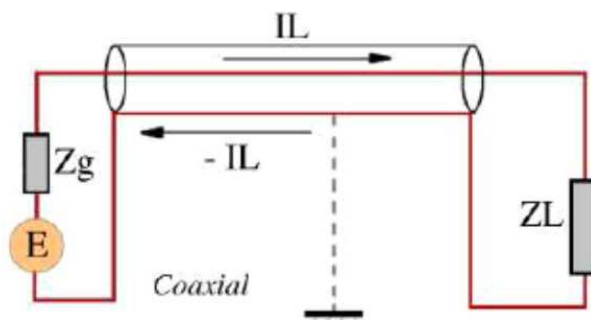
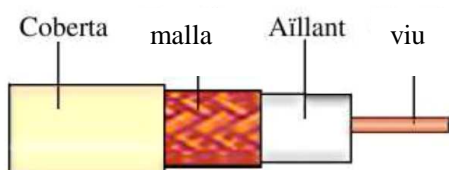


## Física II. Problemes Sessió 7. Tema Camp i Inducció Magnètica

**1)** Un cable coaxial està format per un fil conductor central anomenat 'viu' i un conductor extern en forma de superfície cilíndrica anomenat 'malla', que envolta el cable central i amb el mateix eix que aquest. Un esquema del cable es veu a la figura de l'esquerra. Suposem que el radi del viu és  $R_1$  i el radi de la malla és  $R_2 (>R_1)$ , suposem que els dos cables estan separats per un material aïllant dielèctric de permitivitat relativa  $\epsilon_r > 1$ , però que no manifesta cap comportament magnètic diferent del buit, és a dir amb  $\mu_r = 1$ .

Considera el cable de llargada  $D$ , molt més llarg que ample,  $D > R_2$



Els cables coaxials s'usen en enginyeria com a mitjà de transmissió de senyals elèctrics a freqüències elevades i a molta distància. Tal com veiem a la figura de la dreta, el funcionament del cable és el següent: un senyal es transmet des de la font generadora (de senyal)  $E$  situada a un extrem del cable, fins a la impedància<sup>1</sup> de càrrega  $Z_L$  a l'altre extrem del cable. El corrent d'anada  $I_L$  va pel viu i torna per la malla distribuït uniformement per tota la seva superfície lateral. L'objectiu del problema és calcular l'autoinducció  $L$  del cable coaxial de llargada  $D$ .

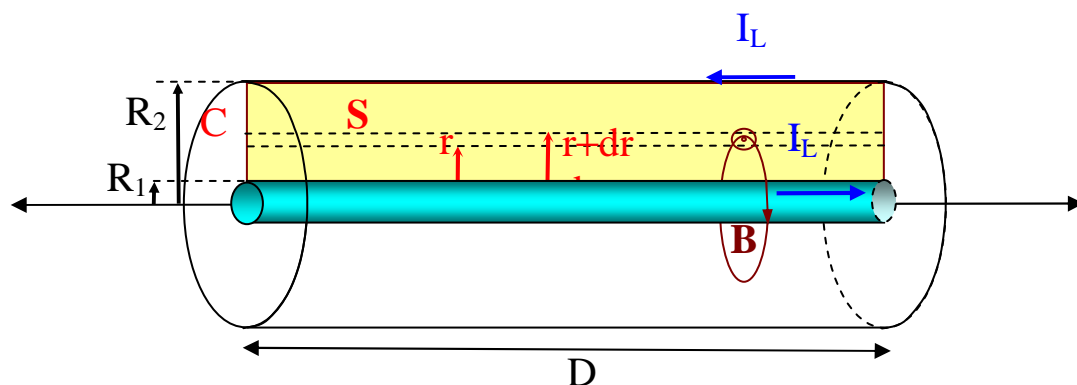
Per a fer-ho seguim els següents passos:

**a)** Calcula el camp magnètic generat pels corrents  $I_L$  que va pel viu i  $-I_L$  que torna per la malla, en la regió situada entre els dos cables, tot aplicant el teorema d'Ampère. Descriu la direcció i sentit del camp en els diferents punts.

El camp és rotatori al voltant de l'eix amb el sentit d'avançament del tirabuixó segons  $I_L$

**b)** Calcula el camp magnètic a la regió externa al cable. Conclusió.

**c)** Considerem que el camp  $B$  intern de l'apartat a) travessa la superfície tancada  $S$  (marcada en groc) de la figura següent,



<sup>1</sup> impedància = generalització d'una resistència i també es mesura en  $\Omega$

anem a calcular el flux magnètic  $\Phi$  que aquest camp fa sobre aquesta superfície tancada. Per a fer-ho considerem  $S$  subdividit en superfícies diferencials, com la situada entre  $r$  i  $r+dr$  a la figura.

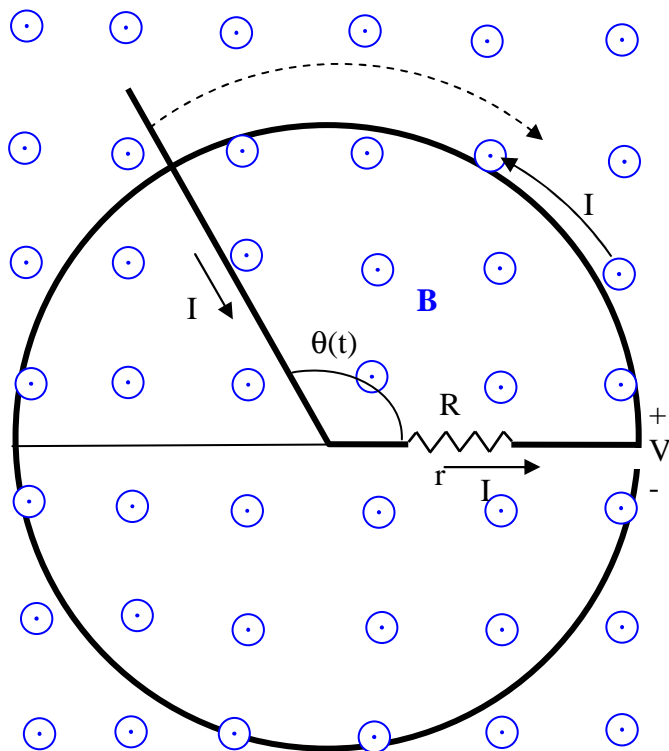
Calcula el diferencial de flux  $d\Phi$  del camp  $B$ , a través de la superfície situada entre  $r$  i  $r+dr$ .

**d)** Calcula el flux total a base d'integrar els diferencials de flux anteriors al llarg de la superfície  $S$ .

**e)** A partir del resultat anterior calcula l'autoinducció  $L$  i d'aquí l'autoinducció  $L'$  del cable coaxial per unitat de longitud  $= D$ :

**2)**

Considerem un circuit conductor quasi<sup>2</sup> circular de radi  $R$ , sobre el qual hi superposem dos segments conductors posats com si fossin un radi. Un dels segments és fix i horitzontal i l'altre és mòbil i pot rotar al voltant del centre. Com que els conductors són metàl·lics i fan contacte elèctric en els punts de juxtaposició, defineixen un circuit tancat  $C$  en forma de sector circular d'angle  $\theta(t)$  en cada instant. El circuit sencer es troba en una regió amb un camp magnètic  $B$  uniforme perpendicular al pla del circuit i en sentit cap enfora del dibuix



**a)** A partir de la dependència de l'angle  $\theta(t)$  en el temps, calcula el corrent  $I(t)$  induït per aquest moviment, coneixent el valor de la resistència elèctrica  $r$  del tram horitzontal (considerem negligible la resistència dels altres trams)

**b)** concretament si l'angle varia disminuint de forma uniforme amb el temps:  $\theta(t) = -\omega \cdot t + \pi$  (rad), calcula el corrent  $I$ .

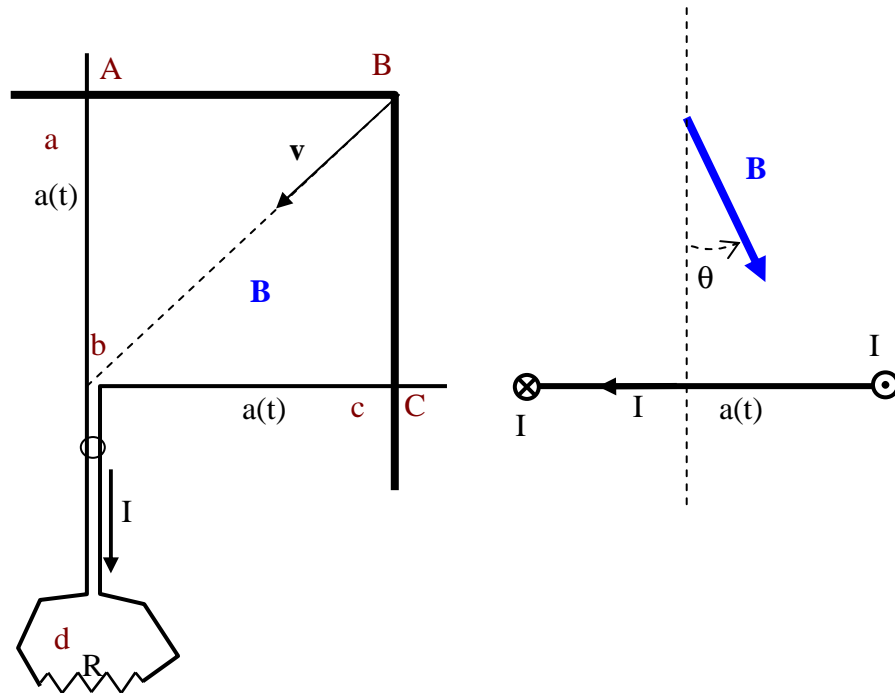
**c)** Quin és el valor de la fem i del corrent continu que generariem si el conductor mòbil anés donant toms tota l'estona a 3000 rev/min en un camp de 100 mT, si el diàmetre és de  $D=2,378$  m i la resistència de  $r=10 \Omega$ .

<sup>2</sup> No és circular del tot ja que li falta un petit trosset a la dreta, per tal que els dos conductors a ambdós costats de la  $R$  no estiguin curtcircuitats. Això implica un curt instant de temps on desapareix el corrent, just quan la barra passa pel trosset, però que no obstant negligirem.

3)

Considerem un circuit quadrat de costat  $a(t)$  fet a base de fils conductors, tal com s'indica a la figura esquerra. El circuit està format per dues peces:

1. la peça fixa amb un primer tram que va de punt **a** al **b**, després li segueix un tram **b-d**



addicional extern amb el resistor  $R$ ) i finalment un tram **b-c** que forma  $90^\circ$  amb el tram **a-b**.

2. La peça mòbil que té dos trams de **A-B** i **B-C** que formen un angle recte entre si.

La peça mòbil (**A-B-C**) es mou a una velocitat  $v$  constant cap endins seguint la diagonal del quadrat tot lliscant sobre els punts **a** i **c** del tram 1 fix, de manera que l'àrea disminueix.

Per altra banda el circuit és travessat per un camp magnètic uniforme  $B$  que forma un angle  $\theta$  (inferior a  $90^\circ$ ) amb la perpendicular al circuit quadrat **a-b-c-B**. Mirem la figura de la dreta. Es demana:

- a) Calcula una expressió del costat del quadrat  $a(t)$  en funció del temps. a partir d'aquí una expressió de l'àrea decreixent del circuit (negligeix l'àrea del tram extern amb la resistència). Suposem que a l'instant inicial els costats valien un  $a_0 > 0$ .
- b) Calcula una expressió del flux magnètic  $\Phi(t)$  a través del circuit anterior considerant flux positiu el que travessa de dalt a baix (és a dir el vector  $\mathbf{S}$  l'agafem cap a baix)
- c) Calcula una expressió de la força electromotriu induïda al circuit anterior.
- d) Calcula una expressió del corrent  $I(t)$  que passa pel circuit, considerant negligibles les resistències dels conductors (és a dir la resistència total del circuit és la  $R$ ).
- e) Quin és el signe del corrent en un instant immediatament posterior a 0. segons l'expressió matemàtica anterior?. Quin serà per tant el sentit del corrent  $I(t)$  respecte al

corrent  $I$  marcat a la figura?. Es correspon aquest sentit del corrent amb el que sortiria usant arguments físics, és a dir, pel fet que la llei de Faraday-Lenz estableix que la fem induïda s'ha d'oposar a la variació del flux?

**f)** Suposem ara que fem girar el camp magnètic amb un angle decreixent a partir de  $90^\circ$  ( $\pi/2$  rad):  $\theta(t)=\pi/2-\alpha \cdot t$ . Calcula una expressió del mòdul i el signe de la fem induïda a un instant  $t$  lleugerament posterior a l'instant inicial.

Per Faraday-Lenz trobem la fem induïda:

**4)**

Tenim un transformador format per un nucli de secció rectangular i de forma també rectangular com el de la figura on s'hi posen les dimensions. El material magnètic del nucli és ferro dolç amb una  $\mu_r=4000$ .

Les dimensions del transformador que es resumeixen a la figura estan referides a la llargada de l'entreferro:  $h=1$  mm.

Injectem un corrent al bobinat primari  $p$  de valor  $I_1=1$  A, aquest bobinat té  $N_1=500$  voltes. De moment pel secundari no hi passa corrent.

**a)** Calculeu la densitat de flux de camp magnètic  $B_e$  a l'entreferro i al nucli en el secundari  $B_n$ .

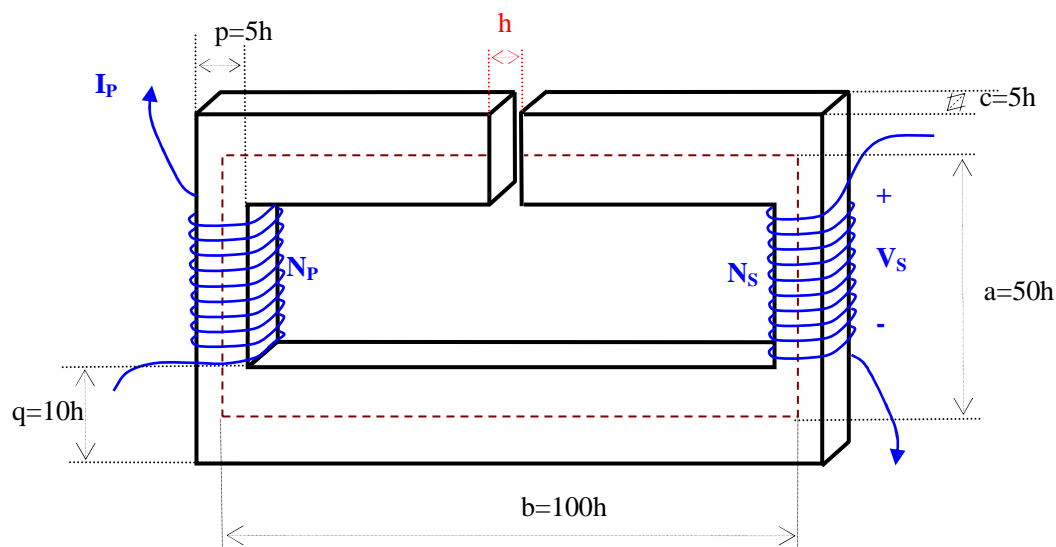
**b)** Calculeu la densitat de flux de camp magnètic  $B_n$  al secundari si no hi hagués entreferro.

Suposem que estem en el cas en que hi ha entreferro, contesta les següents preguntes referides als fenòmens d'inducció:

**c)** Calcula una expressió i també el valor numèric del coeficient d'inducció mútua que va del primari al secundari  $M_{ps}$  suposant que el bobinat del secundari té  $N_s=2000$  voltes.

**d)** Calcula una expressió i també el valor numèric del coeficient d'autoinducció del primari:  $L_p$  (considera que pel secundari no hi passaria corrent)

**e)** Si el corrent al primari és senoidal de valor de pic 10 A i de freqüència 50 Hz, calcula la tensió de pic i la freqüència al secundari.



**5)**

Generalment a les centrals elèctriques no es genera corrent continu sinó corrent altern sinusoidal de 50 Hz (=50 períodes /s). Per a això s'utilitza un alternador.

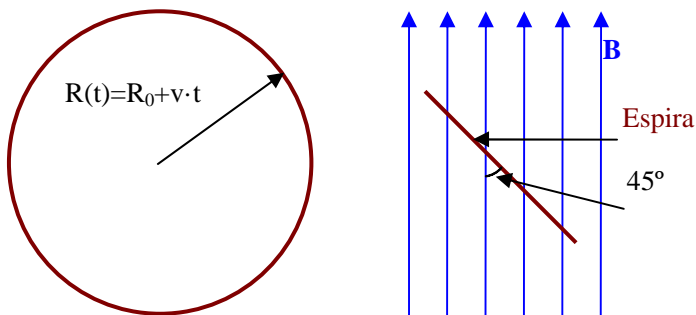
Un alternador consisteix en una bobina de  $N$  espires de superfície  $S$ , donant tords a velocitat angular uniforme  $\omega$  al voltant d'un eix situat en el mateix pla de les espires i en el sí d'un camp magnètic uniforme  $B$ .

- Calcula una expressió de la fem induïda per l'alternador:
- Considerem  $N=1$  espires amb un camp de  $B=100$  mT i una superfície de la bobina de  $1 \text{ m}^2$ , la velocitat angular de rotació és també de 3000 rpm, calcula la freqüència  $f$ , l'amplitud de pic  $V_P$  de la tensió generada i la tensió eficaç  $V_{ef}=V_P/\sqrt{2}$  que li correspon.
- Posem  $N=10,35$  espires enlloc de una, amb això la tensió eficaç generada es multiplica per  $N$ . Quan val? De que et sona aquesta tensió?
- Volem transportar aquesta tensió a un lloc llunyà i per això elevem la tensió generada a d) amb un transformador que té una relació de espires de  $N_2/N_1=2000$ . Quina és la tensió generada?
- La central elèctrica sencera genera una potència de 1 GW. I n'envia la dècima part (100 MW) per cada ramal de molt alta tensió. Quin corrent generaria per una tensió de sortida de 460 kV?. I per una tensió de 230 V?
- Si el cable de transport de la molt alta tensió generada té un diàmetre de 6 cm i està fet d'alumini ( $\rho_{Al}=2,82 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ). Quina és la resistència per a cada km de línia?. Quina és la caiguda de tensió per cada km de línia per les dues tensions de transport de l'apartat anterior?. Quina és la pèrdua de potència per km de línia per les dues tensions de transport de l'apartat anterior?. Treu conclusions de la comparació.

6)

Una espira circular feta d'un material conductor i elàstic es troba en el si d'un camp magnètic uniforme de mòdul  $B$ . El pla de l'espira forma un angle de  $45^\circ$  amb el camp magnètic. El radi de l'espira augmenta amb el temps a una velocitat uniforme, és a dir que el radi de l'espira es pot escriure com:  $R(t)=R_0+v \cdot t$ .

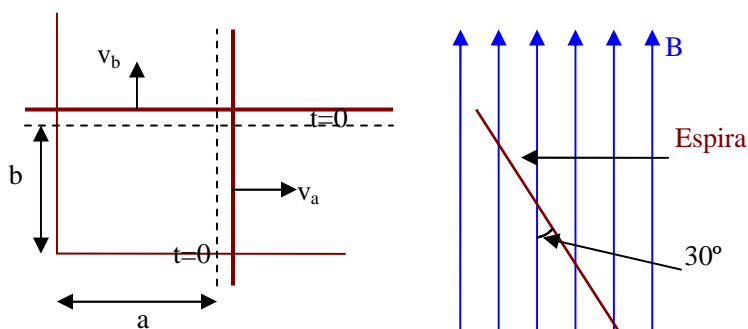
- Doneu una expressió per al flux del camp magnètic en funció del temps,  $B$ ,  $R_0$  i  $v$ .
- Doneu una expressió de la força electromotriu induïda en funció del temps,  $B$ ,  $R_0$ , i  $v$ .
- Si es té en compte que la resistència total de l'espira és proporcional a la seva longitud,  $r = k \cdot L_{\text{espira}}$ . Doneu una expressió de la intensitat que circula per l'espira en funció del temps,  $B$ ,  $R_0$ ,  $v$  i la  $k$ . En quin sentit circula el corrent si es mira l'espira de manera que el camp magnètic apunta cap a nosaltres, horari o antihorari?
- Doneu un valor numèric per a la força electromotriu induïda i pel corrent si  $B=100$  mT,  $R_0=1$  cm,  $v=1$  cm/s,  $t=10$  s i  $k=1$   $\Omega/\text{m}$ . **Inclou els càlculs intermedis i posa unitats en tots els càlculs fets.**



7) Una espira rectangular feta d'una material conductor es troba en el si d'un camp magnètic de mòdul  $B$ . El pla de l'espira forma un angle de  $30^\circ$  amb el camp magnètic. Dos dels costats de l'espira es mouen (segons la figura) amb velocitats constants  $v_a$  i  $v_b$ . En l'instant inicial ( $t=0$ ) l'espira té costats de longituds  $a$  i  $b$ .

- Doneu una expressió per al flux del camp magnètic en funció del temps,  $B$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $v_a$  i  $v_b$ .
- Doneu una expressió de la força electromotriu induïda en funció del temps,  $B$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $v_a$  i  $v_b$ .
- Si es té en compte que la resistència de total de l'espira és proporcional a la seva longitud,  $r = k \cdot L_{\text{espira}}$ . Doneu una expressió de la intensitat que circula per l'espira en funció del temps,  $B$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $v_a$ ,  $v_b$  i la  $k$ . En quin sentit circula el corrent si es mira l'espira de manera que el camp magnètic apunta cap a nosaltres, horari o antihorari?
- Doneu un valor numèric per a la força electromotriu induïda i pel corrent si  $B=300$  mT,  $a=1$  cm,  $b=2$  cm,  $v_a=1$  cm/s,  $v_b=2$  cm/s,  $t=50$  s i  $k = 1\Omega/\text{m}$ .

**Inclou els càlculs intermedis i posa unitats en tots els càlculs fets.**



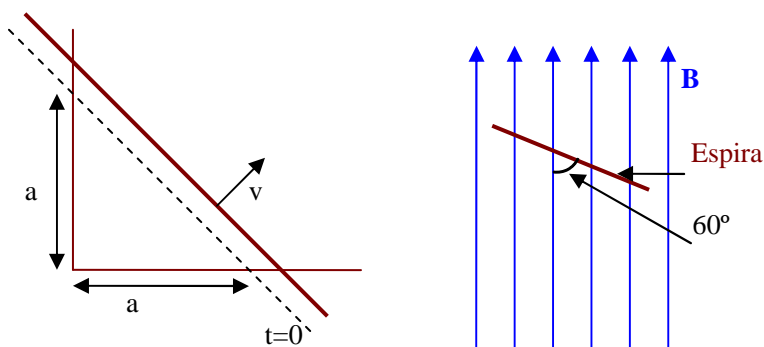
**8)** Una espira triangular (amb forma de triangle rectangle) feta d'una material conductor es troba en el si d'un camp magnètic de mòdul  $B$ . El pla de l'espira forma un angle de  $60^\circ$  amb el camp magnètic. Un dels costats de l'espira es mou (segons la figura) amb velocitat constant  $v$ . En l'instant inicial ( $t=0$ ) els catets del triangle tenen una longitud  $a$ .

a) Doneu una expressió per al flux del camp magnètic en funció del temps,  $B$ ,  $a$ , i  $v$ .

b) Doneu una expressió de la força electromotriu induïda en funció del temps,  $B$ ,  $a$ , i  $v$ .

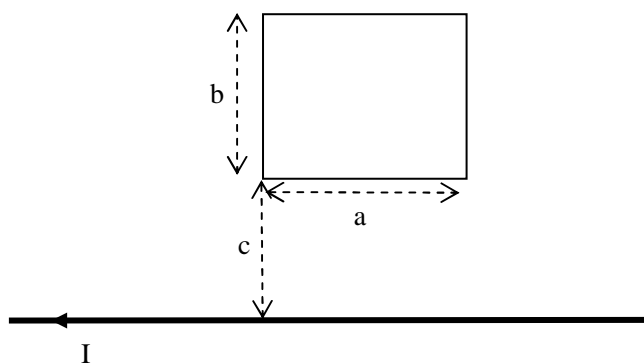
c) Si es té en compte que la resistència de total de l'espira és proporcional a la seva longitud,  $r = k \cdot L_{\text{espira}}$ . Doneu una expressió de la intensitat que circula per l'espira en funció del temps,  $B$ ,  $a$ ,  $v$  i la  $k$ . En quin sentit circula el corrent si es mira l'espira de manera que el camp magnètic apunta cap a nosaltres, horari o antihorari?

d) Doneu un valor numèric per a la força electromotriu induïda i pel corrent si  $B=200$  mT,  $a=5$  cm,  $v=4$  cm/s,  $t=30$  s i  $k=1$   $\Omega$ /m. **Inclou els càlculs intermedis i posa unitats en tots els càlculs fets.**



**9)** Suposem que tenim un fil rectilini infinit situat horitzontalment i ajagut sobre l'eix  $x$ , i per qual hi passa un corrent  $I$  de dreta a esquerra com a la figura.

En el pla vertical al fil anterior hi posem una espira rectangular de costats  $a$  i  $b$  i situada a una distància  $c$  per sobre del fil, tal i com es veu a la figura.



**a)**

- Dibuixa les línies de camp  $B$  fet pel fil de corrent  $I$ .
- Concreta llavors quina seria la direcció i sentit del camp sobre els punts de la superfície plana interior de l'espira.
- Escribeu també una expressió del mòdul d'aquest camp en funció de la variable  $y$  (alçada perpendicular al fil).

**b)** Calcula una expressió pel flux que el camp del fil  $I$  fa sobre la superfície interior de l'espira.

**c)** Suposant que a partir de l'instant  $t=0$  el corrent del fil es posa a decreixer a ritme constant, des del seu valor anterior  $i=I$  fins a  $i=0$  durant un interval de temps  $T$ , calcula la força electromotriu que s'indueix a l'espira durant aquest interval. Raona el sentit d'aquesta força electromotriu.

**d)** Considera  $I=10$  A,  $a=b=10$  cm,  $c=5$  cm i  $T=1$   $\mu$ s. Calcula el corrent que s'indueix sobre la bobina durant l'interval  $T$ . Dóna també el sentit del corrent.

Dades addicionals: resistivitat del metall de l'espira:  $\rho=1 \times 10^{-8}$   $\Omega \cdot m$ , diàmetre del fil (de secció cilíndrica) de l'espira: 0,1 mm.

**No oblidis les unitats a tot arreu inclosos els càlculs intermedis.**

**10)** Tenim una bobina cilíndrica i rectilínia de llargada  $L$  i radi  $R$ . La bobina és molt més llarga que ampla ( $L \gg R$ ). Per la bobina hi circula un corrent  $I_1$  com el de la figura i te  $N_1$  espires en total.

**a)** Dibuixa la bobina, dóna un esquema de les línies de camp magnètic  $B$ . Dedueix una expressió del camp magnètic a l'interior de la bobina (zona central) tot usant el teorema d'Ampere.

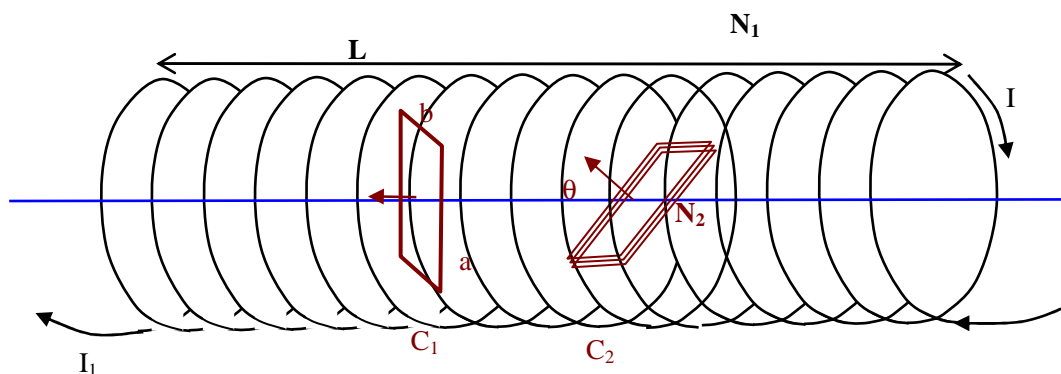
**b)** A l'interior de la bobina i a la zona central hi posem una espira rectangular  $C_1$  de costats  $a$  i  $b$  (figura següent), perpendicular a l'eix de la bobina.

- Calcula una expressió del flux magnètic a través de l'espira, de dreta a esquerra:  $\Phi_B$
- Fes el mateix càlcul per una altre circuit  $C_2$  de la mateixa àrea tal que la seva normal forma un angle  $\theta$  amb l'eix i format per  $N_2$  espires apilades.

**c)** A partir del flux del tercer cas dóna una expressió del coeficient d'inducció mútua



entre la bobina gran externa i el circuit C3.



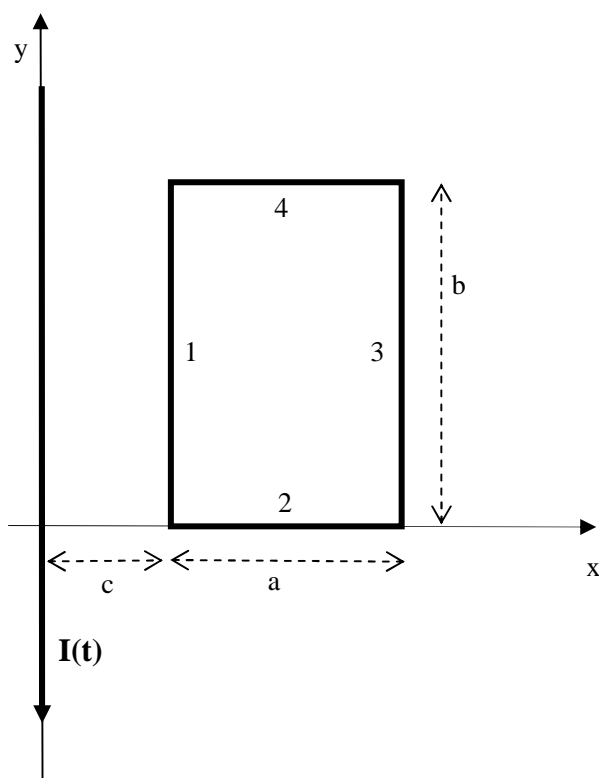
d) Ara alimentem la bobina amb un corrent  $I(t)$  que varia periòdicament amb el temps de forma senoidal amb amplitud 10 A freqüència 100 Hz.

- Dibuixa el senyal de corrent  $I(t)$  en funció del temps indicant el valor de l'amplitud i del període  $T$  del senyal a l'eix vertical i horitzontal respectivament.
- Calcula la freqüència angular  $\omega$  (amb unitats).

e) Calcula una expressió de la força electromotriu induïda al circuit C2 amb  $N_2$  espires. Indica quin sentit té aquesta força electromotriu en els instants en que  $I(t)$  creix i també en els instants en que  $I(t)$  decreix període creixent, tot raonant-ho i dibuixant-ho sobre el circuit C3.

f) Calcula numèricament la força electromotriu pel cas  $N_1=1000=2 \cdot N_2$ ;  $L=10$  m,  $a=2$  cm,  $b=3$  cm. **No oblidis les unitats a tot arreu inclosos els càlculs intermedis.**

**11)** Suposem que tenim un fil rectilini infinit situat verticalment al llarg de l'eix  $y$ , pel qual hi passa un corrent  $I$  de dalt a baix, és a dir en la direcció de les  $y$  negatives.



En el  $x$ - $y$  hi situem una espira rectangular de costats  $a$  i  $b$  i separada una distància  $c$  del fil paral·lela al fil (vegeu la figura).

Es demana:

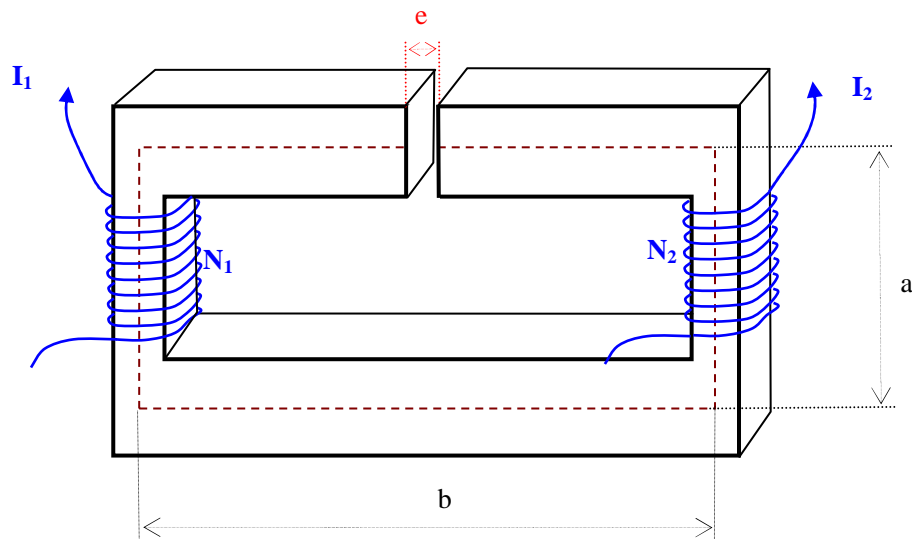
- Dibuixa les línies tancades de camp  $B$  fet pel fil. Concreta la direcció i sentit del camp en els punts interiors de l'espira.
- Dóna una expressió del mòdul camp en funció de la distància  $x$  al fil.
- Calcula una expressió del flux total fet pel camp  $B$  del fil a dins de l'espira.

d) Suposem que  $I$  varia amb el temps en una funció creixent:  $I(t) = \alpha + \beta \cdot t$ , calcula una expressió de la força electromotriu induïda a sobre de l'espira. Dóna el sentit del corrent  $I'$  que es produirà sobre ella a causa d'aquesta fem. Raona aquest sentit.

e) Pel fet de passar-hi aquest corrent  $I'$ , el camp magnètic del fil li està fent una força sobre cada costat de l'espira. Indica i raona el sentit de la força a cada costat. Dues d'aquestes forces s'anul·len entre sí i les altres dues no. Quines s'anul·len i perquè?

f) Calcula per l'instant  $t=0$ , una expressió de la resultant de les altres dues forces que no s'anul·len, cap a on va la resultant, cap al fil o allunyant-se del fil?.

**12)** Donat un circuit magnètic rectangular, com el de la figura, format per un metall ferromagnètic de permeabilitat 4000, un entreferro de llargada petita 'e' i dos bobinats, tal com s'indica a la figura. La secció dels trams horitzontals és  $4S$  i la dels verticals és  $S$ . Per les dues bobines hi passen uns corrents de  $I_1 = 0,5 \text{ A}$ ,  $I_2 = 5 \text{ A}$  i tenen  $N_1 = 2000$ ,  $N_2 = 100$  voltes respectivament. Es demana:



a) Dibuixa les línies de densitat de flux magnètic  $\mathbf{B}$  a través del circuit.

b) Troba una expressió de la reluctància del nucli de material A:  $\mathcal{R}_A$  i la de l'entreferro:  $\mathcal{R}_e$

c) Troba una expressió del flux al llarg del circuit magnètic i també dels dos camps magnètics  $B$  en els trams verticals (a) i horitzontals (b) del nucli. Calcula també una expressió del camp  $B_v$  en el tram vertical si decidim modificar el circuit magnètic tot suprimint l'entreferro i substituir-lo pel metall del nucli.

d) Si  $S = 1 \text{ cm}^2$ ,  $a = 5 \text{ cm}$ ,  $b = 10 \text{ cm}$  i la llargada de l'entreferro és  $e = 0,5 \text{ cm}$ . Calcula numèricament el camp magnètic  $B$ , en els trams vertical del nucli i el camp  $H$  a l'entreferro. Calcula també el camp  $B_v$  en els trams verticals del nucli pel cas en que eliminem l'entreferro i el substituïm per metall, compara'l amb el  $B_v$  anterior. Comenta els avantatges de l'entreferro.

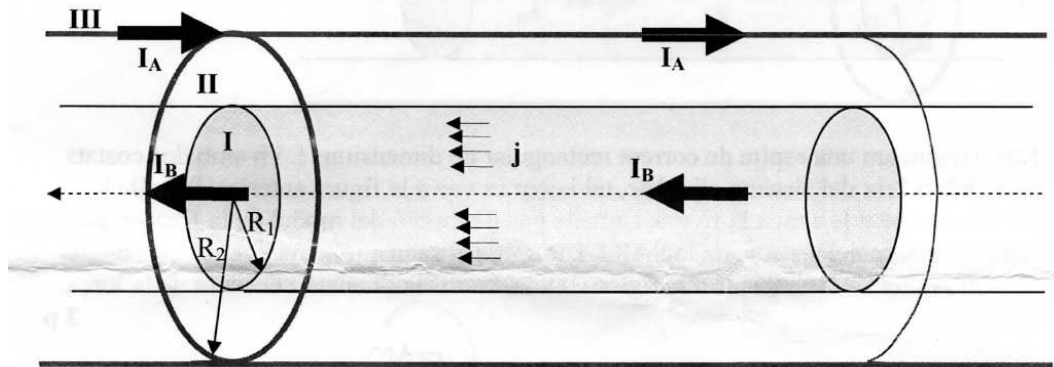
e) En el cas d'haver-hi entreferro i si deixem passar el corrent  $I_1$  variable a la bobina de l'esquerra però no a la de la dreta, troba una expressió de la força electromotriu que s'indueix a la bobina de la dreta. Troba a partir d'aquí l'expressió de la inducció mútua  $M_{12}$  de 1 cap a 2. Compara amb  $M_{21}$  i comprova que són iguals.

**No oblidis les unitats a tot arreu inclosos els càlculs intermedis.**

## Problema 13)

### PART 1

Tenim un sistema com el de la figura format per una barra conductora cilíndrica central infinitament llarga de radi  $R_1$  la qual circula de dreta a esquerra un corrent total  $I_B$  homogeniament distribuït per la seva secció. Aquesta barra està envoltada per una capa cilíndrica conductora de radi  $R_2$  (sense gruix) concèntrica i també de llargada infinita. Per aquesta capa hi circula un corrent  $I_A$  d'esquerra a dreta.



- 1.1) Calcula una expressió de la densitat de corrent  $j$  de la barra central.
- 1.2) Calcula una expressió del camp magnètic situat a les tres regions d'interès:  
regió I ( $0 < r < R_1$ ), regió II ( $R_1 < r < R_2$ ), regió III ( $R_2 < r < \infty$ ).  
Dibuixa també les línies i el sentit del camp a cada regió suposant  $I_A > I_B$ .
- 1.3) Demostra la continuïtat del camp a  $r = R_1$ . Determina si hi ha continuïtat o no a  $r = R_2$ .  
Suposant  $I_A > I_B$  fes la gràfica de  $B(r)$  en funció de  $r$ .
- 1.4) Si  $R_1 = 1$  cm,  $R_2 = 2$  cm,  $I_A = 2$  A i  $I_B = 1$  A, calcula la densitat  $j$ .  
Calcula també el camp magnètic a la distància d'un metre des del centre del sistema:  
 $B(1 \text{ m})$ .

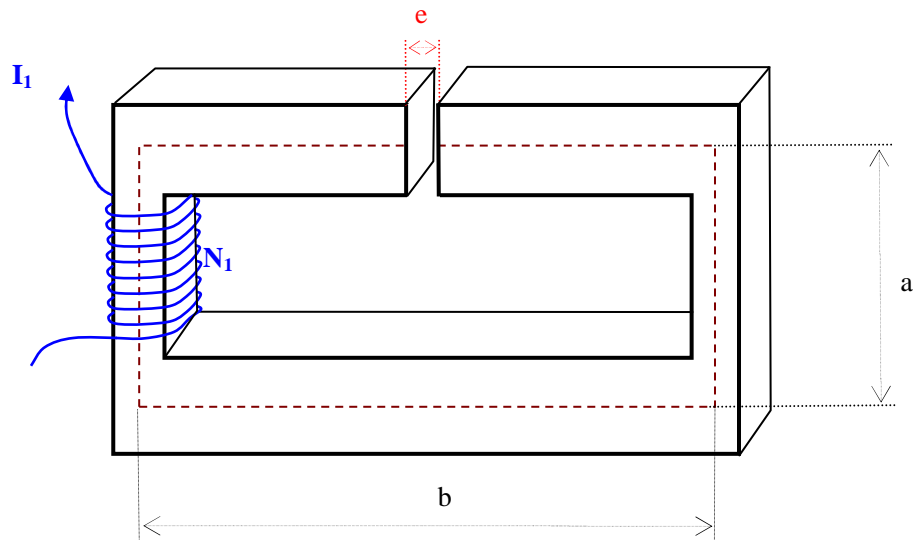
### PART 2

Suposem que la expressió del camp  $B$  a la regió III és:

$$B(r) = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_A - I_B}{r} \quad \text{i amb les línies en sentit horari vist des de l'esquerra}$$



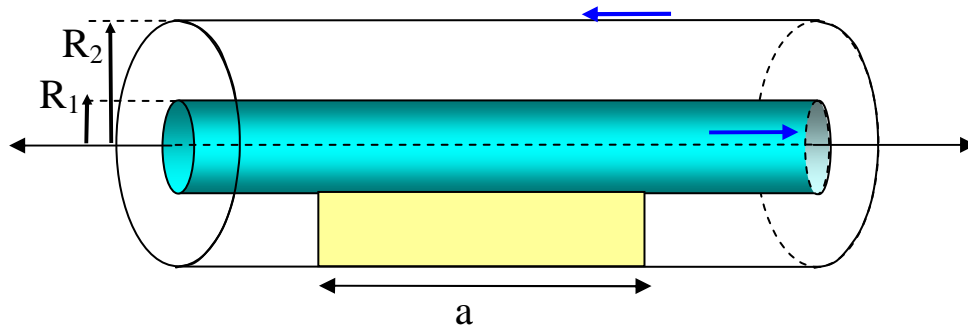
**14)** Donat un circuit magnètic rectangular, format per un material ferromagnètic de permeabilitat 4000, un entreferro de llargada petita  $e$  i un bobinat, tal com s'indica a la figura. La secció dels trams horitzontals és  $4S$  i la dels verticals és  $S$ . Per la bobina hi passa un corrent de 100 mA i té 2000 voltes. Es demana:



- Dibuixa les línies de densitat de flux magnètic  $B$  a través del circuit.
- Calcula una expressió de la reluctància del nucli de material A:  $\mathcal{R}_A$  i la de l'entreferro:  $\mathcal{R}_e$
- Si  $S=10 \text{ mm}^2$ ,  $a=10 \text{ mm}$ ,  $b=20 \text{ mm}$ , calcula el flux magnètic constant i els dos camps magnètics  $B$  i  $H$  en els trams vertical (a) i horitzontals (b) del nucli, pel cas de que no hi hagi entreferro.
- Ara considera que hi ha entreferro com a la figura. Calcula el flux magnètic i els camps magnètics  $B$  i  $H$ , en els trams vertical (a) i horitzontals (b) del nucli i també a l'entreferro, si la llargada d'aquest és de  $e=1 \text{ mm}$ .
- Suposem que al tram vertical contrari al de la bobina  $I_1 N_1$  hi col·loquem una bobina secundària enrotllada de la mateixa manera, però amb un número de voltes  $N_2$ . Calcula una expressió del coeficient d'inducció mútua des del corrent  $I_1$  del primari a la bobina sencera del secundari. Calcula també una expressió de la fem induïda en el secundari si  $I_1$  varia en el temps de forma senoidal:  $I_1(t)=I_p \cdot \cos(\omega \cdot t)$ . A l'expressió pots usar les reluctàncies.

**No oblidis les unitats a tots els passos numèrics fins i tot intermedis.**

**15)** Tenim un cable coaxial consistent en un conductor central cilíndric i massís de radi  $R_1$  anomenat *viu*, i coaxialment a ell una capa conductora cilíndrica de gruix negligible de radi  $R_2$ . Suposem que aconseguim fer tornar el mateix corrent per la malla que el que va pel viu (que és  $I$ ) en la direcció de la fletxa.



a) Calcula una expressió per a la densitat de corrent  $\mathbf{j}$  en el tub interior, si se suposa que és uniforme. Digues quina direcció i sentit té la  $\mathbf{j}$ . Acompanya dibuix i text explicatiu.

b) Suposant arguments de simetria, quina direcció i sentit tenen les línies de camp magnètic a diferents distàncies de l'eix?. Acompanya dibuix i text explicatiu que justifiqui la forma del camp a partir de les condicions de simetria.

c) Aplicant el teorema d'Ampere calcula el camp magnètic  $B(r)$  en qualsevol punt  $r$  de les 3 regions: I.  $0 < r < R_1$  ; II.  $R_1 < r < R_2$  i III  $R_2 < r$ .

d) Demuestra (si fos els cas) la continuïtat del camp  $B$  en cadascú dels canvis de regió. Traça una gràfica del camp en funció de  $r$ .

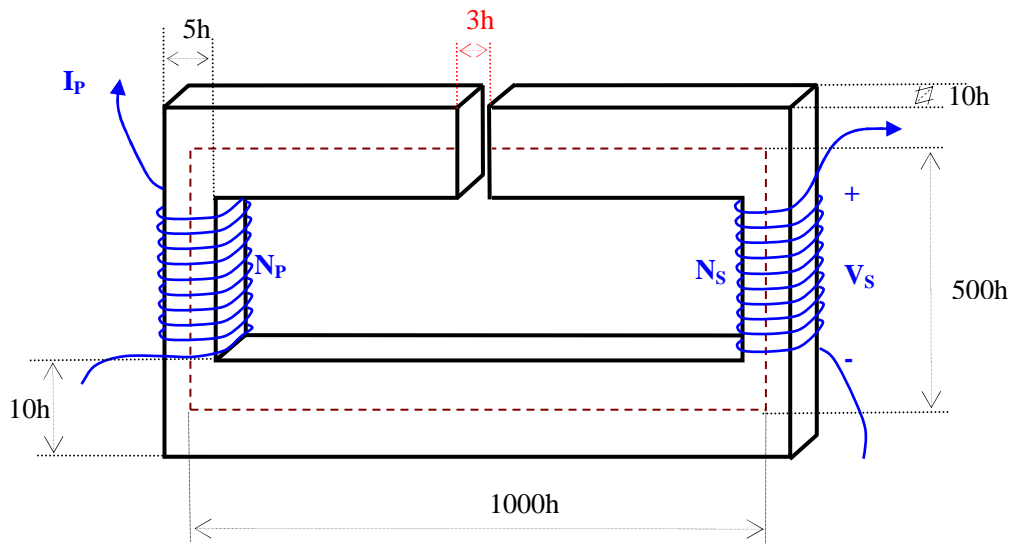
e) Calcula i raona una expressió del flux del camp magnètic a través de la superfície del rectangle d'amplada 'a' situat a la regió II, entre  $R_1$  i  $R_2$ , coplanar amb l'eix i marcat a la figura.

f) Calcula la densitat  $\mathbf{j}$  i el mòdul del camp magnètic  $|\mathbf{B}|$  a la distància  $r = (R_1 + R_2)/2$  si  $R_1 = 0,5 \text{ cm}$ ,  $R_2 = 1,5 \text{ cm}$ ,  $I = 100 \text{ A}$  i  $a = 1 \text{ m}$  i el flux de l'apartat d.

**Inclou els càlculs intermedis i posa unitats en tots els càlculs fets.**

g) Si per raons de fuites només un 90% del corrent que va pel viu aconsegueix tornar per la malla, calcula quin camp magnètic notarem a 1 metre de distància del cable coaxial?

**16)** Tenim un circuit magnètic rectangular, format per un material ferromagnètic de permeabilitat  $\mu_r \gg 1$ , un entreferro de llargada  $3h$  i dos bobinats ( $N_1, I_1$ ) i ( $N_2, I_2$ ), tal com s'indica a la figura, on totes les mides s'han posat com a múltiples d'una  $h$  petita que més endavant s'especifica.



a) Dibuixa unes quantes línies de densitat de flux magnètic  $B$  a través del circuit (suposem que  $N_1 \cdot I_1 > N_2 \cdot I_2$ ). Ull! Cada línia l'has de dibuixar sencera.

b) Calcula una expressió de la reluctància del nucli de material A:  $\mathcal{R}_A$  i la de l'entreferro:  $\mathcal{R}_e$

c) Calcula una expressió del flux a través del circuit magnètic.

d) Si  $h=1$  mm, i  $\mu_r=5000$ ,  $N_1=1000$ ,  $N_2=500$  i  $I_1=I_2=1$  A.

1. Calcula el flux magnètic al circuit.
2. Calcula el camp  $B$  i  $H$  en el tram horitzontal superior del nucli.
3. Calcula el camp  $B$  i  $H$  a l'entreferro.

e) Suposem que només posem corrent a  $I_1$  i en canvi val zero el corrent a  $I_2$ .

1. Calcula una expressió del coeficient d'inducció mútua de 1 a 2:  $M_{12}$ .
2. Calcula una expressió del coeficient d'autoinducció del circuit 1:  $L_1$ .

f) Considera que entre l'instant  $t=0$  i l'instant  $t=1$  s, el corrent  $I_1$  varia en el temps d'acord amb la funció:  $I_1(t)=I_0(1+\alpha \cdot t)$ . Essent  $I_0=100$  mA i  $\alpha=9$  s<sup>-1</sup>. Calcula primer una expressió i després també un valor numèric de la força electromotriu induïda a la bobina 2. Quin sentit té aquesta força electromotriu? Perquè?

**No oblidis les unitats a tot arreu inclosos els càlculs intermedis.**