

Cognoms i Nom:

Codi

Examen parcial de Física - ELECTRÒNICA i ONES
13 de gener de 2023

Model A

Qüestions: 60% 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.

T1) L'estació espacial internacional ISS es troba situada a una distància mitjana de 400 km de la terra. Si disposem d'un receptor de ràdio capaç de detectar camps magnètics d'amplitud igual o superior a $0.5 \cdot 10^{-9}$ T, quina ha de ser la mínima potència amb la que ha d'emetre la ISS un senyal per tal que es pugui captar?

($\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ C²/N·m², $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ N/A².)

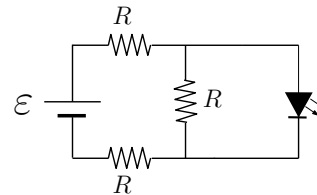
- a) $1.51 \cdot 10^2$ W. b) $2.67 \cdot 10^{-9}$ W. c) $8.52 \cdot 10^{12}$ W. d) $6 \cdot 10^7$ W.

T2) Si el camp magnètic d'una ona electromagnètica plana, harmònica i linealment polaritzada és $\mathbf{B}(x, t) = (B_0 \mathbf{k}) \sin(kx - \omega t)$, quina de les següents afirmacions és certa:

- a) l'ona avança en el sentit positiu de les x i $\mathbf{E}(x, t) = -(E_0 \mathbf{j}) \sin(kx - \omega t)$
b) l'ona avança en el sentit negatiu de les x i $\mathbf{E}(x, t) = (E_0 \mathbf{j}) \sin(kx - \omega t)$
c) l'ona avança en el sentit positiu de les x i $\mathbf{E}(x, t) = (E_0 \mathbf{j}) \sin(kx - \omega t)$
d) l'ona avança en el sentit negatiu de les x i $\mathbf{E}(x, t) = -(E_0 \mathbf{j}) \sin(kx - \omega t)$

T3) El díode LED del circuit de la figura té una tensió llindar V_γ . El valor de la fem ϵ del generador de tensió a partir del qual el díode s'il·lumina és:

- a) $\epsilon = V_\gamma$. b) $\epsilon = 3 V_\gamma$.
c) $\epsilon = 0.5 V_\gamma$. d) $\epsilon = 2 V_\gamma$.

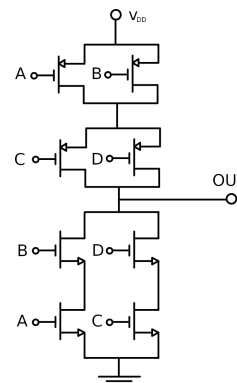


T4) Un feix de llum natural travessa tres filtres polaritzadors disposats de manera que els eixos de transmissió de dos filtres consecutius formen un angle de 45° , i a la sortida es detecta una intensitat de 3 W/m^2 . Si retirem el polaritzador del mig, la intensitat de la llum natural després de passar pels dos filtres restants és

- a) 0 W/m^2 . b) 2 W/m^2 . c) 1 W/m^2 . d) 3 W/m^2 .

T5) Quina funció lògica implementa el circuit CMOS de la figura?

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



Cognoms i Nom:

Codi

Examen parcial de Física - ELECTRÒNICA i ONES
13 de gener de 2023

Model B

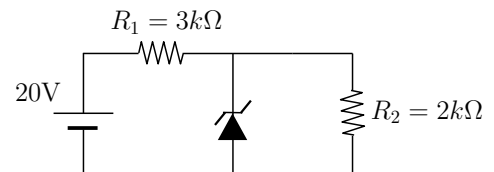
Qüestions: 60% de l'examen

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

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

T1) El díode Zener del circuit de la figura es caracteritza per una tensió llindar $V_\gamma = 0.7 \text{ V}$ i una tensió Zener $V_Z = 10 \text{ V}$. Quina és la potència dissipada a les resistències i al díode?

- a) $P_1 = 48 \text{ mW}$, $P_2 = 32 \text{ mW}$, $P_Z = 20 \text{ mW}$.
- b) $P_1 = 48 \text{ mW}$, $P_2 = 32 \text{ mW}$, $P_Z = 40 \text{ mW}$.
- c) $P_1 = 32 \text{ mW}$, $P_2 = 48 \text{ mW}$, $P_Z = 0$.
- d) $P_1 = 48 \text{ mW}$, $P_2 = 32 \text{ mW}$, $P_Z = 0$.

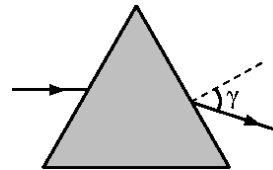


T2) A la universitat de Michigan s'està construint el laser ZEUS que a dia d'avui serà el més potent del món. Es preveu que al seu màxim rendiment serà capaç d'emetre polsos de durada $\delta t = 25 \cdot 10^{-6} \text{ ns}$, amb una potència $P = 3 \cdot 10^9 \text{ MW}$. Suposant que emet fotons de rajos X de freqüència $f = 3 \cdot 10^5 \text{ THz}$, el nombre total N de fotons emesos en un sol pols serà: ($h=6.62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$)

- a) $N = 3.77 \cdot 10^{17}$.
- b) $N = 6.66 \cdot 10^{23}$.
- c) $N = 1.26 \cdot 10^{14}$.
- d) $N = 5.41 \cdot 10^{13}$.

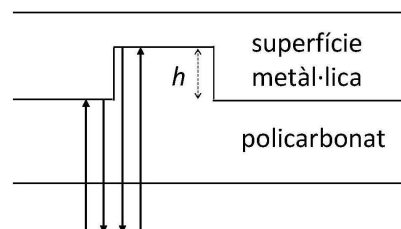
T3) Sobre un prisma en forma de triangle equilàter i índex de refracció $n = 1.5$, incideix un feix de llum paral·lelament a la seva base, tal com mostra la figura. L'angle γ respecte a la normal amb el que surt, un cop refractat, és:

- a) 53° .
- b) 17° .
- c) 60° .
- d) 77° .



T4) Un CD-ROM consisteix en una superfície metàl·lica recoberta de policarbonat amb un índex de refracció $n = 1.55$ sobre la qual es fa incidir perpendicularment llum d'un làser. Com es mostra a la figura, a la superfície metàl·lica hi ha forats de profunditat h , de tal manera que quan la llum es reflecteix en l'esglaó d'un forat té lloc una interferència destructiva. Si la freqüència del làser és de $4.4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$, quina ha de ser la profunditat mínima dels forats?

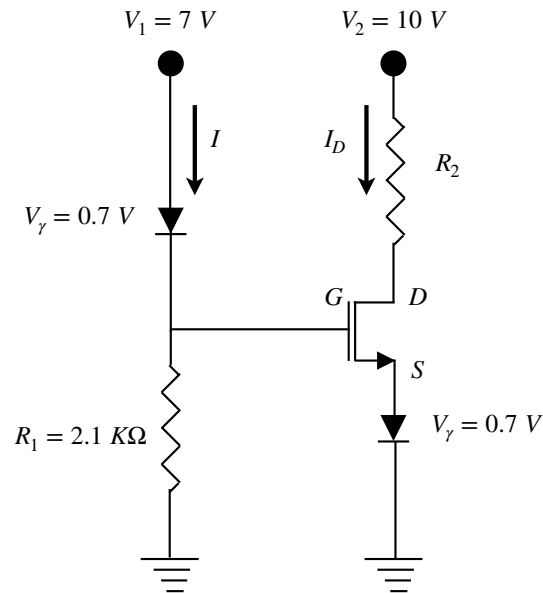
- a) $0.22 \mu\text{m}$.
- b) $0.11 \mu\text{m}$.
- c) $0.68 \mu\text{m}$.
- d) $0.44 \mu\text{m}$.



Examen parcial de Física - ELECTRÒNICA i ONES
13 de gener de 2023

Problema: 40% de l'examen

Considerem el següent circuit amb un transistor MOSFET de canal n, amb paràmetres $V_T = 1\text{ V}$ i $\beta = 1\text{ mA/V}^2$, i dos díodes amb tensió llindar $V_\gamma = 0.7\text{ V}$.



- Quant val l'intensitat I i quin es el potencial a la porta V_G ? (2p)
- Si el transistor està treballant en saturació, quant val la intensitat al drenador I_D i quin és el valor màxim que pot tenir la resistència R_2 ? (4p)
- Si la resistència R_2 val $1\text{ k}\Omega$ quan val l'intensitat al drenador I_D i en quin regim està treballant el transistor? (4p)

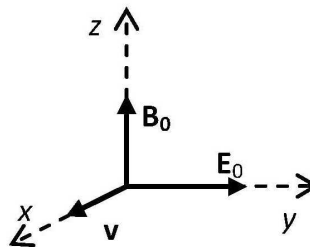
**COMENCEU LA RESOLUCIÓ DEL PROBLEMA EN AQUEST MATEIX
FULL**

Respostes correctes de les qüestions del Test

Qüestió	Model A	Model B
T1)	d	d
T2)	c	a
T3)	b	d
T4)	a	b
T5)	d	c
T6)	a	b
T7)	d	c
T8)	d	a
T9)	d	b
T10)	c	c

Resolució del Model A

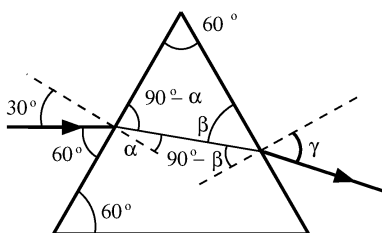
- T1)** La intensitat amb la que arriba l'emissió de la ISS al receptor és $I = c\eta$ on $\eta = B^2/2\mu_0$ és la densitat d'energia de l'ona incident. Com que la mateixa intensitat és igual a la potència d'emissió partit per la superfície d'una esfera de radi igual a la distància de la ISS al lloc de recepció, resulta $I = \langle P \rangle / 4\pi R^2 = c\eta = cB^2/2\mu_0$, d'on treiem que $\langle P \rangle = c(B^2/2\mu_0)4\pi R^2 = 60 \cdot 10^6 \text{ W}$.
- T2)** L'ona es propaga en la direcció de l'eix de les x perquè la variable que indica la posició és la x , i ho fa en el sentit positiu perquè ωt va precedit d'un signe menys, és a dir $\mathbf{v} = c\mathbf{i}$. I el vector amplitud del camp magnètic és $\mathbf{B}_0 = B_0\mathbf{k}$. Aleshores, la direcció i sentit del vector amplitud del camp elèctric \mathbf{E}_0 és la que indica el dit polze de la ma dreta quan es giren els altres quatre dits des d' $\mathbf{B}_0 = B_0\mathbf{k}$ cap a $\mathbf{v} = c\mathbf{i}$, és a dir, el sentit positiu de l'eix de les y com s'indica a la figura.



- T3)** Per tal que el LED s'il·lumini cal que hi circuli current a través seu. Això només és possible si la diferència de potencial als seus extrems és igual a V_γ . La condició per tant que cal satisfer és que la diferència de potencial entre el nus superior (A) i l'inferior (B) sigui com a mínim igual a aquesta quantitat. És a dir, $V_A - V_B = RI_C \geq V_\gamma$, essent I_C la intensitat de la branca central. D'altra banda, és $\varepsilon = RI + RI_C + RI$, essent $I = I_C + I_{LED}$ la intensitat que passa pel generador. Per tant, $\varepsilon = RI_C + 2RI = 3RI_C + 2RI_{LED} \geq 3RI_C \geq 3V_\gamma$.
- T4)** Si retirem el polaritzador del mig, els eixos de transmissió dels dos filtres restants formen un angle de $45^\circ + 45^\circ = 90^\circ$, de manera que la llum polaritzada pel primer filtre no podrà passar pel següent. Si I_1 és la intensitat de la llum polaritzada pel primer filtre, d'acord amb la llei de Malus, la que surt del següent és $I' = I_1 \cos^2(90^\circ) = 0$.

T5) Mirant la part de sota feta amb transistors nMOS, veiem que A i B es troben connectades en sèrie, al igual que C i D, i que els dos conjunts es troben en paral·lel. Si la part superior feta en transistors pMOS es substituïu per una resistència, tindriem la funció $\overline{A \cdot B + C \cdot D}$. Fent servir les lleis de Morgan podem escriure aquesta funció com $\overline{A \cdot B + C \cdot D} = (A \cdot B) \cdot (C \cdot D) = (\overline{A + B}) \cdot (\overline{C + D})$, que correspon exactament a la part realitzada amb transistors pMOS.

T6) Els tres angles que formen el triangle equilàter són per definició iguals i de valor 60° . Això fa que l'angle d'incidència respecte a la normal sigui de 30° . Aplicant la llei de Snell trobem l'angle α amb el que es refracta a l'interior del prisma, $\sin(30) = 1.5 \sin(\alpha)$, d'on resulta $\alpha = 19^\circ 5'$. A partir d'aquest valor podem trobar l'angle β de la figura, donat que $(90^\circ - \alpha) + 60^\circ + \beta = 180^\circ$. Així obtenim $\beta = 49^\circ 5'$. Finalment aplicant la llei de Snell un altre cop per a la refracció a la darrera cara del prisma, resulta $1.5 \sin(90^\circ - \beta) = \sin(\gamma)$, d'on treiem finalment $\gamma = 77^\circ$.



T7) Donada la potència P i la durada del pols δt , trobem que la quantitat d'energia que llibera és $\delta E = P \delta t = (3 \cdot 10^{-15})(25 \cdot 10^{15}) = 75 \text{ J}$. Aquesta energia és igual al nombre de fotons que emet multiplicat per l'energia d'un fotó, que és $\epsilon = hf$. Així doncs $\delta E = Nhf$ d'on resulta $N = \delta E/hf = 75/(6.662 \cdot 10^{-34} \cdot 300 \cdot 10^{15}) = 3.77 \cdot 10^{17}$.

T8) El Zener està en polarització inversa. Si pel Zener no passa corrent, per la malla externa circula $I = (20 \text{ V})/(3 \text{ k}\Omega + 2 \text{ k}\Omega) = 4 \text{ mA}$, i la tensió a borns del Zener és la de R_2 . És a dir, la fem Thèvenin del circuit sense Zener entre els punts als quals està connectat és $\epsilon_{Th} = R_2 I = (2 \text{ k}\Omega)(4 \text{ mA}) = 8 \text{ V}$. Atès que $\epsilon_{Th} = 8 \text{ V} < V_Z = 10 \text{ V}$, comprovem que pel Zener no passa corrent, com hem suposat d'entrada, de manera que la potència dissipada al díode és nul·la, a R_2 és $P_2 = R_2 I^2 = 0.032 \text{ W} = 32 \text{ mW}$, i de forma similar a R_1 és $P_1 = R_1 I^2 = 48 \text{ mW}$.

T9) Per tenir interferència destructiva, la diferència mínima entre els recorreguts dels dos rajos ha de ser igual a $\lambda/2$, on $\lambda = v/f = (c/n)f$ és la longitud d'ona del làser en el policarbonat. Atès que aquesta diferència correspon a $2h$, s'ha de satisfer $2h = \lambda/2$, és a dir, $h = \lambda/4 = c/(4nf) = 1.1 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 0.11 \mu\text{m}$.

T10) El díode amb $V_A = 0 \text{ V}$ no està polaritzat directament i es comporta com un interruptor obert que no deixa passar corrent. El díode amb $V_B = 5 \text{ V}$ està polaritzat directament, deixa passar corrent i la tensió als seus borns és $(V_B - V_{out} = V_\gamma = 0.7 \text{ V}$. Per tant, $V_{out} = V_B - V_\gamma = 5 - 0.7 = 4.3 \text{ V}$.

Resolució del Problema

- a) Per la branca de l'esquerra hi circula una intensitat I independent del transistor. Per considerar l'efecte del díode, suposem primer que no condueix. En aquest cas, la diferència de potencial entre les zones p i n es $V_{pn} = V_1 = 7\text{V} > V_\gamma$, lo qual està en contradicció amb l'hipòtesi de no conduir; d'aquí deduem que el díode condueix. Aplicant la llei d'Ohm a la branca d'intensitat I , trobem $V_1 = V_\gamma + IR_1$, lo que ens dóna

$$I = \frac{V_1 - V_\gamma}{R_1} = \frac{7 - 0.7}{2100} = 3\text{mA}. \quad (1)$$

La porta està connectada a la tensió V_1 a través d'un díode. Com el díode està conduint, la tensió als seus extrems es V_γ . Llavors $V_1 - V_G = V_\gamma$, d'on trobem $V_G = V_1 - V_\gamma = 7 - 0.7 = 6.3\text{V}$.

- b) Si el transistor està conduint, llavors el díode a la branca del transistor condueix i la tensió a la font és $V_S = V_\gamma = 0.7\text{V}$. Llavors tenim $V_{GS} = V_G - V_S = 6.3 - 0.7 = 5.6\text{V}$, que és més gran que $V_T = 1\text{V}$. Si està conduint en saturació, la intensitat al drenador val

$$I_D = \frac{\beta}{2}(V_{GT})^2. \quad (2)$$

Tenim $V_{GT} = V_{GS} - V_T = 5.6 - 1 = 4.6\text{V}$. Llavors

$$I_D = \frac{\beta}{2}(V_{GT})^2 = \frac{10^{-3}}{2}(4.6^2) = 0.01058\text{A} = 10.58\text{mA}. \quad (3)$$

Aquesta intensitat és independent de la resistència R_2 . Per que el transistor estigui treballant en la regió de saturació, s'ha de complir que $V_{DS} > V_{GT} = 4.6\text{V}$. Per la part òhmica de la branca del transistor, tenim que $V_2 - V_D = I_D R_s$, és a dir, $V_D = V_2 - I_D R_2$. D'aquí trobem $V_{DS} = V_D - V_S = V_2 - I_D R_2 - V_\gamma$. La condició de saturació és $V_D - V_S = V_2 - I_D R_2 - V_\gamma > V_{GT}$, d'on trobem la condició per la resistència R_2 :

$$R_2 < \frac{V_2 - V_{GT} - V_\gamma}{I_D} = \frac{10 - 4.6 - 0.7}{0.01058} = 444.23\Omega. \quad (4)$$

És a dir, la resistència R_2 ha de ser més petita que 444.23Ω .

- c) Si $R_2 = 1\text{k}\Omega = 1000\Omega$, és més gran que 444.23Ω , i per tant el transistor no pot treballar en saturació. Tampoc pot treballar en tall, per que si $I_D = 0$, llavors $V_S = 0\text{V}$ i $V_{GS} = 6.3\text{V}$, que es més gran que $V_T = 1\text{V}$, el que es incompatible amb estar en la regió de tall. Llavors el transistor treballa en la regió òhmica, $V_S = 0.7\text{V}$, com al cas anterior, i l'intensitat que circula pel drenador és

$$I_D = \beta(V_{DS}V_{GT} - \frac{1}{2}(V_{DS})^2). \quad (5)$$

Per resoldre aquesta equació l'hem de completar amb informació de la branca òhmica del transistor, és a dir, $V_2 - V_D = I_D R_2$. Substituint la Eq. (5) en aquesta expressió, es troba

$$V_2 - V_D = R_2\beta(V_{DS}V_{GT} - \frac{1}{2}(V_{DS})^2). \quad (6)$$

Per poder resoldre V_{DS} , escrivim $V_D = V_{DS} + V_S$, i substituint a dalt,

$$V_2 - V_{DS} - V_S = R_2\beta(V_{DS}V_{GT} - \frac{1}{2}(V_{DS})^2). \quad (7)$$

Fent servir els valors $V_2 = 10 \text{ V}$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, $\beta = 1 \text{ mA/V}^2$ i els calculats $V_S = 0.7 \text{ V}$, $V_{GT} = 4.6 \text{ V}$ (mateix valor que a l'apartat anterior), podem escriure

$$10 - V_{DS} - 0.7 = 1000 \times 0.001(V_{DS}4.6 - \frac{1}{2}V_{DS}^2) = 4.6V_{DS} - 0.5V_{DS}^2. \quad (8)$$

Reordenant els termes, escrivim l'equació de segon grau

$$V_{DS} - 11.2V_{DS} + 18.6 = 0. \quad (9)$$

La solució d'aquesta equació és

$$V_{DS} = \frac{11.2 \pm \sqrt{11.2^2 - 4 \times 18.6}}{2} = \frac{11.2 \pm \sqrt{51.04}}{2} = \begin{cases} 9.17 \text{ V} \\ 2.03 \text{ V} \end{cases} \quad (10)$$

Per veure quina solució és la correcta, comprovem la condició de la regió óhmica, $V_{DS} < V_{GT} = 4.6 \text{ V}$. La solució correcta és doncs $V_{DS} = 2.03 \text{ V}$. D'aquí trobem finalment el valor de l'intensitat al drenador, I_D , fent servir

$$I_D = \beta(V_{DS}V_{GT} - \frac{1}{2}(V_{DS})^2) = 0.001(2.03 \times 4.6 - 0.5 \times 2.03^2) = 7.28 \text{ mA}. \quad (11)$$