada a terra, $V_{out} = V_{DS}$, que identifiquem amb un 0 lògic. Recollint tota la informació anterior, a taula de la veritat que en resulta és, llavors

A	B	OUT
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

corresponent a una porta NOR.