

Mancomunitat de Catalunya

EXTENSIO  
D'ENSENYAMENT  
TÈCNIC



TEXT N.º 30

CORRENTS INDVÏTS

Carrer d'Urgell 187 Barcelona

Reg. 3525





# CORRENTS INDUÏTS

R. 8.485

## DISTINTES MANERES D'OBTENIR UNA FORÇA ELECTROMOTRIU INDUÏDA

### Força electromotriu d'un conductor mòbil en un camp magnètic

1. En *Magnetisme i Corrent elèctric* havem vist que en tot conductor que es mou en un camp magnètic, de manera que talli les línies de força, es desenrotlla una força electromotriu.

No importa la forma del conductor ni la manera com s'efectua el tall de les línies de força; mentre aquest existeixi s'obtindrà entre els extrems del conductor una diferència de potencial més o menys gran segons siguin les condicions en què s'efectua el moviment, i com que és molt essencial tenir una idea clara de com influeixen dites condicions de moviment relatiu del conductor i el camp en la valor de la força electromotriu obtinguda, estudiarem els varis casos que poden presentar-se i compararem les forces electromotrius produïdes.

Per això, recordarem que la força electromotriu desenrotllada en un conductor que talli  $\Phi$  línies de força en  $t$  segons, és donada en unitats C.G.S. per la fórmula

$$E = \frac{\Phi}{t}$$

2. Conductor recte, normal al camp, que es mou normalment a sa pròpia direcció i obliquament a les línies de força.

Sigui  $a$ , fig. 1, la posició que, en un moment donat, ocupa un conductor normal al pla del dibuix, que es mou amb una velocitat constant  $v$ ; en direcció



obliqua  $aa_1$ , a les línies de força representades per les línies paral·leles. Si el conductor es moguéss amb la mateixa velocitat, però normalment a les línies

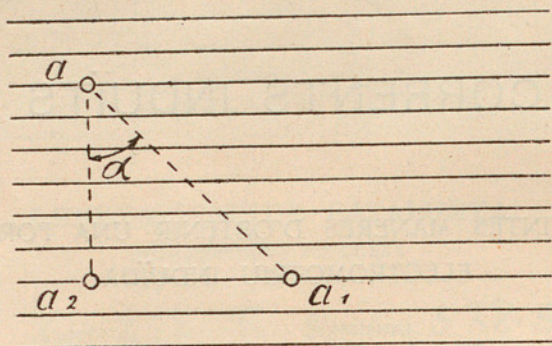


FIG. 1

del camp, seguint la direcció  $aa_2$ , emplearia, per tallar un nombre  $\Phi$  de línies de força, un temps

$$t_1 = \frac{aa_2}{v}$$

i per tallar el mateix nombre, seguint el camí  $aa_1$ , necessitarà un temps

$$t_2 = \frac{aa_1}{v}$$

Com que  $aa_2$  és la projecció de  $aa_1$  tindrem  $aa_2 = aa_1 \cos x$ , aleshores, substituint en la valor de  $t$ ,  $aa_2$  per  $aa_1 \cos x$ , tindrem

$$t = \frac{aa_1 \cos x}{v}$$

La valor de la força electromotriu, quan el moviment del conductor és normal a les línies de força serà, doncs,

$$E = \frac{\Phi}{\frac{aa_1 \cos x}{v}}$$

i quan es oblic,

$$E_1 = \frac{\Phi}{\frac{aa_1}{v}}$$

Dividint aquestes igualtats membre a membre, resulta

$$\frac{E}{E_1} = \frac{1}{\cos x}$$

d'on es dedueix

$$E_1 = E \cos x \quad (1)$$

Com que  $\cos x$  és sempre menor que 1, resulta que

Quan el moviment del conductor és oblic a les línies de força del camp, la f.em. desenrotllada és menor que si el moviment és normal a les dites línies i està representada per la f.em. que desenrotllaria en moviment normal, multiplicada pel cosinus de l'angle d'inclinació.

**3. Conductor recte normal al camp, que es mou obliquament a sa pròpia direcció i normalment a les línies de força.**

En la fig. 2 els punts representen línies de força perpendiculars al pla del dibuix i  $ab$  un conductor que en el moviment indicat per la fletxa, oblic a sa direcció  $ab$ , les talla normalment. Si suposem que el conductor  $ab$  pren la posició  $ab_1$  normal a la direcció del moviment ( $ab_1 = ab$ ) i designem per  $\Phi$  el nom-

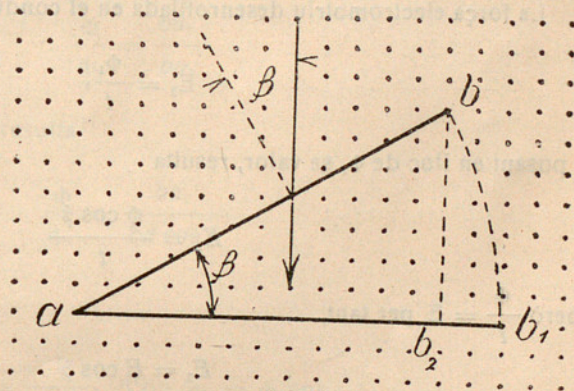


FIG. 2

bre de línies de força que en aquesta nova posició talla en un temps  $t$ , la força electromotriu desenrotllada en ell, serà

$$E = \frac{\Phi}{t}$$

El nombre de línies de força tallats en el mateix temps  $t$  pel conductor  $ab$  que es mou, segons la fletxa, obliquament a sa pròpia direcció és igual al que tallaria la seva projecció  $ab_2$  sobre  $ab_1$ , i com que els nombres de línies de força tallats per  $ab_1$  i  $ab_2$  si aquest es moguéss amb la mateixa velocitat, són proporcionals a ses longituds, anomenant  $\Phi_1$  el nombre de línies tallades per  $ab_2$  o  $ab$ , tindrem

$$\frac{\Phi}{\Phi_1} = \frac{ab_1}{ab_2},$$

però  $ab_2 = ab \cos \beta$ , per tant

$$\frac{\Phi}{\Phi_1} = \frac{ab_1}{ab \cos \beta}$$

i com que  $ab_1 = ab$ , resulta

$$\frac{\Phi}{\Phi_1} = \frac{1}{\cos \beta}, \text{ d'on } \Phi_1 = \Phi \cos \beta$$

La força electromotriu desenrotllada en el conductor  $ab$  és

$$E_2 = \frac{\Phi_1}{t},$$

i posant en lloc de  $\Phi_1$  sa valor, resulta

$$E_2 = \frac{\Phi \cos \beta}{t}$$

però  $\frac{\Phi}{t} = E$ , per tant,

$$E_2 = E \cos \beta \quad (1)$$

En aquest cas la força electromotriu obtinguda és també més petita i podem dir:

*Quan el moviment del conductor és oblic a sa pròpia direcció, la f.em. desenrotllada és menor que si el moviment és normal a dita direcció i està representada per la f.em. que desenrotllaria en moviment normal, multiplicada pel cosinus de l'angle d'inclinació.*

4. Conductor recte, inclinat respecte al camp, que es mou normalment a sa direcció i a les línies de força.

Sigui  $ab$ , fig. 3, un conductor, inclinat respecte a les línies de força, que es mou normalment al pla del dibuix. Si el conductor tingués la posició  $ba_1$ , normal a les línies de força i es moguéssim com abans, designant per  $\Phi$  el nombre de línies de força que tallaria en un temps  $t$ , desenrotllaria una força electromotriu

$$E = \frac{\Phi}{t}$$

El nombre de línies de força que talla el conductor en la posició  $ab$ , és igual al que tallaria sa projecció  $ba_2$  sobre  $ba_1$ , si estigués animada del mateix moviment, i com que els nombres de les línies de força tallades per  $ba_1$  o  $ba_2$  són proporcionals a ses longituds, dient  $\Phi_1$  al flux tallat per  $ba$  o  $ba_2$  tindrem

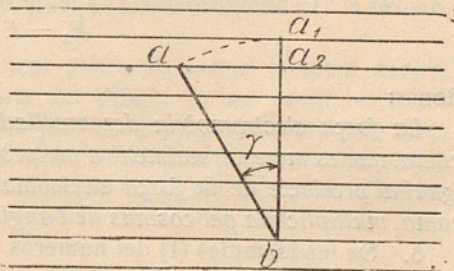


FIG. 3

$$\frac{\Phi}{\Phi_1} = \frac{ba_1}{ba_2}$$

i com que  $ba_2 = ba \cos \gamma$ , resulta

$$\frac{\Phi}{\Phi_1} = \frac{ba_1}{ba \cos \gamma},$$

però  $ba_1 = ba$ , per tant,

$$\frac{\Phi}{\Phi_1} = \frac{1}{\cos \gamma}, \text{ d'on } \Phi_1 = \Phi \cos \gamma$$

La força electromotriu desenrotllada en el conductor  $ab$  és

$$E_3 = \frac{\Phi_1}{t}$$

o-bé

$$E_3 = \frac{\Phi \cos \gamma}{t},$$

però  $\frac{\Phi}{t} = E$ , per tant,

$$E_3 = E \cos \gamma \quad (1)$$

doncs:

*La força electromotriu desenrotllada en un conductor oblic respecte al camp, que es mou normalment a sa pròpia direcció i a les línies de força és igual al producte de la força electromotriu que s'obtidria si fos normal al camp, multiplicada pel cosinus de l'angle d'inclinació.*

5. De les fórmules (1) del números 2, 3 i 4, es dedueix que la força electromotriu d'un conductor és nul·la quan els angles  $\alpha$ ,  $\beta$  o  $\gamma$ , són rectes (ja que llurs cosinus són zero) d'on es desprèn que no s'obté força electromotriu:

Primer. Quan el conductor es mou seguint les línies de força (en la figura 1,  $\alpha = 90^\circ$ ).

Segon. Quan el conductor es mou segons sa pròpia direcció (en la figura 2,  $\beta = 90^\circ$ ).

Tercer. Quan el conductor és sempre contingut en les línies de força (en la fig. 3,  $\gamma = 90^\circ$ ).

Com observarem analitzant atentament les figures 1, 2 i 3, en cap d'aquests tres casos hi haurà tallament de línies de força.

6. Segons veiérem en el número 3, el nombre de línies de força tallades pel conductor  $ab$ , fig. 2, és el mateix que el que tallaria sa projecció  $ab_2$  normal a la direcció del moviment, de manera que si considerem la projecció com un

conductor que es mou amb la mateixa velocitat que el  $ab$ , i en el mateix sentit, la força electromotriu desenrotllada en el conductor  $ab$ , serà igual a la produïda en sa projecció  $ab_2$ . Això assentat, considerem el conductor  $abcd$ , figura 4, format de diversos trossos rectes  $ab$ ,  $bc$  i  $cd$ , que es mou paral·lelament al pla del paper en un camp les línies

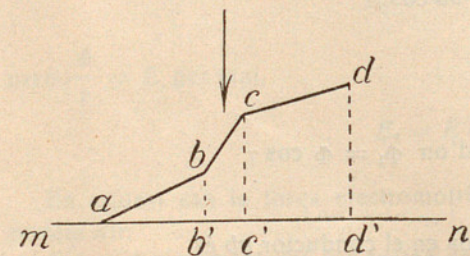


FIG. 4

de força del qual són normals al dit pla. Cada un dels trossos  $ab$ ,  $bc$  i  $cd$  produirà una força electromotriu igual a la de sa projecció sobre la recta

$mn$  normal a la direcció del moviment, aleshores el conductor  $abcd$ , desenrotllarà una força electromotriu igual a la suma de les forces electromotrius de les projeccions  $ab'$ ,  $bc'$  i  $cd'$ , o sigui igual a la de sa projecció  $ad'$ .

Si el conductor fos corb, com que sabem que tota corba pot considerar-se com a formada d'una infinitat de trossets rectes, es comprendrà que cada un d'ells produirà una força electromotriu igual a la de la seva projecció, i que la força electromotriu resultant serà també igual a la desenrotllada per la projecció del conductor.

7. Si es tracta d'un conductor tancat sobre sí mateix formant espira, figura 5, que es mou paral·lelament al pla del dibuix en un camp, les línies de força del qual són normals al dit pla, es produirà en ell una força electromotriu igual a la que donaria son diàmetre  $ab$  o sa projecció  $a'b'$  sobre una recta  $mn$  normal a la direcció del moviment; en efecte, la meitat superior de l'anell produeix una força electromotriu que, en virtut del que havem exposat en el número 6, és igual a la que produiria son diàmetre  $ab$  i com que igualment ocorre amb la meitat inferior i les dues forces electromotrius van dirigides en un mateix sentit respecte a l'observador, però oposat respecte al conductor mateix, s'obté la força electromotriu indicada. Ocorre amb les dues meitats de l'anell, el mateix que amb dos elements iguals agrupats en quantitat, que la força electromotriu resultant és igual a la de un d'ells.

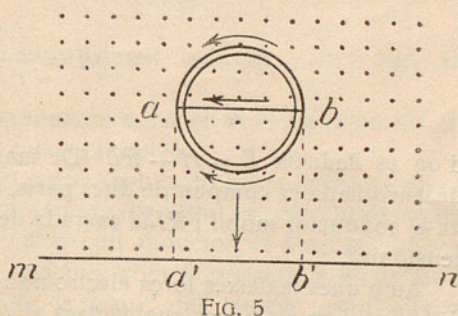


FIG. 5

Si suposem que les línies de força es dirigeixen cap a l'observador i el moviment té lloc en el sentit de la fletxa, normal a  $mn$ , les forces electromotrius tindran el sentit indicat per les fletxes, com és fàcil comprovar amb la regla donada a aquest fi en *Magnetisme i Corrent elèctric*.

Per l'anell considerat no circularà cap corrent per dos motius:

Primer. Perquè les forces electromotrius de les dues mitats de l'anell s'equilibren, i

Segon. *Perquè el circuit és obert*. Tanquem el circuit, unint mitjançant un fil els punts  $a$  i  $b$ , i passarà un corrent que tindrà, en cada mig anell, el sentit indicat per les fletxes.

En resum, l'anell es condueix exactament com un conductor qualsevol que talla les línies de força d'un camp i és capaç de produir un corrent tan prompte s'estableixi una comunicació qualsevol entre sos extrems.

8. Del que havem exposat en els números anteriors es dedueix que un conductor que es mou en un camp magnètic i talla les línies de força, és un veritable *generador* i si es completa el circuit, unint sos extrems, s'obtéindrà un corrent, la intensitat del qual dependrà de la força electromotriu desenrotllada i de la resistència total del circuit. El circuit complet es compon de dues parts, una, anomenada *circuit interior*, i està formada pel conductor mòbil, i altra denominada *circuit exterior* o *d'utilització*. Els punts en què ambdós circuits s'uneixen, o siguin els extrems del conductor, són els *borns* del generador.

Si  $E$  és en volts la força electromotriu desenrotllada en el conductor i  $r$  i  $R$  en ohms, les resistències respectives dels circuits interior i exterior, la intensitat del corrent produït serà en ampers, segons la fórmula d'Ohm, i ja que les dues resistències estan en sèrie,

$$I = \frac{E}{r + R}$$

d'on es dedueix  $E = rI + RI$ . De manera que la força electromotriu total desenrotllada es compon de dues parts, de les quals  $rI$  és la caiguda de tensió en el conductor mòbil i  $RI$  la caiguda de tensió en el circuit exterior, o sigui la tensió útil.

Amb unes mateixes força electromotriu  $E$  i intensitat de corrent  $I$ , la tensió útil o sigui en els borns augmentarà al disminuir  $r$ , d'on es desprèn la conveniència de que la resistència interior d'un generador sigui la menor possible. Si aquesta resistència fos nul·la (cas purament teòric), tindriem  $E = RI$ , és a dir, que tota la força electromotriu produïda s'aprofitarà en el circuit exterior.

#### FORÇA ELECTROMOTRIU INDUÏDA PER LA INFLUÈNCIA D'UN CORRENT O D'UN IMANT

9. Quan el nombre de línies de força que travessen un conductor que formi una o vàries espiras, o sigui una bobina, experimenta un augment o una disminució, es produeix en la bobina una força electromotriu.

Aquest fet pot ésser demostrat experimentalment de tres maneres distintes que constitueixen altres tantes maneres d'obtenir una força electromotriu induïda.

10. **Inducció d'un corrent per un altre corrent.** En la fig. 6, *a* és una bobina que consta de dos enrotllaments distints, un de poques aspises de fil gros, i un altre de gran nombre d'espises de fil fi, superposat al primer. Els extrems del primer enrotllament, que s'anomena *inductor*, terminen en els borns *b* i *c* i els del enrotllament de fil fi, que constitueix l'enrotllament *induit*, en els *e* i *f*; aquests es posen en comunicació amb un galvanòmetre *g* i aquells amb una pila, permetent l'interruptor *h* donar o suprimir a voluntat el

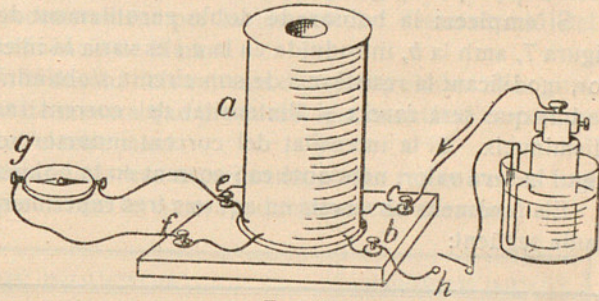


FIG. 6

corrent que la pila subministra a l'enrotllament inductor. Ve't aquí els fenòmens que s'observen:

1. En tancar l'interruptor, el galvanòmetre acusa en el fil induït un corrent *invers*, és a dir, de sentit invers al del corrent inductor.
2. El corrent produït és *instantani* ja que l'agulla del galvanòmetre torna al zero, on roman tot el temps que el fil gros sigui recorregut per corrent de la pila.
3. Quan s'interromp el corrent en el circuit inductor, es produeix un nou corrent en l'enrotllament de fil fi, instantània com la primera, però de sentit *directe*, és a dir, del mateix sentit que el corrent inductor.

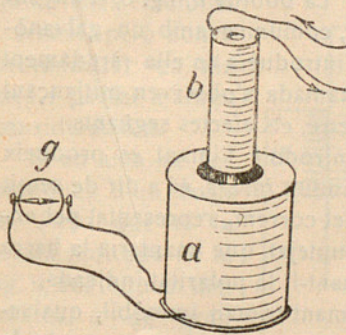


FIG. 7

Si emplem, fig. 7, una bobina *a*, que consti d'un sol enrotllament de moltes espises de fil fi, en la qual pot entrar una altra bobina *b*, d'un sol enrotllament també, però de poques espises de fil gros recorregut per un corrent, observem els següents efectes:

1. Si introduïm ràpidament la bobina *b* en la *a*, el galvanòmetre acusa en aquesta un corrent de sentit *invers* al del corrent inductor de la bobina *b*.
2. El corrent produït és instantani, ja que l'agulla del galvanòmetre torna a zero i allí roman tot el temps que la bobina *b*, està dintre de la *a*.
3. Si s'enretira la bobina *b*, el galvanòmetre demostra la producció de un corrent induït de sentit *directe*.

Si en lloc d'introduir o retirar bruscament la bobina *b* se li apropa o se li separa lentament, l'agulla del galvanòmetre acusa, per sa poca desviació, la producció de corrents tant més dèbils com major sigui la lentitud del moviment, o, ço que és igual, com més temps dura l'acció inductora.

Si empleem la bobina de doble enrotllament de la fig. 6, o les dues de la figura 7, amb la *b*, introduïda en la *a* i es varia la intensitat del corrent conductor, modificant la resistència de son circuit, s'obtindrà també en *a* un corrent induït que serà *invers* si l'intensitat del corrent inductor creix i *directe* si disminueix. Si la intensitat del corrent inductor roman fixa, qualsevol que sigui la seva valor, no s'obté cap corrent en la bobina *a*.

Els fenòmens observats en aquests tres experiments poden resumir-se en la taula següent:

CORRENT INDUCTOR			CORRENT INDUÏT
Comença	S'apropa	Augmenta	Invers
Persisteix	Està quiet	És constant	Nul
Acaba	S'allunya	Disminueix	Directe

11. Inducció d'un corrent per un imant. — Havem vist que un corrent imanta una barra de ferro. Recíprocament, un imant pot donar origen, en un circuit, a corrents d'inducció. Per demostrar-ho citarem el cèlebre experiment de Faraday. La bobina *a*, fig. 8, d'un sol enrotllament, comunica amb un galvanòmetre. Si s'introdueix en ella ràpidament una barra imantada s'observen mitjançant el galvanòmetre, els efectes següents:

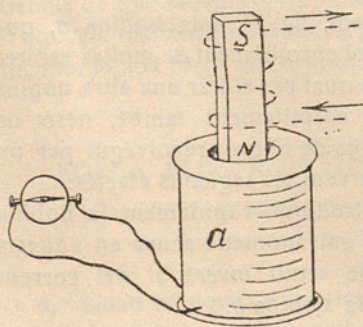


FIG. 8

1. A l'introduir l'imant es produeix un corrent induït *invers*, és a dir de sentit contrari al del corrent, representat pel enrotllament puntejat, que imantaria la barra de ferro donant-li la polaritat indicada.

2. Si l'imant roman immòbil, qualsevol que sigui sa posició respecte de la bobina, no es desenrotlla cap força electromotriu en aquesta.

3. Quan s'enretira l'imant, l'agulla del galvanòmetre indica la producció d'un corrent induït *directe*.

Si en la bobina d'enrotllament únic s'introdueix una peça de ferro dolç i s'aproxima bruscament un imant poderós, l'agulla del galvanòmetre es desvia, torna al zero, en quan l'imat està quiet, i es desvia en sentit oposat quan s'allunya. S'han originat doncs, dos corrents instantanis, el primer *invers* i el segon *directe*, produïts successivament per la imantació i desimantació del nucli de ferro dolç sots la influència de l'imat.

Iguals efectes s'observen si davant dels extrems d'un electroimat es fa girar ràpidament un imant potent de manera que produeixi una imantació creixent o decreixent en els extrems de l'electroimat.

Els resultats obtinguts en aquests tres experiments poden resumir-se en una taula, anàlogament a allò que hem fet quan l'inductor era un corrent.

MAGNETISME INDUCTOR			CORRENT INDUÏT
Neix	S'apropa	Augmenta	Invers
Persisteix	Està quiet	És constant	Nul
Cessa	S'allunya	Disminueix	Directe

### INDUCCIÓ MUTUA I AUTOINDUCCIÓ

12. En els números anteriors hem atribuït els fenòmens a una causa única, les variacions del flux. Aquesta manera d'explicar els fets és sens dubte molt racional i senzill, però convé profunditzar un xic més i passar a altres consideracions.

Si en una de les branques d'un nucli de ferro que té la forma indicada en la fig. 9, col·loquem una bobina *a* de gran nombre d'espines unida a una bateria el corrent de la qual pot

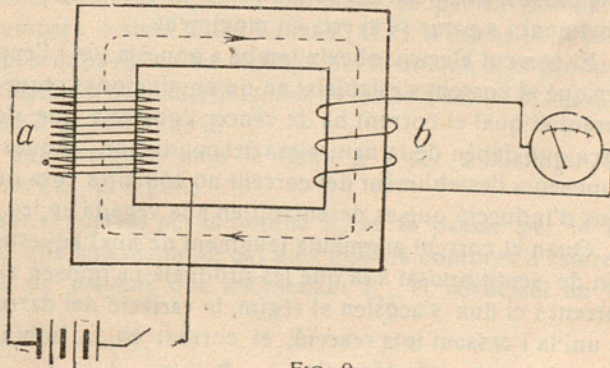


FIG. 9

circular per ella tancant l'interruptor, quan hom fa passar el corrent es produeix un flux el sentit del qual dependrà del que tingui el corrent en la

bobina. Si col·loquem en l'altra branca del nucli una sola espira i la unim amb un galvanòmetre, tencant i obrint l'interruptor es produeix o es suprimeix el flux en el nucli i a cada maniobra es produeix un corrent induït en l'espira, en un sentit quan se tanca el circuit de la bobina, i en sentit invers quan s'obre. Si enrotllem dues voltes el fil a l'entorn del nucli, de manera que formi dues espires, observem que la desviació del galvanòmetre és doble de la soferta amb una sola espira, si es formen tres espires és triple, etc., de la qual cosa es dedueix que les forces electromotrius de les distintes espires es sumen.

Aquest fenomen d'inducció, que en realitat es deu a la influència d'una bobina recorreguda per un corrent sobre altra bobina, és anomenat *inducció mútua*. La valor de la força electromotriu induïda en la segona bobina per la primera depèn de la valor del flux i del nombre d'espires de la segona bobina.

Ara bé, ja que el flux al qual està sotmesa la bobina *b*, obra d'una manera idèntica i durant el mateix espai de temps sobre la bobina *a*, és evident que així com el dit flux produeix en cada espira de la bobina *b* una certa força electromotriu, desenrotllarà també una força electromotriu en cada una de les espires de la bobina *a*.

Sabem que tot fenomen necessita cert espai de temps per a verificar-se, aquest temps serà més o menys curt, però no existeix cap fenomen que es produeixi instantàniament. No es pot posar un cos instantàniament en moviment i abans d'adquirir la velocitat desitjada tindrà de passar successivament per totes les velocitats compreses entre el repòs i la velocitat de règim i per arribar a aquest resultat es requereix cert temps. Aquest fet és degut a la inèrcia dels cossos, propietat per a la qual un cos en repòs es resisteix a posar-se en moviment i a parar-se si està en moviment.

El corrent electric obeeix també a aquesta llei i l'experiència ho demostra. Per què el corrent s'estableixi en un conductor es requereix cert espai de temps durant el qual el corrent ha de vèncer l'obstacle que s'oposa a ell, obstacle o força que depèn de la naturalesa del conductor. Aquestes forces resistents que s'oposen a l'establiment del corrent no són altra cosa que les forces electromotrius d'inducció que es desenrotllen a la vegada en les bobines *a* i *b*.

Quan el corrent augmenta (augment de flux) aquestes forces electromotrius són de sentit oposat a la que les produeix i s'oposen al flux i a mesura que el corrent i el flux s'acosten al règim, la variació del darrer és més petita fins que és nul·la i cessant tota reacció, el corrent en la bobina *a* adquireix son valor normal donat per la fórmula

$$I = \frac{E}{R}$$

en la qual  $E$  representa la força electromotriu que actua i  $R$  la resistència del circuit compreses la bobina  $A$  i la bateria.

Durant el temps que emplea el corrent a augmentar de zero a sa valor de règim sembla que la fórmula d'Ohm no és aplicable al circuit, perquè la resistència és constant i també ho és la força electromotriu de la bateria, però com que no pot deixar d'ésser certa, es precis que hi hagi una altra força electromotriu oposada a la de la bateria, i com per a l'encertada aplicació de la fórmula d'Ohm cal tenir en compte la *suma algèbrica* de les forces electromotrius que actuen en el circuit, resulta que la intensitat del corrent serà donat, en un moment qualsevolga, per la relació

$$\frac{E - e}{R},$$

en la qual  $e$  representa la valor de la força electromotriu produïda en la bobina  $a$  per la variació del flux. Al principi, aquesta força electromotriu té sa valor màxima i decreix gradualment fins a zero quan la intensitat del corrent ha adquirit son valor normal.

El fenomen de la producció d'una força electromotriu de inducció en un circuit tancat recorregut per un corrent, cada volta que la intensitat d'aquest corrent sofreix variacions, és anomenat *autoinducció* (inducció d'un circuit sobre si mateix) per a distingir-la de la inducció mútua.

**13. Coeficients d'inducció mútua i d'autoinducció.** — Considerem el conjunt de dues bobines  $a$  i  $b$ , fig. 9, col·locades en un nucli comú. Siguin  $n_1$  i  $n_2$ , respectivament els nombres d'espines de dites bobines. Si per la bobina  $a$  passa un corrent de 10 ampers, o sigui d'una unitat C. G. S. d'intensitat, i produeix un flux  $\Phi_1$  que suposem passa en sa totalitat per la bobina  $b$ , el producte  $\Phi_1 n_2$ , reb el nom de *coeficient de inducció mútua* de les bobines  $a$  i  $b$ , i  $\Phi_1 n_1$  e de *coeficient d'autoinducció* de la bobina  $a$ .

Ambdós coeficients són designats amb la lletra  $L$  i per a distingir-los anomenarem  $L_m$  el primer i  $L_{s1}$  el segon.

Si en lloc de fer passar el corrent per la bobina  $a$ , es fa passar per la  $b$ , aquesta produirà un flux, que serà distint de  $\Phi_1$ , puix que els nombres d'espines  $n_1$  i  $n_2$ , no son iguals, de manera que anomenant  $L_{s2}$  el coeficient de la bobina  $b$  tindrem:

$$L_m = \Phi_1 n_2$$

$$L_{s1} = \Phi_1 n_1$$

$$L_{s2} = \Phi_2 n_2$$

Segons vam veure en *Circuit Magnètic*, la valor del flux produït per una bobina de  $n$  espires recorregudes per un corrent de  $i$  unitats C. G. S. d'intensitat, és

$$\Phi = \frac{4 \pi n i}{\frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{s}}$$

o bé

$$\Phi = \frac{0,4 \pi n i}{\frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{s}}$$

si  $i$  està expressat en ampers, on  $\mu$  és la permeabilitat del ferro i  $l, s$ , respectivament la longitud i secció del nucli. D'aquí resulta que quan la intensitat del corrent és de 1 unitat C. G. S. el flux produït per la bobina  $a$  serà

$$\Phi_1 = \frac{4 \pi n_1}{\frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{s}}$$

i el produït per la bobina  $b$ , quan es fa passar per ella el corrent, serà

$$\Phi_2 = \frac{4 \pi n_2}{\frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{s}}$$

i substituint aquests valors en les expressions dels coeficients d'inducció mútua d'autoinducció, tindrem:

$$L_m = \frac{4 \pi n_1 n_2}{\frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{s}} \quad (1)$$

$$L_{s_1} = \frac{4 \pi n_1^2}{\frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{s}} \quad (2)$$

$$L_{s_2} = \frac{4 \pi n_2^2}{\frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{s}} \quad (3)$$

Les valors donades per aquestes tres fórmules són expressades en unitats absolutes o C.G.S. i per tenir-les en unitats pràctiques n'hi ha prou dividint-les per  $10^9$ .

La unitat pràctica de coeficient d'autoinducció és anomenada *henry* i és la inducció d'un circuit quan la força electromotriu induïda en ella és de 1 volt i el corrent inductor varia en 1 amper per segon. La mateixa unitat s'aplica al coeficient de inducció mútua i és el coeficient per a dos circuits quan la força electromotriu induïda en un d'ells és de 1 volt i el corrent en l'altra varia en 1 amper per segon.

14. Els coeficients d'inducció mútua i d'autoinducció donades per les fórmules (1), (2) i (3) del número 13, es refereixen al cas de dues bobines muntades en un nucli de ferro tancat que té en totes ses parts una mateixa secció. Si es tracta d'un nucli que presenta trossos de distintes permeabilitats, longituds i seccions, com que la fórmula general que dóna el flux en un circuit magnètic d'aquestes condicions és

$$\Phi = \frac{4 \pi n i}{\sum \frac{l}{\mu} \cdot \frac{l}{s}}$$

el denominador de la qual és la *suma* dels productes

$$\frac{l}{\mu} \cdot \frac{l}{s}$$

referents a cada porció del circuit magnètic, caldrà introduir aquesta modificació en les fórmules expressades i tindrem per al cas general d'un circuit heterogeni

$$L_m = \frac{4 \pi n_1 n_2}{\sum \frac{l}{\mu} \cdot \frac{l}{s}} \quad (1)$$

$$L_{s_1} = \frac{4 \pi n_1^2}{\sum \frac{l}{\mu} \cdot \frac{l}{s}} \quad (2)$$

$$L_{s_2} = \frac{4 \pi n_2^2}{\sum \frac{l}{\mu} \cdot \frac{l}{s}} \quad (3)$$

en unitats absolutes.

En totes aquestes fórmules, el denominador és la resistència del circuit magnètic.

15. Com a aplicació de les fórmules donades en el número 14, proposem-nos determinar els tres coeficients d'inducció de dues bobines *a* i *b* de 500 i 250 espires respectivament, muntades en el nucli de la fig. 10 que presenta un espai d'aire de un cm. de longitud, té una secció de  $4 \times 4 = 16 \text{ cm}^2$  i la longitud del circuit magnètic en el ferro és de 48 cm.

Farem passar un corrent de 10 amperes (1 unitat C.G.S.) per la bobina *a* i admetem que la inducció ha d'ésser de 5000 línies per centímetre quadrat, és a dir

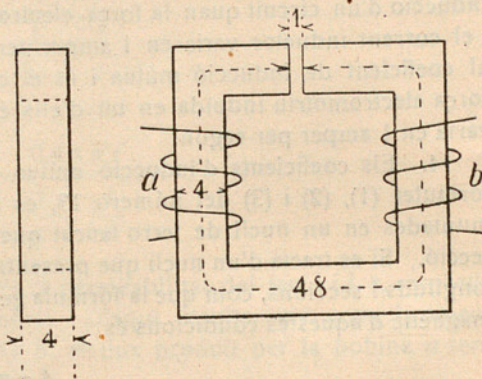


FIG. 10

$$B = \frac{\Phi}{s} = 5000$$

Admetem que la permeabilitat corresponent a aquesta inducció és

$$\mu = 2500.$$

Substituint en l'expressió del flux, donada en el número 14, tindrem

$$\Phi = \frac{4 \pi n i}{\sum \frac{l}{\mu}} = \frac{4 \pi \times 5000 \times 1}{\frac{1}{2500} \cdot \frac{48}{16} + \frac{1}{1} \cdot \frac{1}{16}} = \frac{6280}{0,0012 + 0,0625} = 98600$$

La inducció en el ferro resulta ésser:

$$B = \frac{\Phi}{s} = \frac{98600}{16} = 6150$$

a la qual valor correspon una permeabilitat  $\mu = 2460$  aproximadament, d'on resulta que l'admissió d'una inducció de 5000 línies per  $\text{cm}^2$  és acceptable.

Per ço que es refereix a la bobina  $b$ , com que el flux, i per tant la inducció, seran la meitat d'abans, puix son nombre d'espises és la meitat,  $\mu$  podem pendre'l igual a 2 500 com abans. Per tant, els coeficients d'inducció seran:

$$L_{s_1} = \frac{4 \pi n_1^2}{\sum \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{s}} = \frac{12,56 \times 500^2}{0,0637} = 49\,300\,000$$

$$L_{s_2} = \frac{4 \pi n_2^2}{\sum \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{s}} = \frac{12,56 \times 250^2}{0,0637} = 12\,325\,000$$

$$L_m = \frac{4 \pi n_1 n_2}{\sum \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{s}} = \frac{12,56 \times 500 \times 250}{0,0637} = 24\,650\,000$$

Aquestes valors són donades en unitats C.G.S.; per obtenir-les en henrys, haurem de dividir per  $10^9$  i tindrem:

$$L_{s_1} = 0,0493$$

$$L_{s_2} = 0,012325$$

$$L_m = 0,02465$$

**16. Coeficient d'autoinducció d'un solenoide.** Per trobar el coeficient d'autoinducció d'un solenoide n'hi hauria prou de fer  $\mu = 1$ , en les fórmules (2) o (3) del número 13 i tindrem, en general, la fórmula:

$$L_s = \frac{4 \pi n^2}{\frac{l}{s}}$$

en la qual  $n$  és el nombre d'espises,  $l$  la longitud en centímetres del solenoide,  $s$  la secció d'una espira en centímetres quadrats i  $L_s$  el coeficient d'autoinducció en unitats absolutes. Aquesta fórmula és aplicable a un solenoide d'una sola capa de fil i sempre que la longitud del mateix sigui prou gran perquè es pugui prescindir de la influència de sos extrems.

**Problema.** Determinar el coeficient d'autoinducció d'un solenoide de 30 centímetres de longitud i un diàmetre de 1 centímetre, format per 600 espires.

**Resolució:** Al diàmetre de 1 centímetre correspon una secció de 0,785 cm<sup>2</sup>, per tant, aplicant la fórmula i observant que  $n = 600$ ,  $l = 30$  i  $s = 0,785$ , tindrem

$$L_s = \frac{4 n^2}{\frac{l}{s}} = \frac{12,56 \times 600^2}{\frac{30}{0,785}} = 118400,$$

o siguin 0,0001184 henrys aproximadament.

17. La fórmula del número 16, pot posar-se sots altra forma, de manera que doni el coeficient d'autoinducció d'una bobina en funció de la longitud total del fil i de la longitud de la bobina. Per això observarem que essent  $s$  la secció mitjana d'una espira, son diàmetre mitjà serà

$$\sqrt{\frac{4s}{\pi}},$$

la longitud mitjana d'una espira serà

$$\sqrt{\frac{4s}{\pi}} \times \pi = \sqrt{4\pi s}$$

i la longitud total del fil, o sigui de les  $n$  espires

$$L = n \sqrt{4\pi s}$$

d'on

$$n = \frac{L}{\sqrt{4\pi s}}$$

i per tant

$$n^2 = \frac{L^2}{4\pi s}$$

Substituint en la fórmula

$$L_s = \frac{4 \pi n^2}{\frac{l}{s}} = \frac{4 \pi n^2 s}{l}$$

$n^2$  per sa valor, resulta

$$L_s = \frac{4 \pi L^2 s}{4 \pi l s}$$

d'on

$$L_s = \frac{L^2}{l} \quad (1)$$

$L$  i  $l$  són expresats en centímetres i  $L_s$  en unitats absolutes.

18. Variació del coeficient d'autoinducció. Fixat-nos en la fórmula general

$$L_s = \frac{4 \pi n^2}{\Sigma \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{s}}$$

donada en el número 14, veurem que el coeficient d'autoinducció d'una bobina està en raó directa del quadrat del nombre d'espises i inversa de

$$\Sigma \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{s}$$

que és la suma de les resistències parcials del circuit magnètic o sa resistència total. Importa, doncs, per obtenir un coeficient elevat, que el nombre d'espises sigui gran, i que la resistència del circuit magnètic sigui petita, i per a ço que l'espai d'aire, si existeix, sigui curt, la longitud del nucli petita i sa secció gran.

Mentre es tracti d'induccions petites la permeabilitat  $\mu$  pot considerar-se com a constant i per consegüent també ho serà el coeficient d'autoinducció. Si el circuit magnètic és format sols per l'aire, el coeficient serà constant ja que per a qualsevol inducció la permeabilitat de l'aire és  $\mu = 1$ .

19. **Resistència aparent.** Havem vist en el número 12, que la intensitat del corrent no pren instantàniament sa valor normal corresponent al donat per la fórmula d'Ohm

$$I = \frac{E}{R}$$

en la qual  $E$  és la força electromotriu aplicada al circuit i  $R$  la resistència d'aquest, sinó que varia de 0 a  $I$ , i d'això havem deduït que existia una força electromotriu oposada a  $E$  que explicava el fenomen. Aquesta força electromotriu oposada a l'explicada és denominada *força electromotriu d'autoinducció*. Com que mentre existeix aquesta força electromotriu oposada, l'efecte produït en la intensitat del corrent és el mateix que si la resistència del circuit augmentés durant el temps en què  $I$  varia de zero a sa valor normal, és anomenada *resistència aparent* a la resistència fictícia que presenta un circuit

quan hi ha en ell una força electromotriu d'autoinducció.

Una resistència és anomenada *no inductiva*, quan no presente autoinducció, tals son les resistències líquides i la que presenten les bombetes incandescents. Una bobina pot ésser no inductiva si

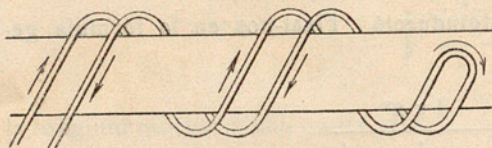


FIG. 11

s'enrotlla el fil en la forma que indica la figura 11. En aquest cas l'efecte produït per un fil és neutralitzat pel del fil pròxim i el flux magnètic és nul, així com la autoinducció de la bobina.

20. **Constant de temps.** Havem vist que quan es tanca un circuit alimentat per una pila de força electromotriu constant  $E$ , la intensitat del corrent, no arriba instantàniament a sa valor normal, sobretot si el circuit conté un electroimant. De la mateixa manera, quan s'obre el circuit, el corrent no cesa bruscament, sinó que es prolonga per un quant temps.

La força electromotriu d'autoinducció està en raó directa del coeficient d'autoinducció del circuit i de la variació que en un segon experimenta la intensitat del corrent, de manera que si en  $t$  segons varia en  $i$  ampers, en 1

segon la variació serà  $\frac{i}{t}$  i podem expressar la força electromotriu d'autoinducció pel producte  $\frac{L_s i}{t}$  i si el circuit té una resistència òhmica  $r$ , el co-

corrent degut a aquesta força electromotriu serà

$$\frac{L_s i}{r t} = \frac{L_s}{r} \cdot \frac{i}{t}$$

Com que el temps necessari perquè el corrent s'anul·li o s'estableixi està en raó directa del coeficient d'autoinducció  $L_s$  i inversa de la resistència  $r$  del circuit ha estat donat a la relació  $\frac{L_s}{r}$  el nom de *constant de temps*.

La constant de temps pot disminuir-se donant a  $L_s$  una valor petita i augmentant la resistència  $r$ .

Aplicant el càlcul superior, veuríem que al cap de  $t$  segons de tancar el circuit, la valor de la intensitat del corrent, és:

$$i = \frac{E}{r} \left( 1 - \frac{1}{e^{\frac{r t}{L_s}}} \right) \quad (1)$$

i que als  $t$  segons d'obrir-lo és

$$i = \frac{E}{r} \cdot \frac{1}{e^{\frac{r t}{L_s}}} \quad (2)$$

En aquestes fórmules  $e$  és la base dels logaritmes neperians i té la valor  $e = 2,7183$ , i  $E$  és la força electromotriu aplicada al circuit.

**Problema.** Un circuit alimentat per una força electromotriu de 100 volts, té un coeficient d'autoinducció de 0,05 henrys, i una resistència de 50 ohms. Trobar la intensitat del corrent, primer, al cap de 0,001 de segon de tancar el circuit; segon, al cap de 0,001 de segon d'obrir-lo; tercer, en règim normal.

**Resolució.** Primer. Aplicant la fórmula (1) i substituint  $E$ ,  $r$ ,  $t$  i  $L_s$  per 100, 50, 0,001 i 0,05 respectivament, tindrem:

$$i = \frac{100}{50} \left( 1 - \frac{1}{2,7183 \frac{50 \times 0,001}{0,05}} \right) = 1,264 \text{ amp.}$$

Segon. La fórmula (2) dóna per a aquest cas

$$i = \frac{100}{50} \cdot \frac{1}{2,7183 \frac{50 \times 0,001}{0,05}} = 0,736 \text{ amp.}$$

Tercer. En règim normal el corrent serà

$$\frac{E}{r} = \frac{100}{50} = 2 \text{ amp.}$$

**21. Corrents de Foucault.** Fins aquí hem examinat únicament els fenòmens d'inducció que es produeixen en conductors rectilinis o en les espires de una bobina, però hom concep que aquests fenòmens puguin també tenir lloc en una massa conductora de forma qualsevol, sols que aleshores resulta més complicat fer-se càrrec del sentit dels corrents produïts, perquè es desenrotllen en una massa metàl·lica, produint energia tèrmica i, per tant, escalfament. Aquestes corrents que es desenrotllen en una massa metàl·lica sense sortir d'ella, s'anomenen *corrents de Foucault* i constitueixen una veritable pèrdua, com tindrem ocasió de veure més endavant.

El següent experiment demostra amb tota claretat la producció d'aquests corrents. Fent oscil·lar una massa de coure, suspesa d'un fil, entre els dos pols d'un electroimant potent s'observa que, en quan l'electroimant és excitat, influeix enèrgicament sobre el moviment pendular de la massa de coure i que

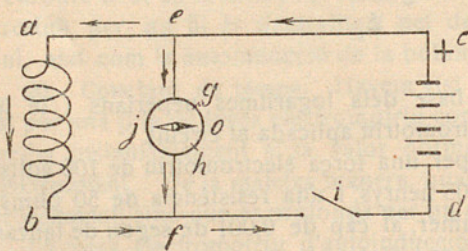


FIG. 12

les oscil·lacions cessen immediatament. Els corrents induïts en la massa de coure s'oposen, en virtut de la llei de Lenz, al moviment que les va produir.

**22. Extracorrent.** Si unim els extrems *a, b*, de una bobina, fig. 12, que consta de gran nombre d'espires de fil prim, amb els pols *c, d* de una pila, i entre dos

punts *e, f* del fils d'unió intercalem un galvanòmetre *j*, quan l'interruptor *i* està tencat <sup>(1)</sup> el corrent sortit del pol *c* de la pila es bifurca en *e*, una

(1) Cal observar que un interruptor és *tencat* quan *dóna pas al corrent* i és *obert* quan *l'interromp*, al revés que una aixeta de gas o aigua, que si és *tancada* interromp el pas del fluid i si és *oberta* li *dóna pas*. Un circuit és *obert* quan és interromput i *tencat* quan el corrent pot circular.

part seguirà el camí  $ef$  a través del galvanòmetre i l'altra el camí  $eabf$ , per la bobina, per a reunir-se en  $f$  amb l'anterior i tornar a la pila pel pol negatiu  $d$ . En aquest estat els corrents tenen els sentits indicats per les fletxes i l'agulla del galvanòmetre es desvia de  $O$  a  $g$  on roman tot el temps que dura el pas del corrent.

Si tornem l'agulla del galvanòmetre al zero, o sigui a  $O$  mantenint-la en aquesta posició mitjançant un top que privi de moure's en el sentit  $Og$ , però que li permeti oscil·lar en el sentit  $Oh$  i obrim l'interruptor, observarem que en el mateix instant l'agulla es desvia de  $O$  a  $h$  ço que indica la producció d'un nou corrent que passa pel galvanòmetre en sentit oposat al del primer corrent i com que l'únic circuit tancat que existeix és el format per la bobina i el galvanòmetre i en aquest té el nou corrent el sentit  $fe$ , cal que en la bobina tingui el mateix sentit  $eabf$  que tenia el corrent principal.

Aquest corrent creat per la bobina i que apareix després de l'altre és distingit amb el nom d'*extracorrent*.

Valent-se de la mateixa disposició d'aparells pot veure's que en el moment de tancar el circuit mitjançant l'interruptor, es produeix en la bobina un extracorrent de sentit invers al del corrent principal, anomenat *extracorrent de tancament* per distingir-lo del primer anomenat *extracorrent d'obertura*.

## BOBINA DE RUHKORFF

23. Fundant-se en els fenòmens de inducció, descrits en els números anteriors, va construir Ruhmkorff la bobina que porta son nom i que representem esquemàticament en la fig. 13.

Sobre un nucli format per fil de ferro molt dolç,  $ab$ , s'enrotlla primerament un fil relativament gruixut, constituint una bobina de reduït nombre d'espines i a sobre s'enrotlla un altre fil, però molt prim, que forma un gran nombre d'espines.

Aquestes dues bobines, inductora i induïda o *primària* i *secundària* respectivament estan, per a major claredat, separades en la figura, encara que en realitat la secundària embolcalla la primària. Els fils de les dues bobines estan isolats i entre elles dues hi ha un tub de vidre o d'ebonita que assegura el perfecte isolament d'una bobina respecte a l'altra.

$c$  és un *commutador* doble que consta de dues *ganivetes* isolades entre sí i amb moviment comú, que poden girar sobre els punts  $d, e$  a on van units els fils que vénen de la pila, i estableixen la comunicació amb els dos borns superiors  $f, g$  o amb els inferiors  $h, i$ , segons sigui la posició que ocupen.

L'objecte d'aquest commutador és invertir a voluntat el sentit del corrent que de la pila passa per la bobina inductora. Si les ganivetes ocupen una posició intermèdia entre els borns superiors i els inferiors, és a dir, si no comuniquen amb cap d'ells, el corrent primari deixa de circular i l'aparell no funciona, de manera que el commutador serveix també de interruptor.

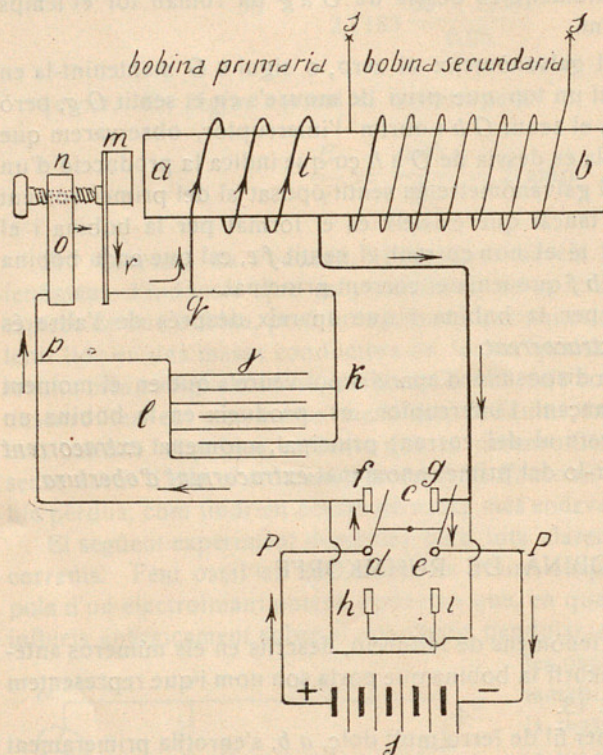


FIG. 13

peça de ferro *m* muntada en el ressort *r*, que quan no hi havia corrent descansava contra el cargol de regulació *n*, és estreta pel nucli *a b* imantat pel corrent primari i separant-se de *n* suprimeix el contacte, interrompent així el corrent. En acabar aquesta, el nucli es desimanta, deixa d'atraure la peça *m*, la qual recobra sa primitiva posició i tornant a posar-se en contacte amb el cargol *n* restableix el corrent, torna a ésser atreta pel nucli i aquest moviment d'oscil·lació de la peça *m*, que és sumament ràpid, subsisteix mentre funciona l'aparell. El moviment de vaivé de la peça *m* és una veritable vibració, anàloga a la del martell d'un timbre elèctric i es basa en el mateix principi.

El corrent inductor s'interromp i restableix amb gran freqüència i a cada

amb cap d'ells, el corrent primari deixa de circular i l'aparell no funciona, de manera que el commutador serveix també de interruptor.

*j* és un condensador format per làmines d'estany sobreposades i aïslades les unes de les altres per fulles de paper impregnades de resina. Les fulles d'estany d'ordre parell s'uneixen al conductor *k* i les d'ordre imparell al *l*.

24. L'aparell funciona de la manera següent: Suposem que les ganivetes del commutador comuniquen amb els borns superiors; el corrent primari seguirà el camí indicat per les fleixes i de sobte la

oscil·lació es creen dos corrents induïts en la bobina secundària, un de directe i un altre d'invers.

**25. Objecte del condensador.** A cada interrupció del corrent inductor es produeix, segons hem vist en el número 22, un extracorrent directe que allarga la duració d'aquell i debilita la tensió del corrent induït, ja que sabem que la tensió secundària és tant menor com més temps dura l'acció inductora, o sigui com menys ràpida és la interrupció del dit corrent, però com que el condensador està unit a dos punts *pq* entre els quals té lloc la interrupció i restabliment del corrent, l'extracorrent de ruptura carrega el condensador, les làmines que comuniquen amb *l* reben electricitat positiva i les que comuniquen amb *k*, electricitat negativa. Aquestes dues electricitats es combinen i el condensador es descarrega, donant lloc a un corrent que segueix el camí *l p f d s e g t q*, el qual, recorrent la bobina inductora en sentit contrari al que tenia el corrent de pila, desimanta ràpidament al nucli i el corrent induït guanya en tensió, per disminuir la duració de l'atur del corrent inductor.

Els extrems de la bobina secundària terminen en els borns *s* anomenats *borns secundaris* i els *borns primaris*, o sigui, aquells on s'aplica el corrent inductor, d'una pila en nostre cas, són els *P* que comuniquen amb els borns *d e* del commutador.

Hem suposat que les ganivetes del commutador comunicaven amb els borns superiors del commutador; si s'establís la comunicació amb els inferiors, el corrent recorreria la bobina primària en sentit oposat a l'indicat, i es reproduirien els fenòmens descrits, amb la diferència que en la càrrega del condensador les làmines metàl·liques *k* recollirien l'electricitat positiva i les *l* la negativa, donant origen a un corrent que recorrerà la bobina primària en sentit oposat al de la primera, que produiria l'efecte descrit.

**26.** No és indispensable que les interrupcions del corrent inductor es verifiquin de la manera indicada; poden aconseguir-se de molt variades maneres; obtindrem sempre bons resultats mentre les obertures i tancaments del circuit primari es succeeixin amb rapidesa suficient.

En algunes bobines, el martell, en lloc de descansar contra un contacte mitjançant l'acció d'un ressort, ho fa per son propi pes; això varia quelcom la disposició de les peces que constitueixen l'interruptor, però son funcionament és idèntic, havent sols de substituir l'acció del ressort per la de la gravetat.

En altres, l'interruptor es posa en marxa no pel corrent mateix que passa per la bobina inductora, com en la bobina d'inducció que hem descrit, sinó que és mogut per un corrent independent que pot ésser una derivació del primer, o provenir d'una altra pila, o d'una altra font qualsevol. En aquest

últim cas cal col·locar en el circuit de l'interruptor una resistència graduable o *reostat* a fi de regular la intensitat del corrent.

**27. Interruptor de mercuri de Foucault.** Aquest interruptor, que pertany a la categoria dels interruptors *independents*, és una mica antic, però mereix ésser descrit, puix fou el primer pas donat en la modificació dels interruptors. Consisteix en dos vasos *a b*, fig. 14, que contenen mercuri cobert per una capa d'alcohol, on s'introdueixen dues barretes de platí *c, d* fixades a una barra *e f*

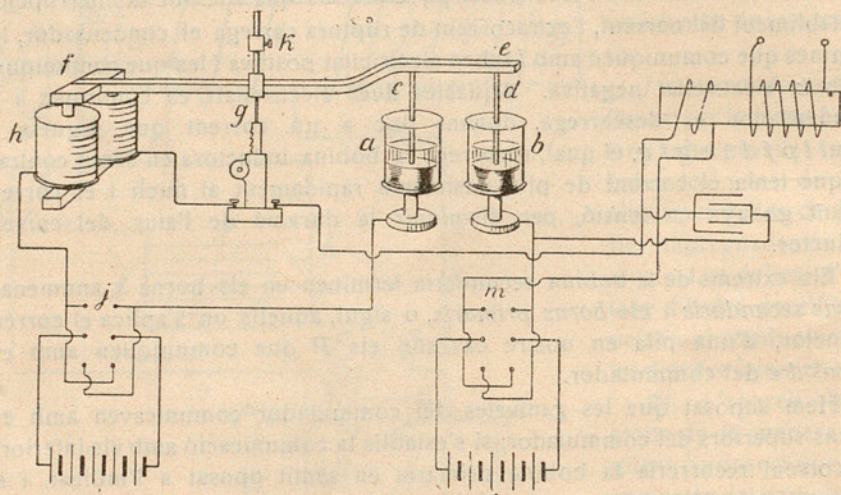


FIG. 14

munxada sobre una làmina elàstica *g* de manera que la barra pot oscil·lar de dreta a esquerra i viceversa. En l'extrem oposat de la barra hi ha una peça *f* de ferro, sol·licitada per l'electroimant *h*. La làmina d'acer que porta la barra *e f* pot baixar-se o pujar-se a voluntat per a graduar la distància de la peça *f* a l'electroimant.

Al principi les dues barretes de platí estan submergits en el mercuri i el corrent de la pila *i* va, després de passar pel commutador *j*, al vas *a* i d'aquest, per la barreta *c*, a la barra *e* d'on, passant per la làmina elàstica *g*, es dirigeix a l'electroimant *h*, d'on surt per a tornar a la pila després de passar pel commutador.

Així que circula el corrent, la peça *f* és atreta per l'electroimant, i la làmina oscil·la vers *f*, les barretes *c, d* deixen el contacte amb el mercuri i el corrent s'interromp, l'electroimant deixa d'atraure la peça *f* i la làmina *g* oscil·la en sentit contrari, amb la qual cosa les barretes de platí tornen a introduir-se en

el mercuri i el corrent es restableix. Aquests mateixos efectes es produeixen amb una rapidesa que pot augmentar-se o disminuir-se, baixant o pujant el contrapès  $k$ .

Amb el que acabem d'explicar aconseguim solament el moviment vibrator de la barra  $e f$ ; mirem com és utilitzat aquest per obtenir les interrupcions del corrent inductor. El corrent que ha de passar per la bobina primària va de la pila  $l$  al commutador  $m$ , d'aquest al vas  $b$ , la barreta  $d$ , la barra  $e$ , la làmina d'acer  $g$  i d'aquesta a la bobina inductora, d'on va al commutador  $m$  i a la pila  $l$ . Com per efecte de la vibració de la làmina  $g$  les barretes  $c, d$  entren i i surten del mercuri, interrompen i restauren la  $c$  el corrent de l'electroimant i la  $d$  la de la bobina inductora.

L'alcohol que cobreix el mercuri dels vasos té el doble objecte d'evitar l'escalfament de les barretes per efecte de les guspises i evitar el rovellament dels punts on aquestes es produeixen suprimint el contacte amb l'aire.

**Altres classes d'interruptors.** A més dels interruptors descrits n'hi ha d'altres, de mercuri, que consisteixen en una roda dentada fixada a un eix metàl·lic, que en girar produeix el contacte i la separació successius dels extrems de les dents amb la superfície del mercuri contingut en un vas. Segons sigui la velocitat i el nombre de dents de la roda, així serà la rapidesa amb què es succeiran els contactes i com que el corrent de la bobina inductora passa del mercuri a l'eix de la roda per les dents d'aquesta, s'obtenen les interrupcions del corrent primari.

Pot també emprar-se una roda dentada de substància isoladora, les dents de la qual tanquen a intervals regulars un rajolí de mercuri que condueix el corrent a la bobina inductora.

Els interruptors anomenats *electrolítics* consisteixen en una espècie de pila formada per una placa de plom i un fil de platí introduïts en un bany d'aigua acidulada amb àcid sulfúric. Aquest aparell s'intercala en sèrie amb la bobina primària procurant que el corrent vagi sempre, en l'interior de la pila, del fil de platí a la placa de plom. Perquè aquesta pila funcioni com a interruptor del corrent, cal que el circuit de què forma part contingui una bobina en sèrie el coeficient d'autoinducció de la qual pugui ésser variat a voluntat.

**Tensió produïda per una bobina de Ruhmkorff.** En un bobina de Ruhmkorff i en general en un sistema de dues bobines muntades en un nucli comú, la relació entre la força electromotriu obtinguda en el circuit secundari i l'aplicada al circuit primari és igual a la relació entre el nombre d'espines secundàries i el de les primàries.

Si anomenem  $e_1$  la força electromotriu primària,  $e_2$  la secundària,  $n_1$  el nombre d'espines primàries i  $n_2$  el d'espines secundàries, tindrem:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{n_1}{n_2}, \text{ d'on } e_2 = e_1 \frac{n_2}{n_1}$$

Això sols és cert si no hi ha fugues magnètiques o, com s'acostuma dir, si no hi ha *dispersió*, fenòmen que consisteix en això, que algunes de les línies de força produïdes per la bobina primària no passen per *totes* les espirs de la bobina secundària.

Suposant que no existeixi dispersió, la tensió obtinguda en els borns de la bobina secundària serà proporcional a la relació de les espirs mentre el circuit secundari estigui obert, és a dir, mentre no circuli corrent per la bobina secundària, puix d'altra manera la tensió en els borns secundaris disminueix considerablement, degut, primer, a l'enorme reacció que sobre el flux creat per la bobina primària exerceix el que desenrotlla la secundària, i segon, a causa de la caiguda de tensió en aquesta bobina degut a la seva gran resistència òhmica.

Com que la bobina de Ruhmkorff és emprada per obtenir tensions molt elevades, cal que els usos a què és destinada exigeixin corrents de intensitat molt reduïda.

**Freqüència dels corrents secundaris.** *La rapidesa amb què es succeeixen els corrents en el circuit secundari d'una bobina de Ruhmkorff és doble que en el circuit primari.*

En efecte, en tancar el circuit primari, s'hi produeix un corrent que creix fins a un màxim *a*, fig. 15, emprant en això un temps *o b* i neix en el secundari un corrent, de sentit oposat a aquell, que creix, arriba a un màxim negatiu i s'anul·la durant el mateix temps *o b = o' a'*, representada per la corba *o' a'* situada sota de la línia *o' c'* on és comptat el temps. Quan s'obre el circuit primari, el corrent descendeix en ell de *a* a *c* i durant el temps *b c* que empra el corrent primari per anul·lar-se neix un altre corrent *a' c'* en el secundari de sentit oposat al primer *o' a'*, o sigui del mateix sentit que el primari *a c*. Es veu, doncs,

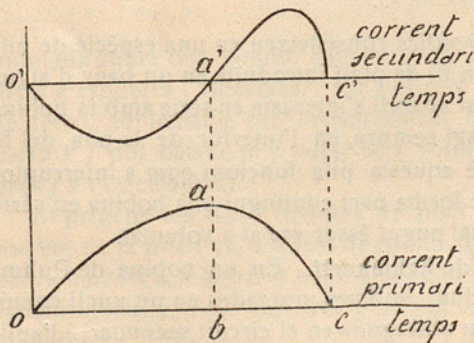


FIG. 15

que entre dos tancaments del circuit primari o sigui en el temps *o c* hi ha dos corrents secundaris *o' a'* i *a' c'*, doncs la freqüència amb què es succeeixen els corrents secundaris és doble que la de els primaris.

Com que el temps  $bc$  que empra el corrent primari per anul·lar-se, és més curt que el  $ob$  emprat per augmentar de zero el seu màxim  $a$  i les forces electromotrius secundàries són proporcionals a la rapidesa amb que les variacions d'intensitat es verifiquen, resulta que la força electromotriu obtinguda en el secundari durant l'obertura del circuit primari és major que la desenrotllada pel seu tancament.

**Efectes dels corrents de gran freqüència.** Entre els variats efectes produïts pels corrents obtinguts en la bobina de Ruhmkorff, mereixen especial esment els efectes fisiològics. Mentre els corrents secundaris es succeeixen lentament quasi no produeixen efecte en el sistema nerviós, però si s'augmenta la freqüència fins a 2500 canvis per segon, l'organisme està subjecte a contraccions més i més vives que poden produir la mort per asfíxia. Si la freqüència augmenta, l'efecte sobre el sistema nerviós disminueix progressivament i a 100,000 canvis per segon són completament inofensius.

Els corrents de la bobina de Ruhmkorff són emprats per la producció dels raigs de Röntgen o raigs X i, convenientment graduats, usats en medicina per l'acció benèfica que exerceixen sobre el cos humà.

### DESCÀRREGA OSCIL·LANT

Segons siguin la resistència òhmica i el coeficient d'autoinducció del circuit sobre el qual es descarrega un condensador, la intensitat del corrent de descàrrega, fig. 16, nul·la a l'origen de la descàrrega, pren ràpidament una valor

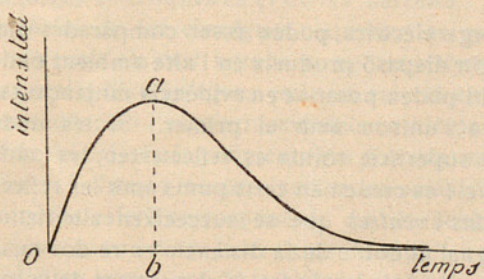


FIG. 16

màxima  $ba$  al cap d'un temps  $ob$ , per a decreixer desseguida, amb una rapidesa al principi i després lentament fins a reduir-se a zero.

Si es disminueix la resistència del circuit existeix una valor de la dita resistència per la qual la intensitat del corrent de descàrrega, en reduir-se a zero ho verifica bo i oscil·lant de part i altra d'aquesta valor,

com indica la fig. 17, en la qual els temps estan indicats en la recta  $ox$  a partir de  $o$  i les intensitats del corrent en la  $y y'$ , comptant-se de  $o$  a  $y$  quan el corrent va en un sentit i de  $o$  a  $y'$  quan va en sentit oposat. En el primer cas el corrent és anomenat *positiu*, i en el segon, *negatiu*.

La intensitat nul·la al principi de la descàrrega augmenta fins a un màximum positiu  $b a$  en un temps  $o b$ , decreix fins a zero en un temps  $o c$ , creix després en sentit oposat fins a un màximum negatiu  $e d$ , més petit que  $b a$ , després

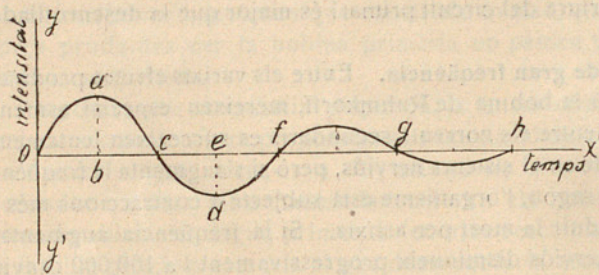


FIG. 17

d'un temps  $o e$  i així successivament, de manera que els màximums successius, positius i negatius van disminuint fins que la intensitat s'anul·la i el corrent acaba definitivament.

El temps que transcorre entre  $o$  i  $f$ , és a dir, entre dos punts en què la intensitat comença a créixer positivament, és el necessari per a un cycle complet de valors de la intensitat. Mig cycle comprèn totes les valors per les quals passa la intensitat del corrent entre dues valors nul·les  $o$  i  $c$ . Els temps necessaris per cada cycle són iguals, de manera que  $o f = f h$  i les *amplituds* de les *ondes* o siguin les valors màximes  $b a$ ,  $e d$ , etc., disminueixen progressivament fins a anul·lar-se.

### TRANSMISSIÓ DE LES ONDES EN L'AIRE

Les oscil·lacions de la descàrrega elèctrica poden ésser comparades amb les d'un cos elàstic en vibració. Un diapasó produeix en l'aire ambient ondes sonores que es difonen per l'espai i poden posar-se en evidència mitjançant un diapasó *ressonador* que estigui a l'uníson amb el primer. Si les ondes sonores fereixen normalment una superfície sòlida es reflecteixen; les ondes que es dirigeixen a aquesta superfície es creuen en certs punts amb les reflectides per ella i es produeixen *nodus* i *ventres* que se succeeixen alternativament. La longitud de l'onda és igual al doble de la distància entre dos nusos consecutius i la velocitat de transmissió de les ondes és el quocient de la longitud d'una onda per la seva duració.

Iguals fenòmens es produeixen en la propagació de la calor i de la llum i Hertz ha demostrat experimentalment que les oscil·lacions de la descàrrega entre dos cossos electritzats produeixen en l'ambient ondes elèctriques que tenen les mateixes propietats que les emíctides pels cossos a una temperatura elevada. Per posar de manifest aquestes propietats, faltava de moment un

aparell capaç de produir oscil·lacions elèctriques contínues i Hertz es va servir d'una bobina de Ruhmkorff, fig. 18, els borns secundaris de la qual estan units a dos conductors que constitueixen un *vibrador* o *excitador elèctric* que pot presentar formes molt variades. En la figura, el vibrador *V* està

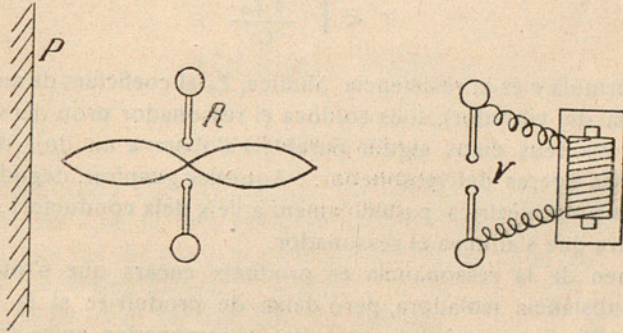


FIG. 18

format per dues barretes conductores situades una en la prolongació de l'altra, acabades en els extrems pròxims per dues petites esferes metàl·liques i en els oposats, per dues esferes també de metall. La bobina de inducció té per objecte mantenir càrregues elèctriques en les dues parts del vibrador. En virtut d'aquestes càrregues alternativament oposades, el medi que envolta el vibrador és un camp en què les línies de força, periòdicament invertides, uneixen les dues parts de l'aparell. La direcció mitjana del camp, és a dir de les forces elèctriques és el de les barretes. Com a conseqüència de l'elevat potencial de les càrregues, aquestes es combinen en forma de guspines que salten entre els dos botons o petites esferes metàl·liques i les oscil·lacions d'aquestes d'escàrregues estan en relació amb la capacitat del vibrador i amb la resistència i l'autoinducció dels conductors que el formen. Quan la càrrega de les esferes és suficientment elevada, salta una guspina entre les petites esferes i llavors es produeixen les oscil·lacions elèctriques entre cada esfera i la petita esfera corresponent. La duració d'aquestes oscil·lacions és molt breu a causa del seu decreixament ràpid, i per això cal que la bobina renovi sovint les càrregues de les esferes i que les guspines se succeeixin a intervals molt curts.

Les oscil·lacions produïdes en les barretes del vibrador es propaguen a l'ambient i per demostrar-ho va usar Hertz un aparell susceptible de vibrar a l'uníson amb el *vibrador*, el qual s'anomena *ressonador*.

El *ressonador* pot ésser idèntic al vibrador o ésser de diferent forma, però sempre la seva resistència òhmica ha de guardar, respecte a la seva capacitat

i de la seva autoinducció, la mateixa relació que la resistència òhmica del vibrador té respecte a la seva capacitat i autoinducció.

Complerta aquesta condició, que el càlcul superior demostra ésser:

$$r < \sqrt{\frac{4 L_s}{C}}$$

(en la qual fórmula  $r$  és la resistència òhmica,  $L_s$  el coeficient de autoinducció i  $C$  la capacitat del vibrador), si es col·loca el ressonador prop del vibrador de manera que els seus eixos siguin paral·lels s'observa un doll de guspines entre les petites esferes del ressonador. Aquestes guspines, degudes a les variacions de la força elèctrica paral·lament a l'eix dels conductors, van disminuint a mesura que s'allunya el ressonador.

El fenomen de la ressonància es produeix encara que s'interposi una pantalla de substància isoladora, però deixa de produir-se si la pantalla és conductora. Si en aquest últim cas es mou el ressonador entre la pantalla i vibrador, s'observa que en uns indrets acaben les guspines i en altres reapareixen més intenses.

Aquestes extincions, que es repeteixen a intervals de longitud igual, demostren que la transmissió de les forces elèctriques es verifica per medi de *ondes*, susceptibles d'ésser reflectades per una pantalla conductora, que en trobar-se amb les ondes incidents produeixen nodus i ventres de vibració constant. La distància entre dos nodus consecutius correspon a una semilongitud d'onda.

Per obtenir diversos nodus en els límits d'una habitació cal que les ondes siguin curtes. Amb el vibrador format per un tub de llauna de 26 centímetres de diàmetre, partit en dues parts, e's extrems pròxims de les quals estaven proveïts de casquets esfèrics va obtenir Hertz ondes de 30 centímetres solament. El ressonador era un fil recte de un metre de longitud, igualment partit en dos i proveït de petites esferes entre les quals saltaven les guspines.

Com hem indicat, existeix una analogia perfecta entre les ondes electromagnètiques, les lluminoses i les calorífiques, diferenciant-se únicament per la longitud i la freqüència, puig mentre les ondes electromagnètiques més curtes són d'uns 50 mil·límetres i la seva freqüència es d'uns 50 milions de períodes per segon, les lluminoses, per exemple tenen una longitud de 15 milionèsimes de mil·límetre i una freqüència d'uns 750 trilions de períodes per segon.

Les ondes electromagnètiques, com les seves similars les lluminoses i les calorífiques, no es propaguen per medi del aire, puix es transmeten també en el buit, sinó que es consideren com a vibracions de l'èter, que omple l'espai tot i penetra en tots els cossos.

## CORRENTS INDUÏTS

### *Problemes*

1) Una espira circular tancada de 20 cm de diàmetre, normal a un camp magnètic que té una inducció de 5000 línies per  $\text{cm}^2$ , talla normalment les línies del dit camp amb una velocitat de 15 m per segon. Quina serà la f. e. m. desenrotllada a l'espira?

2) Què entenem per constant de temps?

3) Quin és el coeficient d'autoinducció d'un solenoide de 30 cm de longitud, si la longitud total del fil que la forma és de 160 m?

4) Un conductor recte de 0,5 m de longitud que es mou amb una velocitat de 20 m per segon, en un camp la inducció del qual és de 6000 línies de força per  $\text{cm}^2$ , talla normalment les línies de força i l'angle que la direcció del conductor forma amb una perpendicular a la direcció del moviment és de  $60^\circ$ . Trobeu la f. e. m. desenrotllada en el conductor.

5) Quina relació hi ha d'haver entre la resistència òhmica, el coeficient d'autoinducció i la capacitat perquè es produeixi una descàrrega oscil·lant?

6) La tensió aplicada als borns primaris d'una bobina de Ruhmkorff és de 10 volts. La bobina primària té 100 espires i la secundària 1 000 000. Quina serà la tensió secundària si no hi ha dispersió i el corrent secundari és nul?

7) Trobeu el coeficient d'autoinducció d'un solenoide de 40 cm de longitud i 1,5 cm de diàmetre, format per 1000 espires.

8) Quina seria la tensió desenrotllada en el conductor del problema 4 si l'angle esmentat fos de  $90^\circ$ ?

9) Un conductor talla 5 000 000 de línies de força en 0,1 segons; quina força electromotriu desenrotlla?

10) Què és una resistència inductiva?

11) Per què és major el coeficient d'autoinducció d'una bobina amb nucli de ferro que sense?

12) Quin és el nombre d'espires d'un solenoide de 30 cm de longitud i 1,2 cm de diàmetre si té un coeficient d'autoinducció de 0,008 henris?

13) Trobeu el coeficient d'inducció mútua de dues bobines sense nucli de ferro de 1000 i 600 espires respectivament, les longituds de les quals són

20 i 25 cm i son diàmetre comú és de 4,5 cm. que està la una en front de l'altra amb una separació de 3 cm, admetent que no hi ha dispersió

14) Com s'ha de moure i estar situat un conductor que es troba en un camp magnètic, per què doni la f. e. m. màxima, amb una longitud, velocitat i densitat de flux donades?

15) Quan el coeficient d'inducció mútua de dues bobines serà igual al coeficient d'autoinducció de qualsevol d'elles, si estan muntades en un mateix nucli?

16) Per una bobina de 1500 espires passa un corrent de 5 ampers i produeix un flux de 600 000 línies de força; quin serà el coeficient d'autoinducció de la dita bobina?

17) Quants ampers calen per produir un flux de 1 0000 línies de força, en una bobina el coeficient d'autoinducció de la qual és de 0,04 henris i consta de 800 espires?

18) En quin sentit va el corrent induït quan en una bobina Ruhmkorff s'interromp el corrent primari?

19) Com decreix la intensitat del corrent en una descàrrega oscil·lant?

20) Què són els corrents de Foucault?

21) Quina és la longitud del fil d'un solenoide de 50 cm de longitud el coeficient d'autoinducció del qual és de 0,03 henris?

22) Què és la resistència aparent d'un circuit que presenta autoinducció?



8.

538.5 Ext

5-02/15 80

GENERALITAT  
DE CATALUNYA

BIBLIOTECA POPULAR  
«PERE VILA»

Reg. 3525  
Sig. 538.5  
Ext.

RF-6-34



5  
6