

Cognoms i Nom:

Codi

Examen parcial de Física - Electrònica i ones  
11 de gener de 2021

Model A

Qüestions: 50% de l'examen

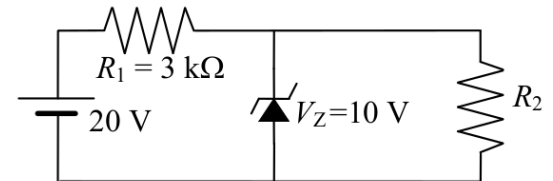
A cada qüestió només hi ha una resposta correcta. Encerclau-la de manera clara.

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

( $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ C V}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T m/A}$ ,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ,  $h = 6.625 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ )

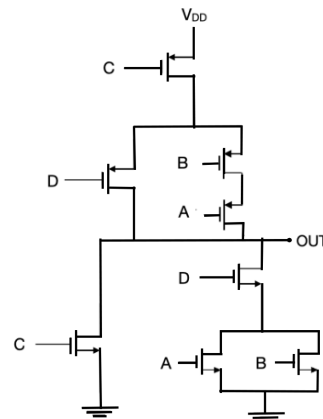
**T1)** Per quin dels següents valors de  $R_2$  **no** conduirà el díode Zener en el circuit de la figura?

- a) 4.5 k $\Omega$
- b) Per qualsevol valor de  $R_2$
- c) 3.5 k $\Omega$
- d) 2.5 k $\Omega$



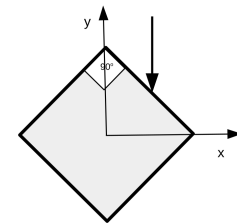
**T2)** L'esquema CMOS següent correspon a la funció lògica:

- a)  $C \cdot (D + A \cdot B)$
- b)  $\overline{C \cdot (D + A \cdot B)}$
- c)  $C + D \cdot (A + B)$
- d)  $\overline{C + D \cdot (A + B)}$



**T3)** Un raig de llum incideix sobre una de les cares d'un prisma de vidre de base quadrada i amb índex de refracció  $n_V = 1.41$ , com es veu a la figura. Quin és l'angle entre el raig reflectit i l'eix  $x$ ? (Assumim un índex de refracció unitat per l'aire).

- a) 0°
- b) 30°
- c) 90°
- d) 45°



**T4)** El camp magnètic d'una ona electromagnètica és  $\vec{B}(z, t) = B_0 \cos(kz + \omega t) \hat{i}$ . Quina és l'expressió del camp elèctric?

- a)  $\vec{E}(z, t) = (B_0 c) \cos(kz - \omega t) \hat{j}$
- b)  $\vec{E}(z, t) = (B_0 c) \cos(kz + \omega t) \hat{j}$
- c)  $\vec{E}(z, t) = (B_0 c) \cos(kz + \omega t) \hat{k}$
- d) Cap de les anteriors

**T5)** Una ona electromagnètica monocromàtica, de longitud d'ona 2 cm i  $2.66 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$  d'intensitat, incideix sobre una superfície perpendicular a la direcció de propagació d'àrea 5 cm<sup>2</sup>. Calculeu el nombre de fotons que impacten amb la superfície en un temps de 10 s.

- a)  $5.1 \cdot 10^{18}$
- b)  $1.3 \cdot 10^{20}$
- c)  $5.1 \cdot 10^{20}$
- d)  $1.3 \cdot 10^{18}$

Cognoms i Nom:

Codi

Examen parcial de Física - Electrònica i ones  
11 de gener de 2021

Model B

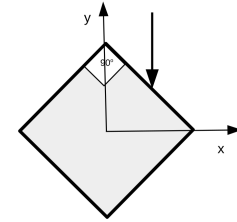
Qüestions: 50% de l'examen

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

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

( $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ C V}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T m/A}$ ,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ,  $h = 6.625 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ )

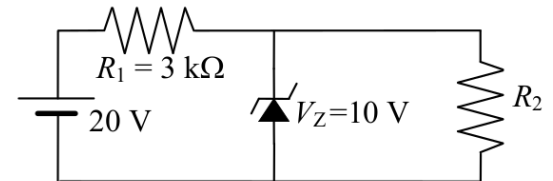
**T1)** Un raig de llum incideix sobre una de les cares d'un prisma de vidre de base quadrada i amb índex de refracció  $n_V = 1.41$ , com es veu a la figura. Quin és l'angle entre el raig reflectit i l'eix  $x$ ? (Assumim un índex de refracció unitat per l'aire).



- a)  $30^\circ$
- b)  $0^\circ$
- c)  $90^\circ$
- d)  $45^\circ$

**T2)** Per quin dels següents valors de  $R_2$  **no** conduirà el díode Zener en el circuit de la figura?

- a)  $3.5 \text{ k}\Omega$
- b)  $4.5 \text{ k}\Omega$
- c)  $2.5 \text{ k}\Omega$
- d) Per qualsevol valor de  $R_2$



**T3)** El camp magnètic d'una ona electromagnètica és  $\vec{B}(z, t) = B_0 \cos(kz + \omega t) \hat{i}$ . Quina és l'expressió del camp elèctric?

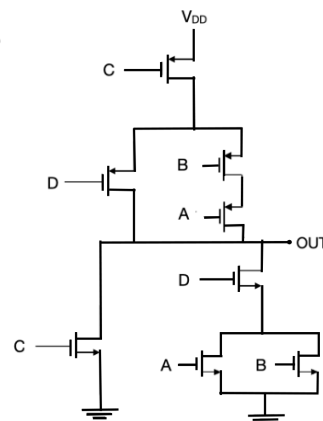
- a)  $\vec{E}(z, t) = (B_0 c) \cos(kz + \omega t) \hat{j}$
- b)  $\vec{E}(z, t) = (B_0 c) \cos(kz + \omega t) \hat{k}$
- c)  $\vec{E}(z, t) = (B_0 c) \cos(kz - \omega t) \hat{j}$
- d) Cap de les anteriors

**T4)** Una ona electromagnètica monocromàtica, de longitud d'ona  $2 \text{ cm}$  i  $2.66 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$  d'intensitat, incideix sobre una superfície perpendicular a la direcció de propagació d'àrea  $5 \text{ cm}^2$ . Calculeu el nombre de fotons que impacten amb la superfície en un temps de  $10 \text{ s}$ .

- a)  $1.3 \cdot 10^{18}$
- b)  $5.1 \cdot 10^{18}$
- c)  $1.3 \cdot 10^{20}$
- d)  $5.1 \cdot 10^{20}$

**T5)** L'esquema CMOS següent correspon a la funció lògica:

- a)  $\overline{C + D \cdot (A + B)}$
- b)  $\overline{C \cdot (D + A \cdot B)}$
- c)  $C + D \cdot (A + B)$
- d)  $C \cdot (D + A \cdot B)$



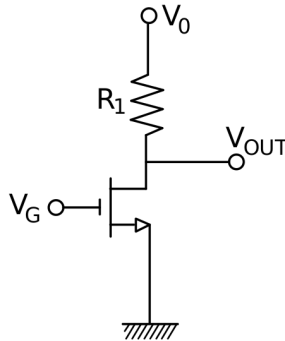
Cognoms i Nom:

Codi

Examen de Física - Electrònica i ones  
11 de gener de 2021

Problema: 50% de l'examen

Considereu el circuit de la figura següent, on els paràmetres característics del transistor són  $\beta = 200 \mu\text{A}/\text{V}^2$  i  $V_T = 1.5 \text{ V}$ , el valor de la resistència és  $R_1 = 1\text{k}\Omega$ , i la tensió de referència és  $V_0 = 5 \text{ V}$ .



- Trobeu el valor de sortida  $V_{OUT}$  corresponent a  $V_G = 5 \text{ V}$ . En quin règim treballa el transistor?
- Determineu el valor de la tensió de porta  $V_G$  que situa el transistor just en el canvi de règim de treball entre saturació i òhmica. En quin règim treballa el transistor si  $V_G$  supera aquest valor?
- Si amb  $V_G = 5 \text{ V}$ , fem  $R_1 = 25\text{k}\Omega$  i ens diuen que en aquestes condicions el transistor està en zona òhmica i que (si volem) podem negligir el terme quadràtic en l'equació de la intensitat: trobeu la intensitat que circula pel transistor i la tensió de sortida  $V_{OUT}$ . El resultat trobat està d'acord amb l'afirmació que la zona de treball és la òhmica?

**COMENCEU LA RESOLUCIÓ DEL PROBLEMA EN AQUEST MATEIX FULL**

## Respostes correctes de les qüestions del Test

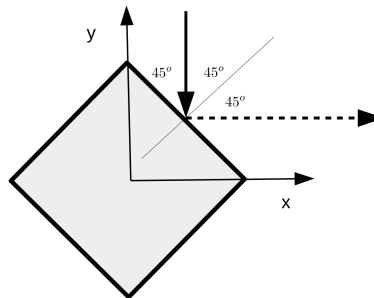
Qüestió	Model A	Model B
T1)	d	b
T2)	d	c
T3)	a	a
T4)	b	a
T5)	d	a

### Resolució del Model A

**T1)** El Zener no conduirà si  $R_2 \cdot (20/(3 + R_2)) < 10$ , d'on surt que  $R_2 < 3 \text{ k}\Omega$

**T2)** La xarxa pull-down formada per els transistors NMOS permet el pas de corrent en els casos descrits per l'expressió lògica  $C + D \cdot (A + B)$ . En aquests casos (i només en aquests, per la complementarietat de les xarxes pull-down i pull-up),  $V_{OUT} = 0$ . Aquesta funció correspòn a  $\overline{C + D \cdot (A + B)}$ .

**T3)** Donat que es tracta d'una reflexió el raig reflectit forma el mateix angle amb l'eix d'incidència que el raig incident, que en aquest cas és de  $45^\circ$ . Com l'eix d'incidència ja té una inclinació de  $45^\circ$ , això fa que el raig reflectit sigui paral·lel a l'eix  $x$ , i per tant l'angle entre tots dos és 0, tal i com es veu a la figura.



**T4)** D'acord amb l'expressió del camp magnètic, l'ona es propaga cap a les  $z$  negatives. Per tant, el vector unitari que indica la direcció de propagació és  $\hat{u} = -\hat{k}$ . Considerant que  $\vec{E} = c(\vec{B} \times \hat{u})$  s'obté el resultat indicat b).

**T5)** En general tenim que la potència total a través d'una superfície  $S$  val  $P = I \cdot S$ , i l'energia corresponent en un temps  $t$  val  $E = P \cdot t = I \cdot S \cdot t$ . Al mateix temps tenim que com l'energia d'un fotó és  $E_1 = h \cdot f$ , aquesta energia es pot expressar també com  $E = N \cdot h \cdot f$ . Igualant les dues expressions de l'energia tindrem  $E = I \cdot S \cdot t = N \cdot h \cdot f$ . El nombre de fotons serà doncs  $N = (I \cdot S \cdot t) / (h \cdot f) = 1.3 \cdot 10^{18}$  fotons.

## Resolució del Problema

- a) Suposarem primer que el transistor treballa en saturació. En aquest cas s'obté

$$I_{DS} = \frac{1}{2}\beta(V_{GS} - V_T)^2 = \frac{1}{2}200 \cdot 10^{-6} (5 - 1.5)^2 = 1.225 \text{ mA}$$

i per tant

$$V_{OUT} = 5 - R_1 I_{DS} = 5 - 1000 \cdot 1.225 \cdot 10^{-3} = 3.775 \text{ V} .$$

La condició de saturació  $V_{GS} - V_T < V_{DS}$  se satisfà, ja que  $3.5 < 3.775$

- b) El canvi de règim de treball entre saturació i òhmica es produeix just quan  $V_{DS} = V_{GS} - V_T$ . Mirant l'etapa de sortida del circuit, obtenim

$$5 - R_1 I_{DS} = V_{DS} ,$$

i fent servir l'expressió del corrent en saturació

$$I_{DS} = \frac{1}{2}\beta(V_{GS} - V_T)^2$$

i substituint a l'equació anterior amb  $V_{DS} = V_{GS} - V_T$  a la part dreta, obtenim

$$5 - R_1 \frac{1}{2}\beta(V_{GS} - V_T)^2 = V_{GS} - V_T .$$

Anemonant ara  $V_{GT} = V_{GS} - V_T$  i substituint els valor coneguts, arribem a l'equació

$$5 - 0.1V_{GT}^2 = V_{GT}$$

que té dues solucions,  $V_{GT}^a = 3.66 \text{ V}$  i  $V_{GT}^b = -13.66 \text{ V}$ . La segona solució no té sentit donat que ha de ser  $V_{GS} - V_T > 0$ , de forma que la solució que cercàvem és la primera. A partir d'aquí obtenim  $V_{GS} = 3.66 + 1.5 = 5.16 \text{ V}$ .

Finalment, si augmentem el valor de  $V_{GS}$ , el corrent de saturació augmenta i per tant la tensió  $V_{DS}$  donada per la primera de les equacions disminueix. Això fa que  $V_{GS} - V_T > V_{DS}$  i per tant el transistor passa a treballar en règim òhmic.

- c) Amb  $R_1 = 25 \text{ k}\Omega$  i suposant que estem en zona òhmica, la intensitat que circula pel transistor verificarà simultàniament les dues equacions:

$$I_D = \frac{5 - V_{out}}{R_1} \quad I_D = \beta (V_{GT}V_{DS} - V_{DS}^2/2)$$

Si negligim el terme quadràtic en  $V_{DS} = V_{out}$ , igualant les dues expressions i substituint valors trobem  $5 - V_{out} = 25000 (200 \cdot 10^{-6}) 3.5 V_{out} = 17.5 V_{out}$ , d'on resulta  $V_{out} = 0.27 \text{ V}$ , i substituint a l'equació anterior trobem  $I_D = 189 \mu\text{A}$ . La condició de zona òhmica se satisfà:  $V_{GT} > V_{DS}$  ( $V_{GT} = 3.5 \text{ V}$ , i  $V_{DS} = V_{out} = 0.27 \text{ V}$ ).

(Si mantenim el terme quadràtic en  $V_{DS}$ , de nou igualant les dues expressions i substituint valors arribem a  $5 - 18.5 V_{out} + 2.5 V_{out}^2 = 0$ , que té les dues solucions  $V_{out} = 7.1 \text{ V}$  i  $V_{out} = 0.28 \text{ V}$ , la primera de les quals cal descartar perquè no verifica la condició de zona òhmica ( $V_{GT} = 3.5 \text{ V}$ , i  $V_{DS} = V_{out} = 7.1 \text{ V}$ ). La segona sí que la verifica ( $V_{GT} = 3.5 \text{ V}$ , i  $V_{DS} = 0.28 \text{ V}$ ). En aquest cas trobem igualment  $I_D = 189 \mu\text{A}$ ).

En definitiva,  $V_{out} = 0.28 \text{ V}$ ,  $I_D = 189 \mu\text{A}$ , amb el transistor treballant efectivament en zona òhmica.