

Cognoms i Nom:

Codi

Examen FINAL de Física
20 de Juny del 2014

Model A

Qüestions: 40% de l'examen

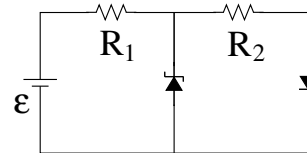
A cada qüestió només hi ha una resposta correcta. Encercleu-la de manera clara.

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

T1) Quin és el coeficient d'autoinducció d'una bobina que connectada en sèrie amb una bombeta de 110 V i 90 W fa que aquesta treballi en les anteriors condicions quan el conjunt es connecta a una línia de 220 V i 50 Hz?

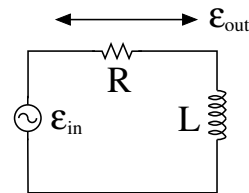
- a) $L = 0.471$ H. b) $L = 0.741$ H. c) $L = 0.174$ H. d) $L = 0.417$ H.

T2) Al circuit de la figura el valor de les resistències és $R_1 = 100 \Omega$ i $R_2 = 200 \Omega$, i el de la fem és $\epsilon = 13$ V. El díode Zener del mig té els paràmetres característics $V_Z = 10$ V i $V_\gamma = 0.5$ V, i el díode de la dreta té $V_\gamma = 0.7$ V. La intensitat que circula per R_2 és doncs



- a) $I = 0$ A. b) $I = 47$ mA.
c) $I = 50$ mA. d) $I = 41$ mA.

T3) El filtre de la figura consta d'una resistència de valor $R = 3 \Omega$ i d'una bobina de coeficient d'autoinducció $L = 1/25\pi$ H. La freqüència f a la que la funció de transferència val 0.6 és



- a) $f = 314.1$ Hz b) $f = 50.0$ Hz
c) $f = 62.8$ Hz d) $f = 63.4$ Hz

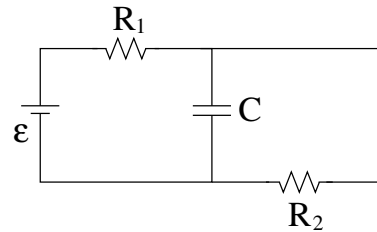
Les notes sortiran com a màxim el 25 de Juny per la tarda, i la revisió NOMÉS DE L'EXAMEN FINAL es farà el 26 de Juny de 11h00m a 12h00m a l'aula B4-212. Consulteu el racó per possibles actualitzacions.

T4) Sabem que dues resistències elèctriques de $R_1 = 3\ \Omega$ i $R_2 = 6\ \Omega$ estan connectades en paral·lel a una bateria ideal de 9 V. Quina de les següents afirmacions és certa?

- a) La intensitat que hi circula és la mateixa per les dues resistències.
- b) La potència dissipada a R_1 és el doble que la dissipada a R_2 .
- c) La diferència de potencial als extrems de R_1 és el doble que als extrems de R_2 .
- d) Per R_1 hi circula una intensitat que és la meitat de la que circula per R_2 .

T5) En el circuit de la figura, $\epsilon = 9V$, $C = 4\mu F$, $R_1 = 5\ \Omega$ i $R_2 = 4\ \Omega$. Quan val l'energia dissipada en el circuit en 1 minut?

- a) 54 J
- b) 0.24 kJ
- c) 240 kJ
- d) 0.54 kJ



T6) Un transistor PMOS té $V_S = 3V$, $V_D = -2V$, $V_G = 1V$, $V_T = -1V$. En quin règim treballa?

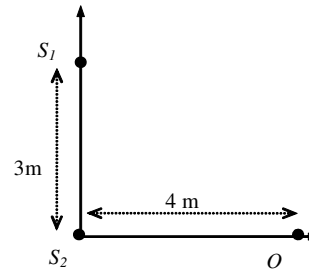
- a) Tall.
- b) Òhmic.
- c) Saturació.
- d) Cap dels altres.

T7) Un circuit RL de corrent altern té una resistència $R = 100\ \Omega$ i un factor de potència $\cos \varphi = 0.75$. Quina reactància X' s'ha de connectar en paral·lel al circuit per tal de corregir el seu factor de potència?

- a) $X' = 133.33\ \Omega$.
- b) $X' = 201.58\ \Omega$.
- c) $X' = -133.33\ \Omega$.
- d) $X' = -201.58\ \Omega$.

T8) Dues fonts sonores S_1 i S_2 situades com s'indica a la figura emeten ones coherents en fase. Quina és la màxima longitud d'ona per la qual la interferència al punt O és destructiva?

- a) $\lambda = 2\ \text{m}$.
- b) $\lambda = 0.5\ \text{m}$.
- c) $\lambda = 1\ \text{m}$.
- d) $\lambda = 0.25\ \text{m}$.



Cognoms i Nom:

Codi

Examen FINAL de Física
20 de Juny del 2014

Model B

Qüestions: 40% de l'examen

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

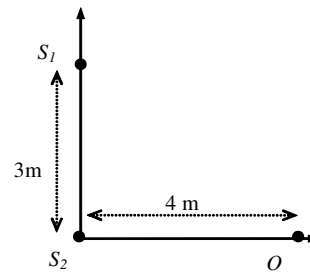
Puntuació: correcta = 1 punt, incorrecta = -0.25 punts, en blanc = 0 punts.

T1) Un transistor PMOS té $V_S = 3V$, $V_D = -2V$, $V_G = 1V$, $V_T = -1V$. En quin règim treballa?

- a) Tall. b) Saturació. c) Cap dels altres. d) Òhmic.

T2) Dues fonts sonores S_1 i S_2 situades com s'indica a la figura emeten ones coherents en fase. Quina és la màxima longitud d'ona per la qual la interferència al punt O és destructiva?

- a) $\lambda = 0.5$ m. b) $\lambda = 1$ m.
c) $\lambda = 2$ m. d) $\lambda = 0.25$ m.



T3) Sabem que dues resistències elèctriques de $R_1 = 3\Omega$ i $R_2 = 6\Omega$ estan connectades en paral·lel a una bateria ideal de 9 V. Quina de les següents afirmacions és certa?

- a) La potència dissipada a R_1 és el doble que la dissipada a R_2 .
b) La intensitat que hi circula és la mateixa per les dues resistències.
c) La diferència de potencial als extrems de R_1 és el doble que als extrems de R_2 .
d) Per R_1 hi circula una intensitat que és la meitat de la que circula per R_2 .

T4) Quin és el coeficient d'autoinducció d'una bobina que connectada en sèrie amb una bombeta de 110 V i 90 W fa que aquesta treballi en les anteriors condicions quan el conjunt es connecta a una línia de 220 V i 50 Hz?

- a) $L = 0.417$ H. b) $L = 0.174$ H. c) $L = 0.741$ H. d) $L = 0.471$ H.

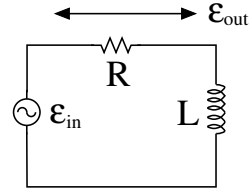
Les notes sortiran com a màxim el 25 de Juny per la tarda, i la revisió NOMÉS DE L'EXAMEN FINAL es farà el 26 de Juny de 11h00m a 12h00m a l'aula B4-212. Consulteu el racó per possibles actualitzacions.

T5) Un circuit RL de corrent altern té una resistència $R = 100\ \Omega$ i un factor de potència $\cos\varphi = 0.75$. Quina reactància X' s'ha de connectar en paral·lel al circuit per tal de corregir el seu factor de potència?

- a) $X' = 133.33\ \Omega$. b) $X' = -201.58\ \Omega$. c) $X' = -133.33\ \Omega$. d) $X' = 201.58\ \Omega$.

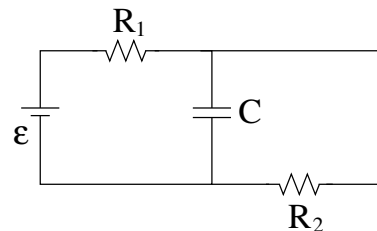
T6) El filtre de la figura consta d'una resistència de valor $R = 3\ \Omega$ i d'una bobina de coeficient d'autoinducció $L = 1/25\pi$ H. La freqüència f a la que la funció de transferència val 0.6 és

- a) $f = 50.0$ Hz b) $f = 314.1$ Hz
 c) $f = 62.8$ Hz d) $f = 63.4$ Hz



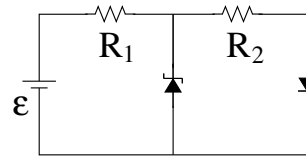
T7) En el circuit de la figura, $\epsilon = 9V$, $C = 4\mu F$, $R_1 = 5\ \Omega$ i $R_2 = 4\ \Omega$. Quan val l'energia dissipada en el circuit en 1 minut?

- a) 0.24 kJ b) 54 J
 c) 0.54 kJ d) 240 kJ



T8) Al circuit de la figura el valor de les resistències és $R_1 = 100\ \Omega$ i $R_2 = 200\ \Omega$, i el de la fem és $\epsilon = 13$ V. El díode Zener del mig té els paràmetres característics $V_Z = 10$ V i $V_\gamma = 0.5$ V, i el díode de la dreta té $V_\gamma = 0.7$ V. La intensitat que circula per R_2 és doncs

- a) $I = 0$ A. b) $I = 47$ mA.
 c) $I = 50$ mA. d) $I = 41$ mA.



Cognoms i Nom:

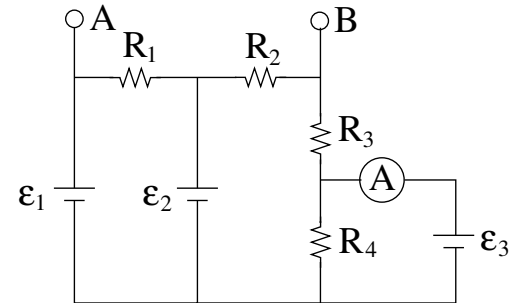
Codi

Examen FINAL de Física

20 de Juny del 2014

Problema 1 (20% de l'examen)

Les resistències del circuit de la figura prenen els valors $R_1 = 1\text{ k}\Omega$, $R_2 = 2\text{ k}\Omega$, $R_3 = 3\text{ k}\Omega$, $R_4 = 4\text{ k}\Omega$. Les fem són de $\varepsilon_1 = 12\text{ V}$, $\varepsilon_3 = 8\text{ V}$ mentre que la fem ε_2 és de valor desconegut. L'amperímetre marca intensitat nul·la.

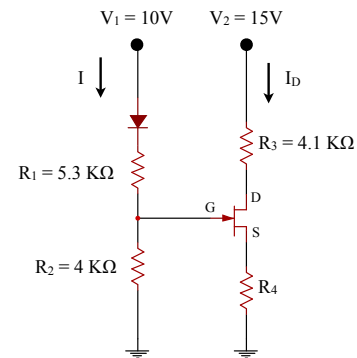


- Trobeu les intensitats I_1, I_2, I_3, I_4 que circula a per las resistències R_1, R_2, R_3, R_4 , tot indicant el seu sentit (feu el dibuix del circuit amb els corrents). Determineu el valor de la fem ε_2 . [5 punts]
- Substituïm ara l'amperímetre per un fil conductor. Trobeu el circuit equivalent de Thévenin entre els punts A i B . [5 punts]

Problema 2 (20% de l'examen)

Considereu 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 un díode amb tensió llindar $V_\gamma = 0.7\text{ V}$.

- Quant val el corrent I i quin és el potencial a la porta V_G ?
- Suposem que pel transistor circula un corrent $I_D = 2\text{ mA}$. En quin regim treballa el transistor? Quan valen els potencials V_D al drenador i V_S a la porta? Quin es el valor de la resistència R_4 ?



Problema 3 (20% de l'examen)

Un feix de llum làser coherent, de longitud d'ona 628.32 nm i que es comporta com una ona electromagnètica plana, harmònica i linealment polaritzada, es propaga pel buit en sentit positiu de l'eix Z . El vector amplitud del camp magnètic és $\vec{B}_0 = 2\hat{i}\mu\text{T}$. Suposeu també que a l'instant $t = 0$ el camp magnètic es zero a $z = 0$. (Dades: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{ Tm/A}$, $c = 3 \times 10^8\text{ m/s}$, $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\text{ C}^2/\text{N m}^2$, $h = 6.625 \times 10^{-34}\text{ Js}$). Determineu:

- Les expressions d' \vec{E} i \vec{B} en funció de la posició i el temps. Dibuixeu els eixos de coordenades, els vectors \vec{E} , \vec{B} i indiqueu-hi el vector unitari \hat{u} en la direcció de propagació.
- El valor mig de la intensitat del làser, abans i després de travessar un polaritzador pla perpendicular a l'eix Z i tal que el seu eix òptic forma 60° amb l'eix Y . Quants fotons per segon es transmeten si fem passar el feix polaritzat per una fibra òptica de secció 1 mm^2 ?

Respostes correctes de les qüestions del Test

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

Resolució del Model A

T1) A la resistència $P = V_R^2/R$ i per tant $R = V_R^2/P = 110^2/90 = 134.44 \Omega$. Per tant el corrent que circula a través seu és $I = V_R/R = 110/134.44 = 0.818 \text{ A}$. A l'estar associades la bobina i la resistència en sèrie, les seves tensions formen 90° i per tant la tensió total del circuit és $220 = \sqrt{110^2 + V_L^2}$, d'on resulta $V_L = \sqrt{220^2 - 110^2} = 190.526 \text{ V}$. Com que ara ja sabem el corrent i la tensió a la bobina, a partir de la relació $V_L = X_L I = L\omega I$ obtenim $L = V_L/(\omega I) = 190.526/((2\pi 50)0.818) = 0.741 \text{ H}$.

T2) Primer cal decidir si el Zener condueix o no. Si assumim que no condueix, veiem que el díode de la dreta sí que ho ha de fer ja que en cas contrari no circularia cap corrent pel circuit, i la tensió a extrems d'aquest díode seria $\Delta V = \epsilon = 13 \text{ V} > V_\gamma = 0.7 \text{ V}$, tot indicant que sí que ha de conduir. Sabent que condueix, el corrent que circularia per R_1 i R_2 és el mateix (ja que suposem que el Zener no condueix), i el seu valor s'obté de l'equació de la malla externa $\epsilon - (R_1 + R_2)I - 0.7 = 0$, d'on resulta $I = (13 - 0.7)/(100 + 200) = 4.1 = 41 \text{ mA}$. A partir d'aquí la tensió a extrems del Zener es pot calcular avaluant les diferències de potencial a la branca de la dreta, $\Delta V = R_2 I + V_\gamma = 200 I + 0.7 = 8.9 \text{ V}$. Així doncs veiem que $\Delta V < V_Z$ i per tant és efectivament cert que el Zener no condueix, de forma que el corrent que circula a través de la resistència R_2 és el que hem calculat, $I = 41 \text{ mA}$.

T3) La funció de transferència del circuit s'obté de la relació entre la tensió de sortida i la d'entrada

$$\frac{\epsilon_{out}}{\epsilon_{in}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}}.$$

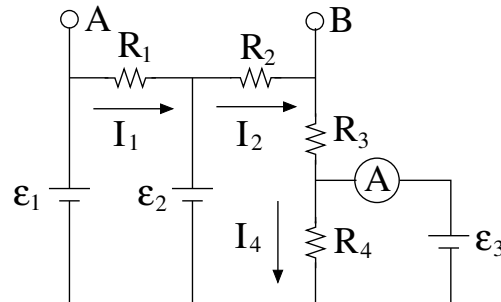
Si imposem que $\epsilon_{out}/\epsilon_{in} = 0.6$ i fem servir les dades que ens donen a l'enunciat, obtenim $0.6 = 3/\sqrt{3^2 + (2\pi f/25\pi)^2}$, d'on resulta $f = 50 \text{ Hz}$.

T4) El conjunt està connectat en paral·lel, amb $R_{eq} = 2 \Omega$, per la qual cosa el corrent que hi circula és de 4.5 A . Aquesta intensitat es reparteix en $I_1 = \frac{9}{R_1} = 3 \text{ A}$ i $I_2 = 1.5 \text{ A}$. Es dedueix llavors que $P_1 = I_1^2 R_1 = 27 \text{ W} = 2 \cdot P_2$.

- T5)** Donat que per la branca on es troba el condensador no passa corrent, $I = \epsilon / (R_1 + R_2) = 9 / (4 + 5) = 1 \text{ A}$ per totes dues resistències. La potència dissipada en total és, doncs, $P = I^2 \cdot (R_1 + R_2) = 9 \text{ W}$, i l'energia corresponent en 1 minut serà $U = P \cdot 60s = 0.54 \text{ kJ}$.
- T6)** Amb les dades subministrades trobem $V_{GS} = V_G - V_S = 1 - 3 = -2 \text{ V}$, i per tant $V_{GS} - V_T = -2 - (-1) = -1 \text{ V}$. D'altra banda tenim $V_{DS} = V_D - V_S = -2 - 3 = -5 \text{ V}$, i per tant resulta $0 > V_{GS} - V_T > V_{DS}$, tot indicant que el PMOS treballa en saturació.
- T7)** Per corregir el factor de potència d'una impedància \bar{Z} , hem d'afegir en paral·lel una reactància $X' = -Z^2/X$, on Z és el mòdul de l'impedància i X la seva reactància. El factor de potència és $\cos \varphi = 0.75$, corresponent a un angle $\varphi = \cos^{-1}(0.75) = 41.41^\circ$. Com que $\tan \varphi = X/R$, obtenim $X = R \tan \varphi = 100 \tan(41.41^\circ) = 88.19 \Omega$; i X és de signe positiu perquè el circuit és inductiu. D'aquí trobem $Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{100^2 + 88.19^2} = 133.33 \Omega$, i per tant $X' = -Z^2/X = -201.58 \Omega$.
- T8)** La condició d'interferència destructiva és que la diferència de camins òptics recorregut per les dues ones ha de ser igual a un nombre semi-imparell de longituds d'ona. L'ona que surt de S_1 recorre un camí $\sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ m}$, mentre que el que recorre l'ona que surt de S_2 és de 4 m . Així doncs, la diferència de camins òptics és $\Delta d = 5 - 4 = 1 \text{ m}$. La màxima longitud d'ona que produeix interferència destructiva al punt O és aquella que satisfà la condició $\Delta d = \lambda/2$, i per tant $\lambda = 2 \text{ m}$.

Resolució del Problema 1

- a) El primer que veiem és que, com que l'amperímetre marca intensitat nul·la, el corrent que passa per ε_3 és nul, i per tant el corrent que circula per R_4 és igual al que circula per R_3 . Al diagrama següent indiquem el sentit que escollim per les intensitats



La caiguda de potencial a R_4 és igual a la *fem* ε_3 ja que no circula cap corrent per la branca on es troba aquesta. Així I_4 ha d'anar efectivament en el sentit indicat a la figura, i el seu valor s'obté directament de la llei d'Ohm $R_4 I_4 = \varepsilon_3$, d'on resulta $I_4 = 8/4 \cdot 10^3 = 2$ mA. Tal com deiem abans, aquest és el mateix corrent que circula per R_3 (és a dir, I_3).

D'altra banda el punt B es troba obert, de forma que el corrent I_2 ha de ser igual a I_4 , es a dir, $I_2 = 2$ mA. Un cop sabem això, podem trobar el valor de ε_2 fent l'equació de la malla que passa per ε_2 , R_2 , R_3 i R_4 . Així obtenim

$$\varepsilon_2 - I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4 = 0 \rightarrow \varepsilon_2 = 2 \cdot 10^{-3} (2 \cdot 10^3 + 3 \cdot 10^3 + 4 \cdot 10^3) = 18 \text{ V.}$$

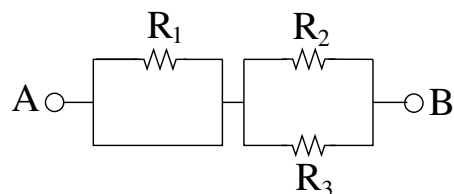
Finalment podem trobar el corrent I_1 fent l'equació de la malla que passa per ε_1 , R_1 i ε_2

$$\varepsilon_1 - R_1 I_1 - \varepsilon_2 = 0 \rightarrow I_1 = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R_1} = \frac{12 - 18}{1 \cdot 10^3} = -6 \text{ mA ,}$$

i per tant el corrent I_1 el podem representar en sentit contrari al del dibuix, i amb valor $I_1 = 6$ mA.

- b) Ara reemplacem l'amperímetre per un fil conductor i busquem l'equivalent de Thévenin del circuit entre els punts A i B.

Comencem per la resistència de Thévenin. Per calcular el seu valor cal que també reemplacem les fonts per fils conductors. Si apliquem aquest criteri a ε_3 , resulta que tota la seva branca es converteix en un únic fil conductor, i per tant curtcircuita la resistència R_4 : el conjunt R_4 en paral·lel amb el fil conductor es comporta com un únic fil conductor. Si ara deformem el circuit resultant veiem que el que ens queda és



El paral·lel de R_1 amb el fil conductor (de resistència nul·la) dona resistència zero, i per tant la resistència de Thévenin és igual al paral·lel de R_3 amb R_4 , que dona

$$\frac{1}{R_{Th}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \rightarrow \frac{1}{R_{Th}} = \frac{1}{2 \cdot 10^3} + \frac{1}{3 \cdot 10^3} \rightarrow R_{Th} = 1200 \Omega .$$

Pel que fa referència a la tensió de Thévenin ε_{Th} , s'obté com la diferència de potencial entre els punts A i B quan aquests es troben en circuit obert, tal com és el nostre cas. Amb el resultats de l'apartat anterior tenim

$$V_A + I_1 R_1 - I_2 R_2 = V_B$$

on recordem I_1 va en sentit contrari al que s'ha indicat al dibuix. D'aquesta forma obtenim

$$V_{Th} = V_A - V_B = I_2 R_2 - I_1 R_1 = 2 \cdot 10^{-3} 2 \cdot 10^3 - 6 \cdot 10^{-3} 1 \cdot 10^3 = -2 \text{ V} .$$

Resolució del Problema 2

- a) Per la branca de l'esquerra circula un corrent I que és completament independent del que faci el transistor, donat que la porta està aïllada elèctricament tant del drenador com de la font (de forma que el corrent de porta és sempre nul). Per considerar l'efecte del díode, suposem primer que no condueix. En aquest cas, la diferència de potencial entre les zones p i n seria $V_{pn} = 10 \text{ V} > V_\gamma$, la qual cosa entra en contradicció amb l'hipòtesi de no conduir. Així doncs, el díode condueix. Aplicant la llei d'Ohm, trobem $V_1 = V_\gamma + I(R_1 + R_2)$, i per tant

$$I = \frac{V_1 - V_\gamma}{R_1 + R_2} = \frac{9.3}{9300} = 1 \text{ mA} . \quad (1)$$

Per calcular el potencial a la porta, apliquem novament la llei d'Ohm

$$V_G = I R_2 = 1 \text{ mA} \cdot 4 \text{ k}\Omega = 4 \text{ V} . \quad (2)$$

- b) Amb $V_2 = 15 \text{ V}$ i $I_D = 2 \text{ mA}$, trobem directament la tensió V_D aplicant la llei d'Ohm

$$V_D = V_2 - R_3 I_D = 15 - (4.1 \cdot 10^3)(2 \cdot 10^{-3}) = 6.8 \text{ V} .$$

Amb aquest valor veiem que el transistor treballa en règim de saturació, donat que la condició $0 \leq V_{GS} - V_T \leq V_{DS}$ es pot escriure de la forma $0 < V_G - V_S - V_T \leq V_D - V_S$, i per tant cal que $V_G - V_T < V_D$. En el nostre cas, substituint les dades, resulta $4 - 1 \leq 6.8$ que obviament es satisfà. Així doncs, ara sabem que el transistor treballa en règim de saturació.

Per tal de trobar V_S fem servir el fet que en saturació $I_D = \beta(V_{GS} - V_T)^2/2$. Substituint valors resulta

$$2 \cdot 10^{-3} = \frac{1}{2} 10^{-3} (4 - V_S - 1)^2$$

d'on resulta $4 = (3 - V_S)^2$, que dona lloc a les dues solucions $V_S = 1 \text{ V}$ i $V_S = 5 \text{ V}$.

La solució $V_S = 5 \text{ V}$ resulta en $V_{GS} = V_G - V_S = 4 - 5 = -1 \text{ V} < V_T = 1 \text{ V}$, que és incompatible amb un transistor que condueix. Per tant ha de ser $V_S = 1 \text{ V}$. Finalment, per calcular el valor de la resistència R_4 , apliquem la llei d'Ohm $R_4 = V_S / I_D = 1 / 0.001 = 1 \text{ k}\Omega$.

Resolució del Problema 3

- a) Donat que l'ona es propaga en el sentit positiu de l'eix Z , el vector unitari que marca a direcció i sentit de propagació és $\hat{u} = +\hat{k}$. D'altra banda, a partir de les relacions, $k = 2\pi/\lambda$ i $\omega = kv$ trobem

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{628.32 \cdot 10^{-9}} = 10^7 \text{ rad/m} \quad , \quad \omega = ck = (3 \cdot 10^8)(10^7) = 3 \cdot 10^{15} \text{ rad/s} .$$

Podem imposar la condició que a $t = 0$ el camp magnètic s'anul·li fent servir la funció sinus amb una fase inicial que pot ser 0 ó π , donat que les dues satisfan aquesta condició. Tanmateix, el signe relatiu en l'argument haurà de ser $(-)$ per tal que l'ona es propagui en sentit positiu de l'eix Z . Juntant tot això i tenint present el valor del vector amplitud del camp magnètic que ens donen, obtenim les dues solucions possibles

$$\vec{B}(z, t) = 2 \hat{i} \sin(10^7 z - 10^{15} t) \mu T$$

i

$$\vec{B}(z, t) = 2 \hat{i} \sin(10^7 z - 10^{15} t + \pi) \mu T .$$

Per trobar el camp elèctric, considerem:

$$\vec{E}(z, t) = c(\vec{B} \times \hat{u}) = c \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ B_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = -600 \hat{j} \sin(10^7 z - 10^{15} t) \text{ N/C}$$

o

$$\vec{E}(z, t) = -600 \hat{j} \sin(10^7 z - 10^{15} t + \pi) \text{ N/C}$$

depenent de l'elecció feta per \vec{B} .

- b) El valor de la intensitat de l'ona del làser abans de passar pel polaritzador es pot determinar fàcilment, donat que $I = c\eta$ on $\eta = \epsilon_0 E_0^2/2$ és la densitat mitjana d'energia que transporta l'ona. Així resulta

$$I = c \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 = \frac{1}{2} (3 \cdot 10^8)(8.85 \cdot 10^{-12})(600^2) = 477.9 \text{ W/m}^2 .$$

Al passar pel polaritzador, que forma un angle de 60° amb l'eix Y (paral·lel a l'eix de polarització del polaritzador), aplicant la llei de Malus

$$I' = I \cos^2 \theta = 477.9 \cos^2(60^\circ) = 119.5 \text{ W/m}^2 .$$

Aquests valor són independents de l'elecció de la fase (0 ó π) dels camps elèctric i magnètic.

Per determinar el nombre de fotons per segon que es transmeten dins de la fibra òptica, trobem la potència del feix un cop dins seu

$$P = I' S = 119.5 \cdot 10^{-6} = 119.5 \mu \text{W} .$$

A partir d'aquí, amb $P = \Delta E / \Delta t = Nhf / \Delta t = nhf$ on $n = N / \Delta t$ és el nombre de fotons que es transmeten dins de la fibra per unitat de temps, i amb $f = c/\lambda$, resulta

$$n = \frac{P\lambda}{hc} = \frac{(119.5 \cdot 10^{-6})(628.32 \cdot 10^{-9})}{(6.625 \cdot 10^{-34})(3 \cdot 10^8)} = 3.77 \cdot 10^{14} \text{ fotons/segon} .$$