



PROBLEMES EMPAQUETATS. LES MÀQUINES ELECTROMAGNÈTIQUES: GENERADORS, TRANSFORMADORS I MOTORS

Octavi Plana

Com en els problemes empaquetats anteriors, els problemes proposats estan agrupats a partir dels paràgrafs del currículum de física de batxillerat. En aquest número trobem els problemes en què apareix el camp magnètic i l'electromagnetisme.

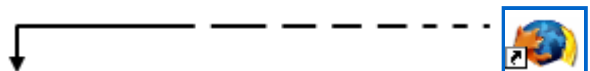
Introducció

En aquest bloc trobem els problemes en què apareix el camp magnètic i l'electromagnetisme. Però el títol del bloc "Màquines electromagnètiques: generadors, transformadors i motors" ens recorda l'importantíssim impacte de l'electromagnetisme en la nostra realitat tecnològica.

En aquesta línia, tindria poc sentit transmetre al nostre alumnat la idea que camps i forces magnètiques són entitats abstractes i allunyades de la nostra experiència, presentant únicament problemes amb situacions dissociades de la realitat, amb partícules movent-se al llarg d'eixos coordinats o amb configuracions inversemblants.

En els problemes presentats, associats a cada un dels paràgrafs dels continguts d'aquest bloc, s'ha intentat mantenir la proximitat amb la realitat i al mateix temps plantejar situacions assequibles a l'alumnat de 2n de batxillerat.

Com sempre, hem de transmetre a l'alumnat que la física no és una disciplina merament acadèmica, sinó que és a la base de tot i que els coneixements que estan adquirint són essencials al món en què viuen.

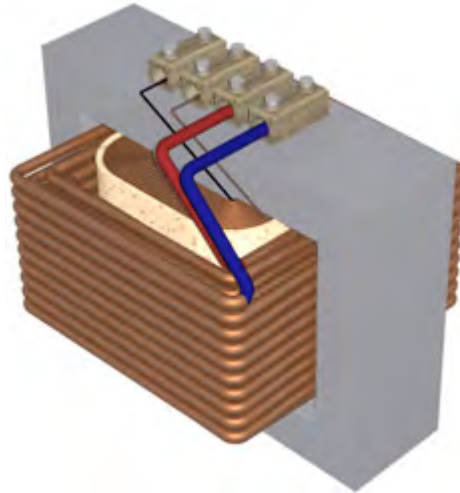


Full de l'alumnat

Els problemes

Màquines electromagnètiques 1: Observació i descripció de generadors, transformadors i motors: les seves parts, la seva funció i la importància en la societat actual.

1. A la figura 1 es veu l'esquema d'un transformador.



- a) Identifica-hi les parts essencials.
- b) Com l'he de connectar per augmentar el voltatge? I per disminuir-lo?
- c) Per quin motiu uns cables són més gruixuts que els altres?
- d) Explica la utilitat d'un transformador

Fig. 1: Esquema d'un transformador. Welding Transformer-1.63.png, Wikipedia Commons

d1) A la sortida d'una central elèctrica.

d2) Dins la torre d'un ordinador de sobretaula.

2. A la figura 2 es veu un motor elèctric "artesanal".



Fig. 2: Motor elèctric artesanal.

- a) Identifica-hi les parts essencials.
- b) Representa sobre la figura les línies del camp magnètic produït pels imants, la direcció del corrent elèctric i la direcció de les forces elèctriques.
- c) Aquest motor s'alimenta amb un corrent continu. Com s'aconsegueix que el motor giri contínuament?

Màquines electromagnètiques 2: Caracterització de la interacció magnètica i evidència a través d'imants naturals i artificials, la brúixola. Visualització de les línies de camp magnètic a partir de petites experiències. Definició del vector intensitat de camp magnètic. Realització de l'experiment d'Oersted. Realització de petits experiments amb brúixoles i distribucions de corrent, com ara una espira, una

bobina o un electroimant. Observació i interpretació de les línies de camp a través d'experiments i simulacions informàtiques.

3. S'ha fotografiat una bobina elèctrica (figura 3) per la qual circula un corrent elèctric continu. Al seu costat s'ha situat una brúixola i observem que l'extrem sud de la brúixola apunta cap a la bobina.

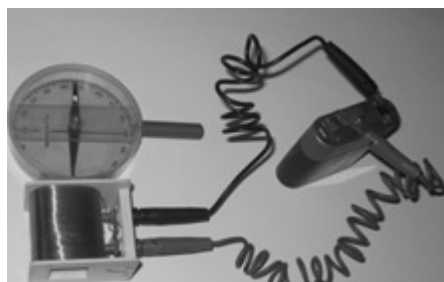


Fig. 3: Bobina elèctrica amb circulació de corrent continu.

a) Dibuixa les línies del camp magnètic generat pel corrent elèctric que circula per la bobina i indica quin és el sentit en què gira el corrent a la bobina si la mirem des de la brúixola.

Màquines electromagnètiques 3: Evidència de forces magnètiques en motors senzills. Realització de petites experiències en què es posi de manifest la relació entre el camp magnètic i la força produïda sobre corrents elèctrics o sobre càrregues elèctriques en moviment. Ús de simulacions per tal de visualitzar els vectors (F , v i B). Mesura experimental de la força exercida sobre un corrent rectilini per un camp magnètic mitjançant una balança. Aplicacions de la llei de Lorentz: acceleradors de partícules, espectròmetre de masses. Construcció i interpretació del funcionament d'un motor.

4. A FisLab... el bloc es descriu "un motor de tot cor" (<http://fislab.wordpress.com>). A continuació (figura 4) se'n mostra un esquema. El motor consta d'una pila de d'1,5V, tres imants de neodimi i un conductor amb forma de cor. Tingues present que els imants són conductors del corrent i que el fil conductor toca els imants amb una fricció molt petita.

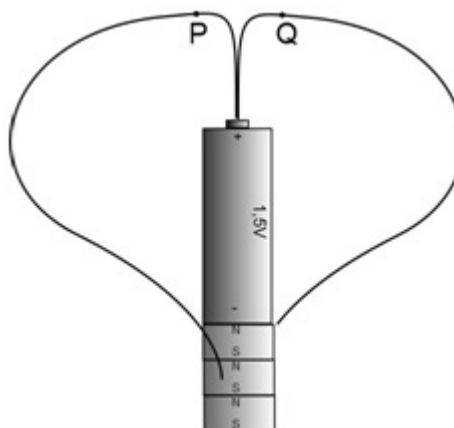


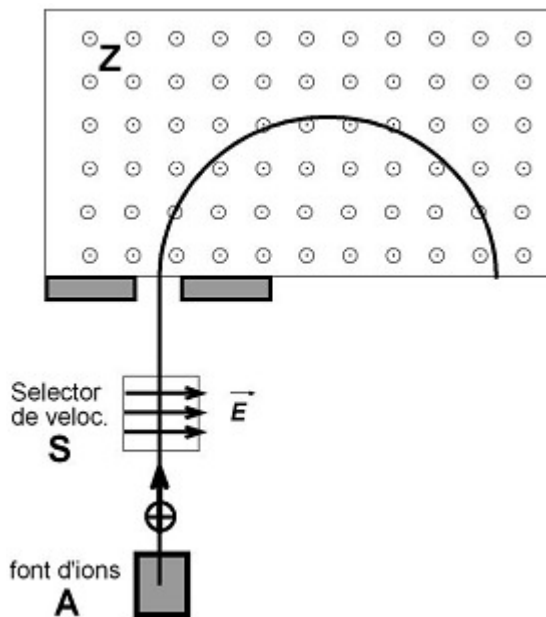
Fig. 4: "Un motor de tot cor" del bloc <http://fislab.wordpress.com>

a) Indica el sentit del corrent elèctric en cada un dels dos segments del conductor i les línies del camp magnètic generat pels imants.

b) Dibuixa en els punts P i Q els vectors que indiquin la direcció i el sentit del corrent elèctric, del camp magnètic i de la força magnètica.

c) Indica com girarà el motor i proposa una modificació perquè giri en sentit contrari.

5. La figura 5 representa un espectrògraf de masses. En la situació presentada els ions Hg^+ surten de A i es dirigeixen cap al selector de velocitats S, en el qual hi ha un camp elèctric \vec{E} , dirigit cap a la dreta, i un camp magnètic \vec{B} .



- a) Dins el selector, la força elèctrica sobre els ions Hg^+ és d' $1,6 \cdot 10^{-16}$ N. Volem que els ions amb $v = 5000$ m/s

Fig. 5: Esquema d'un espectrògraf de masses

travessin el selector de velocitats sense desviar-se. Determina la direcció, sentit i intensitat de la inducció magnètica B en la zona del selector de velocitats i fes un diagrama de les forces que actuen sobre els ions que l'estan travessant en línia recta.

Els ions seleccionats entren després a la zona Z, on només hi ha un camp magnètic $B = 0,100$ T en la direcció perpendicular al pla de la figura.

- b) Quin és el radi de la trajectòria dels ions dins de la zona Z? Quanta energia cinètica guanyen els ions des que surten de A fins que han travessat tota la zona Z?

Dades: Massa dels ions Hg^+ : 202 u (u unitat de massa atòmica: $1 u = 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg; c àrrega dels ions $Hg^+ = 1,60 \cdot 10^{-19}$ C

Màquines electromagnètiques 4: Identificació experimental dels efectes de la inducció electromagnètica en un circuit elèctric, investigant els factors que influeixen en el valor de la FEM induïda. Flux del camp magnètic. Llei d'inducció de Faraday i llei de Lenz.

6. La figura

6
mc
2
pe
mc
un
cal
elè
co
qu
se
sal
a
co
El
cable

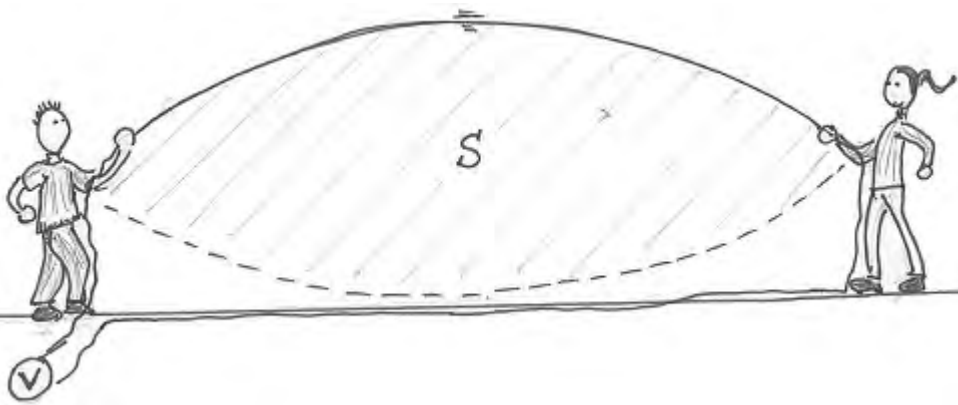


Fig. 6: Saltant a corda amb un cable elèctric
forma

un circuit que es tanca pel terra i que està connectat a un voltímetre. Considera que el camp magnètic terrestre al lloc on estan fent l'experiment és horitzontal, en la direcció perpendicular al pla de la figura, i que la intensitat és $B = 40 \mu\text{T}$.

- a) Proposa valors raonables per a la freqüència del moviment de la corda i per a l'àrea S definida i calcula'n la FEM màxima que indicarà el voltímetre.
- b) Escriu una expressió que ens doni la FEM màxima com a funció de la freqüència f , de l'àrea "escombrada" S i del camp magnètic B .
- c) Quina posició té el cable quan la FEM instantània és màxima?
- d) Què passaria si les dues persones s'alineen en la direcció N-S ?
- e) Com podríem augmentar la FEM sense modificar ni la freqüència, ni l'àrea escombrada, ni el camp magnètic extern?

A partir d'una proposta de Rafael Garcia Molina:
<http://jornadasicmt.com/medida-del-campo-magnetico-terrestre-saltando-a-la-comba/307>.

Màquines electromagnètiques 5: Identificació dels efectes i aplicacions del corrent induït: fabricació de corrent altern. Ús d'alternadors i dinamos. Càlcul de la força electromotriu induïda alterna. Reconeixement dels corrents de Foucault i aplicació als frens magnètics i a les cuines d'inducció. Caracterització del motor d'inducció. Relació de voltatges en un transformador, determinació experimental de la relació de transformació.

7. La figura 7 mostra l'interior d'una cuina d'inducció. La bobina de coure principal està alimentada amb un corrent altern de 27 kHz amb una $I_{\text{max}} = 30 \text{ A}$.
Quan situem una olla o paella amb base

d'acer sobre la cuina, l'estri de cuinar s'escalfa. El rendiment de les cuines d'inducció és d'un **84%**, molt més alt que el de les cuines elèctriques de resistència.

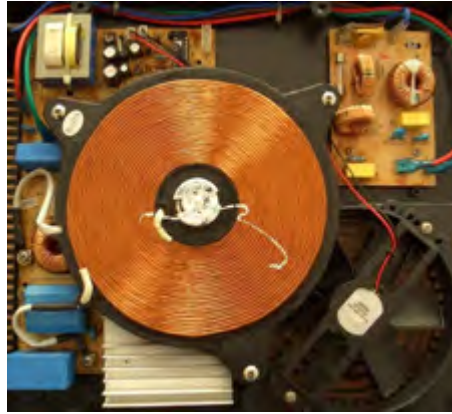


Fig. 7: Interior d'una cuina d'inducció (Induktionskochfeld_Spule.jpg, Creative commons licence).

a) Escriu una explicació de perquè s'escalfa un objecte d'acer situat sobre una cuina d'inducció. A l'explicació han d'aparèixer els termes "corrent induït", "corrents de Foucault" i "flux magnètic"..

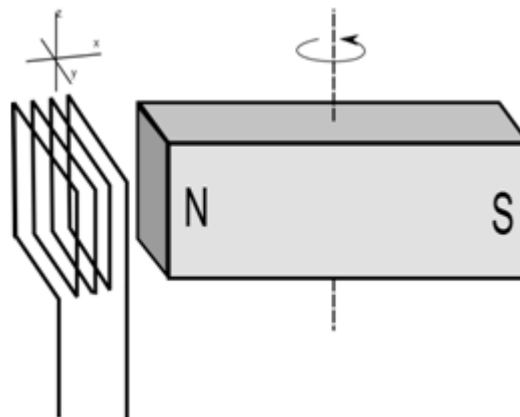
b) Explica perquè una cassola de fang no serveix per a cuinar en aquestes cuines.

c) Perquè el corrent ha de ser altern?

d) Calcula la I eficaç i la potència d'entrada (suposa que V_{max} a la bobina són **60 V**).

e) Si considerem que la bobina de coure té 26 voltes i que el recipient de cuina es comporta com una sola espira, i tenint en compte el rendiment indicat a l'enunciat, calcula la intensitat eficaç del corrent en aquesta única espira. A quin dispositiu dels estudiats correspon aquest sistema?

8. Un imant de barra gira, com es mostra a la figura 8, al costat de 4 espines quadrades de **4 cm** de costat. El gràfic 9 mostra el valor mitjà de de la component x del camp magnètic en la zona de les espines.



a) Construeix un gràfic que mostri la FEM induïda a les espines durant els **0,35 s** .

Fig. 8: L'imant gira al costat d'espines quadrades.

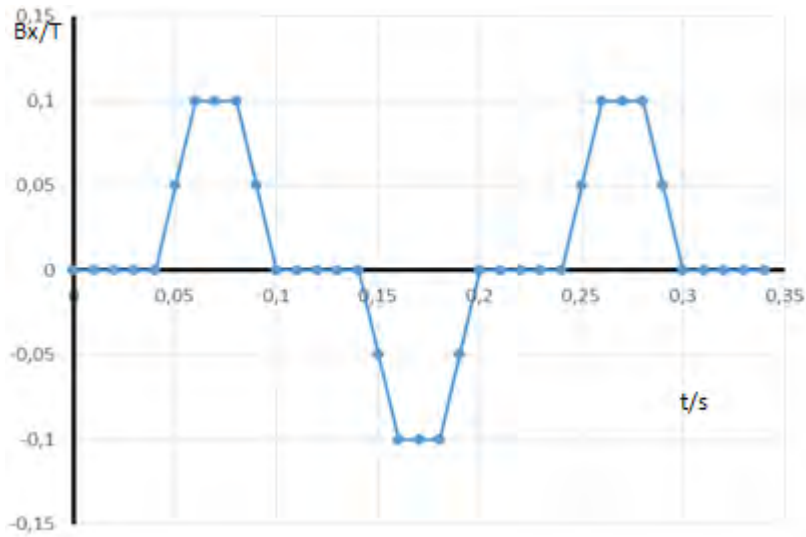
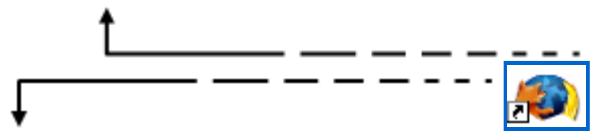


Fig. 9: Valor mig de la component x del camp magnètic



Solucions

Els problemes

1. A la figura 1 es veu l'esquema d'un transformador.

a) Identifica-hi les parts essencials.

Bobinats primari/secundari, nucli ferromagnètic, terminals circuit primari/secundari.

b) Com l'he de connectar per augmentar el voltatge? I per disminuir-lo?

Per augmentar-lo: circuit primari als terminals de la dreta i circuit secundari als de l'esquerra. Per disminuir-lo: al revés.

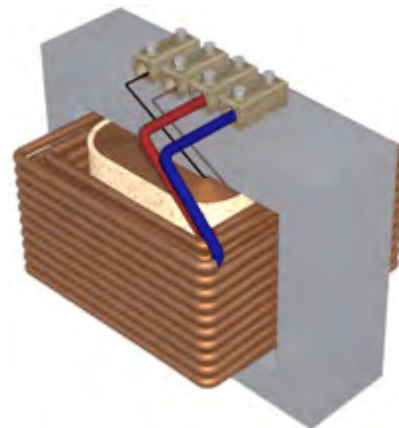


Fig. 9: Esquema d'un transformador.
Welding Transformer-1.63.png, Wikipedia Commons

c) Per quin motiu uns cables són més gruixuts que els altres?

Pel bobinat amb menys voltes hi passarà una intensitat més gran i la potència dissipada val $I^2 R$

d) Explica la utilitat d'un transformador

d1) A la sortida d'una central elèctrica

Eleva la tensió per a disminuir la potència dissipada a la xarxa de distribució.

d2) . Dins la torre d'un ordinador de sobretaula.

Disminueix la tensió dels 220 V de la xarxa domèstica fins a les tensions que necessiten els diferents dispositius de l'ordinador.

2. A la figura 2 es veu un motor elèctric "artesanal".

a) Identifica-hi les parts essencials.

Imants (fixos): estator, bobina (giratòria): rotor, eix, escombretes.

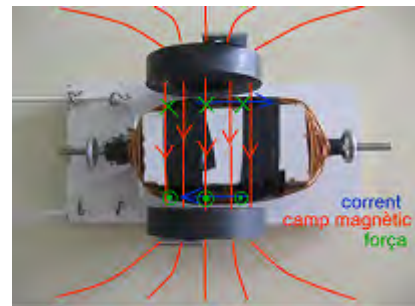


Fig. 10: Línies de camp elèctric, direcció del corrent i de les forces.

b) Representa sobre la figura les línies del camp magnètic produït pels imants, la direcció del corrent elèctric i la direcció de les forces elèctriques.

Figura 10. Una N en un imant ens indica que és un pol nord. El corrent elèctric no està definit clarament. Podria ser exactament al revés, cas en el qual cas les forces també se n'invertiria el sentit.

c) Aquest motor s'alimenta amb un corrent continu. Com s'aconsegueix que el motor giri contínuament?

Es pot apreciar a l'esquerra un sistema d'escombretes que fa que cada mitja volta la bobina permuti les seves connexions amb el circuit extern, de manera que el parell de forces continua sempre en el mateix sentit.

3. S'ha fotografiat una bobina elèctrica (figura 3) per la qual circula un corrent elèctric continu. Al seu costat s'ha situat una brúixola i observem que l'extrem sud de la brúixola apunta cap a la bobina.

a) Dibuixa les línies del camp magnètic generat pel corrent elèctric que circula per la bobina i

indica quin és el sentit en què gira el corrent a la bobina si la mirem des de la brúixola.

Figura 11. La cara que es veu des de la brúixola és una cara nord, així que des d'aquell costat el corrent està girant en sentit antihorari.



Fig. 11: Línies de camp magnètic.

4.A FisLab... el bloc es descriu “un motor de tot cor” (<http://fislab.wordpress.com>). A continuació (figura 4) se'n mostra un esquema. El motor consta d'una pila de d'1,5V, tres imants de neodimi i un conductor amb forma de cor. Tingues present que els imants són conductors del corrent i que el fil conductor toca els imants amb una fricció molt petita.

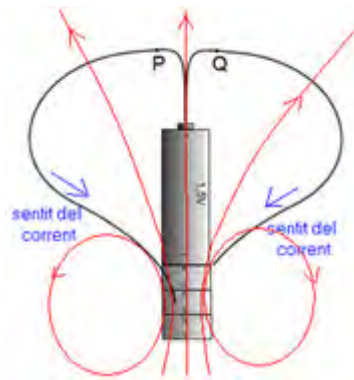


Fig. 12: Corrent elèctric i camp magnètic

a) Indica el sentit del corrent elèctric en cada un dels dos segments del conductor i les línies del camp magnètic generat pels imants.

El vídeo del seu funcionament es pot veure a: http://youtu.be/NkzjvT3s_qA

b) Dibuixa en els punts P i Q els vectors que indiquin la direcció i el sentit del corrent elèctric, del camp magnètic i de la força magnètica.

Figura 12.

c) Indica com girarà el motor i proposa una modificació perquè giri en sentit contrari.

Figura 13.

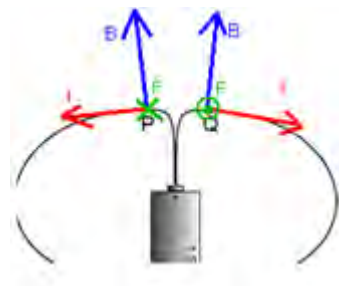


Fig. 13: Corrent elèctric, camp magnètic i força magnètica

5. La figura 5 representa un espectrògraf de masses. En la situació presentada els ions Hg^+ surten de A i es dirigeixen cap al selector de velocitats S en el qual hi ha un camp elèctric \vec{E} , dirigit cap a la dreta, i un camp magnètic \vec{B} .

a) Dins el selector la força elèctrica sobre els ions Hg^+ és de $1,6 \cdot 10^{-16} \text{ N}$. Volem que els ions amb $v = 5000 \text{ m/s}$ travessin el selector de velocitats sense desviar-se. Determina la direcció, sentit i intensitat de la inducció magnètica B en la zona del selector de velocitats i fes un diagrama de les forces que actuen sobre els ions que l'estan travessant en línia recta.



Fig. 14: Forces elèctrica i magnètica.

Els ions seleccionats entren després a la zona Z on només hi ha un camp magnètic $B = 0,100 \text{ T}$ en la direcció perpendicular al pla de la figura.

El camp magnètic té la direcció perpendicular a la figura 14 i el sentit és "cap endins del paper". El seu mòdul és 20 T .

b) Quin és el radi de la trajectòria dels ions dins de la zona Z? Quanta energia cinètica guanyen els ions des que surten de A fins que han travessat tota la zona Z?

$$R = 0,105 \text{ m}; \Delta E_c = 0.$$

6. La figura 6 mostra 2 persones movent un cable elèctric com quan se salta a corda. El cable forma un circuit que es tanca pel terra i que està connectat a un voltímetre. Considera que el camp magnètic terrestre al lloc on estan fent l'experiment és horitzontal, en la direcció perpendicular al pla de la figura, i que la intensitat és $B = 40 \mu\text{T}$.

a) Proposa valors raonables per a la freqüència del moviment de la corda i per a l'àrea S definida i calcula'n la FEM màxima que indicarà el voltímetre.

b) Escriu una expressió que ens doni la FEM màxima com a funció de la

frequència f , de l'àrea "escombrada" S i del camp magnètic B .

$$\mathcal{E}_{\max} = 2\pi B S f$$

Uns valors raonables poden ser

$$f = 1 \text{ Hz}, S = 6 \text{ m}^2, \text{ amb aquests valors}$$

$$\mathcal{E}_{\max} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ V}$$

Naturalment s'accepten valors de f i S diferents.

c) Quina posició té el cable quan la FEM instantània és màxima?

Quan està en un pla horitzontal.

d) Què passaria si les dues persones s'alineen en la direcció N-S ?

$$\phi = 0 \text{ (constant) i } \mathcal{E} = 0$$

e) Com podríem augmentar la FEM sense modificar ni la freqüència, ni l'àrea escombrada, ni el camp magnètic extern?

Utilitzant un cable molt més llarg i fent que descrivís més d'una volta.

7. La figura 7 mostra l'interior d'una cuina d'inducció. La bobina de coure principal està alimentada amb un corrent altern de **27 kHz** amb una $I_{\max} = 30 \text{ A}$. Quan situem una olla o paella amb base d'acer sobre la cuina, l'estri de cuinar s'escalfa. El rendiment de les cuines d'inducció és d'un **84%**, molt més alt que el de les cuines elèctriques de resistència.

a) Escriu una explicació de perquè s'escalfa un objecte d'acer situat sobre una cuina d'inducció. A l'explicació han d'aparèixer els termes "corrent induït", "corrents de Foucault" i "flux magnètic".

S'espera una resposta que parli del camp magnètic variable produït per la bobina, del flux magnètic variable a través dels circuits possibles a l'objecte d'acer, dels corrents de Foucault que s'hi induiran i de l'energia dissipada per aquests corrents per l'efecte Joule.

b) Explica perquè una cassola de fang no serveix per a cuinar en aquestes cuines.

El fang no és conductor del corrent elèctric.

c) Perquè el corrent ha de ser altern?

Altrament, el flux magnètic seria constant.

d) Calcula la I eficaç i la potència d'entrada (suposa que V_{\max} a la bobina són 60 V).

$21 \text{ A} ; 900 \text{ W}$

e) Si considerem que la bobina de coure té 26 voltes i que el recipient de cuina es comporta com una sola espira, i tenint en compte el rendiment indicat a l'enunciat, calcula la intensitat eficaç del corrent en aquesta única espira. A quin dispositiu dels estudiats correspon aquest sistema?

463 A

Transformador

8. Un imant de barra gira, com es mostra a la figura 8, al costat de 4 espines quadrades de 4 cm de costat. El gràfic 9 mostra el valor mitjà de la component x del camp magnètic en la zona de les espines.

a) Construeix un gràfic que mostri la FEM induïda a les espines durant els $0,35 \text{ s}$.

Figura 15.

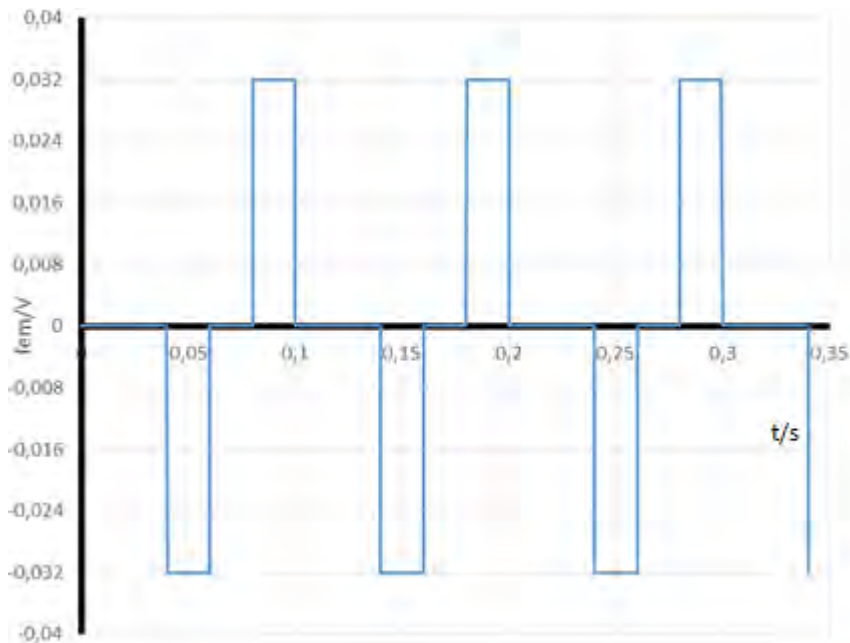


Fig. 15: Força electromotriu induïda a les espines.



Sumari

7/8

[Inici](#)

[Com podeu col·laborar?](#)

[Subscripció](#)

ISSN: 1988-7930 **DL:** B-31773-2012 **Adreça a la xarxa:** www.RRFisica.cat **Adreça electrònica:** redaccio@rrfisica.cat difusio@rrfisica.cat

Comitè de redacció : Josep Ametlla, Octavi Casellas, Xavier Jaén, Gemma Montanyà, Octavi Plana, Jaume Pont.

Treballem conjuntament : Societat Catalana de Física, Associació de Professores i Professors de Física i Química de Catalunya, XTEC, Universitat Politècnica de Catalunya, Universitat de Barcelona



Aquesta obra està subjecta a una [Llicència de Creative Commons](#)



Programació web: Xavier Jaén i Daniel Zaragoza.

Correcció lingüística: Serveis Lingüístics de la Universitat Politècnica de Catalunya.

Recursos de Física col·labora amb [la baldufa](#) i també amb [ciències](#) Revista del Professorat de Ciències de Primària i Secundària (Edita: CRECIM-UAB)