

Mancomunitat de Catalunya

EXTENSIO  
D'ENSENYAMENT  
TÈCNIC



TEXT N.º 35

GALVANÒMETRES

Carrer d'Urgell 187 Barcelona



## GALVANÓMETRES

### DIFERENTS MANERES DE MESURAR LA INTENSITAT D'UN CORRENT

1. Qualsevol dels efectes que produeix el corrent elèctric pot servir pel mesurament de sa intensitat, amb tal que els dits efectes puguin ésser expressats en números.

Sabem que l'agulla imantada es desvia de sa posició d'equilibri si es troba prop d'un conductor recorregut per un corrent i que, de la mateixa manera, un conductor mòbil que es troba en un camp magnètic pren una posició determinada en quant és llençada per ell un corrent elèctric. Els aparells que, basats en aquest principi, són destinats a mesurar la intensitat d'un corrent, són anomenats *galvanòmetres*.

També pot ésser empleada l'acció que un corrent exerceix sobre un altre i en aquest cas l'aparell pren el nom de *dinamòmetre*.

La dilatació d'un conductor, deguda a l'escalfament produït per un corrent que el recorre, pot servir així mateix per a mesurar la intensitat del corrent que la produï i, per últim, l'acció química dels corrents constitueix igualment un medi per a averiguar sa intensitat, aplicant les lleis de Faraday a les descomposicions químiques produïdes pels corrents. En aquest llibre ens ocuparem exclusivament de l'estudi dels galvanòmetres, bo i explicant llurs diferents tipus i la manera de manejar-los.

## GALVANÓMETRES

2. Un galvanòmetre es compon, en general, d'una agulla imantada suspesa d'un fil de seda sense retòrcer, o muntada sobre un piu que li permet moure's en un pla horitzontal, situada en el centre d'una bobina recorreguda pel corrent la intensitat del qual es tracta de mesurar.



Si l'agulla no estigués sollicitada sinó per la força que sobre d'ella exerceix el corrent, es col·locaria normalment al pla de la bobina, qualsevulla que fós la intensitat d'aquesta; així és que per mesurar aquesta intensitat cal que l'agulla es trobi sotmesa a una acció antagonista de valor conegut, i de la igualtat d'aquesta acció i l'exercida pel corrent, es pot deduir fàcilment la intensitat.

En alguns galvanòmetres, la força antagonista és la torsió del fil de suspensió o d'un ressort en hèlix, produïda per la desviació mateixa de l'agulla imantada, però en la majoria d'ells aquesta força prové del camp magnètic en què es troba col·locat el galvanòmetre. Estudiem el cas en què aquest camp sigui el camp magnètic terrestre.

3. Sigui  $ab$  fig. 1, una agulla imantada horitzontal que sota la influència del magnetisme terrestre es col·locaria en la direcció  $SN$  del meridià magnètic del

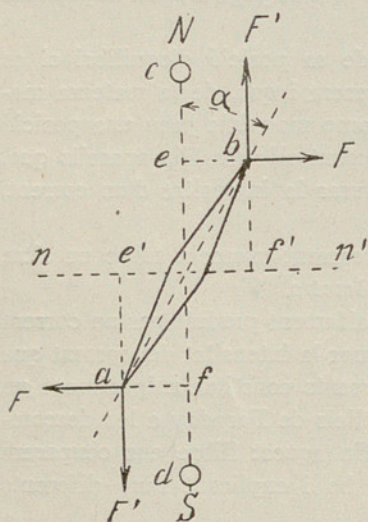


FIG. 1

lloc en que es faci l'experiment i  $cd$  una bobina, que suposem formada per una sola espira de fil, representada pel tall d'un pla horitzontal que passi per l'eix de l'agulla, col·locada en el pla del meridià magnètic. En quant per l'espira passa un corrent, l'agulla es desvia de sa primera posició i després d'algunes oscil·lacions, l'amplitud de les quals va decreixent, es detura en un punt situat a la dreta o a l'esquerra del pla del meridià magnètic, segons sigui el sentit del corrent en la bobina. L'angle que forma l'eix de l'agulla, en sa nova posició d'equilibri, amb la recta  $NS$ , o sigui l'angle de desviació, depèn de la intensitat del corrent que circula per l'espira i de la component horitzontal del magnetisme terrestre i per tant pot servir per a mesurar la dita intensitat sempre que coneguem la relació que lliga les dites quantitats.

### GALVANÓMETRE DE TANGENTS

4. Sigui  $i$  la intensitat, en unitats C. G. S., del corrent que circula per l'espira  $cd$ , fig. 1, que suposem que té un radi de  $r$  centímetres, molt gran amb relació a la longitud de l'agulla. Sabem que si un corrent de la unitat C. G. S.

d'intensitat recorre una circumferència de 1 cm. de radi, exerceix sobre la unitat de pol magnètic situada en son centre una força de  $2\pi$  dines. Si la circumferència té  $r$  centímetres de radi, la força serà  $\frac{2\pi}{r}$  i si el pol té una intensitat  $m$  i el corrent és de  $i$  unitats C. G. S. la força amb què el corrent actua sobre el pol serà  $mi$  vegades l'anterior o sigui  $\frac{2\pi mi}{r}$  dines.

Cada pol de l'agulla  $ab$  és sollicitat per una força  $F = \frac{2\pi mi}{r}$ , i com que ambdues són paral·leles i de sentit oposat, formen un parell que tendeix a col·locar l'agulla en la direcció  $nn'$  normal a  $NS$ . El moment d'aquest aparell és la força aplicada a un dels pols multiplicada per la projecció de la distància entre els pols sobre la recta  $NS$  normal a la direcció de les forces  $F$ , o sigui  $\frac{2\pi mi}{r} \cdot ef$ .

Designant per  $h$  la component horitzontal del magnetisme terrestre o sigui la força que exerceix el magnetisme terrestre sobre la unitat de pol per a moure'l en sentit horitzontal, la que exercirà sobre un pol d'intensitat  $m$  serà  $F' = mh$ . Cada un dels pols de l'agulla imantada està sotmès a aquesta força  $F'$  i com que són iguals i de sentits contraris, formen un parell que tendeix a situar l'agulla en la direcció  $NS$ . Aquest parell té per moment la força aplicada a cada pol multiplicada per la projecció  $e'f'$  de  $ab$  sobre la recta  $nn'$  normal a la direcció de les forces, o sigui  $mh \cdot e'f'$ . Ja que hi ha equilibri els dos moments trobats són iguals, per tant

$$\frac{2\pi mi}{r} \cdot ef = mh \cdot e'f'$$

però  $ef = ab \cos \alpha$  i  $e'f' = ab \sin \alpha$ , per tant

$$\frac{2\pi mi}{r} \cdot ab \cos \alpha = mh \cdot ab \sin \alpha,$$

o bé

$$\frac{2\pi mi}{r} \cos \alpha = mh \sin \alpha.$$

d'on

$$i = \frac{r mh \sin \alpha}{2\pi m \cos \alpha}$$

però  $\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha$ ; doncs

$$i = \frac{rh}{2\pi} \operatorname{tg} \alpha.$$

Si en lloc d'una sola espira recorreguda pel corrent d'intensitat  $i$  considerem una bobina de  $n$  espires amb la mateixa intensitat de corrent, l'acció d'aquesta bobina serà igual a la d'un corrent d'intensitat  $ni$ ; caldrà doncs, dividir la valor trobada, per  $n$  i tindrem

$$i = \frac{rh}{2\pi n} \operatorname{tg} \alpha$$

En aquesta fórmula  $i$  és expressat en unitats C. G. S. d'intensitat i per tenir-la en ampers caldrà multiplicar per 10 la valor trobada, i tindrem finalment

$$i = \frac{5rh}{\pi n} \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

Aquesta fórmula mostra que l'intensitat del corrent és proporcional a la tangent de l'angle de desviació i independent de la intensitat magnètica de l'agulla i permet calcular en ampers la intensitat d'un corrent sempre que siguin coneguts el radi i nombre d'espires de la bobina, la component horitzontal i l'angle de desviació, la tangent del qual trobarém en una taula de tangents.

5. *Constant del galvanòmetre.*—En la fórmula (1) del número anterior,  $r$  i  $n$  tenen valors constants per a un mateix galvanòmetre i en quant a la component horitzontal  $h$  del magnetisme terrestre, pot considerar-se com a coneguda, si bé varia no sols segons la situació geogràfica del lloc de l'experiment, sinó també segons l'època, de manera que de res no serviria donar una taula de les components horitzontals dels diferents llocs observades en anys anteriors i cal buscar-la en les taules meteorològiques de l'any en què un experimenta. La fracció  $\frac{5rh}{n}$  té una valor que pot ésser calculada, i anomenant-la  $k$ , tenim en general

$$i = k \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

La valor de la constant  $k$  és anomenada *constant del galvanòmetre* i per trobar l'intensitat del corrent, basta multiplicar la tangent de l'angle de desviació per la dita constant.

6. *Determinació de la constant.*—Segons hem vist, la constant d'un galvanòmetre pot ésser determinada pel càlcul, però és preferible trobar-la experimentalment i és indispensable fer-ho així quan falten dades precises de la valor de la component horitzontal. Per a ço farem passar per la bobina un co-

rent d'intensitat perfectament coneguda  $i'$  que produirà una desviació  $\alpha'$  i tindrem segons la fórmula (1) del número anterior

$$i' = k \operatorname{tg} \alpha'$$

d'on es dedueix

$$k = \frac{i'}{\operatorname{tg} \alpha'}$$

Coneguda la valor de  $k$  podem trobar, mitjançant la fórmula citada, l'intensitat de qualsevulla corrent, tenint, però, molt en compte que, variant segons l'època la component horitzontal, caldrà comprovar de tant en tant la valor de la constant  $k$ .

Si de la fórmula (1) del número anterior es dedueix la valor de  $k = \frac{i}{\operatorname{tg} \alpha}$ , d'aquesta i la trobada anteriorment es despren

$$\frac{i}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{i'}{\operatorname{tg} \alpha'}$$

de manera que les intensitats són proporcionals a les tangents dels angles de desviació, i per tant

$$i = i' \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha'}$$

fórmula que permet calcular l'intensitat d'un corrent quan coneixem la desviació que produeix i la que ocasiona un corrent d'intensitat donada.

## LECTURA DE LA DESVIACIÓ

7. *Lectura directa.*—Per apreciar la valor de la desviació soferta per l'agulla imantada, alguns galvanòmetres tenen sota d'aquesta un cercle graduat i la divisió en què es detura dóna a conèixer en graus la desviació soferta. En aquests casos l'agulla, que pels motius que explicarem, ha d'ésser molt curta, porta enganxat un índex molt lleuger d'alumini que és el que indica la desviació. És evident que quant major sigui la longitud de l'índex, i per tant el diàmetre del cercle graduat, millor podrà apreciar-se la lectura de la desviació, però és fàcil comprendre l'impossibilitat de donar-los les dimensions suficients per a trobar la valor de l'intensitat del corrent amb l'aproximació que alguns experiments requereixen, i d'aquí la necessitat de procedir d'altra manera per a la lectura de l'angle de desviació.

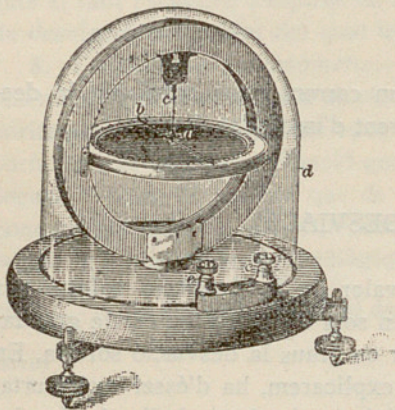
8. *Necessitat d'una agulla imantada curta.*—Les fórmules que hem deduït

en els números anteriors estan basades en el supòsit que els camps magnètics a què està sotmesa l'agulla són perfectament uniformes, i per tant que ses línies de força són paral·leles. Qualsevol que sigui la longitud de l'agulla, sos pols es troben, en totes les posicions que aquella pugui pendre, en un camp uniforme, per ço que al magnetisme terrestre es refereix, però no ocorre la mateixa cosa respecte al camp produït per la bobina, el qual, essent aquesta de poca longitud, sols és uniforme en el centre de la circumferència. De manera que per disminuir en el possible l'error comesa, la longitud de l'agulla ha d'ésser molt petita comparada amb el diàmetre de la bobina.

Com que amb una agulla de poca longitud és impossible llegir la desviació obtinguda, es comprèn la necessitat de proveir-la d'un índex de longitud apropiada que recorre les divisions del cercle graduat.

8. La fig. 2 representa un galvanòmetre en què la lectura és verificada de la manera indicada.

Consta aquest aparell d'un sòcol sostingut per tres cargols d'anivellació sobre el qual va montada la bobina, en la part interior més alta de la qual va fixat un fil de seda fi sense retòrcer, que sosté l'agulla imantada. L'extrem superior del fil de suspensió va fixat a un cargol que permet pujar o baixar l'agulla per a situar-la en el centre de la bobina. Un índex d'alumini enganxat a l'agulla recorre les divisions d'un cercle graduat col·locat horitzontalment sota d'ell i el conjunt és protegit per una campana de vidre per a impedir que els corrents d'aire puguin falsejar les indicacions de l'agulla.



FIG

Els extrems del fil de la bobina acaben en dos borns situats a l'exterior, als quals s'uneixen els conductors del circuit, la intensitat de corrent dels quals desitgem mesurar.

Per procedir a un mesurament començarem per col·locar l'aparell de manera que el pla de la bobina coincideixi amb el meridià del lloc en què ope-rem i després anivellarem l'aparell perquè el fil de suspensió sigui normal al pla del cercle graduat. El pla vertical que passa per l'agulla coincidirà amb el de la bobina i amb el del meridià magnètic, i l'índex assenyalarà el zero de

l'escala graduada. Fet això llençarém el corrent per la bobina i la tangent de l'angle de desviació multiplicada per la constant del galvanòmetre donarà la intensitat del corrent.

Si per qualsevol motiu hi ha dubte de si la desviació observada és la que correspon, farem passar el corrent en sentit invers en la bobina, tot valent-nos d'un commutador; si la desviació obtinguda en sentit oposat és igual a l'anterior, l'aparell estarà ben orientat i la desviació llegida serà correcta, i si les desviacions produïdes a un costat i a l'altre del zero són diferents, això és prova que el pla de la bobina no coincideix amb el del meridià magnètic, i en aquest cas pendrem com desviació la mitjana d'ambdues desviacions.

### ERROR DE PARAL-LEXE I MANERA D'EVITAR-LO

10.—Perquè la lectura de l'angle de desviació sigui exacta, cal que el raig visual es trobi en un pla normal al cercle graduat. En tota altra posició llegirém un angle que serà major o menor que el veritable, segons sigui la posició de l'observador respecte al dit pla.

En la fig. 3  $aa$  és el pla del cercle graduat i  $b$  l'índex. El veritable angle de desviació és  $od$ , essent  $o$  el zero de l'escala i estant  $d$  en la prolongació de la recta  $cb$  continguda en un pla normal a  $ab$ . Si mirem des de  $c'$ , llegirém un angle  $od' = od + dd'$ , i si mirem des de  $c''$ , llegirém l'angle  $od'' = od + dd''$ . En ambdós casos hi ha error, en el primer per excés i en el segon per defecte, i aquest error, que prové de la distància  $bd$  de l'índex al cercle graduat, és conegut amb el nom d'*error de paral·laxe*. Per disminuir l'error de paral·laxe basta reduir la distància  $bd$ , és a dir acostar tant com sigui possible el cercle graduat a l'índex, i per suprimir-lo, col·locarém horitzontalment un mirall en el cercle, sota de l'índex, de manera que un vegi per reflexió l'imatge d'aquest. Quan l'imatge queda amagada per l'índex, el raig visual es trobarà en el pla normal al cercle graduat i la lectura serà exacta.

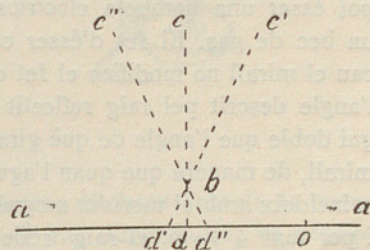


FIG. 3

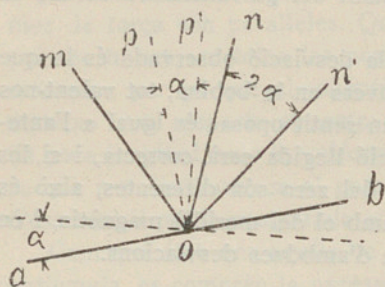


FIG. 4

*mop* i *pon* formats pels dits raigs amb la normal al mirall en el punt *o* són iguals; anomenem-los *i*. Si el mirall gira d'un angle  $\alpha$ , la normal haurà girat del mateix angle i el raig reflectit serà *on'*, el qual formarà amb la nova normal *op'* un angle  $n'op' = mop' = i + \alpha$ . Però és evident que l'angle de què ha girat el raig reflectit, o sigui *non'* és igual a  $mon' - mon$ ; per tant  $non' = 2(i + \alpha) - 2i = 2\alpha$ .

L'aplicació d'aquest principi a la lectura de la desviació de l'agulla d'un galvanòmetre és com segueix: *ab*, fig. 5, és l'agulla i *c* un petit mirall còncau enganxat a ella que reflecteix en una escala *ef*, col·locada paral·lelament al pla de la bobina, un raig lluminós procedent d'un focus *l* que pot ésser una bombeta elèctrica o un bec de gas. El fet d'ésser còncau el mirall no modifica el fet que l'angle descrit pel raig reflectit sigui doble que l'angle de què gira el mirall, de manera que quan l'agulla coincideix amb el meridià magnètic i per tant  $\alpha = 0$ , el raig reflectit passa pel zero *o* de l'escala, i quan aquell gira de l'angle  $\alpha$ , el raig lluminós reflectit descriu un angle

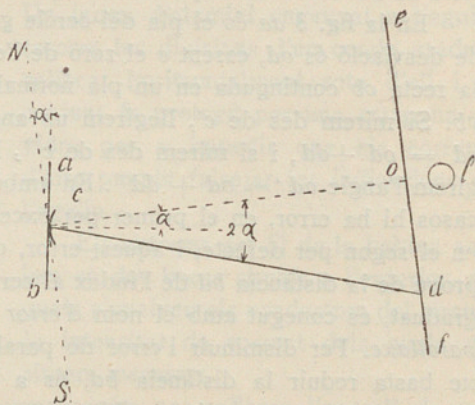


FIG. 5

$2\alpha$  i assenyala en l'escala una divisió per a la qual es verifica  $\frac{od}{oc} = \text{tg } 2\alpha$ .

Ara bé, com que els angles de desviació són generalment molt petits,

11. *Lectura per reflexió.* — Havem vist que la lectura directa no permet obtenir amb l'exactitud deguda la valor de la desviació soferta per l'agulla, i per remediare aquest defecte ideà Sir W. Thomson la lectura per reflexió, fundada en el fet, que si un mirall gira de cert angle, al raig lluminós reflectit per ell descriu un angle doble. La demostració general d'aquest principi és la següent. Sigui *ab*, fig. 4, un mirall, *mo* un raig incident i *on* el reflectit; els angles

podem admetre, sense error sensible, que la tangent és igual a l'angle i per tant  $\operatorname{tg} 2 \alpha = 2 \operatorname{tg} \alpha$ , d'on es dedueix  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{od}{2 oc}$

Si l'escala és dividida en mil·límetres, la distància  $oc$  és de 1 m i  $d$  assenyalada 17 mil·límetres, tindrem  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{17}{2 \times 1000} = 0,0085$ , que correspon a un angle de 30'. Si volguéssim obtenir una desviació igual amb el sistema de lectura directa caldria que l'index tingués 2 metres de longitud!

Del que havem exposat es dedueix que com major sigui la distància de l'escala a l'aparell, major serà, per a un mateix angle de desviació, la distància  $od$ , i per tant més precisa serà la lectura.

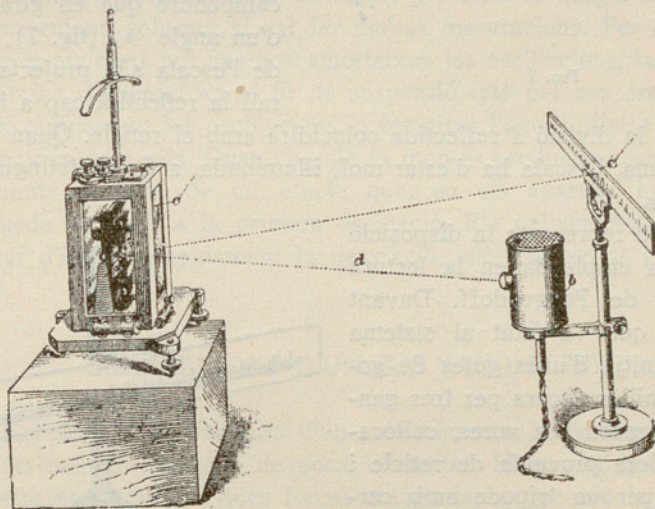


FIG. 6

12. *Escala transparent.*—En els galvanòmetres moderns l'escala és transparent i l'observador, situat darrera d'ella, veu el traç lluminós que en recorre les divisions. Generalment el focus lluminós va cobert per un tub que té una obertura proveïda d'un reticle vertical, i aquest és el que es projecta en l'escala formant un traç fosc en mig d'una porció il·luminada.

La situació respectiva del galvanòmetre, l'escala i el focus lluminós són vistos en la fig. 6, que representa els dits aparells en el moment de verificar una lectura valent-se d'una escala transparent.

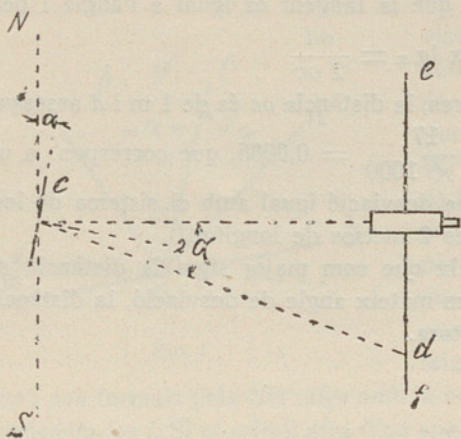


FIG. 7

manera que la divisió *d* reflectida coincidirà amb el reticle. Quan és empleat aquest sistema, l'escala ha d'estar molt il·luminada, a fi de distingir clarament ses divisions.

La fig. 8 representa la disposició de la ullera empleada en la lectura pel mètode de Poggendorff. Davant del mirall, que va fixat al sistema mòbil per mitjà d'unes gotes de goma laca o millor encara per tres ganxets que abracen ses vores, col·locarem una ullera proveïda de reticle i sostinguda per un trípode amb cargols d'anivellació que porta una escala horitzontal perpendicular a l'eix òptic de la ullera. La distància de l'escala al mirall és de 1 a 3 metres.

L'eix òptic de la ullera és orientat de manera que el pla vertical que passa per ell sigui normal al mirall quan aquest es troba en repòs i passi per son centre. Per això cal procurar que els extrems de l'escala estiguin a igual

Si el galvanòmetre, donada sa construcció, és sensible a l'influència dels corrents exteriors que es troben pròxims, serà preferible substituir la bombeta elèctrica per un bec de gas col·locat en la part superior i central de l'escala.

13. En la disposició ideada per Poggendorff és substituïda la bombeta *l* (fig. 5) per una ullera amb reticle, i el mirall *c*, en lloc d'ésser còncau, es pla. Es fàcil comprendre que en girar el mirall d'un angle  $\alpha$ , (fig. 7), una porció de l'escala s'hi projectarà i el mirall la reflectirà cap a la ullera de

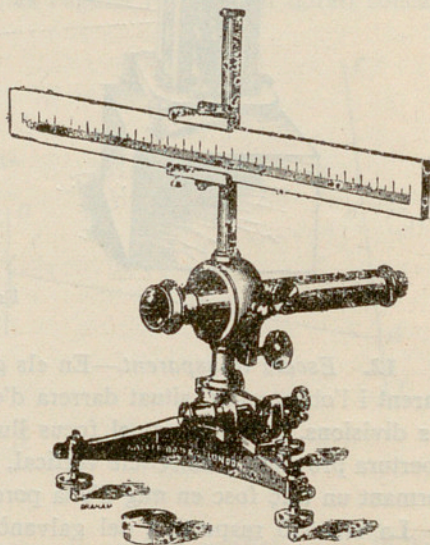


FIG. 8

distància del mirall, i anivellar el tríode per mitjà dels tres cargols en què descansa i graduar la inclinació de la ullera fins a aconseguir veure al seu través l'imatge del centre de l'escala. Després comprovarem si movent el mirall igualment a un altre costat de sa posició de repòs, són llegides desviacions iguals a l'escala. Els nombres indicats en aquesta estan invertits, a fi de veure'ls en sa posició normal amb la ullera.

### GALVANÓMETRES APERIÒDICS

14. Quan es tanca el circuit d'un galvanòmetre ordinari l'agulla comença una sèrie d'oscil·lacions a una i altra part del zero, que van disminuint fins que queda en equilibri, però el temps necessari per això és llarg i constitueix un seriós inconvenient, sobretot si cal fer moltes mesuracions. Per evitar aquest defecte són usats certs mitjans que amorteixen les oscil·lacions, tals com col·locar una làmina d'alumini en el fil de suspensió que per son frec amb l'aire disminueix ràpidament les oscil·lacions, o fer girar l'agulla dintre una peça de coure molt pròxima a ella. Quan l'agulla es mou es produeixen en la massa de coure corrents paràsits de tal efecte que, en els aparells ben disposats, l'agulla queda immòbil a la primera oscil·lació. Els galvanòmetres que tenen la propietat d'indicar ràpidament la desviació, són anomenats galvanòmetres *aperiòdics*.

### SENSIBILITAT D'UN GALVANÓMETRE

15. Entenem per *sensibilitat* d'un galvanòmetre, la facilitat amb què indica la presència de corrents de poca intensitat. Hem vist que l'agulla del galvanòmetre és sotmesa a dues forces antagonistes, que són la produïda pel corrent de la bobina i l'exercida pel magnetisme terrestre. La primera de les dites forces tendeix a produir la desviació de l'agulla i la segona a impedir-la, d'on es dedueix que tota disposició que augmenti l'acció del corrent o debiliti la del magnetisme terrestre donarà una desviació major de l'agulla i per tant augmentarà la sensibilitat de l'aparell. La resistència que troba l'agulla per a moure's actua en el mateix sentit que el magnetisme terrestre i la disminució d'aquesta resistència constitueix ja un medi d'augmentar la sensibilitat. Una agulla suspesa d'un fil de seda sense retòrcer presenta molta menys resistència a les oscil·lacions que una de muntada sobre un piu, i axí és preferida la primera disposició a la segona.

Per augmentar l'acció exercida pel corrent hi ha dos mitjans: disminuir la distància de l'agulla a la bobina, o ço que és igual reduir tant com sigui possible el diàmetre d'aquesta, o construir la bobina amb gran nombre d'espines, la qual cosa dóna per resultat un augment de resistència.

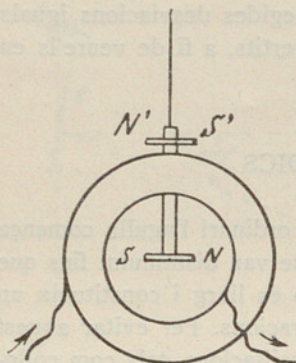


FIG. 9

Per disminuir l'efecte produït per la component horitzontal del magnetisme terrestre col·locarem prop del galvanòmetre un imant, els pols del qual estan orientats de tal manera que redueixen l'acció del magnetisme terrestre i demés, és empleat un sistema, anomenat *astàtic*, que consisteix, fig. 9, en dues agulles de moments quasi iguals, paral·leles i disposades de manera que no pot girar una sense l'altra. Els pols de les agulles estan invertits, de manera que l'acció directiva de la component horitzontal del magnetisme terrestre correspondrà a la diferència de l'esforç exercint sobre

ambdues i con que són quasi iguals de longitud i intensitat d'imantació, es comprèn que basta una petita intensitat de corrent per a produir una desviació molt notable del sistema. De les dues agulles, l'una es troba a l'interior de la bobina i l'altra al damunt, i aquesta disposició augmenta l'acció del corrent sobre el conjunt de les agulles, puix l'interior reb la de tota la bobina, com si es trobés sola, i l'exterior tendeix a girar en el mateix sentit, com és fàcil comprovar aplicant la regla d'Ampère. En efecte, si bé les parts laterals i la inferior de la bobina tendeixen a fer-la girar en sentit oposat al de l'agulla interior, la part superior tendeix a moure-la en el mateix sentit, i com que es troba més pròxima, predomina sobre les altres i el resultat és comunicar-li un impuls del mateix sentit. Malgrat d'això, l'objecte del sistema astàtic és, segons hem indicat, disminuir l'acció del camp terrestre sobre l'agulla.

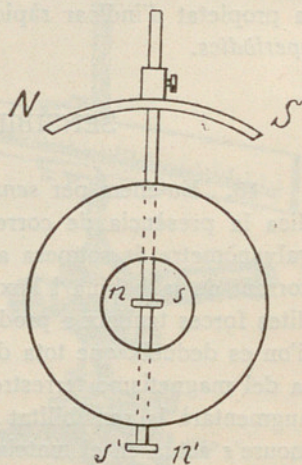


FIG 10

De les dues agulles del sistema astàtic, l'una es troba sempre a l'interior de la bobina i l'altra pot ésser col·locada damunt la bobina o al seu dessor.

La fig. 10 mostra una bobina amb un sistema astàtic i *imant director* N S, l'efecte del qual és, com hem indicat, disminuir l'acció del camp terrestre. Aquest imant és col·locat sobre el sistema astàtic i pot ésser pujat o baixat a voluntat i ésser orientat de la manera convenient a fi de disminuir o augmentar l'esforç director.

Ja que hi ha interès a disminuir l'acció directiu del camp magnètic terrestre, a fi d'augmentar la sensibilitat d'un galvanòmetre i que, demés, la desviació és independent del moment magnètic de l'agulla, sembla que podríem emprar agulles molt poc imantades i fins de ferro dolç, que s'imantessin sota l'acció del camp terrestre i del produït pel corrent de la bobina, però l'influència d'aquest corrent sobre una agulla tal seria molt dèbil i per consegüent la desviació sumament lenta. Per altra part, l'eix magnètic de l'agulla variaria amb la imantació rebuda i les desviacions observades no serien exactes. Per aquests motius, les agulles empleades en els galvanòmetres estan fortment imantades i llur magnetisme roman invariable, àdhuc sota la influència de corrents intensos.

16. Quan l'acció de la component horitzontal es troba modificada pels procediments descrits, la determinació de la constant del galvanòmetre ha d'ésser feta experimentalment i no basant-se en les dimensions de la bobina i la component horitzontal, puix l'acció magnètica que actua sobre l'agulla és la resultant de la dita component sobre cada una de les agulles i el magnetisme de l'imant director. En aquest cas no importa que existeixin imants prop de l'aparell o peces de ferro, mentre estiguin fixos, però si el camp magnètic terrestre actua sols com a director i la constant és determinada pel càlcul, el galvanòmetre haurà d'estar a soplúig de tota influència magnètica exterior i no podrà entrar en la seva construcció peça ni cap cargol de ferro.

17. La fig. 11 representa un galvanòmetre d'imant mòbil que consis-

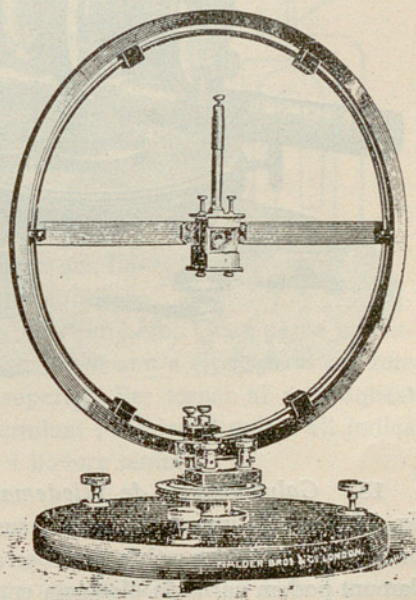


FIG. 11

teix en dues bobines concèntriques de gran diàmetre, de les quals l'exterior con-

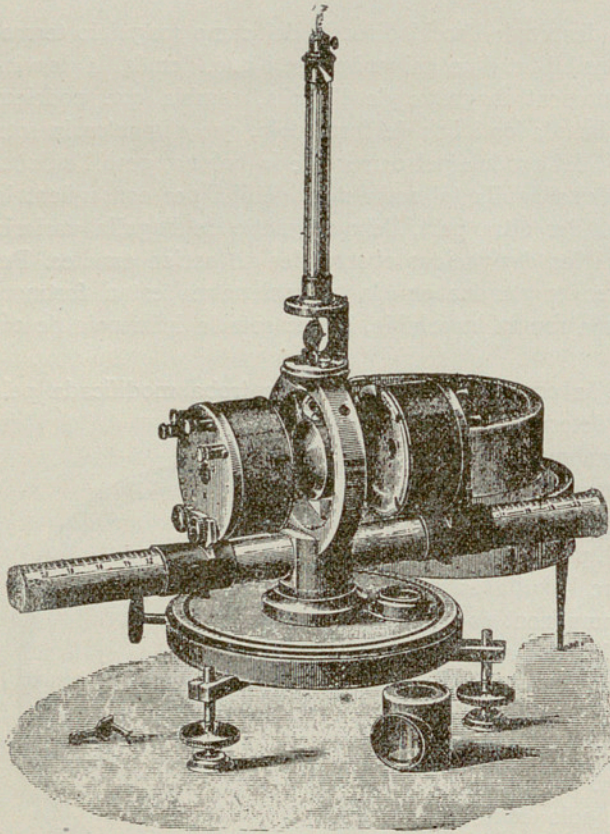


FIG 12

venientment isolada de l'altra, és formada per una sola espira consistent en una cinta de coure. Cada una d'aquestes bobines té son parell de borns corresponents, i per llur mitjà podem mesurar intensitats molt variables. En un diàmetre horitzontal es troba l'imant mòbil proveït de sa suspensió, i el conjunt va muntat de manera que pot girar sobre la placa inferior que li serveix de base, la qual descansa sobre tres cargols d'anivellació. Una vegada obtinguda aquesta, farem girar el pla de les bobines fins que coincideixi amb el meridià magnètic. La lectura de la desviació és efectuada mitjançant un mirall fixat a l'agulla; aquest galvanòmetre és, doncs, de reflexió.

18. *Galvanòmetre de Wiedemann.*—En aquest sistema, representat en la fig. 12, l'agulla imantada oscilla, suspesa d'un fil de seda, entre dues bobines paral·leles muntades sobre una barra metàl·lica de manera que lliscant al seu damunt podem variar la distància entre elles i l'agulla i per consegüent augmentar o minvar la sensibilitat del galvanòmetre. Designant per  $d$  la distància

mitjana de les espires a l'agulla, la intensitat del corrent és donada per la fórmula

$$i = h \frac{(r^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}}{2 \pi r^2 n} \operatorname{tg} \alpha$$

en la qual  $h$  és la component horitzontal del camp terrestre,  $r$  el radi de l'espira mitjana i  $n$  el nombre total d'espires d'ambdues bobines.

Si en aquesta fórmula suposem  $d = 0$ , ço que equival a admetre que existeix sols una bobina de  $n$  espires en el centre de la qual es troba l'agulla, obtenim

$$i = h \frac{(r^2)^{\frac{3}{2}}}{2 \pi r^2 n} \operatorname{tg} \alpha, \text{ ó bé}$$

$$i = h \frac{r}{2 \pi n} \operatorname{tg} \alpha,$$

que és la valor trobada en el núm. 4 per una intensitat de  $i$  unitats C. G. S.

L'aparell va proveït de bobines de recanvi que permeten mesurar corrents de diferents intensitats i les lectures són verificades pel sistema de reflexió.

19. *Galvanòmetre de torsió de Siemens i Halske.*— En el galvanòmetre de Siemens i Halske, fig. 13, l'agulla està substituïda per un imant  $a$  que volta dintre una bobina rectangular  $b$ , suspès d'un fil de seda unit a un botó col·locat a la part superior, i és dirigit per un ressort en hèlix. Quan passa un corrent per la bobina, l'imant es desvia i l'índex  $c$  corbat unit a ell s'aparta del zero del cercle graduat que es troba a la part superior. Per tornar al zero aquest índex, cal girar el cargol  $t$  en un sentit determinat i l'índex  $d$  unit a ell indica en el cercle, l'angle  $\alpha$  necessari per a això, i llavors tenim

$$i = \frac{\alpha}{k}$$

on  $k$  és una constant que cal determinar experimentalment. Amb aquest galvanòmetre podem mesurar corrents d'intensitats molt diferents, puix el ressort

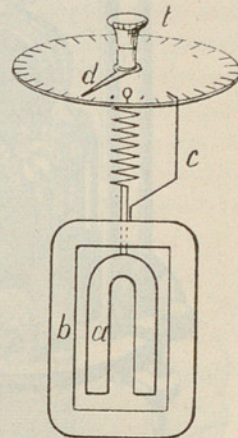


FIG. 13

pot girar de  $360^\circ$  sens arribar al límit d'elasticitat. Com que la desviació de l'índex *c* no és presa en consideració, és limitada mitjançant dos topadors col·locats a l'una i a l'altra part del zero i molt pròxims. Els moviments del sistema mòbil són amortits per unes paletes de mica, no indicades en el croquis.

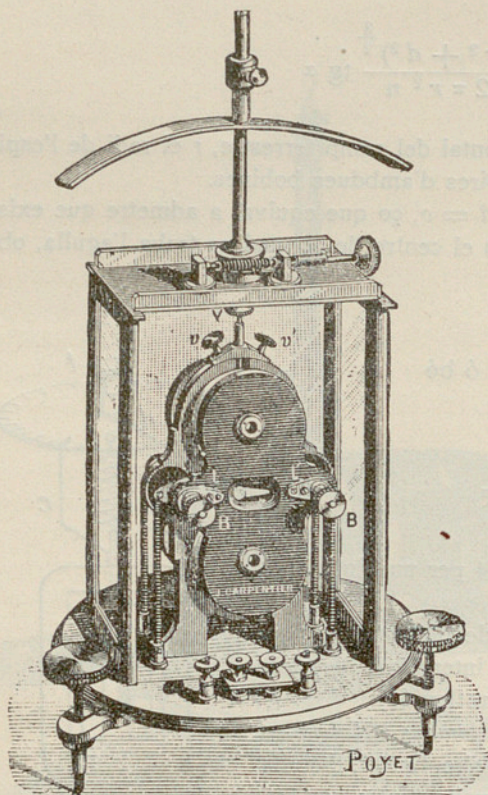


FIG. 14

rell de bobines paral·leles actua sobre son joc d'imants corresponent i el corrent va en ells en tal sentit, que l'acció exercida pel parell superior és exactament igual i oposat a la produïda per l'inferior, de manera que si les bobines estan connectades en sèrie, aquestes accions s'equilibren i la desviació és nul·la. L'aparell està proveït de quatre borns, dos per a cada parell de bobines i, enganxat a un dels jocs d'imants, hi ha el mirall còncau per a la lectura de la desviació.

Aquest galvanòmetre serveix especialment per a comparar corrents pel mètode de reducció a zero. Quan per un dels parells de bobines passa un corrent

## GALVANÒMETRES DIFERENCIALS

20. *Galvanòmetre de Lord Kelvin.*—Aquest aparell, representat en la fig. 14, porta dos jocs de làmines d'acer fortament imantades, fixes a un fil d'alumini suspès d'un de seda o de quars que sosté tota la part mòbil. El joc d'imants superior forma sistema astàtic amb l'inferior i giren entre dos parells de bobines muntades damunt xarneres que permeten apartar les dites bobines i examinar l'interior de l'aparell sense necessitat de desmuntar-lo. Una paleta d'alumini, fixe al fil del mateix metall, constitueix l'amortidor. Cada pa-

conegut i per l'altre un d'intensitat desconeguda, ambdós corrents seran iguals si la desviació és nulla.

## GALVANÒMETRES DE BOBINA MOBIL

21. *Galvanòmetre Deprez i d'Arsonval.*—En els galvanòmetres que havem descrit l'imant és mòbil i la bobina fixa, pero concebem que aprofitant l'acció recíproca dels imants sobre els corrents, sigui la bobina la que giri i l'imant romangui quiet.

Un dels galvanòmetres basats en aquest principi, per son fàcil maneig i gran exactitud universalment conegut, és el de Deprez i d'Arsonval. Consisteix aquest aparell, fig. 15, en un imant de ferradura fixat verticalment a un sòcol de fusta proveït de cargols d'anivellació, entre els pols del qual volta lliurement una bobina rectangular suspesa d'un fil d'argent molt fi unit per son extrem superior a un cargol. Altre fil igual a l'anterior, unit a la part inferior de la bobina i fixat la sòcol mitjançant una làmina flexible manté la bobina de manera que giri al voltant d'un eix vertical que passa per son centre. A l'interior de la bobina és col·locat un cilindre de ferro dolç, que té per objecte augmentar la intensitat del camp magnètic en el petit entreferro on es troba la bobina. En els models més nous les extremitats

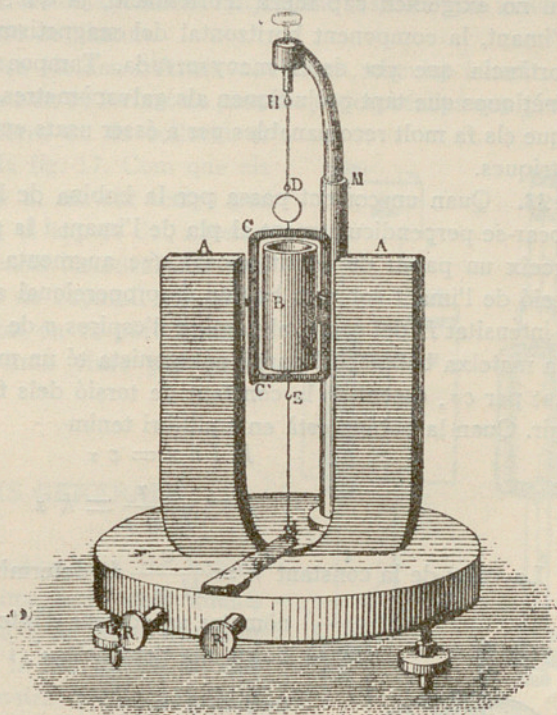


FIG 15

dels pols de l'imant tenen en sa cara interna una convexitat concèntrica amb la superfície del cilindre interior, de manera que en totes les posicions que prengui la bobina es troba en un camp uniforme. El cilindre de ferro és fixat a un suport vertical que en sa part superior porta el cargol on s'uneix el fil de suspensió. Aquest cargol té joc en sentit vertical, el qual permet col·locar la bobina en sa deguda posició respecte a l'altura i fent-lo girar es col·loca la bobina perpendicularment al pla de l'imant. La lectura de l'angle de desviació és feta per reflexió mitjançant el petit mirall muntat en el fil de suspensió.

La base de l'aparell és proveïda de dos borns que comuniquin amb la bobina mitjançant els fils d'argent que la sostenen. Els galvanòmetres de bobina mòbil no exigeixen cap mena d'orientació, ja que, donada la forta imantació de l'imant, la component horitzontal del magnetisme terrestre és de tan poca importància que pot ésser menyspreada. Tampoc cal allunyar-ne les peces magnètiques que tant perjudiquen als galvanòmetres d'imant mòbil, circumstància que els fa molt recomanables per a ésser usats en els tallers de construccions elèctriques.

22. Quan un corrent passa per la bobina de l'aparell, aquesta tendeix a col·locar-se perpendicularment al pla de l'imant i la torsió dels fils de suspensió exerceix un parell de sentit oposat que augmenta amb l'angle de desviació. L'acció de l'imant sobre la bobina és proporcional a la intensitat  $i$  del corrent, a la intensitat  $H$  del camp, al nombre d'espines  $n$  de la bobina i a la superfície  $s$  de la mateixa bobina. El parell antagonista té un moment que pot ésser representat per  $c\alpha$ , essent  $c$  la constant de torsió dels fils de suspensió i  $\alpha$  l'angle de gir. Quan la bobina està en equilibri tenim

$$H i n s = c \alpha$$

d'on

$$i = \frac{c \alpha}{H n s} = k \alpha$$

La valor de la constant  $k = \frac{c}{H n s}$  és determinada fent passar pel galva-

nòmetre un corrent d'intensitat coneguda  $i'$  que produirà una desviació  $\alpha'$ , i de l'expressió anterior de-

duirem  $k = \frac{i'}{\alpha'}$ .

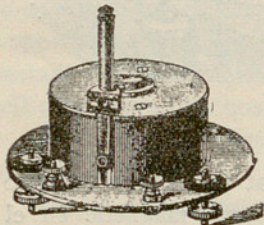


FIG. 16

23. *Galvanòmetre de Ayrton i Mather.* — La fig. 16 representa la vista exterior del galvanòmetre d'Ayrton i Mather, que pertany al tipus d'Arsonvai. L'imant director és horitzontal i de forma circular, amb un petit entreferro en el qual s'introdueix la part

mòbil tancada en un tub de llautó que encaixa en l'espai interpolar de l'imant. La bobina mòbil va dins un tub d'argent que actua d'amortidor per efecte dels corrents que s'hi indueixen en girar entre els pols de l'imant. El fil de suspensió és de bronze fosforós o d'argent i forma una cinta de  $0,27 \times 0,05$  mil·límetres i a fi de no fatigar-lo inútilment el tub de llautó va proveït d'un cargol que actua sobre un ressort el qual sosté el pes del cilindre d'argent mentre l'aparell no funciona. La lectura és feta per reflexió i per això el tub té una obertura circular tancada amb un vidre a l'altura del mirall que es troba damunt la bobina. Amb l'aparell són subministrats diversos tubs amb els sistemes mòbils adequats als usos a què sigui destinat l'aparell i les connexions s'estableixen automàticament mitjançant ressorts que actuen en introduir el tub a l'entreferro de l'imant.

24. En el galvanòmetre Holden d'Arsonval l'imant, circular i horitzontal com en el tipus Ayrton i Mather, és format de planxes superposades que presenten un tall formant entreferro on és col·locat el sistema mòbil, indicat en la fig. 17. Com que els fils de suspensió serveixen al mateix temps per a la conducció del corrent, el suport del sistema mòbil és format de dues parts isolades amb una placa d'ebonita. El conjunt de l'aparell va cobert amb un tub de llautó tancat en sa part superior i té una obertura lateral amb vidre per poder fer la lectura per reflexió.

### CONSIDERACIONS GENERALS

25. En tots els galvanòmetres de bobina mòbil cal procurar que l'imantació dels imants directores sigui molt intensa i la resistència llur ha d'ésser en relació amb la del circuit en què s'intercalen. El càlcul demostra que la sensibilitat d'un galvanòmetre és màxima quan sa resistència és igual a la del circuit exterior. Considerem una bobina formada d'una sola espira de resistència  $r$ ; si, suposant que no es perd espai, formem una bobina de les mateixes dimensions que l'anterior, però de  $n$  espires, sa resistència serà  $rn^2$  puix la longitud del fil serà  $n$  vegades l'anterior i sa secció  $\frac{1}{n}$ .

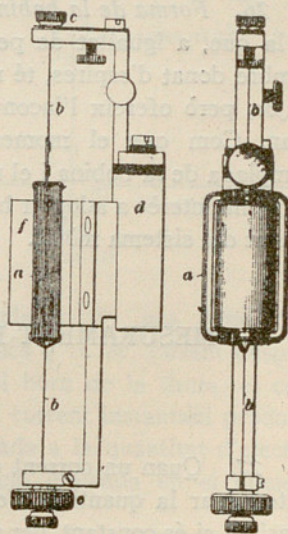


FIG. 17

Designant per  $e$  la força electromotriu que actúa en el circuit i per  $r'$  la resistència exterior, la intensitat del corrent serà

$$i = \frac{e}{r' + rn^2}$$

Segons havem vist en el núm. 20, la força electromagnètica amb què l'imant actua sobre la bobina és  $Hins$ , i substituint  $i$  per sa valor tindrem per a expressió de la dita força

$$\frac{Hnse}{r' + rn^2}$$

Ara bé, aplicant a aquesta expressió el càlcul superior es troba que son màximum correspon a  $r' = rn^2$  és a dir quan la resistència de la bobina del galvanòmetre és igual a la del circuit exterior. Aquesta condició és difícil d'omplir, però si podem escollir entre diversos galvanòmetres, serà convenient triar aquell que amb major aproximació complirà aquest requisit.

26. *Forma de la bobina mòbil.*—De les bobines rectangulars, la quadrada és la que, a igualtat de perímetre i per consegüent de resistència, per a un nombre donat d'espines, té major superfície i per tant la que ofereix un parell major, però ofereix l'inconvenient de tenir un moment d'inèrcia relativament gran. Com que el moment del parell electromagnètic és proporcional a l'amplada de la bobina i el moment d'inèrcia ho és al quadrat de la dita dimensió hi ha interès a adoptar bobines estretes, amb la qual cosa es facilita l'esmortiment del sistema mòbil.

## MESURAMENT DE LA QUANTITAT D'ELECTRICITAT

### METODE BALÍSTIC

27. Quan un corrent circula per un conductor durant cert temps, és fàcil determinar la quantitat d'electricitat que passa en el dit temps trobant la intensitat, si és constant, per mitjà d'un galvanòmetre i multiplicant-la pel nombre de segons durant els quals ha passat, però si el corrent és instantani o, parlant amb més propietat, és de molt curta duració, com ocorre en la descàrrega d'un condensador, no podem emprar aquest sistema i cal recórrer al mètode anomenat *balístic*, tot usant galvanòmetres que reuneixen condicions especials, els quals són designats amb el nom de *galvanòmetres balístics*, que no són sinó galvanòmetres d'agulla imantada pesada i sense amortidor de cap classe.

En passar el corrent instantani per la bobina del galvanòmetre balístic, es desvia i torna a zero, i la desviació màxima observada dona un mitjà per a conèixer la quantitat que ha passat. La quantitat d'electricitat o sigui el nombre de culombs que circulen per la bobina d'un galvanòmetre balístic està en raó directa del sinus de la meitat de l'angle de desviació, de manera que designant per  $q$  la quantitat d'electricitat i per  $\alpha$  l'angle de desviació, tindrem

$$q = K \sin \frac{\alpha}{2}$$

on  $k$  és una constant que depèn del galvanòmetre empleat.

28. *Determinació de la constant.*—La constant d'un galvanòmetre balístic és determinada de diverses maneres; el més senzill és el que es funda en la comparació de les càrregues de dos condensadors. Fetes les connexions segons indica l'esquema fig. 18, en el qual  $E$  és un element normal,  $G$  el galvanòmetre i  $a$  un commutador de dues direccions, mourem aquest cap a l'esquerra, amb lo qual cosa es posen els pols de l'element en comunicació amb les armadures del condensador. Aquest es carregarà amb una quantitat d'electricitat  $q$  igual al producte

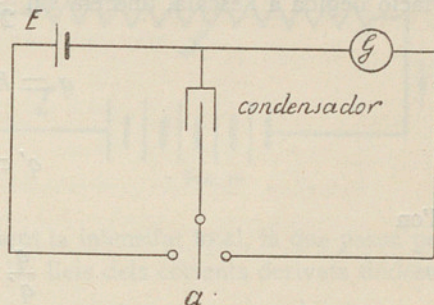


FIG. 18

de sa capacitat  $c$  per la diferència de potencials  $e$  de ses armadures sigui per la força electromotriu de l'element  $E$ ; doncs  $q = ec$ . Posant després la palanca del commutador en comunicació amb el born de la dreta, el condensador es descarregarà sobre el galvanòmetre i el corrent instantani produirà en el sistema mòbil una desviació  $\alpha$  que estarà lligada a la quantitat d'electricitat que ha passat pel galvanòmetre per la relació indicada en el número anterior.

Repetint aquestes operacions amb un altre condensador de capacitat  $c'$  es carregarà amb una quantitat d'electricitat  $q' = ec'$ , i en descarregar-se sobre el galvanòmetre produirà una desviació  $\alpha'$  per a la qual tindrem anàlogament

$$q' = k \sin \frac{\alpha'}{2}$$

D'aquesta igualtat i de la citada anteriorment es dedueix

$$\frac{q}{q'} = \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\sin \frac{\alpha'}{2}}$$

però tractant-se d'angles molt petits podem suposar que  $\sin \frac{\alpha}{2}$  és igual a la longitud de l'arc  $\frac{\alpha}{2}$  dividida pel radi o sigui la distància  $\delta$  del mirall a l'escala i com que la longitud de l'arc  $\frac{\alpha}{2}$  és igual a  $\frac{d}{4}$ , essent  $d$  la longitud de desviació llegida a l'escala, tindrem  $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{d}{4\delta}$ , de manera que

$$q = k \frac{d}{4\delta} \quad (1)$$

$$q' = k \frac{d'}{4\delta}$$

d'on

$$\frac{q}{q'} = \frac{d}{d'}$$

per tant les quantitats d'electricitat són proporcionals a les desviacions llegides a l'escala. Com que  $q' = ec'$  és conegut per ésser-ho la capacitat  $c'$  i la força, electromotriu  $e$  de l'element normal, podem deduir la valor de  $q$ , que serà

$$q = q' \frac{d'}{d} = \frac{ec'd}{d'}$$

Posant aquesta valor en la igualtat (1) resulta  $\frac{ec'd}{d'} = k \frac{d}{4\delta}$  d'on es dedueix la valor de la constant  $k$

$$k = \frac{4\delta ec'}{d'}$$

## SHUNT D'UN GALVANÒMETRE

29. En els galvanòmetres que hem estudiat havem suposat que hi passava tot el corrent del circuit principal, però quan es tracta de grans intensitats que podrien averiar les bobines, hom intercala entre els borns de l'aparell una resistència, calculada de manera que sols passi per la bobina una fracció determinada del corrent total i la resta circula per la dita resistència. Tota resistència intercalada entre els borns d'un aparell amb el fi indicat, rep el nom de *shunt*, paraula anglesa que significa *bifurcació* o *derivació*.

Siguin  $g$  i  $s$  les resistències respectives del galvanòmetre  $G$ , fig. 19, i són  $I$ ,  $i_1$ ,  $i_2$  respectivament la intensitat total, la que passa pel galvanòmetre i la del shunt. En virtut de les lleis dels corrents derivats tindrem

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{g}{s}$$

d'on

$$\frac{i_2 + i_1}{i_1} = \frac{g + s}{s}$$

i per tant

$$i_1 = I \frac{s}{g + s} \quad (1)$$

i de la mateixa manera

$$i_2 = I \frac{g}{g + s} \quad (2)$$

per tant, la intensitat que passa pel galvanòmetre és una fracció  $\frac{s}{g + s}$

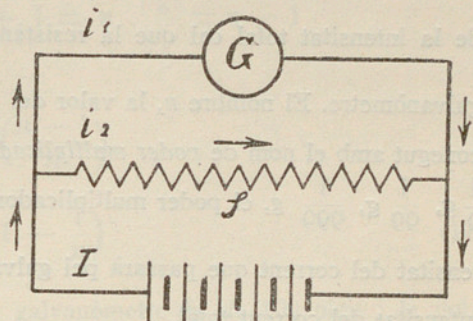


FIG. 19

del corrent total. Si volem que pel galvanòmetre circuli  $\frac{1}{n}$  del corrent principal, tindrem  $\frac{s}{g+s} = \frac{1}{n}$  d'on es dedueix

$$s = g \frac{1}{n-1} \quad (3)$$

Així, doncs, perquè la intensitat de corrent en el galvanòmetre sigui  $\frac{1}{n}$  de la intensitat total cal que la resistència del shunt sigui  $\frac{1}{n-1}$  de la del galvanòmetre. El nombre  $n$ , la valor del qual treu de (3) és  $n = 1 + \frac{g}{s}$  és conegut amb el nom de *poder multiplicador* del shunt. Si donem a  $s$  les valors  $\frac{1}{9} g$ ,  $\frac{1}{99} g$ ,  $\frac{1}{999} g$ , el poder multiplicador del shunt serà 10, 100, 1000 i la intensitat del corrent que passarà pel galvanòmetre serà  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{1}{100}$ ,  $\frac{1}{1000}$  de la intensitat del corrent total.

*Problema.*—Per un galvanòmetre que té una resistència de 20 ohms passa un corrent de 1,5 ampers i el shunt té un poder multiplicador igual a 10, Quina serà la intensitat en el circuit principal?

*Resolució.*—De la fórmula (3) es dedueix  $s = 20 \times \frac{1}{10-1} = 2,222$  i de la (1)  $I = i_1 \frac{(g+s)}{s} = 1,5 \frac{(20+2,222)}{2,222} = 15$  amp.

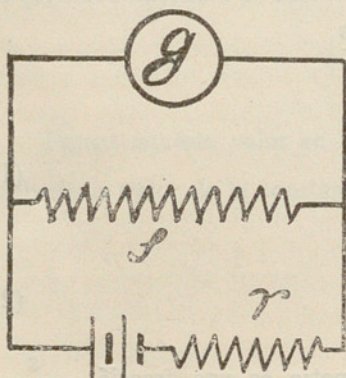


FIG. 20

30. *Resistència compensadora.* — La introducció d'un shunt en el circuit disminueix la resistència i per tant augmenta la intensitat del corrent total. Si volem que aquesta conservi sa valor o, ço que és indiferent, que la resistència sigui igual a la que tenia el circuit abans d'intercalar el shunt, cal afegir una resistència en sèrie com és indicat en la fig. 20. La resistència entre els borns galvanòmetre és  $g$  abans d'emplear el shunt, i amb aquest és, segons les fórmules dels circuits derivats,  $\frac{gs}{g+s}$ ,

de manera que si volem mantenir la mateixa resistència  $g$  caldrà intercalar en serie una resistència  $r$  tal que  $r + \frac{gs}{g+s} = g$ , d'on es dedueix

$$r = g - \frac{gs}{g+s} = \frac{g^2}{g+s} = g \frac{g}{g+s},$$

però

$$\frac{g}{g+s} = \frac{\frac{g}{s}}{\frac{g}{s} + 1}, \quad \frac{g}{s} + 1 = n, \quad \frac{g}{s} = n - 1$$

per tant

$$r = g \left( \frac{n-1}{n} \right)$$

o bé

$$r = g \left( 1 - \frac{1}{n} \right) \quad (1)$$

*Problema.* — La resistència d'un galvanòmetre és de 100 ohm i la del shunt és de 10 ohms. Quina haurà d'ésser la resistència compensadora?

*Resolució.* — Segons hem vist,  $r = \frac{g^2}{g+s}$ , doncs substituint  $g$  i  $s$  per ses valors tindrem  $r = \frac{100^2}{100+10} = 90,909$  ohms.

31. *Diverses classes de shunts.* — Els shunts dels galvanòmetres estan formats per bobines enrotllades en la forma que indica la fig. 21, a fi d'evitar els efectes de l'autoinducció que, com sabem tindrien lloc si consistissin en bobines ordinàries. Els extrems dels fils de les dites bobines comuniquen amb unes plaques de metall fixades a la coberta de l'aparell i isolades les unes de les altres. Aquestes plaques comuniquen entre sí mitjançant les bobines, però poden fer-ho directament introduhint clavilles de metall en els buits disposats a l'efec-

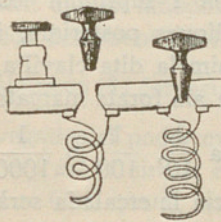


FIG. 21

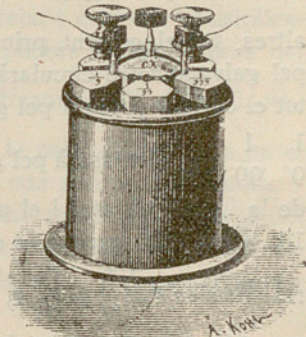


FIG. 22

te. Si introduïm una clavilla, queda suprimida la resistència de la bobina corresponent i el corrent passa d'una placa a la contigua sense trobar resistència i si la traiem la resistència de la bobina queda intercalada en el circuit.

32. La fig. 22 mostra l'aspecte d'un shunt molt empleat, i la fig. 23 és el seu esquema de connexions. Es compon de tres bobines, les resistències respectives de les quals són  $\frac{1}{9}$ ,  $\frac{1}{99}$ ,  $\frac{1}{999}$  de les del galvanòmetre, tancades en una

caixa cilíndrica de metall que té per coberta una placa d'ebonita. A aquesta placa van fixats sis blocs metàl·lics de resistència menyspreable a causa del seu gruix, isolats els uns dels altres excepte la peça central *a* que comunica amb la posterior *b*. Les tres peces devanteres poden posar-se en comunicació amb la central per mitjà de clavilles, i les dues posteriors poden també

estar unides per una clavilla, amb la qual cosa el galvanòmetre queda en curt circuit.

Les tres resistències comuniquen per un extrem amb la peça posterior *c* o per l'altre separatament amb els blocs *d* *e* *f* anteriors, marcats amb els números  $\frac{1}{9}$ ,  $\frac{1}{99}$  i  $\frac{1}{999}$ .

Fetes les connexions del shunt amb el galvanòmetre i el circuit principal com indica l'esquema, si introduïm una clavilla en el forat *m* i suprimim les

altres, tot el corrent principal passa per les peces metàl·liques posteriors, i pel galvanòmetre circularà un corrent insensible. Si suprimim la dita clavilla, tot el corrent passarà pel galvanòmetre. Collocant la clavilla als forats marcats

$\frac{1}{9}$ ,  $\frac{1}{99}$  o  $\frac{1}{999}$ , passarà pel galvanòmetre una intensitat igual a  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{1}{100}$  o  $\frac{1}{1000}$

de la intensitat total i el poder multiplicador de la resistència intercalada serà 10, 100 o 1000, segons és explicat en el número 29, puix les valors de les dites

resistències son  $\frac{1}{9} g$ ,  $\frac{1}{99} g$ ,  $\frac{1}{999} g$ , respectivament.

33. *Shunt universal d'Ayrton i Mather.*—El shunt que acabem de descriure té d'ésser empleat amb el galvanòmetre per al qual hagi estat construït,

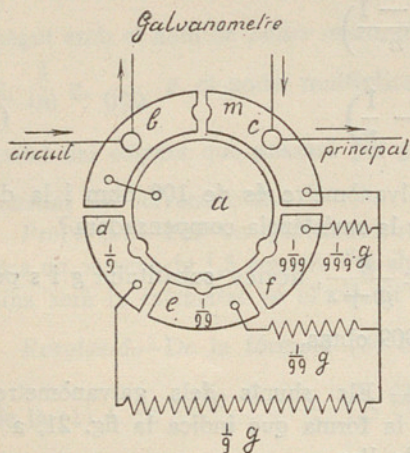


FIG. 23

la qual cosa és un inconvenient seriós; així és, que hom prefereix el d'Ayrton i Mather, que pot connectar-se amb un galvanòmetre de qualsevulla resistència. La fig. 24 representa les connexions d'aquest shunt que consta de set resistències connectades en sèrie i terminen en contactes assenyalats amb els números

$\frac{1}{1000}$ ,  $\frac{1}{500}$ ,  $\frac{1}{100}$ , etc. sobre

els quals descansa una palanca que gira al voltant del punt central. La resistència total es troba sempre connectada entre els borns del galvanòmetre, i una part variable queda intercalada en el circuit principal. Quan la palanca descansa damunt el contacte 1, tota

la resistència del shunt és intercalada en el circuit i el poder multiplicador del shunt és pres igual a 1. Si la palanca es troba en el primer contacte de l'esquerra, el conjunt del galvanòmetre i totes les resistències, en sèrie amb ell, es troben en curt circuit. Collocant la palanca en el contacte  $\frac{1}{1000}$  la primera

bobina de l'esquerra és el shunt de la sèrie formada pel galvanòmetre i les bobines restants, i en aquesta posició el corrent que passarà pel galvanòmetre serà

$\frac{1}{1000}$  de la que passaria per ell si la palanca estigués en la posició 1, admetent que en ambdós casos el corrent total fos un mateix, i el poder multiplicador del shunt és 1000. De la mateixa manera els poders multiplicadors del shunt en els contactes  $\frac{1}{500}$ ,  $\frac{1}{100}$ ,  $\frac{1}{50}$  etc., són respectivament 500, 100, 50, etc.,

vegades el poder multiplicador del contacte 1. Quan la palanca descansa en el botó *inf* el circuit és interromput, puix s'hi intercala una resistència infinita.

Com que la resistència d'aquest shunt és molt gran comparada amb la del galvanòmetre, la disminució de sensibilitat inicial per efecte de trobar-se sempre intercalada tota la resistència del shunt entre els borns del galvanòmetre és menyspreable.

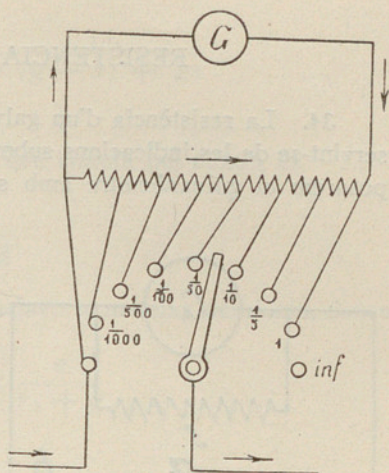


FIG. 24

## RESISTENCIA D'UN GALVANÒMETRE

34. La resistència d'un galvanòmetre pot ésser mesurada fàcilment bo i servint-se de les indicacions subministrades pel mateix aparell. Per a això disposarem el galvanòmetre amb son shunt, connectat amb una pila de resistència menyspreable i una resistència  $ab$  que podem graduar a voluntat, segons indica la fig. 25. Amb una resistència  $r$  obtenim en el galvanòmetre una desviació determinada; si després suprimim el shunt, la desviació és major, i per tornar-la a sa primitiva valor cal augmentar la resistència d' $ab$ . Anomenat  $r_1$  aquesa nova resistència, designant per  $e$  la força electromotriu de la pila i per  $i$  la intensitat del corrent total produït per la pila en el primer experiment, tindrem

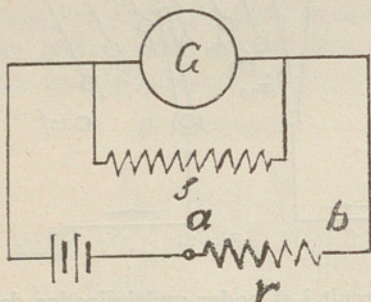


FIG. 25

$$i_1 = \frac{e}{r + \frac{gs}{g+s}}$$

ja que  $r$  es troba en sèrie amb la resistència combinada  $\frac{gs}{g+s}$  de les resistències del galvanòmetre i del shunt. Aquest corrent es divideix entre el galvanòmetre i el shunt en raó inversa de ses resistències; per tant, anomenat  $i$  l'intensitat del corrent en el galvanòmetre i  $i_s$  la del shunt, tindrem

$$\frac{i_s}{i} = \frac{g}{s}$$

o bé

$$\frac{i_s + i}{i} = \frac{g + s}{s}$$

d'on

$$i = \frac{(i_s + i) s}{g + s}$$

i posant en lloc de  $i_s + i = i_1$  sa valor,

$$i = \frac{e}{r + \frac{gs}{g+s}} \cdot \frac{s}{g+s} = \frac{es}{r(g+s) + gs}.$$

Quan suprimim el shunt, la intensitat  $i_2$  que circula pel circuit és

$$i_2 = \frac{e}{r_1 + g}$$

però les intensitats  $i$  i  $i_2$  són iguals, puix produeixen la mateixa desviació, doncs

$$\frac{es}{r(g+s) + gs} = \frac{e}{r_1 + g}$$

d'on es dedueix

$$g = s \frac{r_1 - r}{r} \quad (1)$$

*Problema.*—Trobar la resistència que caldrà intercalar en sèrie amb un galvanòmetre de 240 ohms, per obtenir la mateixa desviació que quan el galvanòmetre porta un shunt de 100 ohms i una resistència de 5 ohms en sèrie amb ells, essent en ambdós casos una mateixa la força electromotriu.

*Resolució.*—Deduint de la fórmula (1) la valor de  $r_1 = \frac{(g+s)r}{s}$  i substituint, tindrem  $r_1 = \frac{(240 + 100) 5}{100} = 17$  ohms.

## GALVANÒMETRES

### PROBLEMES

1. En un galvanòmetre de tangents d'imant mòbil, la bobina del qual té 30 centímetres de diàmetre i consta de 4 espiras, observem que un corrent de un amper produeix una desviació de  $40^\circ$ . Quina és la intensitat de la component horitzontal en el lloc de l'experiment?
2. Quina valor té la constant del galvanòmetre del cas anterior?
3. Un galvanòmetre amb un shunt de 10 ohms i una resistència en sèrie de 20 ohms marca la mateixa desviació que sense el shunt i amb una resistència de 40 ohms. Trobeu la resistència del galvanòmetre quan la f. e. m. aplicada és una mateixa en ambdós casos.
4. Un corrent de 5 ampers produeix en un galvanòmetre de torsió de Siemens i Halske una desviació  $\alpha = 20^\circ$ ; quina serà la intensitat d'un corrent que doni una desviació de  $45^\circ$  i quina la valor de la constant?
5. En què consisteix un sistema astàtic?
6. Un galvanòmetre de tangents que té una resistència de 45 ohms porta un shunt de 5 ohms. (a) Quin és el poder multiplicador del shunt? (b) Si pel galvanòmetre passa un corrent de 2 ampers, quina intensitat tindrà el corrent en el circuit principal? (c) Quina valor tindrà la constant del dit galvanòmetre si la desviació produïda és de  $22^\circ$ ?
7. La resistència compensadora aplicada a un galvanòmetre de 600 ohms és de 500 ohms, quina és la resistència del shunt?
8. Quina ha d'ésser la resistència d'un shunt perquè aplicat a un galvanòmetre de 500 ohms tingui un poder multiplicador igual a 100?
9. Expliqueu en què es funda la lectura per reflexió i perquè és preferida a la lectura directa?
10. En què consisteix l'error de parallaxe, com es disminueix i com és evitat?
11. Determineu la constant d'un galvanòmetre de tangents, sabent que pel circuit principal passa un corrent de 5 ampers, que l'angle de desviació és de  $15^\circ$  i que el shunt té un poder multiplicador igual a 10.
12. Què és un galvanòmetre aperiòdic?







RF-5-31

