

Fonaments Físics de la Informàtica. DFA-FI. 2 ^{on} parcial. Teoria (60%)	16-Juny-2006
Cognoms:	Nom:

1. Utilitza la teoria de bandes d'energia per a explicar l'increment de conductivitat en un semiconductor al incidir una radiació, i per què hi ha una freqüència mínima dels fotons per sota de la qual no s'incrementa la conductivitat.

1. Utiliza la teoría de bandas para explicar el incremento de la conductividad en un semiconductor al incidir sobre él una radiación, y por qué hay una frecuencia mínima de los fotones por debajo de la cual no se incrementa la conductividad.

Según el modelo de bandas de energía, en un cristal de semiconductor con N átomos, los ocho niveles energéticos de la última capa para cada átomo se convierten en $8N$ niveles con energías diferentes. Este número elevado de niveles de energía discretos estrechamente espaciados se denomina banda de energía. Así tenemos las siguientes bandas de energía:

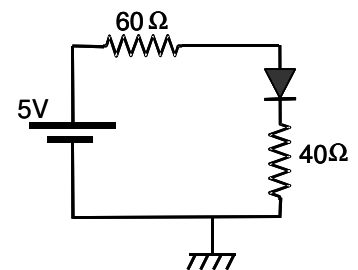
- Aparece una primera banda, denominada banda de valencia, con $4N$ niveles, que por tanto estará llena con los cuatro electrones de la última capa de cada átomo.
- Aparece también una segunda banda, denominada banda de conducción con $4N$ niveles que a temperaturas muy bajas está vacía. Los electrones situados en esta banda de conducción son los responsables de la conductividad eléctrica.
- Entre ambas bandas existe una zona prohibida denominada banda prohibida o "gap".

En los semiconductores la anchura de la banda prohibida es pequeña, de modo que aportándole al material una pequeña cantidad de energía, habrá electrones que podrán pasar de la banda de valencia a la de conducción. La anchura de la banda prohibida coincide con la energía de ionización. El aporte de energía a cada electrón debe ser superior a la anchura de la banda prohibida para que se produzca el salto, lo cual justifica que para energías de fotón pequeñas no se observe una variación de la conductividad. Un fotón posee una energía E relacionada con la frecuencia f y la longitud de onda λ de la onda luminosa, por la ecuación $E = hf = hc / \lambda$, siendo h la constante de Planck y c la velocidad de la luz. Cada fotón puede interactuar con una única partícula a la que suministrará su energía.

Al mismo tiempo, los electrones que han pasado a la banda de conducción dejan un hueco en la banda de valencia, que puede moverse por el material como una partícula de carga positiva. En este proceso se generan entonces pares electrón-hueco.

2. Calcula la intensitat de corrent en el circuit de la figura utilitzant la primera i la segona aproximació del díode de característiques 0.7V, 0.3Ω.

2. Calcula la intensidad de corriente en el circuito de la figura utilizando la primera y la segunda aproximación del diodo de características 0.7V, 0.3Ω.



Utilizando la 1ª aproximación de diodo ideal,

$$i = \frac{5}{100} = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 50 \text{ mA}$$

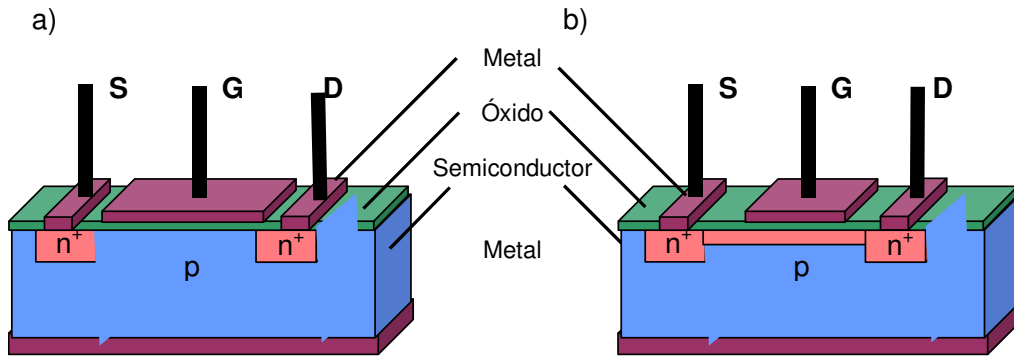
Considerando la tensión umbral del diodo, calculamos la I mediante la 2ª aproximación:

$$i = \frac{5 - 0,7}{100} = 43 \text{ mA}$$

3. Explica les característiques fonamentals d'un transistor MOSFET.

3. Explica las características fundamentales del transistor MOSFET.

Sobre un substrato de un semiconductor extrínseco de tipo p , aparecen dos zonas con un dopado fuerte de tipo n que se unirán a través de un conductor a dos terminales de salida (el Drenador, D, y la Fuente, S). Una capa de material dieléctrico (óxido) se situará entre el cristal semiconductor y una placa conductora que se conectará al tercer terminal del transistor (la Puerta, G), situada entre los otros dos terminales y tal como se muestra en la figura. Los tres terminales se sitúan en una de las caras del semiconductor, mientras que en la otra se introduce un contacto metálico. El transistor así descrito es un MOS-FET de *enriquecimiento*. Si ambas zonas fuertemente dopadas con átomos donadores se unen por un canal dopado también con átomos donadores, tendremos un transistor MOS-FET de *agotamiento*.



Estructura física de un transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor: a) de enriquecimiento; b) de agotamiento.

Se pueden diseñar también con sustratos de semiconductor de tipo n , siendo su comportamiento similar al caso en que el sustrato sea de tipo p .

En el caso del del **MOS-FET de enriquecimiento** el comportamiento es el siguiente: La Fuente y el contacto metálico en la parte inferior estarán a un mismo potencial de referencia. Si el potencial de la puerta G es nulo o negativo, respecto al de referencia, sea cual fuere el signo de la tensión entre Drenador y Fuente, el paso de corriente entre estas dos puertas se verá impedido por la presencia de una unión $p-n$ polarizada en sentido inverso. Por lo tanto, el transistor se comportará como un circuito abierto.

Si se introduce un potencial positivo en la puerta, G , se inducirán cargas negativas en la superficie del material semiconductor, creándose un canal con exceso de electrones en el sustrato de tipo P . Este canal unirá Fuente y Drenador permitiendo el paso de corriente eléctrica a su través. Entonces, al aplicar una diferencia de potencial $V_{DS} > 0$ aparecerá una corriente eléctrica que atravesará el transistor desde el Drenador hasta la Fuente a través del canal de cargas inducidas.

Pero la introducción de una tensión positiva en el Drenador produce, por una parte, una disminución progresiva de la caída de potencial entre el semiconductor y la puerta a medida que nos aproximamos al Drenador y además tiene como consecuencia un ensanchamiento de la zona de transición de la unión $p-n$ en la zona del Drenador. Ambos factores dan lugar a que, al aumentar V_{DS} el canal en las proximidades del Drenador se va estrechando. En este proceso la intensidad crecerá linealmente con la tensión.

Si se aumenta la tensión del Drenador lo suficiente se producirá el estrangulamiento del canal, lo que supone que la intensidad ha ido disminuyendo su ritmo de crecimiento hasta llegar a la saturación. A partir de este punto, valores mayores de la tensión del Drenador supone un aumento de la región estrangulada (ΔL) manteniéndose la intensidad constante.

Cuanto mayor sea la tensión de puerta aplicada, mayor será el valor de la intensidad de saturación, por lo que podemos regular el valor de la intensidad que atraviesa el transistor trabajando en saturación y modificando el valor de la tensión de puerta.

Al transistor descrito, con un sustrato de tipo p , se le denomina MOS-FET de enriquecimiento de canal n . Si el sustrato fuese de tipo n , la denominación es denomina MOS-FET de enriquecimiento de canal p y su comportamiento sería similar al descrito, introduciendo las correcciones correspondientes en cuanto a diseño físico y polaridad aplicada.

4. L'espina plana del dibuix, situada sobre el pla XY , i de dimensions a i b , està recorreguda per un corrent I en el sentit assenyalat. Un camp magnètic uniforme $\vec{B} = -B_0\vec{i}$ actua sobre ella.

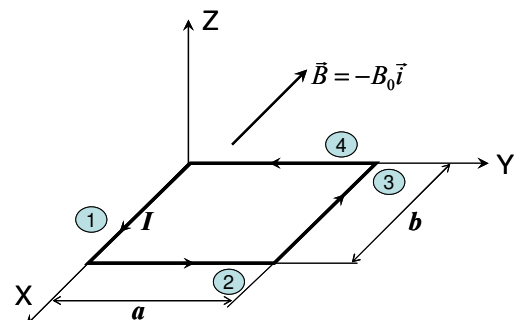
Determina la força magnètica sobre cada costat de l'espina, el vector superfície i el moment magnètic de l'espina, i el moment de les forces que actuen sobre l'espina.

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4, \vec{S}, \vec{m}, \vec{M})$$

4. Por la espira plana de la figura, situada sobre el plano XY y con dimensiones a y b , circula una corriente I con el sentido señalado. Un campo magnético uniforme $\vec{B} = -B_0\vec{i}$ actúa sobre ella.

Determina la fuerza magnética sobre cada lado de la espira, el vector superficie y el momento magnético de la espira, y el momento de las fuerzas que actúan sobre dicha espira.

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4, \vec{S}, \vec{m}, \vec{M})$$



La fuerza sobre un conductor por el circula una corriente I , en el interior de un campo magnético, viene dada por la expresión:

$$\vec{F} = I\vec{\ell} \times \vec{B}$$

En los lados 1 y 3 los vectores \vec{l} y \vec{B} son paralelos, por lo que no actúa fuerza sobre ellos.

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_3 = 0$$

$$\vec{F}_2 = I\vec{l} \times \vec{B} = I \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & a & 0 \\ -B_0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = IB_0 a \vec{k} \text{ N} \quad \vec{F}_4 = I\vec{l} \times \vec{B} = I \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & -a & 0 \\ -B_0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = -IB_0 a \vec{k} \text{ N}$$

$$\vec{S} = ab\vec{k} \text{ m}^2 ; \quad \vec{m} = I\vec{S} = Iab\vec{k} ;$$

$$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 0 & Iab \\ -B_0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = -IabB_0 \vec{j} \text{ Nm}$$

5. Enuncia la llei d'Amper i comprova la seua validesa aplicant-la al cas de una circumferència de radi R , coneixent el camp magnètic creat per un conductor rectilini indefinit situat sobre l'eix de la circumferència, recorregut per un corrent I .

5. Enuncia la ley de Ampere y comprueba su validez aplicándola al caso de una circunferencia de radio R , conociendo el campo magnético creado por un conductor rectilíneo indefinido situado sobre el eje de la circunferencia, recorrido por una corriente I .

La circulación del vector campo magnético a lo largo de una curva cerrada es igual al producto de la constante μ_0 por la suma de las intensidades que atraviesan cualquier superficie limitada por la curva. El signo de la intensidad será positivo si cumple la regla de la mano derecha con el sentido de la circulación, y negativo en caso contrario.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \sum I$$

Dado que el campo magnético no varía de módulo al desplazarse por una circunferencia centrada en el conductor, y el campo es tangente a la circunferencia en todo momento, consideremos una circunferencia de radio R

como curva en la que aplicar el teorema de Ampère. La circulación de \vec{B} a lo largo de la longitud de la circunferencia es:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \oint B d\ell = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \cdot 2\pi R = \mu_0 I \text{ c.q.d.}$$

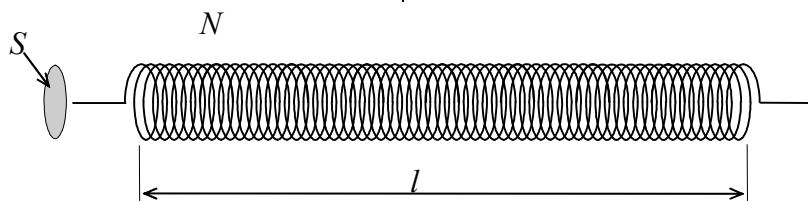
ya que \vec{B} y $d\vec{\ell}$ son paralelos en todo punto de la circunferencia.

6. Determina l'expressió del coeficient d'autoinducció del solenoide de la figura, suposant que és molt llarg comparat amb el seu radi, que el número d'espires N es gran, i coneixent que al circular per el un corrent I l'expressió del camp magnètic en l'interior és:

$$B = \frac{\mu_0 N \cdot I}{l}$$

6. Determina la expresión del coeficiente de autoinducción del solenoide de la figura, suponiendo que es muy largo en comparación con su radio, que el número de espiras N es grande, y sabiendo que al circular una corriente I por él, la expresión del campo magnético en el interior es:

$$B = \frac{\mu_0 N \cdot I}{l}$$



El coeficiente de autoinducción L se define, como el cociente entre el flujo que atraviesa un circuito, dividido por la intensidad

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

El flujo que atraviesa el solenoide es igual al flujo a través de una espira, multiplicado por el número de espiras

$$\Phi = N \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

y como el campo magnético es constante y paralelo al vector superficie,

$$\Phi = N \int_S B dS = NB \int_S dS = NBS = N \frac{\mu_0 NI}{l} S = \frac{\mu_0 N^2 S}{l} I$$

con lo cual el coeficiente de autoinducción es igual a:

$$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}$$

7. Explica el fonament d'un generador de corrent altern.

7. Explica el fundamento de un generador de corriente alterna.

El fundamento de la generación de una corriente alterna se basa en hacer girar una espira en el interior de un campo magnético uniforme, tal como se muestra en la figura.

Conforme gira la espira el flujo magnético varía, creando una corriente inducida, que podemos determinar aplicando la ley de Faraday:

Si suponemos el campo uniforme:

$$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \varphi$$

donde φ es el ángulo que forman el vector superficie y el campo magnético. Si tenemos N espiras con las mismas características el flujo quedará multiplicado por N :

$$\Phi = NBS \cos \varphi$$

Si la velocidad de giro de la espira es constante (ω velocidad angular o pulsación):

$$\varphi = \omega t + \varphi_0$$

Aplicamos la ley de Faraday para obtener la fuerza electromotriz inducida:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_T}{dt} = - \frac{d(NBS \cos(\omega t + \varphi_0))}{dt} = NBS \omega \sin(\omega t + \varphi_0) =$$

$$NBS \omega \cos(\omega t + \varphi_0 + \pi/2)$$

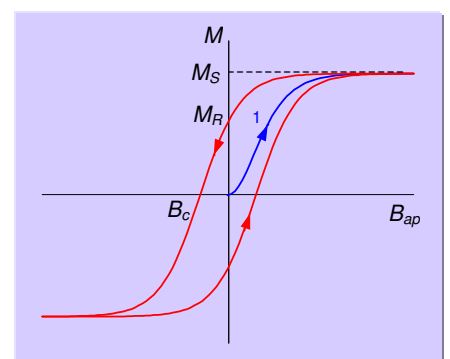
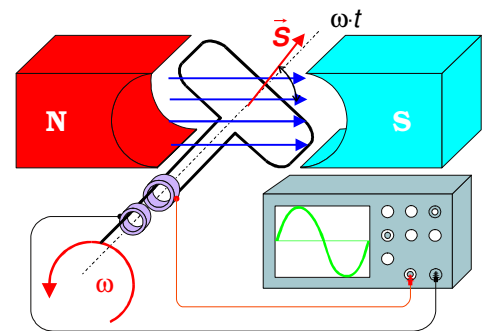
Obtenemos una fuerza electromotriz sinusoidal.

8. Defineix què és el cicle d'histèresi d'un material ferromagnètic, i explica els conceptes de corba de primera imantació, imantació de saturació, imantació romanent i camp coercitiu. Quines característiques ha de tindre el cicle d'histèresi d'un material ferromagnètic dedicat a una memòria magnètica?

8. Define qué es el ciclo de histéresis de un material ferromagnético, y explica los conceptos de curva de primera imantación, imantación de saturación, imantación remanente y campo coercitivo. ¿Qué características ha de tener el ciclo de histéresis de un material ferromagnético dedicado a una memoria magnética?

Cuando un material ferromagnético es sometido a un campo magnético, experimenta una imantación que crece con el campo aplicado B_{ap} . Si se representa la imantación M , frente a B_{ap} , se obtiene la curva de primera imantación (1) como muestra la figura. La imantación no crece indefinidamente: aunque se aumente mucho B_{ap} , la imantación no puede aumentar más allá de cierto límite denominado imantación de saturación M_s .

Si a continuación se disminuye gradualmente B_{ap} , el material pierde imantación, pero no toda. Aunque se anule el campo aplicado, queda una imantación remanente M_R . Si se quiere "borrar" todo resto de imantación, se



deberá aplicar un campo externo o campo coercitivo B_c , en sentido contrario al previo. Si se sigue aumentando el campo aplicado en dicho sentido se alcanza de nuevo una imantación de saturación en sentido contrario al anterior, tal y como se observa en la figura.

Si posteriormente se disminuye gradualmente B_{ap} , y luego se vuelve a cambiar el sentido, los valores anteriores no se repiten, es decir la curva no es reversible. Este efecto se denomina histéresis, y al ciclo completo de imantación – desimantación que se produce al aplicar un campo magnético alterno, se denomina ciclo de histéresis.

El material ferromagnético dedicado a una memoria magnética ha de tener una imantación remanente alta (material magnéticamente “duro”).

9. Per un dipol RL ($R=20\Omega$ i $L=0.02H$) circula una intensitat $i(t)=0.2\cdot\cos(1000t+20^\circ)A$. Determina la impedància, l'angle de desfasament, la diferència de potencial total i la diferència de potencial en la bobina i en la resistència.

9. Por un dipolo RL ($R=20\Omega$ i $L=0.02H$) circula una intensidad $i(t)=0.2\cdot\cos(1000t+20^\circ)A$. Determina la impedancia, el ángulo de desfase, la diferencia de potencial total y la diferencia de potencial en la bobina y en la resistencia.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{20^2 + 20^2} = 20\sqrt{2} \Omega = 28,28 \Omega$$

$$\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} = 1 \Rightarrow \varphi = 45^\circ$$

Diferencia de potencial total:

$$\left. \begin{aligned} U_m &= I_m Z = 4\sqrt{2} V = 5,67 V \\ \varphi_U &= \varphi + \varphi_i = 45 + 20 = 65^\circ \end{aligned} \right\} \Rightarrow u(t) = 4\sqrt{2} \cos(1000t + 65^\circ) V$$

Diferencia de potencial en la bobina:

$$\left. \begin{aligned} U_m^L &= I_m X_L = 4 V \\ \varphi_U^L - \varphi_i &= 90^\circ \Rightarrow \varphi_U^L = 90 + 20 = 110^\circ \end{aligned} \right\} \Rightarrow u_L(t) = 4 \cos(1000t + 110^\circ) V$$

Diferencia de potencial en la resistencia:

$$\left. \begin{aligned} U_m^R &= I_m R = 4 V \\ \varphi_U^R - \varphi_i &= 0 \Rightarrow \varphi_U^R = 20^\circ \end{aligned} \right\} \Rightarrow u_R(t) = 4 \cos(1000t + 20^\circ) V$$

10. Explica que vol dir que un dipol RLC està en ressonància i determina l'expressió de la freqüència de ressonància.

10. Explica qué significa el que un dipolo RLC esté en resonancia y determina la expresión de la frecuencia de resonancia.

En corriente alterna la resonancia de un dipolo afecta a la amplitud de la intensidad de la corriente que circula por él, que tiene un valor máximo a una frecuencia característica del dipolo denominada **frecuencia de resonancia** f_r .

Si analizamos la expresión de la impedancia del dipolo RLC serie y su dependencia con la pulsación, o la frecuencia, observaremos como tiene un valor mínimo a la frecuencia en que la reactancia se anula

$$\frac{U_m}{I_m} = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} = Z$$

$$X = 0 \rightarrow \omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Fonaments Físics de la Informàtica. DFA-FI. 2 ^{on} parcial. Problemes (40%)	16-Juny-2006
Cognoms:	Nom:

1.- Dos conductores llargs, paral·lels, separats una distància d porten corrents iguals antiparal·lels I .

Determina:

a) l'expressió del camp magnètic creat per cada conductor i el total, en els punts A i B, situats en la posició assenyalada en la figura.

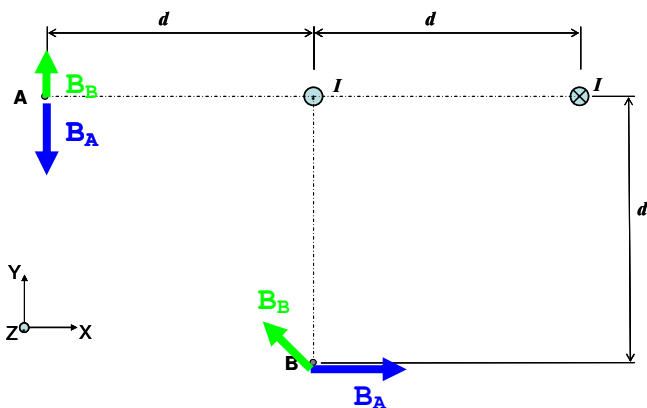
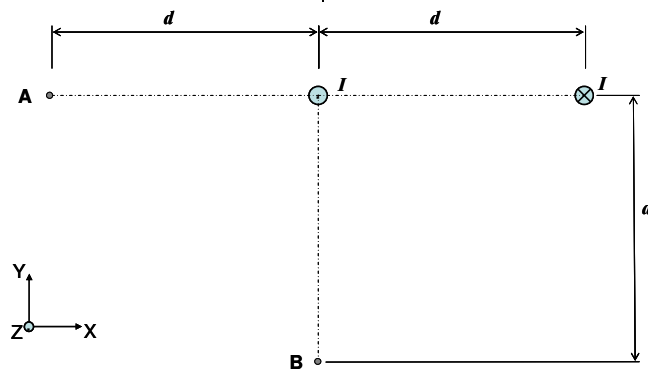
b) en quina posició situarem un tercer conductor també rectilini i paral·lel als dos primers, pel que circule una intensitat $2I$ en el sentit positiu de l'eix OZ, de tal manera que s'anul·le el camp magnètic en A?

1.- Por dos conductores largos, paralelos, separados una distancia d , circulan corrientes iguales antiparalelas I .

Determina:

a) la expresión del campo magnético creado por cada conductor y el total, en los puntos A y B, situados en la posición señalada en la figura.

b) ¿en qué posición situaremos un tercer conductor también rectilíneo y paralelo a los dos primeros, por el que circule una intensidad $2I$ en el sentido positivo del eje OZ, de tal manera que se anule el campo magnético en A?



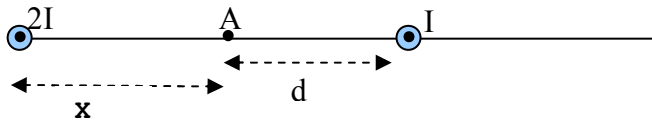
$$a) \vec{B}_{A\bullet} = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} (-\vec{j})(T); \quad \vec{B}_{A\otimes} = \frac{\mu_0 I}{2\pi 2d} (\vec{j})(T); \quad \vec{B}_{ATotal} = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \vec{j}(-1 + \frac{1}{2}) = -\frac{\mu_0 I}{4\pi d} \vec{j}(T)$$

$$\vec{B}_{B\bullet} = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \vec{i}(T); \quad \vec{B}_{B\otimes} = \frac{\mu_0 I}{2\pi d \sqrt{2}} (-\cos 45^\circ \vec{i} + \sin 45^\circ \vec{j}) = \frac{\mu_0 I}{2\pi d \sqrt{2}} (-\frac{\sqrt{2}}{2} \vec{i} + \frac{\sqrt{2}}{2} \vec{j}) = \frac{\mu_0 I}{4\pi d} (-\vec{i} + \vec{j})(T)$$

$$\vec{B}_{BTotal} = \frac{\mu_0 I}{4\pi d} (\vec{i} + \vec{j})(T)$$

b) Posició otro conductor con $2I$ dirección $z + / B_A = 0$

El B total en A tiene dirección $-\vec{j}$, el nuevo B tendrá que ser opuesto, para ello el conductor debe estar situado a una distancia x a la izquierda de A



$$\vec{B}_A = 0 = \frac{\mu_0 I}{4\pi d} (-\vec{j}) + \frac{\mu_0 2I}{2\pi x} \vec{j}; \Rightarrow \frac{1}{4d} = \frac{2}{2x} = \frac{1}{x} \Rightarrow x = 4d$$

Es decir, el nuevo conductor estará a la izquierda de A, como se muestra en la figura, a una distancia $x=4d$

2.- En la figura es mostren 2 fils conductors rectilinis, molt llargs, pels que circulen intensitats $I_1 = I$ i $I_2 = 2I$ i, entre ells i en el mateix pla, una espira formada per un conductor en forma de U amb resistència R sobre el qual llisca sense fregament un conductor rectilini (AB) amb velocitat $v = v_0 + at$, en la direcció i sentit assenyalats.

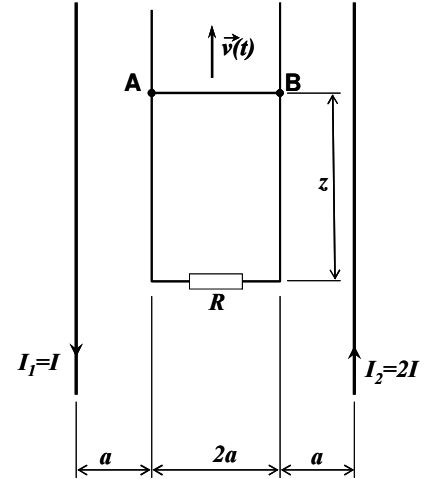
Calcula:

- Flux del camp magnètic a través de l'espira creat pel conductor 1, pel conductor 2 i flux magnètic total.
- Força electromotriu induïda en l'espira (\mathcal{E}).
- Intensitat induïda en l'espira (s'ha d'assenyalar el sentit).
- Força magnètica sobre el conductor AB deguda al camp magnètic del conductor 1.

2.- En la figura se muestran 2 hilos conductores rectilíneos, muy largos, por los que circulan intensidades $I_1 = I$ e $I_2 = 2I$ y, entre ellos y en el mismo plano, una espira formada por un conductor en forma de U con resistencia R sobre el que desliza sin rozamiento un conductor rectilíneo (AB) con velocidad $v = v_0 + at$, en la dirección y sentido señalados.

Calcula:

- Flujo del campo magnético a través de la espira creado por el conductor 1, por el conductor 2 y flujo magnético total.
- Fuerza electromotriz inducida en la espira (\mathcal{E}).
- Intensidad inducida en la espira (se debe señalar el sentido).
- Fuerza magnética sobre el conductor AB debida al campo magnético del conductor 1.



$$a) \text{ Flujo de } I_1: d\Phi_1 = \vec{B}_1 \cdot d\vec{S} = B_1 dS = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} z dx.$$

Integrando desde $x=a$ hasta $x=3a$:

$$\Phi_1 = \int_a^{3a} \frac{\mu_0 I}{2\pi x} z dx = \frac{\mu_0 I z}{2\pi} \ln 3 \text{ saliente respecto del plano del papel.}$$

El flujo debido a I_2 también es saliente y en todo lo mismo salvo que la corriente vale el doble:

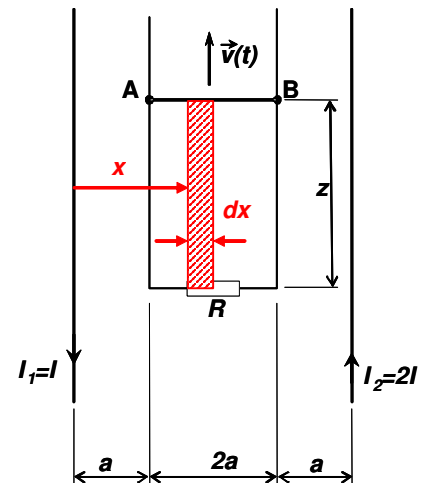
$$\Phi_2 = 2\Phi_1 = 2 \frac{\mu_0 I z}{2\pi} \ln 3$$

Por lo que el flujo total valdrá:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = 3 \frac{\mu_0 I z}{2\pi} \ln 3 \text{ saliente respecto del plano del papel.}$$

b) Por la ley de Faraday:

$$\mathcal{E} = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \ln 3 \frac{dz}{dt} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} v \ln 3 = \frac{\mu_0 I}{2\pi} (v_0 + at) \ln 3$$



$$c) i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} (v_0 + at) \ln 3$$

Dado que el flujo saliente crece con el tiempo, el sentido de la intensidad deberá ser tal que produzca un flujo entrante, por lo que su sentido deberá ser horario.

d) La fuerza elemental sobre un elemento de longitud dx del conductor deslizando vale:

$$d\vec{F} = id\vec{x} \times B_1(x)\vec{k} = -i \frac{\mu_0 I}{2\pi} dx \vec{j} \quad (\text{tomando el eje } x \text{ alineado con el conductor en el sentido de la corriente})$$

Integrando desde $x=a$ hasta $x=3a$:

$$\vec{F} = -\frac{\mu_0 I i}{2\pi} \ln 3 \vec{j} = -3 \left(\frac{\mu_0 I}{2\pi} \ln 3 \right)^2 (v_0 + at)$$