

Mancomunitat de Catalunya

EXTENSIO  
D'ENSENYAMENT  
T E C N I C



*TEXT N.º 37 a)*

INSTRUMENTS PER A  
CORRENT CONTINU

Carrer d'Urgell 187 Barcelona

Página

II

27

33

33

## QUADERN 37

### INSTRUMENTS DE MESURA DE CORRENT CONTINU (*a*)

Pàgina	Ratlla	On diu	Ha de dir
11		El gravat de la fig. 13 ha d'ésser el de la fig. 41.	
27		El gravat de la fig. 41 ha d'ésser el de la fig. 13.	
33	—8	$B_1$	$B_2$
33	—4	$B_2$	$B_3$





R. 715

# INSTRUMENTS PER A CORRENT CONTINU

PRIMERA PART

## GENERALITATS

1. Els instruments de mesura serveixen per a cercar la relació que hi ha entre la quantitat que es vol mesurar i una altra de fixa de la mateixa mena, designada amb el nom d'*unitat*. Els instruments de mesura elèctrics que s'utilitzen en la pràctica són de lectura directa, és a dir porten llur graduació feta de manera que donen directament la relació cercada o el nombre en què la unitat cap dins la quantitat mesurada. Les unitats elèctriques usades en els instruments de mesura industrial són les *unitats pràctiques*; així, els instruments que mesuren el *corrent* són anomenats *ampèrmetres*; els que mesuren la *tensió*, *vòltnetres*, i els que serveixen per mesurar la *potència*, *vàtnetres* car les unitats pràctiques respectives són l'*amper*, el *volt* i el *vat*. Per a les altres propietats i relacions del circuit elèctric, com son la resistència, la diferència de fase, el factor de potència, la forma de l'onda i freqüència del corrent, hi ha els corresponents instruments per a mesurar-les.

Hi ha altres instruments que serveixen per mesurar indirectament el corrent i la potència, com són les *balances elèctriques* i l'*electrodinamòmetre*, respectivament. També hi ha un instrument, anomenat *potenciòmetre*, amb el qual es pot mesurar directament la tensió, la intensitat i la resistència d'un circuit elèctric; però aquests instruments són de laboratori i impropis, per tant, pels usos de la pràctica.

## ÒRGUENS DELS INSTRUMENTS DE MESURA

2. D'una manera general, l'observació en els mesuraments elèctrics es redueix sempre a constatar el desplaçament d'un orguen mòbil. Si aquest estés solament sotmès a l'acció de la força elèctrica que cal mesurar, amb

qualsevol intensitat d'aquesta força, l'orguen mòbil es desviaria tot el que permetria l'instrument. Per a fer que les desviacions siguin proporcionals a la grandària de les forces de desviació,

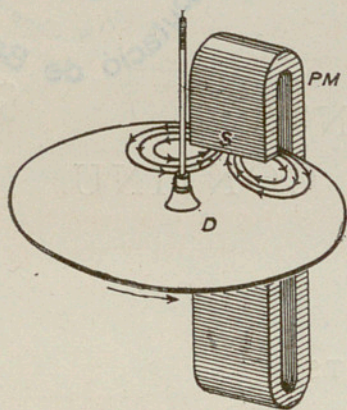


FIG. 1

cal introduir una *força reguladora o antagonista*. Encara més: si l'orguen mòbil estés sotmès solament a aquestes dues forces, degut a la inèrcia del sistema, trigaria molt a atansar el repòs; per a evitar-ho s'introdueix una tercera *força esmorteïdora* que faci que el temps de durada de les oscil·lacions sigui ben curt. Si no fos l'*esmorteïdor* es farien molt difícils les lectures en els instruments.

L'orguen mòbil, anomenat també *equíp mòbil*, gira a l'entorn d'un eix; la força que el fa voltar prové, generalment, d'un orguen fixe. Per amplificar les desviacions de l'orguen mòbil, aquest porta un índex o agulla, ço que facilita les lectures.

3. La *força antagonista* o reguladora pot ésser magnètica o mecànica. En aquest darrer cas s'utilitza una molla o un pes. Cada punt d'equilibri entre la força activa i la força antagonista determina una posició de la part mòbil de l'instrument. Com a forces antagonistes, s'acostuma emprar:

- I. Un imant permanent.
- II. L'extensió d'una molla helicoidal.
- III. La torsió d'un cap respecte a l'altre d'una molla helicoidal.
- IV. La força resistent d'una molla espiral.
- V. L'acció de la gravetat.

La força I és usada, principalment, en els comptadors elèctrics (fig. 1). Les forces III i IV són les usades més correntment. La molla espiral dóna una excellent regulació. Per altra banda, la regulació per mitjà de la gravetat és molt segura i molt constant, solament que s'ha de tenir en compte que sempre que es fixa un instrument d'aquesta mena se l'ha de nivellar per evitar l'error del zero.

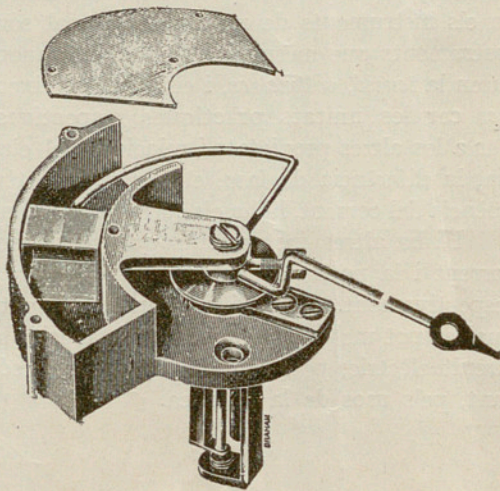


FIG. 2

## ESMORTEÏDORS

4. Per evitar que l'equip mòbil oscilli contínuament en estar sotmès a les variacions de la càrrega que es vol mesurar, es doten els instruments de dispositius esmorteïdors. Amb l'esmorteïdor, que no és més que un fre, s'assoleix ràpidament l'equilibri de l'equip mòbil, això és, l'instrument esdevé *apeperiòdic*. Els dispositius, per esmorteir les oscil·lacions de l'òrguen mòbil, poden ésser:

I. Magnètics

II. Fluids  $\left\{ \begin{array}{l} a. \text{ aire} \\ b. \text{ líquid.} \end{array} \right.$

De tots tres, els més empleats són el I i el II a.

I. L'esmorteïdor magnètic s'obté (fig. 1) fent que les parts metàl·liques de l'equip mòbil es moguin dintre del camp magnètic d'un imant permanent, perquè es creïn dins d'aquells corrents paràsits que, reaccionant sobre les línies de força de l'imant, amortitzin les oscil·lacions.

II a. Els esmorteïdors d'aire (fig. 2) es basen en la resistència que ofereix al moviment una pala molt lleugera en moure's a l'aire. Aquest és el millor esmorteïdor, perquè sempre és absolutament constant. La pala es mou dintre d'una caixa o d'un cilindre. El major o menor joc que existeix entre la caixa i la pala fa que la resistència de l'aire sigui menor o major.

II b. Els esmorteïdors de líquid (fig. 3) són els més antics, però no es poden usar en els instruments portàtils; a més, no són molt exactes, car moltes vegades l'adherència del líquid a la pala fa que l'instrument endarrereixi.

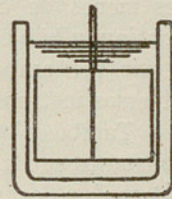
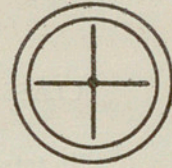


FIG. 3

## L'ESCALA, LES SEVES DIVISIONS

5. L'escala (fig. 4) és una part molt important dels instruments, i és on es poden produir més fàcilment errors, tant en graduar els instruments com en marcar l'escala. Aquesta es gradua directament en les unitats de mesura

(volt, amper, vat, etc.). Com que l'equip mòbil porta un índex que es mou sobre l'escala per fer la lectura, es comprèn que per un angle de desviació determinat de l'òrguen mòbil la precisió del mesurament serà més gran quant més gran sigui el camí recorregut per l'extrem de

l'índex. Per aquest motiu es procura que aquest sigui tot el més llarg possible, compatible amb les dimensions de l'instrument i la seva sensibilitat.

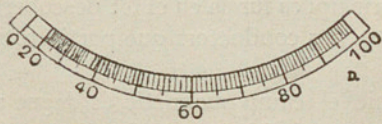


FIG. 4

Les escales es graven sobre cartolina prima o sobre paper opac per evitar la reflexió de la llum, i les seves *divisions* han d'ésser ben clares, perquè es distingeixin perfectament des d'alguna distància. Per a evitar la confusió les divisions no han d'ésser molt nombroses, particularment al començament i a l'acabament de l'escala, que és on estan més juntes. Les escales comprenen, generalment, un angle de  $75^\circ$  en el centre de l'instrument.

Els índexs han d'ésser forts, i tenir llur punta de la mateixa gruixària que el traç de les divisions.

## CLASSIFICACIÓ DELS INSTRUMENTS DE MESURA

6. No tots els instruments de mesura elèctrics serveixen per les distintes menes de corrent; n'hi ha que sols serveixen per mesurar el corrent continu, n'hi ha que sols poden servir pel corrent altern i n'hi ha que poden servir per ambdós corrents. Aquesta divisió pot servir per classificar els diversos instruments de mesura.

També es poden classificar en *instruments indicadors*, els quals marquen constantment la valor de la força que ocasiona la desviació; en *instruments integradors*, com són els comptadors d'amperhores o de vathores, els quals afegeixen o integren els productes instantanis dels volts pels ampers i pel temps en hores o els productes dels ampers pel temps en hores i indiquen en les esferes el muntant total del consum en vathores o en amperhores en el moment de l'observació, i en *instruments registradors*, que marquen en un paper les valors instantànies de la quantitat que es mesura, ço que permet veure gràficament les variacions que ha experimentat la quantitat mesurada.

Atenent al principi en què es funden els instruments, es poden classificar en els sis grups següents:

7. *Principi magnetodinàmic*. — Es basen en el fet provat de què entre el camp d'un imant permanent i un fil que porti corrent, s'exerceix una força. Els primers instruments d'aquest gènere són els de bobina mòbil, deguts a Lord Kelvin i a d'Arsonval.

8. *Principi electrodinàmic*. — Aquest principi es funda en el fet descobert per Ampère, de què s'exerceix una força entre dos conductors que portin tots dos corrent.

Així com en el principi magnetodinàmic el camp magnètic és degut a un imant permanent, en aquest cas és degut a una bobina.

9. *Principi electromagnètic*. — Aquest principi es basa en la llei que en tot sistema electromagnètic les forces actuen entre llurs parts, de tal manera que sempre la reluctància del sistema queda reduïda a un mínimum.

10. *Principi electrotèrmic.* — Es funda en el fet què un fil, pel qual hi passi corrent, s'escalfa i es dilata.

11. *Principi electrostàtic.* — Quan dues càrregues elèctriques s'acosten, s'exerceix entre elles una força. Sobre aquest fet es basa la construcció dels instruments electrostàtics.

12. *Principi de ressonància.* — La propietat que tenen els cossos elàstics de posar-se en vibració si estan subjectes a impulsions periòdiques, la freqüència dels quals correspongui al període natural de vibració d'aquells cossos, permet construir instruments basats en aquest principi, com són els freqüencímetres.

### INSTRUMENTS MAGNETODINÀMICS

13. Aquests instruments, anomenats, també, de bobina o quadre mòbil, consten d'una bobina que es mou en el camp magnètic que existeix entre les expansions polars d'un imant permanent. Aquesta mena d'instruments sols es poden usar amb corrent continu, i es funden en el principi descobert per Deprez i d'Arsonval, essent Weston el que primer construí instruments industrials basats en aquest principi.

14. *Construcció.* — L'imant permanent *I* (fig. 5), que generalment té la forma d'una ferradura, es fa del millor acer, perquè el seu magnetisme no s'afebleixi amb el temps. Aquest imant ha de tenir una intensitat de camp suficient per vèncer la resistència deguda al frotament de les pollegueres, a la de l'aire, i al pes de l'índex i de la bobina. A l'objecte de concentrar aquest camp magnètic i fer-lo tan uniforme com sigui possible, en sentit radial, la bobina mòbil gira en l'espai anular que queda entre les expansions polars *EE* i un nucli *M*, ambdós de ferro dolç, mantingut fixe entre aquelles mitjançant dos cargols acollats a un pont de bronze *ee*.

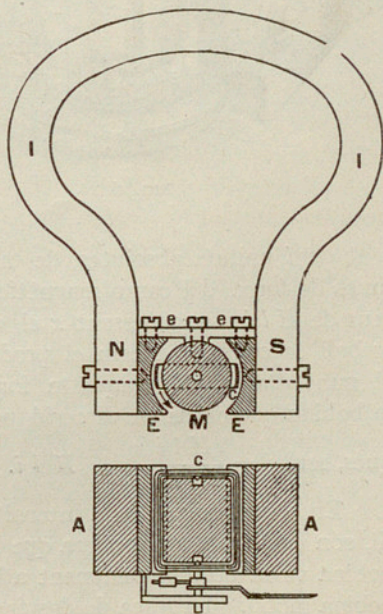


FIG. 5

La bobina mòbil *D* (fig. 6) consta d'un marc lleuger d'alumini o de coure, de forma generalment rectangular, sobre el qual s'hi enrotllen quelques voltes de fil de coure molt prim cobert de seda. Els marcs d'alumini són molt més lleugers que els de coure, però, en canvi, aquests darrers, són més aperiòdics. Aquesta bobina porta dos pollegons, un a dalt i l'altre a baix, que permeten que oscil·li lliurement dins de l'espai anular abans dit. Com a força antagonista que regula el parell de forces, degut a l'acció mútua del camp magnètic de l'imant i la del camp creat pel pas del corrent per la bobina, es posen dues molles espirals *S*, fetes d'un material no magnètic, com

és el bronze fosforós, que serveixen, a la vegada, per portar i sortir el corrent de la bobina mòbil.

Sobre la bobina s'hi munta l'agulla i els contrapesos que l'equilibren, si és molt llarga. L'escala va impresa sobre cartolina Bristol opaca per no ferir la vista. La seva amplitud depèn de l'angle de desviació de l'agulla que, generalment, varia entre 60° i 75°, per una agulla de 8 a 10 cm.

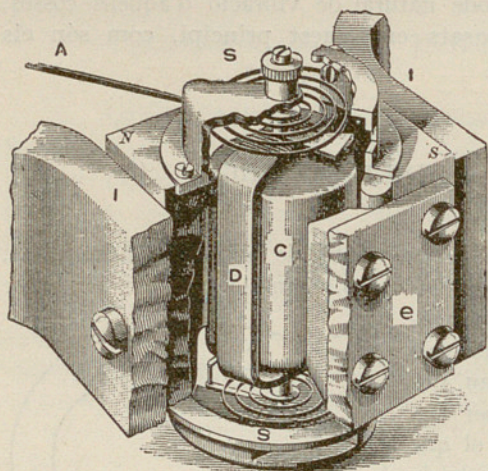


FIG. 6

rent de *i* unitats absolutes, de tal manera que talli perpendicularment les línies de força del camp magnètic, el treball esmerçat en aquest moviment serà de  $H l i x$  ergs, essent *x* el camí recorregut pel fil. Però com que el treball és considerat com el producte d'una força *f* pel camí *x* que recorre el punt d'aplicació d'aquesta força, tenim que la força *f* de desviació de la bobina que actua en direcció perpendicular a les línies de força magnèti-

ques, serà  $f = \frac{H l i x}{x} = H l i$ .

En els instruments, la intensitat *H* del camp magnètic, i la longitud *l* del fil, són constants, de manera que la intensitat de la força de desviació de la bobina varia proporcionalment a la intensitat del corrent que circula per la bobina mòbil. La força de desviació *f*, com que actua sobre un fil que gira al voltant d'un eix, esdevé un parell de forces, el qual és contrabalançat per un parell resistent provinent de les molles antagonistes. Aquest parell resistent és proporcional a l'angle de torsió de les molles, és a dir a l'angle de desviació de l'agulla, per la qual cosa l'escala (fig. 7) estarà dividida

en parts iguals, i la desviació serà proporcional a la intensitat  $i$  del corrent que circula per la bobina.

16. La més notable de les propietats dels instruments de bobina mòbil és llur *aperiodicitat*. Això és degut a què en el marc de la bobina, que és fet d'alumini o de coure, s'hi produeix un corrent quan la bobina es mou en el camp magnètic, i en un sentit tal que s'oposa al moviment que

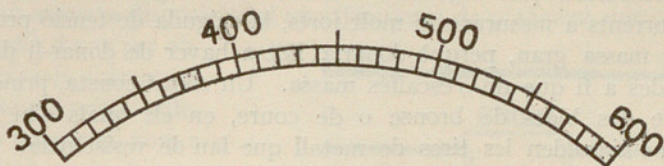


FIG. 7

el produeix. Com que aquesta tendència solament té lloc quan la bobina es mou, evita que l'agulla oscilli continuament, amb la qual cosa l'agulla atansa ràpidament el seu punt d'equilibri.

## AMPÈRMETRES

17. Un instrument de bobina mòbil, tal com l'hem descrit, només serveix que per mesurar corrents extremadament petits, 0,25 amper, degut a què la bobina mòbil no permet passar corrents més grans. Per a poder emprar aquest instrument amb corrents més intensos cal connectar-lo (fig. 8) en paral·lel amb un *shunt*, pel qual passa la major part del corrent i per l'instrument sols hi passa una part molt petita

$$i = \frac{S}{S + a} I, \text{ essent } I \text{ el corrent total,}$$

$S$  és la resistència del shunt i  $a$  la de l'instrument. Quan el corrent a mesurar no és molt fort, el shunt va dintre de la caixa en la qual hi va la resta de l'instrument, però gairebé sempre en aquesta mena d'instruments el shunt va separat.

L'empleu de l'ampèrmetre es basa en la constància de la relació entre les dues resistències, la del shunt i la de l'ampèrmetre, per la qual cosa en la pràctica es procura que aquestes resistències siguin ben constants. Per això els shunts són construïts amb materials de coeficient de tempe-

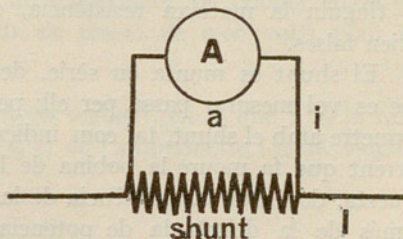


FIG. 8

ratura menyspreable, i a la bobina mòbil se li adjunta la bobina de compensació de què parlarem més endavant.

18. *Shunts*. — A fi que la relació entre les resistències a totes les temperatures sigui constant, els shunts han de radiar de la millor manera possible la calor que s'hi produeix, i han d'estar exempts de forces electromotrius termoelectriques degudes a l'escalfament desigual del shunt. A més, quan els corrents a mesurar són molt forts, la caiguda de tensió produïda no ha d'ésser massa gran, perquè donaria lloc a haver de donar-li dimensions desmesurades a fi que no s'escalfés massa. Un shunt consta, principalment (fig. 9), de dos blocs de bronze o de coure, en els quals s'hi fan unes ranures on s'hi solden les tires de metall que fan de resistència. Les tires

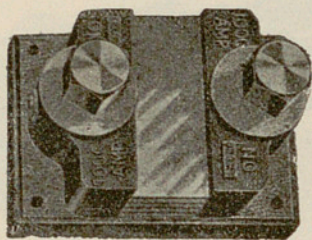


FIG. 9

són fetes d'un metall que tingui un coeficient de temperatura menyspreable (0,003 per cent i per grau centígrad), tenen un gruix de 0,5 a 1 mm i són col·locades una sobre de l'altra, de manera que deixin un espai d'aire suficient per la seva ventilació. El gruix total de les tires és determinat per la intensitat del corrent que hi ha de passar, mentre que llur llargada és donada per la caiguda de tensió que és necessària per fer desviar la bobina mòbil. La caiguda de tensió més usada és d'uns 0,075 volts.

Sobre cada un dels blocs hi ha un cargol on es connecten els cables que uneixen l'ampèrmetre amb el shunt. Aquests cables, un cop graduat l'ampèrmetre amb el shunt, no poden ésser canviats ni substituïts per altres que no tinguin la mateixa resistència, o sinó les indicacions de l'instrument serien falses.

El shunt es munta en sèrie, de manera que la major part del corrent que es vol mesurar passa per ell; pels cables de connexió que uneixen l'ampèrmetre amb el shunt, tal com indica la fig. 8, sols hi passa la fracció de corrent que fa moure la bobina de l'instrument. El corrent que passa per aquesta, depèn de la resistència de la bobina i de la dels cables de connexió, demés de la diferència de potencial o caiguda de tensió produïda en el shunt. Aquesta caiguda de tensió és, per altra banda, proporcional al corrent que circula pel shunt i a la resistència del mateix, per la qual cosa el corrent de la bobina mòbil és proporcional al corrent total, tal com ja havem dit abans.

19. En els instruments en els quals els shunts són del mateix metall del fil de la bobina, qualsevol augment o descens de temperatura afectarà per igual a la resistència de la bobina i del shunt, de manera que la relació entre les resistències d'ambdós resta constant, i, per tant, també resta invariable la repartició del corrent entre els dos. En el cas, més general, en què el shunt

sigui construït d'un metall de coeficient de temperatura menyspreable, i la bobina mòbil de fil de coure, el corrent que passarà per la bobina mòbil serà més gran com més baixa sigui la temperatura, i a l'inrevés.

Per a reduir aquesta error generalment es connecta en sèrie amb la bobina mòbil una *resistència compensadora* (fig. 10) de coeficient de temperatura menyspreable, amb la qual cosa el coeficient de temperatura del circuit de la bobina mòbil queda reduït. L'inconvenient que això ocasiona és que amb aquesta disposició cal una diferència de potencial més gran en els terminals del shunt per obtenir el mateix corrent en la bobina. Aquesta diferència de potencial, com a regla general, varia de 0,05 a 0,1 volt. El límit inferior és pels instruments grossos, i el superior pels instruments de corrents petits.

Un mateix ampèrmetre pot ésser connectat amb diferents shunts, sempre que aquests tinguin la mateixa caiguda de tensió que la de l'instrument.

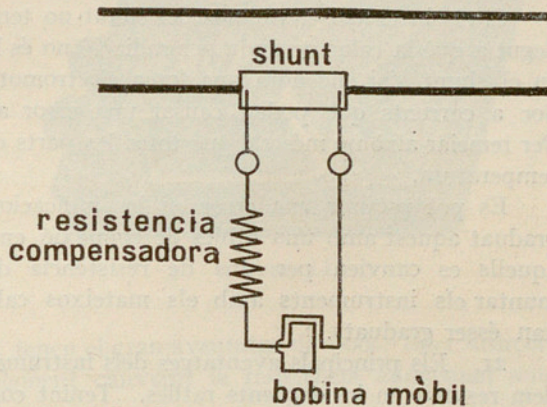


FIG. 10

*Exemple.* — Calcular la resistència d'un shunt per un corrent total de 800 ampers que ha d'ésser connectat a un ampèrmetre de bobina mòbil que consumeix 0,2 ampers amb una caiguda de tensió de 0,06 volts quan l'agulla té la desviació màxima.

*Resolució.* — Ens valdrem de la fórmula següent, en la que  $S$  és la resistència del shunt,  $I$  el corrent principal,  $i_a$  el de l'ampèrmetre i  $E$  la caiguda de tensió en el shunt, i tindrem

$$S = \frac{E}{I - i_a} = \frac{0,06}{800 - 0,2} = 0,000075 \text{ ohms, aprox.}$$

20. Teòricament, les lectures de l'instrument són directament proporcionals al corrent que passa per la bobina mòbil, però en la pràctica no és així, perquè en els materials i en l'acabat dels instruments hi ha defectes que produeixen un cert nombre de petites errors que s'han d'evitar o prevenir a ésser possible. Aquests defectes poden provenir : de la deterioració de les molles, de l'afebliment de l'imant, dels canvis de temperatura, dels camps magnètics vagabonds, dels termocorrents que es pro-

dueixen en els terminals del shunt, i de la variació de la resistència dels cables de connexió.

Les errors degudes a les dues primeres causes, amb un treball acurat i una bona selecció dels materials, poden ésser evitades quasi del tot. Hem vist, també, com es poden corregir les errors degudes al canviament de temperatura. En quant a les errors provinents dels camps magnètics vagabonds que poden arribar a 2 per cent, són evitades acuirassant convenientment l'instrument. És suficient per evitar aquesta error protegir l'instrument amb una caixa de fundició.

Si els blocs dels terminals del shunt no tenen la mateixa temperatura, degut a què la calor perduda per radiació no és la mateixa en ambdós blocs, en el shunt s'hi engendra una força electromotriu termoelèctrica que dona lloc a corrents que poden causar una error apreciable en les indicacions. Per remeiar això no més cal que totes les parts del shunt tinguin la mateixa temperatura.

Es pot produir una error en les indicacions de l'instrument si un cop graduat aquest amb uns cables de connexió entre el shunt i l'instrument aquells es canvien per uns de resistència diferent. Convindrà, doncs, muntar els instruments amb els mateixos cables de connexió amb què van ésser graduats.

21. Els principals aventatges dels instruments de bobina mòbil les podem resumir en les següents ratlles. Tenint com tenen un parell de torsió proporcional a l'angle de desviació, l'escala pot ésser dividida en parts iguals, ço que fa que les lectures puguin ésser ben clares, tant al començament com a l'acabament de la mateixa.

Que essent l'instrument remarcablement aperiòdic per ell mateix, no necessita cap dispositiu esmorteïdor, com el necessiten tots els altres instruments.

Que degut a la gran intensitat del camp magnètic, el corrent requerit per desviar la bobina mòbil és molt petit, per la qual cosa el consum propi de l'instrument també ho és. Com que, en aquest instrument, invertint el sentit del corrent en la bobina s'inverteix el sentit de la desviació de l'agulla, i pot donar, per tant, lectures en ambdós sentits, això s'aprofita per graduarlos amb el zero en el mig de l'escala, com el porten els instruments que serveixen per mesurar el corrent de càrrega i de descàrrega dels acumuladors.

#### VÒLTMETRES

22. El sistema mòbil d'un vòlmetre és igual al que hem descrit per l'ampèrmetre, solament que pel vòlmetre, a fi que el corrent absorbit sigui el més petit possible, cal que la seva resistència interior sigui molt gran. Un vòlmetre de 150 volts consumeix 0,0083 ampers, el que suposa una resistència interior de 18000 ohms. Com que és impossible que la bobina

mòbil tingui una resistència tan gran, és afegida una resistència addicional que pot anar amb l'instrument o a part. Els vòlmetres per corrent continu de gran precisió per a laboratori, es fan del tipus de bobina mòbil, degut

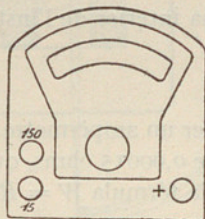


FIG. 11

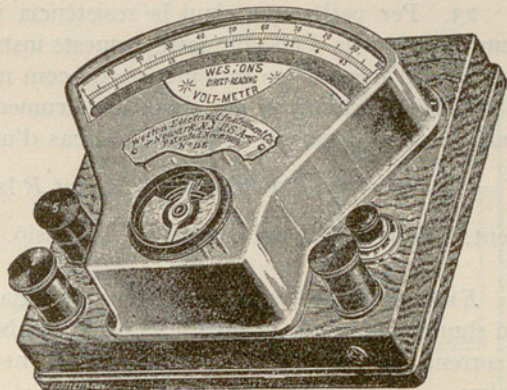


FIG. 12

al seu poc consum. A més, tenen el gran avantatge de poder ésser utilitzats per diferents amplituds solament canviant la resistència addicional sense alterar la seva precisió.

Un vòlmetre porta almenys, dos terminals per poder-lo connectar als dos fils de la línia. Els vòlmetres que tenen dues o tres escales porten tres o quatre terminals, respectivament, que serveixen per les lectures en l'escala corresponent. Les figs. 11 i 12 representen un vòlmetre de dues escales, i la fig. 13 un de set.

*Exemple.* — Cercar la resistència que cal afegir a un vòlmetre, la bobina mòbil del qual té una resistència de 25 ohms i un consum de 0,008 ampers per a la màxima desviació, en voler ésser utilitzat per mesurar tensions fins a 300 volts.

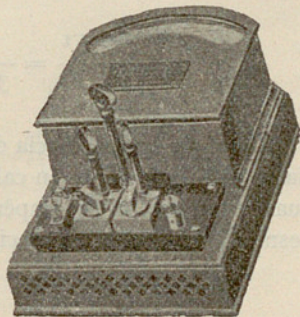


FIG. 13

*Resolució.*

$$R = \frac{E}{I} = \frac{300}{0,008} = 37\ 500 \text{ ohms.}$$

La resistència que cal afegir és  $37\ 500 - 25 = 37\ 475$  ohms.

## ENERGIA ABSORBIDA PELS INSTRUMENTS

23. Per petita que sigui la resistència interior d'un ampèrmetre, i per gran que sigui la d'un vòlmetre, aquests instruments consumeixen una certa quantitat d'energia que serà més petita com més bons siguin.

L'energia absorbida per aquests instruments es calcula per la fórmula de Joule, baix la forma  $W = R I^2$  en el cas d'un ampèrmetre, i baix la forma  $W = \frac{E^2}{R}$  en el cas d'un vòlmetre; essent  $R$  la resistència interior de l'instrument,  $I$  la intensitat del corrent i  $E$  la tensió.

*Exemple I.* — Si volguéssim saber l'energia gastada per un ampèrmetre i el seu shunt, sabent que la seva resistència combinada és de 0,00015 ohms, quan el corrent que circula és de 450 ampers, posant valors en la fórmula  $W = R I^2$ , tenim:

$$W = R I^2 = 0,00015 \times 450^2 = 30,4 \text{ wats, aproximadament.}$$

*Exemple II.* — Suposem que volem calcular l'energia consumida per un vòlmetre que té una resistència interior de 30 000 ohms, quan marqui 375 volts. Per això ens valdrem de la fórmula  $W = \frac{E^2}{R}$ , que, substituint valors, dóna

$$W = \frac{E^2}{R} = \frac{375^2}{30\,000} = 4,7 \text{ wats, aproximadament.}$$

Com que la resistència de la bobina mòbil és molt petita, la seva resistència no es té en compte en calcular l'energia perduda en la resistència del shunt quan es tracta d'un ampèrmetre, com tampoc quan es tracta de calcular l'esmerçada en la resistència interior d'un vòlmetre.

## INSTRUMENTS ELECTROMAGNÈTICS

24. Els instruments electromagnètics són anomenats, també, de ferro mòbil. El principi del seu funcionament es funda en les atraccions i repulsions a què és sotmès el ferro quan està dins d'un camp magnètic creat pel corrent que es vol mesurar.

En certs instruments el camp és creat per una bobina, en el centre de la qual és col·locada l'espàtula de ferro (fig. 14) o un nucli de ferro dolç (fig. 15),

que tenen com a força antagonista la gravetat. L'atracció paral·lela a l'eix de la bobina, produïda pel solenoid sobre el ferro mòbil, transmet el moviment, ja sigui directament, ja sigui per mitjà de palanques, a l'agulla indicadora.

25. En aquests darrers anys s'han construït un gran nombre d'instru-

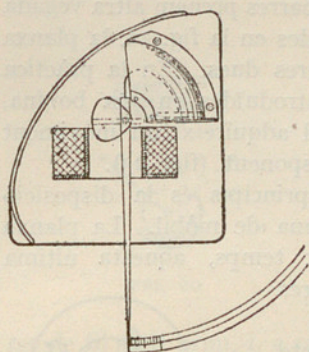


FIG. 14

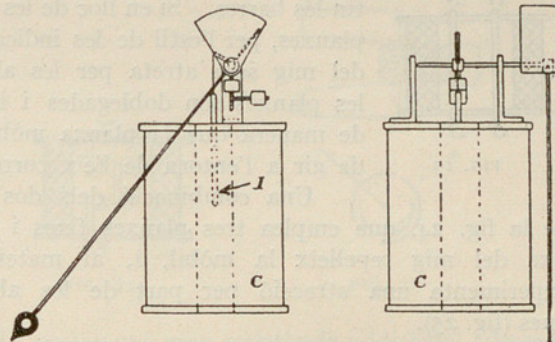


FIG. 15

ments basats en les atraccions i repulsions produïdes en el centre dels solenoides. Així, per exemple, en els instruments de Hummel (fig. 16) hi ha una petita làmina de ferro *a*, en forma de sector cilíndric, portada per un eix descentrat respecte a la bobina *B*; quan està en repòs, l'agulla ocupa la posició *a*, però amb l'acció del corrent la làmina de ferro tendeix a abraçar el flux màxim i es col·loca més prop de les espires de la bobina, i va cap a *a'*. La bobina *B* té el seu eix horitzontal, i la força antagonista és l'acció de la gravetat.

Una construcció molt corrent és la de fixar en l'interior de la bobina, i en sentit del seu eix, una peça de ferro, i sobre l'agulla un altra, de manera que pugui girar amb aquesta amb gran amplitud. En la posició de repòs, les dues peces de ferro es toquen, però, en canvi, quan el corrent circula per la bobina, com que les dues estan dins un mateix camp magnètic, llurs caps es magnetitzen amb la mateixa polaritat (figs. 17 i 18), això és, amb pol nord o amb pol sud, d'acord amb el sentit del corrent de la bobina, per la qual cosa es *rebutgen* mútuament.

El mateix succeeix si en lloc de les barres posem dues planxes curvades concèntricament (fig. 19). Si una d'elles és fixa i l'altra pot girar, en passar

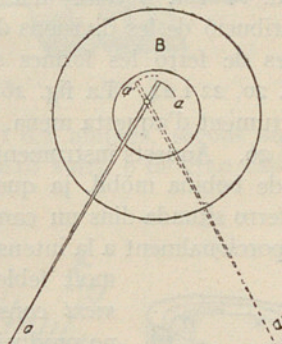


FIG. 16

el corrent, la segona tendirà a separar-se de la primera. En la fig. 20 podem veure el principi de funcionament.

Si en un solenoide introduïm tres barres de ferro, de la manera representada en la fig. 21, la del mig, que pot girar, serà *atreta* per les altres dues fixes, així que passi un corrent per la bobina i s'imantïn les barres. Si en lloc de les barres prenem altra vegada planxes, per l'estil de les indicades en la fig. 22, la planxa del mig serà atreta per les altres dues. En la pràctica les planxes són doblegades i introduïdes en una bobina, de manera que la planxa mòbil adquireixi un moviment de gir a l'entorn de l'eix corresponent (fig. 23).

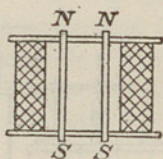


FIG. 17

Una combinació dels dos principis és la disposició de la fig. 24, que emplea tres planxes fixes i una de mòbil. La planxa fixa del mig repelleix la mòbil, i, al mateix temps, aquesta última experimenta una atracció per part de les altres dues (fig. 25).

La força de repulsió és proporcional al producte de les intensitats d'aquests pols induïts, per la qual cosa, si aquestes són iguals, les indicacions són proporcionals al quadrat del corrent. Aquesta proporcionalitat és destorbada per l'augment de distància entre la part fixa i la mòbil en desplaçar-se l'agulla sobre l'escala, per la qual cosa les desviacions són bastant iguals en un cinquè de la seva amplitud total. Per a obtenir una major regularitat en la distribució de les divisions de l'escala, es donen a les peces de ferro les formes afuades indicades en les figs. 20, 22 i 24. La fig. 26 representa l'escala d'un instrument d'aquesta mena.

26. Aquests instruments no són tan exactes com els de bobina mòbil, ja que hom sap que una massa de ferro situada dins un camp magnètic no s'imanta proporcionalment a la intensitat del camp, excepte per a forces magnetitzants molt febles, per les quals la proporcionalitat és *pràcticament* constant. A més, la mateixa força magnetitzant no produeix la mateixa inducció, ja que depèn de l'estat anterior de la massa de ferro; fenomen degut a l'*histèresi*. Un instrument de ferro mòbil dona lectures diferents, segons el corrent passi d'una valor feble a una més elevada, o recíprocament.

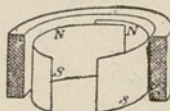


FIG. 19

En un instrument de ferro mòbil, sotmès solament a l'acció del camp creat per la bobina, és impossible evitar del tot l'histèresi, però es pot fer que la seva acció sigui menyspreable donant al circuit magnètic una forma

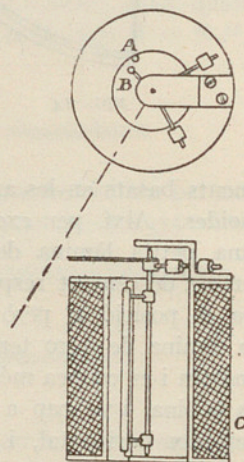


FIG. 18

tan oberta com sigui possible, reduint les masses de ferro i, per fi, empleant una força magnetitzant el més feble possible. En instal·lar-los, cal tenir compte que no estiguin prop de conductors pels quals passin corrents forts, car els causarien perturbacions.

Els vòltsmetres electromagnètics tenen la bobina feta amb moltes espi-

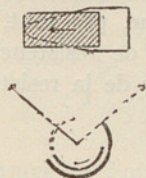


FIG. 20

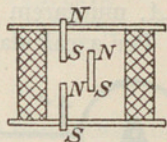


FIG. 21

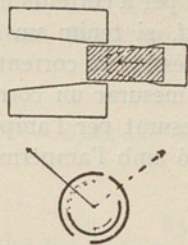


FIG. 22

res de fil molt prim, i, a més, porten una gran resistència addicional adossada a l'instrument, a fi que el consum de corrent sigui molt feble. El corrent

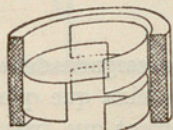


FIG. 23

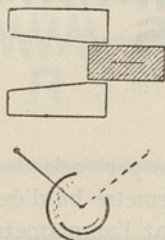


FIG. 24

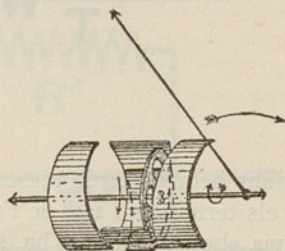


FIG. 25

que absorbeix un vòltsmetre varia entre 0,025 i 0,1 ampers, segons siguin instruments de petit calibre, per exemple de 0 a 10 volts, o de gran calibre,

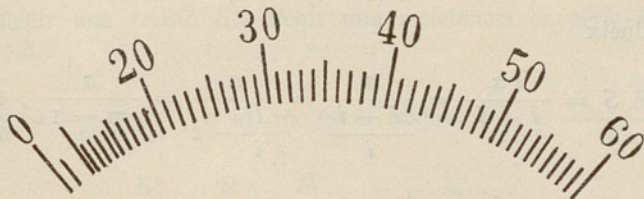


FIG. 26

de 0 a 500 volts. Els ampèrmetres es fabriquen sense shunt, i si van amb shunt, aquest ha de tenir una caiguda de tensió de 0,25 volts, aproximadament, per un consum de 10 ampers en l'ampèrmetre.

## AMPLIACIÓ DE L'ESCALA DELS INSTRUMENTS

27. *Augment de l'escala d'un ampèrmetre.* — Un ampèrmetre pot ésser utilitzat per a corrents molt més forts que el calculat, si li adjuntem un shunt.

Així, si tenim un ampèrmetre  $A$  (fig. 27), de resistència interior  $a$ , el qual necessita un corrent de  $i$  ampers per a donar tota la desviació de l'escala, i es vol mesurar un corrent  $I$  molt més gran que  $i$ , i que, per tant, no pot ésser mesurat per l'ampèrmetre  $A$ , muntarem un shunt de resistència  $S$  en derivació amb l'ampèrmetre  $A$ . Per a calcular la valor de la resistència  $S$

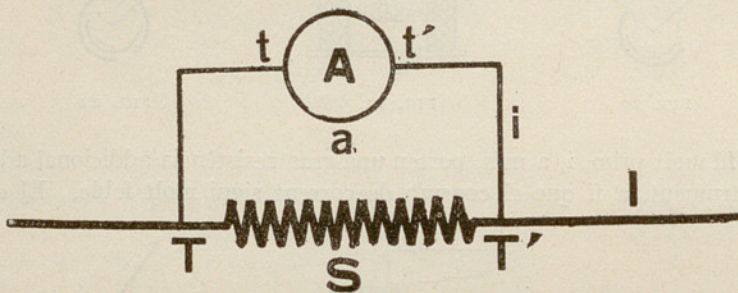


FIG. 27

del shunt hem de tenir present que per cada desviació la caiguda de tensió entre els terminals  $t$  i  $t'$  de l'ampèrmetre ha d'ésser la mateixa que quan no hi havia shunt. Quan s'ha shuntat l'ampèrmetre, el corrent que passa pel shunt per a la desviació màxima de l'instrument, val  $I - i$ . La caiguda de potencial en el shunt serà, doncs,  $S(I - i)$ , que, a l'ensem, haurà d'ésser igual a la caiguda de tensió de l'instrument, això és, igual a  $ia$ . Per tant, tindrem

$$S(I - i) = ia,$$

d'on es dedueix

$$S = \frac{ia}{I - i} = \frac{a}{\frac{I - i}{i}} = \frac{a}{\frac{I}{i} - 1} = \frac{a}{m - 1},$$

valor de la resistència del shunt que s'ha de connectar en paral·lel amb l'ampèrmetre de resistència  $a$  ohms per augmentar el calibre del mateix de  $i$  a  $I$  ampers. Per conèixer la intensitat del circuit principal cal multiplicar la lectura de l'ampèrmetre per  $m = \frac{I}{i}$ .

*Exemple.* — Tenim un ampèrmetre que té una resistència interior de 0,0017 ohms i té una lectura màxima en l'escala de 10 ampers, i es vol mesurar amb aquest instrument un corrent de 85 ampers; quina valor ha de tenir la resistència del shunt, i per quant s'han de multiplicar les indicacions de l'ampèrmetre per tenir la valor del corrent en el circuit principal?

*Resolució.* — La valor de la resistència del shunt la cercarem mitjançant la fórmula

$$S = \frac{a}{\frac{I}{i} - 1} = \frac{0,0017}{\frac{85}{10} - 1} = \frac{0,0017}{8,5 - 1} = \frac{0,0017}{7,5} = 0,000227 \text{ ohms,}$$

i les lectures de l'ampèrmetre han d'ésser multiplicades per  $m = \frac{85}{10} = 8,5$  per conèixer el corrent del circuit.

28. *Augment de l'escala d'un vòlmetre.* — Tenim un vòlmetre de resistència interior  $R$  (fig. 28), amb escala per a llegir una tensió màxima de  $E$

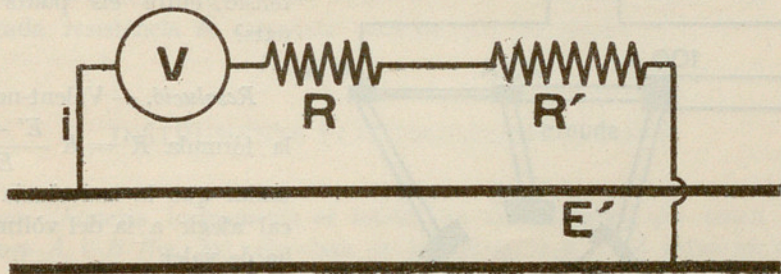


FIG. 28

volts, i el volem utilitzar per una tensió major  $E'$ . Com que el corrent  $i$  que absorbeix el vòlmetre en ambdós casos ha d'ésser el mateix, caldrà, per poder llegir una tensió  $E'$ , afegir una resistència en sèrie  $R'$ . Així, doncs, tindrem:

$$i = \frac{E}{R} = \frac{E'}{R + R'}, \text{ o el que és el mateix: } \frac{E'}{E} = \frac{R + R'}{R},$$

$$\frac{E'}{E} = \frac{R}{R} + \frac{R'}{R} = 1 + \frac{R'}{R},$$

així com, també,

$$\frac{R'}{R} = \frac{E'}{E} - 1 = \frac{E' - E}{E},$$

i resolent per  $R'$  l'equació anterior, tenim que

$$R' = R \frac{E' - E}{E}$$

Com que per l'adjunció de la resistència  $R'$ , l'amplitud de l'escala del vòlmetre ha pujat de  $E$  a  $E'$  caldrà multiplicar per  $\frac{E'}{E}$  totes les lectures del vòlmetre per tenir la veritable valor de la tensió que mesurem.

*Exemple.* — Tenim un vòlmetre d'una escala de 150 volts, que té una resistència interior  $R$  de 25 000 ohms, i es vol mesurar una tensió de 750 volts; quina és la valor de la resistència  $R'$  que s'ha d'afegir, i per quant s'ha de multiplicar la lectura del vòlmetre per obtenir la tensió entre els punts donats?

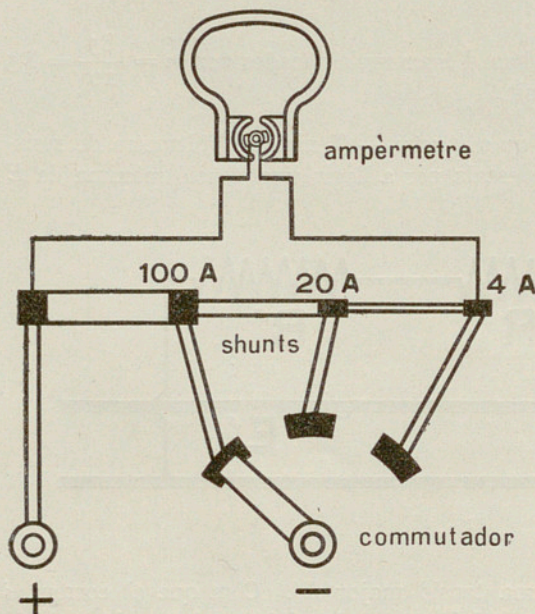


FIG. 29

*Resolució.* — Valent-nos de la fórmula  $R' = R \frac{E' - E}{E}$ , tenim que la resistència que cal afegir a la del vòlmetre ha de valer

$$R' = 25\,000 \frac{750 - 150}{150} = 100\,000 \text{ ohms,}$$

i les lectures escalars del vòlmetre s'han de multiplicar per  $\frac{750}{150} = 5$  per a conèixer la tensió veritable.

#### SHUNTS I RESISTÈNCIES MÚLTIPLES

29. Per a donar major amplitud d'utilització als instruments de mesura es proveeix als ampèrmetres de shunts múltiples i als vòlmetres de resistències múltiples, a fi de poder llegir, amb un instrument únic, quantitats ben distanciades.

Així, en la fig. 29 està indicada esquemàticament la disposició adoptada per poder utilitzar un sol ampèrmetre per llegir intensitats de 4, 20 i 100 ampers. Així les mesures són més precises, car si hem de mesurar un corrent de 2,3 ampers, per exemple, amb un ampèrmetre, l'escala del qual és de 100 ampers, com que la lectura l'hauríem de fer en el començament de l'escala, les divisions no seran mai tan visibles com si empleem un ampèrmetre de 4 ampers.

Amb els vòltsmetres (fig. 30) es pot fer una cosa semblant disposant una resistència de manera que en surtin diferents caps que corresponguin a les diferents escales; amb el que podrem mesurar amb un sol instrument tensions molt diverses i sempre amb molta més exactitud que si ho féssim amb un d'una sola escala. La valor de cada resistència és calculada com havem dit abans.

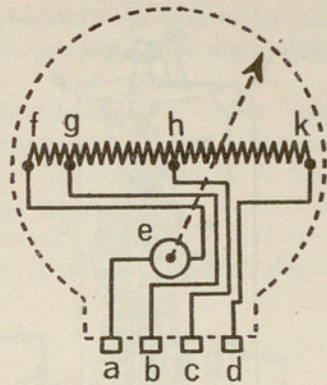


FIG. 30

### INSTRUMENTS ELECTRODINAMOMÈTRICS

30. Aquests instruments es funden en la propietat que tenen dues bobines *A* i *B* (fig. 31), els eixos de les quals, *aA* i *bB* estan en angle recte, que quan hi passa un corrent, aquest produeix forces que tendeixen a situar les bobines de manera que llurs eixos tinguin la mateixa direcció.

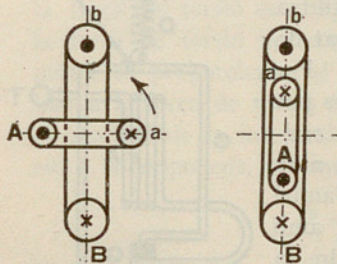


FIG. 31

Així si les bobines *A* i *B* tenen els seus eixos en angle recte en passar un corrent per elles tal com indiquen les creus i els punts marcats, la bobina mòbil *A* girarà en sentit de la sageta fins a posar-se de manera que el seu pla coincideixi amb el de la bobina *B*.

El tipus clàssic és l'electrodinamòmetre *Siemens* (figs. 32 i 33), en el qual una bobina fixa *A*, formada de dues seccions d'un nombre desigual d'espines de secció apropiada als corrents que volem mesurar, està sostinguda per un bastiment de fusta *B*; la bobina mòbil o quadre *C*, que té la forma d'un marc rectangular, oscil·la a l'exterior de la bobina *A*, i està sospesa per mitjà d'un fil de seda. Els dos extrems del

fil que forma el quadre mòbil estan submergits dins de dos gotets *G G* superposats i plens de mercuri que serveixen per portar el corrent al quadre.

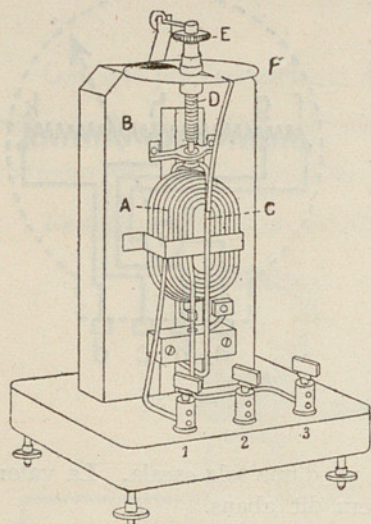


FIG. 32

Demés hi ha un ressort, o molla espiral *D*, que té un dels seus caps fixat a la bobina mòbil, i l'altre a un botó garfilat *E*, que porta un índex *I*, que es mou sobre l'escala circular *F*. La bobina mòbil porta també un índex *I'*, que està al zero, junt amb l'altre, quan no passa corrent per les bobines. La molla *D* s'oposa al moviment del quadre degut al pas del corrent, i la força de torsió necessària per fer que el quadre mòbil torni a la seva posició d'equilibri, dóna una valor proporcional al quadrat de la intensitat del corrent, de manera que basta determinar una vegada per sempre més la constant de l'instrument per a poder fer el mesurament d'un corrent qualsevol. La bobina fixa que, com ja hem vist, està formada per dues bobines de nombre desigual d'espi-

res, porta tres caps que van als seus corresponents terminals 1, 2, 3, amb els quals es fan les combinacions necessàries per mesurar el corrent.

Com que la força que actua sobre la bobina mòbil depèn de la intensitat del camp magnètic en què es mou, les indicacions són influïdes pels camps magnètics del voltant, de manera que quan s'utilitza aquest instrument se l'ha de tenir ben allunyat de tot camp magnètic que el pugui destorbar. Per evitar l'efecte del camp magnètic de la terra es pot posar la bobina fixa de manera que el seu eix estigui en angle recte amb el meridià magnètic, això és, que tingui la direcció de l'est a l'oest. També es pot aconseguir fent un segon mesurament amb el corrent passant en sentit contrari i pendre la mitjana geomètrica dels dos resultats (GEOMETRIA, II, núms. 134 i 183.)

L'electrodinamòmetre Siemens, el mateix mesura corrents continus que alterns, i variant un xic la seva construcció pot servir com a vòlmetre, com ampèmetre i com a vàtmetre, i per conèixer les valors corresponents a cada desviació, els instruments porten una taula o corba indicadora. Degut a la lentitud

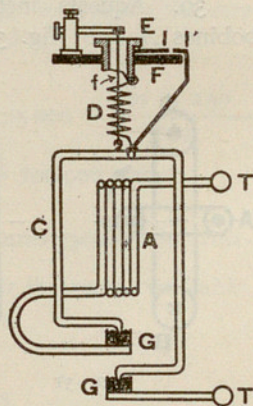


FIG. 33

amb què s'obtenen les seves indicacions a causa del temps que cal per regular el botó garfilat; a no ésser portàtil i a no ésser de lectura directe, fa que el seu ús quedi restringit als laboratoris, ja que hi ha altres instruments electrodinamòmètrics que són més pràctics i més manejables.

31. *Mesurament del corrent amb l'electrodinamòmetre.* — Per aquest mesurament, les bobines fixa i mòbil es connecten en sèrie, i el mateix corrent passa per una bobina que per altra. En l'esquema de la fig. 34 està representat esquemàticament un electrodinamòmetre per mesurar corrents, en el qual es veuen la bobina fixa i la mòbil. Quan el corrent circula per les bobines, la bobina mòbil gira sobre el seu eix vertical, degut a l'acció mútua dels camps magnètics creats per elles. Aquest moviment està limitat per uns topadors.

Si ara fem girar el botó garfilat *E* (fig. 32) fins que l'índex de la bobina mòbil s'escaigui sobre el zero, la força necessària per equilibrar amb la molla l'acció del corrent, és propor-

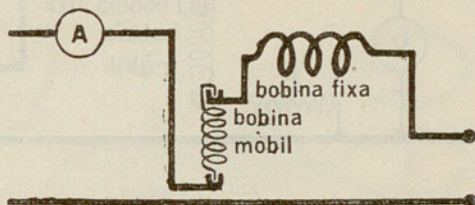


FIG. 34

cional a l'angle de torsió de la molla espiral, o sigui a l'angle que ha desviat l'índex que porta el botó garfilat *E* fins que l'índex de la bobina mòbil s'escaigui sobre el zero. Aquesta força de la molla mesura la força que s'exerceix entre les dues bobines, la valor de la qual sabem que és proporcional a la intensitat del corrent que passa per cada bobina, i com que aquestes bobines estan en sèrie i per elles hi passa un mateix corrent, la força de torsió és proporcional al quadrat de la intensitat. Per tant, la força de torsió necessària per a fer tornar al zero l'índex de la bobina mòbil és proporcional al quadrat de la intensitat, i com que de la seva banda la força de torsió és proporcional a l'angle de torsió, es dedueix que el quadrat de la intensitat  $I^2$  és proporcional a l'angle de torsió o desviació  $d$  corresponent, per tant

$$I^2 = K d, \quad \text{d'on} \quad I = K_1 \sqrt{d},$$

essent  $K_1$  una constant que depèn de la construcció i dimensions de l'electrodinamòmetre, la valor de la qual es determina una vegada per totes mesurant-hi un corrent conegut.

32. *Mesurament de la tensió amb l'electrodinamòmetre.* — Si amb aquest instrument volem determinar una diferència de potencial, es connecten les dues bobines fixa i mòbil com abans en sèrie (fig. 35), però afegint-hi

una resistència addicional  $R$  per limitar el corrent que es pren de la línia, a fi que la inserció de l'instrument no destorbi d'una manera apreciable el règim de la mateixa. Com abans, les desviacions són proporcionals als quadrats de les intensitats, però com que aquestes a son torn són proporcionals a la tensió que les produeix, ja que la resistència de l'instrument roman constant, tenim que les desviacions  $d$  són proporcionals al quadrat  $E^2$  de les tensions; per tant,

$$E^2 = K d, \text{ d'on } E = K_1 \sqrt{d}$$

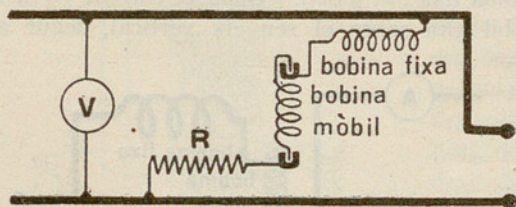


FIG. 35

33. Mesurament de la potència amb l'electrodinàmètre. — Si connectem una de les bobines (fig. 36), la mòbil per exemple, en dos punts d'un circuit entre els quals hi ha una diferència de potencial  $E$ , i connectem l'altra bobina del dinamòmetre, la

fixa, en sèrie amb un dels fils, de manera que per ella passi el corrent que es vol mesurar, les desviacions  $d$  de l'instrument seran proporcionals al producte dels corrents que passin per elles, l'un és proporcional a la tensió  $E$  i l'altre al corrent  $I$  de la línia, això és, seran proporcionals a l'energia  $W$  que passa pel circuit en què està connectat. Com en el cas del vòlmetre, la bobina que mesura la tensió porta una resistència addicional per no destorbar gaire el circuit elèctric que mesura. De manera que

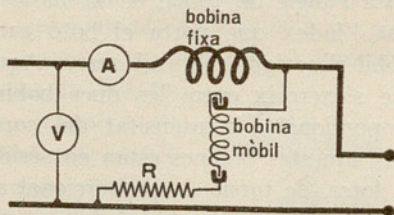


FIG. 36

$$W = K_2 d.$$

La bobina mòbil es connecta en sèrie amb una gran resistència entre els dos fils del circuit; aquesta resistència té per objecte fer ben petit el corrent que passa per la bobina mòbil, ja que si fos massa gran alteraria molt notablement el règim del circuit i falsejaria les indicacions de la potència real d'aquest. Es fa, també, d'un material d'un coeficient de temperatura molt baix, a l'objecte què les indicacions ni siguin afectades per la temperatura.

## BALANCES ELECTRODINÀMIQUES DE LORD KELVIN

34. Les balances de *Lord Kelvin* són una forma de l'ampèrmetre dinamomètric adaptat al mesurament de corrents fins a 10 000 ampers. L'instrument consta de dues bobines, fixades cada una d'elles a un balancer, el qual les permet moure's entre dos parells d'altres bobines fixes, com es veu en la fig. 37.

El corrent que es vol mesurar passa successivament per totes les bobines que estan en sèrie i de manera que llurs efectes es sumin. En les bobines mòbils el corrent circula en sentit contrari, a l'objecte de destruir la influència del camp terrestre. El corrent arriba a les bobines mòbils per dues cintes metàl·liques molt curtes formades per un gran nombre de fils molt prims de coure posats en paral·lel. A conseqüència de l'acció electromagnètica que hi ha entre les bobines, l'extrem esquerre del balancer bai-

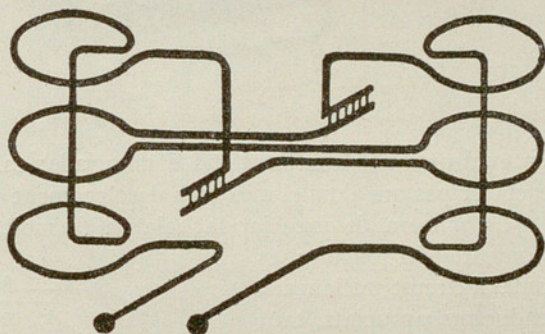


FIG. 37

xa i el dret puja. L'equilibri del balancer és restablert movent un cursor *M* sobre una escala graduada *E* (figs. 38 i 39). Per a fer variar la sensibilitat de l'instrument en les relacions 1, 2, 4, 8, són afegits pesos addicionals 3, 15, 63 vegades el del cursor. Cada vegada que és canviat el pes del cursor cal restablir l'equilibri del balancer afegint un contrapes adequat en una mena de canal *G* que hi ha a la dreta de la figura. No cal dir que aquesta regulació ha d'ésser feta *sense corrent* i amb el cursor mòbil posat al zero. Per determinar la posició d'equilibri hi ha dos índexs *I* i *I'* fixats als caps de la regla mòbil, que es mouen davant d'uns arcs graduats, que permeten posar sempre les bobines movibles a la mateixa posició, entre les dues fixes. El moviment del cursor *M* és obtingut mitjançant la tija *D* d'un petit pèndol *P* que pot oscillar dins una obertura que porta el cursor. Si se'l fa moure, per mitjà d'un dels fils de seda que porta el pèndol a cada costat, en topar a la vora de la ranura arrossega el cursor, i basta deixar anar el fil perquè el pèndol es quedi al mig de l'entalla deixant el cursor completament lliure.

La divisió de l'escala fixa dona directament la intensitat, per això no més cal multiplicar la xifra llegida davant del cursor pel coeficient  $K$  corresponent al pes empleat; però la interpolació entre dos traços és bastant grollera. Per tenir més precisió, cal llegir sobre l'escala mòbil el nombre de divisions  $d$ ; la intensitat és aleshores expressada per la fórmula

$$I = 2 K \sqrt{d},$$

el coeficient  $K$  és el mateix que el que correspon a les divisions de l'escala fixa.

La precisió dels mesuraments fets amb aquest instrument de-

pèn evidentment de la longitud  $d$  mesurada; cal, doncs, escollir amb preferència el pes que doni el més gran desplaçament del cursor.

La manera de manejar la balança és molt senzilla, però exigeix molt d'esment. La balança és unida al circuit mitjançant conductors apropiats, tant en la forma com en les dimensions. Aquests conductors es solden a uns terminals que es collen a la balança mitjançant unes tenalles especials. Cal, particularment quan es tracta de corrents intensos, col·locar els conductors paral·lelament, i el més pròxims possible, fins a una certa distància de l'instrument.

Després d'haver nivellat l'instrument per mitjà dels cargols de la base, el cursor és posat, junt amb el pes adequat al corrent a mesurar, al zero de l'escala mòbil; hom col·loca en la canal el contrapès corresponent i s'obté l'equilibri per mitjà de l'índex mòbil  $L$ . Un cop fet això, l'instrument està llest per ésser utilitzat. El corrent, en passar per la balança, desequilibrarà el balancer; hom mourà el cursor fins que els índexs del balancer s'escaiguin altra volta a la posició d'equilibri; llegim aleshores la distància  $d$  i el nombre de divisions de l'escala fixa, aquest darrer serveix de primera aproximació i permet veure si s'ha comès una error massa grossa en fer el càlcul de  $\sqrt{d}$

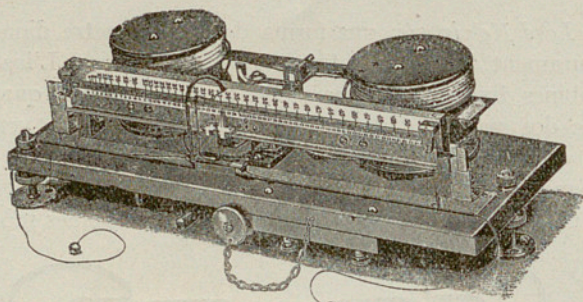


FIG. 38

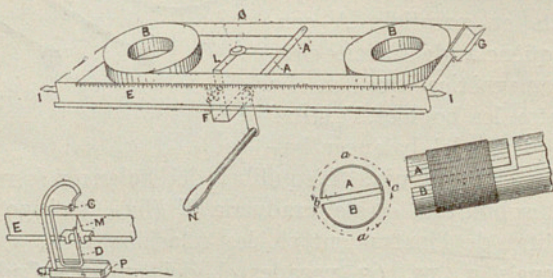


FIG. 39

## INSTRUMENTS ELECTRODINAMOMÈTRICS DE LECTURA DIRECTA

## AMPÈRMETRES I VÒLTMETRES

35. Per a fer un mesurament amb el dinamòmetre Siemens es necessita molt de temps, ja que per a determinar la indicació de la bobina mòbil cal tornar-la al zero torçant la molla que la suporta, llegir la desviació i cercar en la taula la valor que li correspon. Si la quantitat que volem determinar canvia de valor durant el seu mesurament, no és possible seguir-la en aquests canvis i determinar exactament la seva valor valent-nos del dit dinamòmetre.

Per evitar aquests inconvenients són construïts instruments que donen directament llurs indicacions en les unitats de la classe de la quantitat que es mesura a més de seguir-la en les seves variacions, instruments que no són més que electrodinamòmetres amb unes quantes modificacions que els fan molt pràctics.

La bobina mòbil, com que cal que sigui sostinguda molt lleugerament, només pot suportar un corrent molt feble, de 0,1 ampers, de manera que per intensitats més grans cal afegir-li un shunt.

En aquests instruments, generalment, la bobina mòbil es mou dins de la fixa. La conducció del corrent té lloc, com en els instruments magnetodinàmics, mitjançant dues molles espirals de substància no magnètica, que al mateix temps proporcionen la força antagonista.

Les bobines fixes tenen una forma apropiada, mitjançant la qual obtenim un camp magnètic el més uniforme possible, qualsevol que sigui la posició de la bobina mòbil.

L'esmoreïment és obtingut mitjançant frens d'aire. Aquests instruments tenen un consum propi bastant considerable.

La fig. 40 representa la vista exterior d'un ampèrmetre electrodinamomètric.

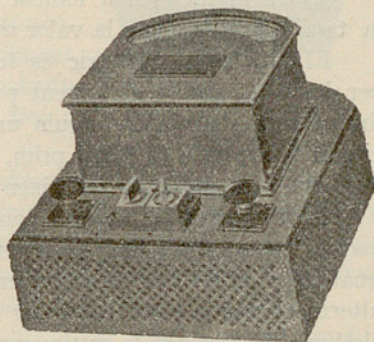


FIG. 40

## VÀTMETRES

36. En comptes de mesurar separatament la tensió del circuit i el corrent que flueix pel mateix i multiplicar després aquestes valors a fi d'obtenir l'energia d'un circuit, ens servim dels instruments anomenats *vàtmètres*, que fan aquesta multiplicació directament, indicant la potència en vats.

Els elements essencials d'un vàtmetre, són:

1. Una bobina fixa que constitueix el circuit ampermètric.
2. Una bobina mòbil que forma el circuit voltmètric.
3. Un artifici per a indicar el producte instantani de la intensitat per la tensió, i que dona la valor mitjana del mateix dins un temps molt curt.

El circuit ampermètric és format per dues bobines fixes de fil gruixut, per les quals passa el corrent principal, i estan disposades de manera que llurs camps magnètics tinguin una mateixa direcció. La bobina mòbil del circuit voltmètric és de fil prim, i el corrent hi arriba i en surt per mitjà de dues molles espirals que serveixen a la vegada per donar la força antagonista. En els vàtmètres per corrent continu la bobina mòbil és muntada sobre un marc o bastidor d'alumini com en els instruments de bobina mòbil, amb la qual cosa l'instrument esdevé aperiòdic. En el cas d'instruments per corrent altern, com que el marc és fet d'un material no conductor, l'aperiodicitat aleshores és obtinguda mitjançant un fre d'aire, com en els instruments de ferro dolç.

Les bobines fixes (circuit ampermètric) es connecten en sèrie amb el fil que porta el corrent, com si fos un ampèrmetre, mentre que la bobina mòbil que està en sèrie amb una gran resistència (circuit voltmètric) es connecta entre els dos fils del circuit, com si fos un vòltmetre.

Com que el camp creat per les bobines fixes i el creat per la bobina mòbil, són, respectivament, proporcionals al corrent  $I$  i a la tensió  $E$  del circuit, les desviacions seran proporcionals al producte dels ampers pels volts, això és, als vats. Però tenim que el corrent que passa per la bobina mòbil és  $i = \frac{E}{R}$ , d'on  $E = R i$ , essent  $R$  la resistència del circuit voltmètric, i substituint en la fórmula

$$W = I E,$$

tenim que

$$W = I (R \times i) = R (I \times i),$$

de manera que en cada instant la potència indicada per l'instrument és igual al producte  $I \times i$  de les intensitats dels dos circuits, multiplicat per la resistència total  $R$  del circuit voltmètric.

37. La mesura de la potència serà exacte si, com hem dit abans, la va-

lor dels dos camps que reaccionen són, en cada instant, l'un proporcional a la tensió i l'altre a la intensitat. Si l'instrument és per corrent continu, basta que el circuit voltmetríic tingui una resistència constant, qualsevol que sigui la variació de temperatura; això és obtingut fent que la resistència addicional voltmètrica (que és necessària com en un vòltmetre) sigui d'un al·liatge de coeficient de temperatura menyspreable.

A més, és necessari si s'empleen nuclis o parts metàl·liques, que aquestes no produeixin desviacions del sistema mòbil, degudes a la reacció dels corrents paràsits induïts en elles amb el corrent dels circuits ampermètric o voltmètric.

Els camps magnètics externs poden pertorbar les indicacions de l'instrument, però, generalment, els vàtmetres electrodinamomètrics ben construïts no són influïts sensiblement per corrents fins a 1000 ampers i a 40 cm de distància.

En els mesuraments de precisió amb corrent continu cal tenir en compte les pertorbacions degudes al camp magnètic terrestre; aquest és eliminat o per mitjà de doble lectura feta canviant el sentit de la intensitat i de la tensió o girant el vàtmetre a cada lectura, bo i conservant l'índex en la direcció en la qual es troba experimentalment que és insensible al camp magnètic.

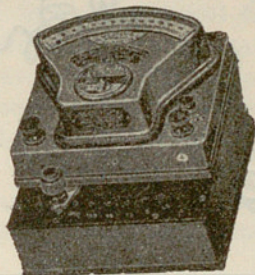


FIG. 41

La fig. 41 representa un vàtmetre electrodinamomètric de precisió.

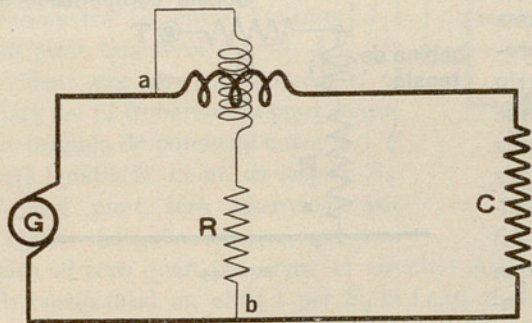


FIG. 42

cas el vàtmetre mesurarà, a més de l'energia consumida per la càrrega del circuit, la que consumirà la bobina de tensió del vàtmetre.

Si coneixem la resistència  $R$  de la bobina de tensió és fàcil calcular, mitjançant l'expressió  $\frac{E^2}{R}$ , l'energia esmerçada en ella, valor que deduirem de la indicació del vàtmetre si volem conèixer exactament l'energia consumida per la càrrega del circuit. Aquesta correcció es fa solament, com

38. *Vàtmetre compensat.* — Un vàtmetre pot ésser connectat, en fer un mesurament, de dues maneres. La bobina de tensió pot ésser connectada del cantó del generador fig. 42. o del cantó de la càrrega, tal com està indicat en la fig. 43. En aquest últim

és natural, en el cas que el no tenir en compte aquesta energia es produís una grossa error en el mesurament.

Per no haver de tenir necessitat de deduir l'energia consumida en la

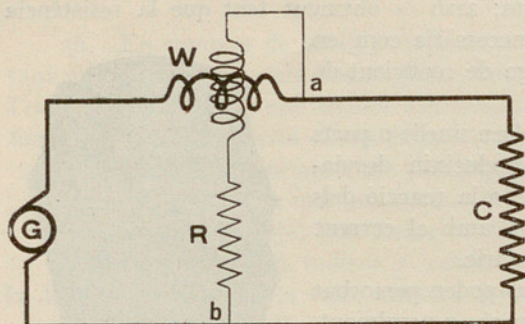


FIG. 43

bobina de tensió en cada mesurament, utilitzem els *vàtmètres compensats*. En aquests vàtmètres, les bobines fixes que engendren el camp magnètic, amb el qual reacciona la bobina mòbil per a donar la desviació, porten un segon bobinat auxiliar de fil prim, pel qual passa el corrent que circula per la bobina de tensió. En la fig. 44 es veuen les connexions interiors d'un vàtmetre compensat. Si el connectem al circuit, tal com està indicat en la figura, és evident que la força magnetomotriu deguda a la bobina fixa és produïda pel corrent  $I - i$ , essent  $I$  el corrent del circuit exterior i  $i$  el de la bobina de tensió. Com que el bobinat compensador és connectat de manera que quan el vàtmetre dóna una desviació positiva, el corrent  $i$  que passa pel bobinat compensador produeix una força magnetomotriu en direcció oposada a la que produeix la bobina fixa, la força magnetomotriu resultant  $i$ , per tant, el camp magnètic resultant, és degut al corrent  $(I - i) - i$ , o sigui  $I$ ; de manera que la desviació del vàtmetre és independent del corrent que pren la seva bobina de tensió. En aquesta mena de vàtmètres cal connectar la bobina de tensió del cantó de la càrrega, ja que si fos connectada del cantó del generador el camp magnètic fixe seria proporcional a  $I - i$  en comptes d'ésser-ho a  $I$ , ço que falsejaria les indicacions.

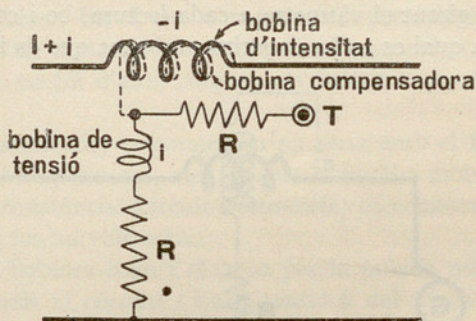


FIG. 44

El born  $T$  serveix per curtcircuitar la bobina compensadora.

## POTENCIÒMETRE

39. Com indica el seu nom, el potenciòmetre és un instrument destinat principalment al mesurament de potencials elèctrics. El seu marge d'utilització està comprès, generalment, entre 1 microvolt i 1,5 volts, i, servint-nos d'un joc de shunts i de resistències, també pot ésser empleat per mesurar qualsevol altre corrent o tensió. També pot ésser utilitzat per al mesurament acurat de la resistència pel mètode de la caiguda de tensió, en el qual el vòlmetre és substituït pel potenciòmetre. Encara que pot ésser utilitzat per mesurar tota mena de resistències, és empleat principalment per mesurar resistències menors que 1 ohm.

40. El *potenciòmetre senzill* és essencialment un instrument de corrent continu; la fig. 45 és un esquema d'aquest instrument, on  $B_1$  és una font de corrent, com per exemple un acumulador, i  $A C$  un fil de resistència qualsevol, però de secció ben uniforme en tota la seva longitud, unit als borns de l'acumulador passant per un reostat. Si prenem una pila  $B_2$  de f.e.m. més petita que la de  $B_1$  i la connectem en sèrie amb un galvanòmetre  $G$ , entre l'extrem  $A$  i un punt qualsevol del fil  $A C$ , és evident que movent l'extrem  $P$  al llarg del fil trobarem un punt en què la caiguda de potencial entre  $A$  i  $P$  serà igual a la f.e.m. de la pila  $B_2$ . Aquest punt serà assenyalat per l'agulla del galvanòmetre, que restarà al zero quan tancarem el circuit. Així, si designem per  $E_1$  la caiguda de tensió total en el fil i per  $E_2$  la f.e.m. de la pila  $B_2$ , tindrem que

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{a_2}{l},$$

en la qual  $l$  és la longitud total del fil  $A C$  i  $a_2$  és la distància entre el punt  $P$  d'equilibri i el punt comú  $A$  d'ambdós circuits. Per tant,

$$E_2 = \frac{a_2}{l} E_1$$

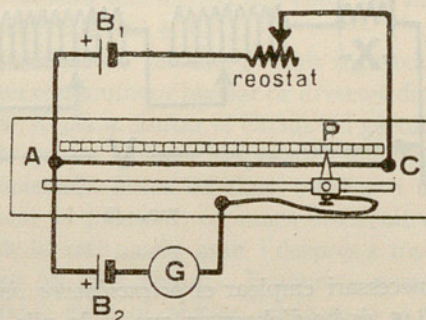


FIG. 45

Ara bé, si  $E_1$  és la f.e.m. d'una pila patró coneguda, aquesta fórmula permet determinar exactament la f.e.m.  $E_2$  de la pila  $B_2$ .

41. En els instruments industrials és usual substituir el fil únic  $AC$  per una sèrie de resistències; i en comptes de variar la relació entre  $a_2$  i  $l$  movent el contacte mòbil, es varia la magnitud de la resistència total, romanent constant la part equivalent a la resistència  $a_2$ . La fig. 46 representa les connexions d'un potenciòmetre construït segons acabem de dir. La tensió que es vol mesurar és aplicada a  $V$ .  $S$  és la pila patró,  $G$  i  $K$  són, respectivament, el galvanòmetre i el pulsador que tanca el circuit. La valor numèrica de la resistència  $X$  és en unitats de resistència igual a la f.e.m. de la pila patró  $S$  en volts.

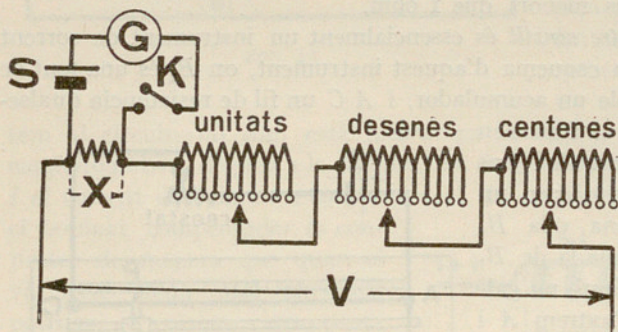


FIG. 46

Aquest instrument és solament utilitzable per a mesurar tensions d'uns 2 volts, però és molt sensible i exacte. La resistència, generalment, és escollida de manera que el corrent que circula per l'instrument quan està equilibrat sigui de l'ordre de  $\frac{1}{100}$  d'ampere.

42. Per a mesuraments de tensions menors de 1,5 volts

és necessari emprar el *potenciòmetre doble*. Referint-nos altra vegada a la fig. 45, és bo d'observar que si la pila  $B_2$  és substituïda per una altra  $B_3$ , i s'equilibra l'instrument amb una longitud  $a_3$  del fil  $AC$ , aleshores tindrem que

$$\frac{E_3}{E_2} = \frac{a_3}{a_2} \quad \text{o} \quad E_3 = \frac{a_3}{a_2} \times E_2.$$

De manera que si  $B_2$  és una pila patró de f.e.m. coneguda, podrem calcular la f.e.m. de  $B_3$ .

Per facilitar aquests dos mesuraments, es construeixen els potenciòmetres dobles, afegint al fil sobre el qual llisca el cursor un joc de bobines de resistència posades en sèrie amb ço que la caiguda de tensió en el fil tens és sols una fracció de volt. Cada bobina de la resistència equival a 100 divisions de l'escala del fil, i la tensió total s'ajusta de manera que cada contacte (o 100 divisions en l'escala del fil) representi  $\frac{1}{10}$  o  $\frac{1}{100}$  de volt, a fi de poder llegir directament la relació entre  $a_3$  i  $a_2$ , sense tenir de fer cap càlcul.

43. Un bon exemple de potenciòmetre doble és el de *Crompton*; la figura 47 dóna un esquema de les connexions. En aquest instrument el fil tens és allargat, connectant-hi en sèrie catorze resistències, la valor de les quals està combinada de manera que cada una doni  $\frac{1}{10}$  de volt, que és la caiguda de tensió en 100 divisions del fil tens. Hi ha dos contactes mòbils; el que ve del galvanòmetre *G* es mou sobre el rengle de blocs connectats als extrems de les resistències, i el que ve del commutador *S* llisca sobre fil tens.

Per aquest mitjà és possible variar la distància entre els punts de contacte d'una quantitat igual a qualsevol nombre de resistències, més una fracció qualsevol del fil tens. Així, aquest dispositiu equival a tenir un fil quinze vegades la del que s'emplea realment. No obstant, l'exactitud depèn molt més del grau d'uniformitat del fil que de la resistència per unitat de longitud. El fil té una longitud de 75 cm i està davant d'una escala que porta cent cinc divisions, de manera que per l'exactitud en les lectures és com si el fil tingués una longitud de 112,5 m. L'avantatge de tenir les cinc divisions de més permet obtenir una lectura més enllà del límit superior, sense haver de fer córrer el cursor de tot el fil.

La resta de l'instrument consisteix en un reostat *R* amb regulacions grollera i fina per graduar el corrent, un commutador bipolar de diverses direccions *S* i un pulsador o clau de pressió *K* per a tancar el circuit del galvanòmetre. Aquest pulsador va proveït de quatre làmines, disposades una sobre de l'altra i amb una resistència connectada entre les dues inferiors i una altra entre les del centre. En apretar el pulsador, es tanca el circuit del galvanòmetre, primerament a través de la resistència gran i després a través de la petita, i, per fi, totes són posades en curt circuit. D'aquesta manera l'operador veu si el desequilibri és molt gran al primer contacte, i el risc d'avarar el galvanòmetre és reduït al mínim. Per subministrar el corrent al fil hi ha un acumulador *B*<sub>1</sub>; la pila patró *B*<sub>2</sub> es connecta al primer parell de terminals *A*. El commutador circular *S* permet connectar els jocs de terminals *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F* en sèrie amb el galvanòmetre, ço que facilita el treball en gran manera quan s'han de fer diversos mesuraments.

Com que aquest instrument determina tensions de  $\frac{1}{10}$  de volt per bobina, el primer que cal fer és equilibrar la f.e.m. de la pila patró amb la tensió que li correspongui en l'instrument; per això es col·loca el cursor en la divisió que correspongui a la tensió indicada per la pila patró, i després, mitjançant el reostat *R*, es regula el corrent fins que el galvanòmetre no es desvii. D'aquesta manera l'instrument està a punt per fer mesuraments de qualsevol tensió, fins a uns 1,5 volts, la qual pot ésser aplicada a qualsevol dels jocs de terminals.

A l'objecte que el potenciòmetre sigui més manejable, de vegades està

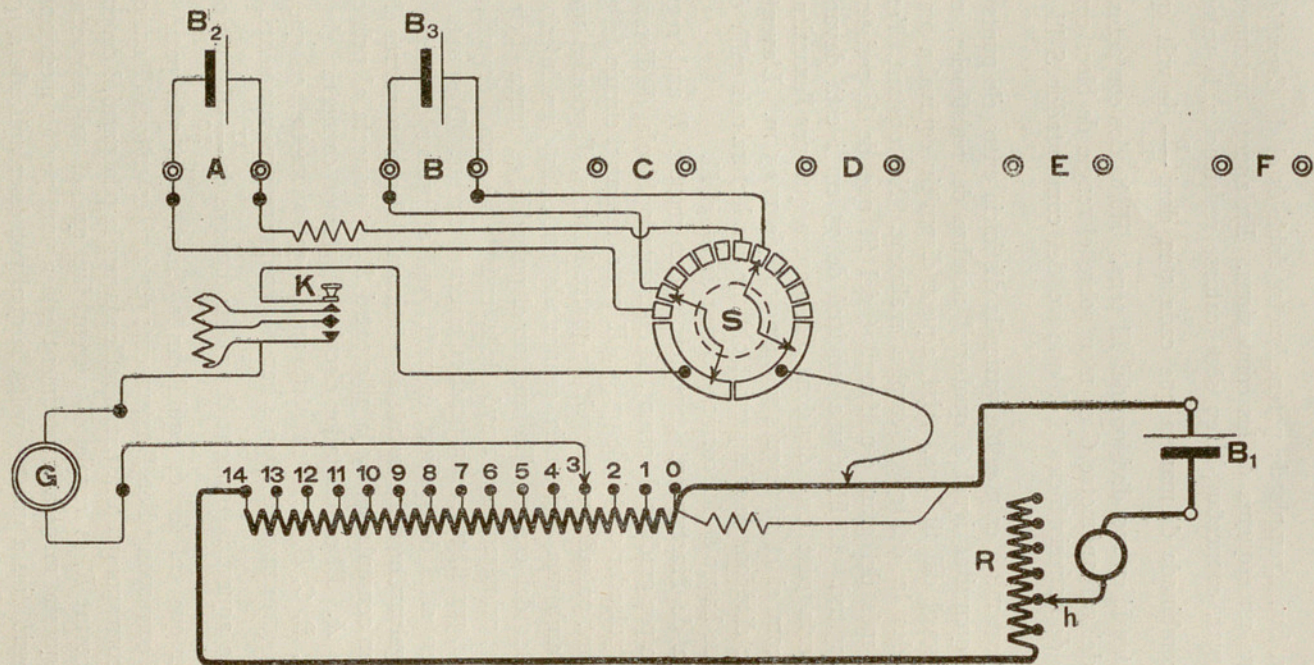


FIG. 47

disposat de manera que la diferència de potencial pugui ésser llegida directament de la posició del cursor  $P$  (fig. 45) sense tenir de fer cap càlcul. Això és molt fàcil d'obtenir fent que el corrent que passa pel fil tingui una valor constant, amb la qual cosa la caiguda de tensió entre  $A$  i  $C$  és sempre la mateixa. Per consegüent, l'escala sobre la qual es llegeix la posició de  $P$  pot ésser graduada de manera que doni en volts la caiguda de tensió que hi ha entre  $A$  i un qualsevol dels punts de l'escala.

44. *Caixa de resistències.* — Per a mesurar tensions superiors és empleada una caixa de resistències (fig. 48), que consisteix en una gran resistència  $AB$  amb derivacions exactament calculades  $T_1, T_2, T_3$ , etc., de manera que la tensió  $V$  que es vol mesurar sigui un múltiple de la tensió  $v$  en el potenciòmetre. Com que en l'instant del mesurament no circula corrent pel circuit del galvanòmetre, la tensió  $V$  pot ésser determinada acuradament multiplicant la indicació  $v$  del potenciòmetre per la relació entre la resistència total i la fracció a la qual és connectat el potenciòmetre.

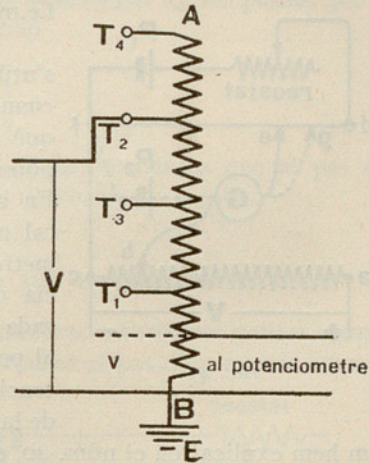


FIG. 48

Aquest mètode, evidentment, no és tan directe com en el cas del potenciòmetre senzill de la fig. 45, però, en canvi, té l'avantatge d'ésser aplicable a una varietat de mesuraments més grans.

#### MESURAMENT DE LA TENSIÓ AMB EL POTENCIÒMETRE

45. Quan es tracta de mesurar petites diferències de potencial, com són les que donen les piles, i es volen comparar amb la d'una pila patró, es connecta aquesta entre els terminals  $A$  (fig. 47), i les piles que volem assajar entre els terminals  $B, C, D$ , etc. Abans de tot es regula el corrent del potenciòmetre, per això es posa el commutador  $S$  sobre els contactes corresponents al circuit de la pila patró  $B_1$ , el potenciòmetre és equilibrat posant el cursor sobre la divisió de l'escala marcada en volts que correspongui a la f.e.m. de la pila (per exemple, una pila Weston té una f.e.m. de 1,0186 volts) que ens és donada pel mateix patró. Després es posa el commutador  $S$  sobre els contactes corresponents a la pila  $B_2$ , la f.e.m. de la qual es vol mesurar, i s'equilibra novament el potenciòmetre corrent el cursor procedent de  $S_0$ , si no n'hi ha prou, variant la resistència amb el cursor de  $G$ . Si l'escala està marcada en volts, la divisió sobre la

qual s'escaigui el cursor ens donarà la f.e.m. de la pila que assagem, en cas contrari la f.e.m. cercada estarà en la proporció

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{d_2}{d_1}, \text{ d'on } E_2 = E_1 \times \frac{d_2}{d_1},$$

essent  $d_2$  i  $d_1$  les divisions llegides sobre l'escala del cursor corresponents a les f.e.m.  $E_2$  i  $E_1$ .

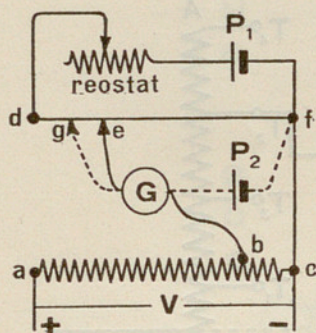


FIG. 49

En el cas de voler mesurar grans tensions, s'utilitzarà (fig. 49) la caixa de resistències  $ac$  connectant-la en les derivacions adequades perquè en els terminals  $b$  i  $c$  on es connecta el potenciòmetre hi hagi una tensió apropiada. En aquest cas, per a determinar la tensió  $V$ , cal multiplicar la tensió donada pel potenciòmetre per la relació que hi ha entre la resistència del tros  $ac$  connectat a la tensió mesurada, i la del tros de resistència  $bc$  connectada al potenciòmetre. La petita diferència de potencial entre  $b$  i  $c$  és igualada amb la f.e.m. de la pila patró  $P_2$  amb el fil del potenciòmetre,

com hem explicat en el núm. 40, essent  $P_1$  un element o bateria de corrent constant, proveïda, com abans, del seu reostat. Així, si la relació de resistències és 100, la tensió mesurada  $V$  val

$$V = 100 E_1 \times \frac{d_2}{d_1},$$

#### MESURAMENT DEL CORRENT AMB EL POTENCIÒMETRE

46. El mètode usat en el mesurament del corrent per mitjà del potenciòmetre, consisteix a mesurar la caiguda de tensió que hi ha entre els borns d'una resistència de valor coneguda quan hi passa un cert corrent.

Així, si connectem (fig. 50) els terminals  $t$  i  $t'$  d'una resistència patró  $R$  als terminals d'un potenciòmetre muntat amb la pila auxiliar  $P_1$  i el reostat, tal com indica la figura, i després d'haver-lo equilibrat amb la pila patró  $P_2$  l'equilibrem amb la diferència de potencial causada pel corrent en els

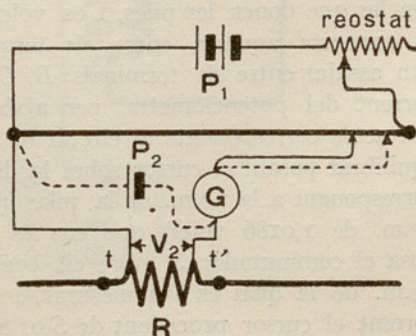


FIG. 50

extrems de la resistència, comparant aquestes f.e.m., obtindrem la valor de la f.e.m. en els terminals de la resistència, i com que coneixem la valor d'aquesta, deduirem la valor de la intensitat dividint la f.e.m. per la resistència. Hom pot estalviar-se aquesta darrera operació si prèviament coneixem la caiguda de tensió  $V_1$  que produeix un corrent també conegut  $I_1$  en passar per la resistència patró. És evident que si designem per  $V_2$  la caiguda de tensió produïda per un corrent desconegut  $I_2$ , en passar per la resistència patró  $R$ , es verificarà la proporció

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{V_2}{V_1}.$$

La resistència  $R$ , generalment, és escollida de manera que al pas del corrent  $I_2$  produeixi una caiguda de tensió de l'ordre de 1 volt.

#### MESURAMENT DE LA RESISTÈNCIA AMB EL POTENCIÒMETRE

47. Amb el potenciòmetre es poden mesurar resistències petites comparant les caigudes de tensió que produeix en elles el pas d'un mateix corrent. Per això es connecta la resistència desconeguda  $X$  (fig. 51) en sèrie amb la resistència patró  $R$ , a l'objecte de què el corrent sigui el mateix; la caiguda de potencial produïda en elles serà proporcional a la seva resistència respectiva. Així, designant per  $e_1$  la caiguda de tensió en la resistència patró  $R$ , i per  $e_2$  la de la resistència desconeguda  $X$ , podem plantejar la següent proporció:

$$\frac{X}{R} = \frac{e_2}{e_1},$$

d'on es dedueix,

$$X = R \times \frac{e_2}{e_1},$$

Perquè aquest mesurament sigui ben exacte, cal que el generador que produeix el corrent que circula per les dues resistències sigui molt constant, puix sinó les indicacions serien falsejades.

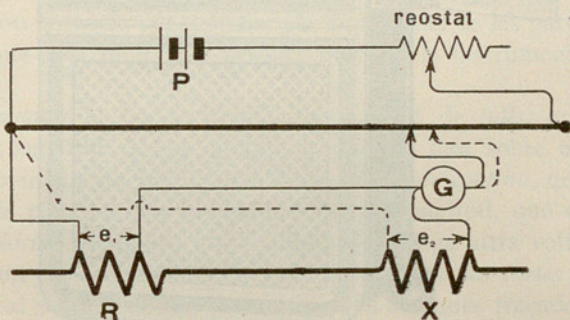


FIG. 51

## INSTRUMENTS REGISTRADORS

48. Si volem estudiar les variacions de les quantitats elèctriques, com és el cas de les Centrals elèctriques, podem recollir periòdicament les indicacions dels instruments en una taula, però d'aquesta manera no tindrem mai una idea tan clara de les variacions com si fem un gràfic, això és, si tracem

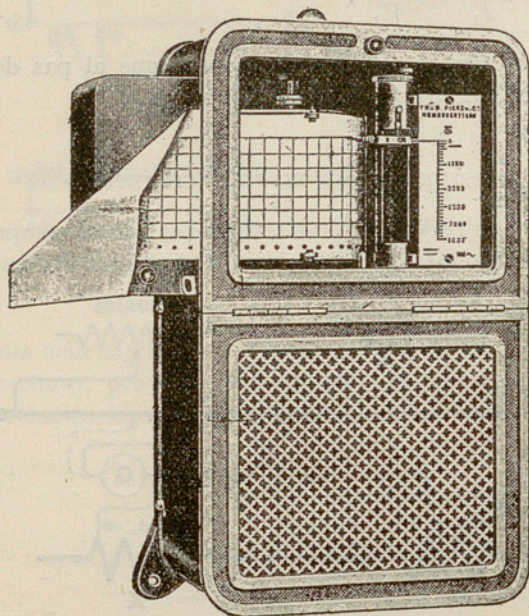


FIG. 52

la corba d'aquestes variacions. Aquesta necessitat va suggerir la idea de construir instruments que per ells mateixos registrin aquestes variacions, evitant d'aquesta manera els inconvenients i les probabilitats d'errades provinents de l'anotació continua de les lectures, així com la pèrdua de temps i els destorbs que produeix el tenir-les de reunir en un diagrama o gràfic. Un instrument registrador no és més que un instrument indicador proveït d'una ploma que marca contínuament la seva posició instantània sobre un full de paper mogut per un mecanisme de rellotgeria. La fig. 52 representa un instrument d'aquesta mena.

El paper és dividit en una direcció per línies que representen el temps, i en una altra direcció per línies que representen amperes, volts o qualsevol altra quantitat que es vol mesurar.

Tan senzill com sembla conjuminar un instrument registrador, en canvi presenta moltes dificultats. En primer lloc, el frotament de la ploma sobre el paper és molt considerable, i per a vèncer-lo ha d'ésser augmentada la potència del mecanisme motor, amb la qual cosa és minvada la precisió elèctrica. L'error deguda al frotament en un registrador ha d'ésser mirada des d'un punt de vista molt diferent que en el cas dels instruments indicadors en els quals sols hi ha la produïda pel pollegó. En canvi, en un instrument

registrador aquesta error té una importància molt secundària comparada amb la produïda per la fricció de la ploma sobre el paper. La força de desviació de l'agulla es pot dir que és independent del pes de les parts mòbils i que depèn solament del camí que recorre la ploma.

49. Les parts principals d'un instrument registrador són:

I. el mecanisme elèctric;

II. el paper sobre el qual és traçada la corba;

III. la ploma o el mecanisme grafiador;

IV. el mecanisme que mou el paper.

Del *mecanisme elèctric* poca cosa podem afegir al que han dit respecte als instruments indicadors, tots els sistemes o formes poden ésser adoptats sempre que tinguin una força de desviació suficientment gran per a vèncer les resistències passives degudes a la fricció.

L'*esmortiment* té molta importància, ja que les parts mòbils són molt pesades; i si la càrrega és molt variable i l'instrument poc esmorteït, la ploma, al no poder seguir les variacions d'aquella, marca una banda de tinta en comptes d'una línia.

La manera més corrent d'esmortir els instruments registradors és utilitzar un pistó submergit dins d'oli, puix els frens d'aire o els deguts a corrents paràsits no tenen prou potència per a frenar els moviments de les parts mòbils de l'instrument, que són molt més pesades que en els instruments indicadors.

50. De *paper registrador* n'hi ha de tres classes: a) el de *fulls*, que tenen, generalment, una longitud de 35 a 45 cm, que es fixa sobre un tambor mogut per un moviment de rellotgeria; b) el de *paper continu*, que consisteix en unes tires de paper de 15 o més metres de longitud, que és posat en el registrador en forma de rotlle i que es desplega i plega altra volta un cop marcat, mitjançant un mecanisme de rellotgeria, i c) *les cartes o papers circulars* que giren al voltant de llur centre i porten les línies traçades radialment.

El paper empleat en els registradors ha d'ésser molt dur i ben satinat perquè pugui resistir la penetració de la tinta que es diposita sobre la seva superfície, puix si el paper absorbeix la tinta, no solament fa inintelligible el diagrama, sinó que gasta molta tinta inútilment. El paper, qualsevol que sigui la seva forma, comporta unes divisions longitudinals per al temps i unes de transversals per a les unitats mesurades. Les hores, generalment, són numerades des de 1 a 24, i hi són distingides les de dia de les de nit.

51. Referent al *mecanisme grafiador*, la disposició més generalment adoptada és un petit dipòsit o ploma fixat a l'extrem d'una palanca moguda per l'eix del mecanisme elèctric. Aquestes plomes poden tenir les formes més diverses, com veiem en la fig. 53.

La ploma és un mecanisme molt delicat, i si s'espantalla, és molt difícil d'apariar, de manera que el millor és quasi sempre posar-ne una de nova

Si la ploma resta molt de temps sense servir, la tinta s'asseca i obtura la seva sortida; per a netejar-la caldrà rentar la ploma amb aigua calenta o amb alcohol, i omplir-la de nou amb un contagotes. La ploma ha d'estar muntada sobre el braç que la sosté, de manera que sigui fàcil treure-la per netejar-la o canviar-la.

Per a eliminar la fricció produïda per la ploma, podem emplear dos camins: L'un, és mantenir la ploma separada del paper i fer-la marcar per mitjà d'un relé; de manera que la fricció que pugui trobar no afecta per res a la

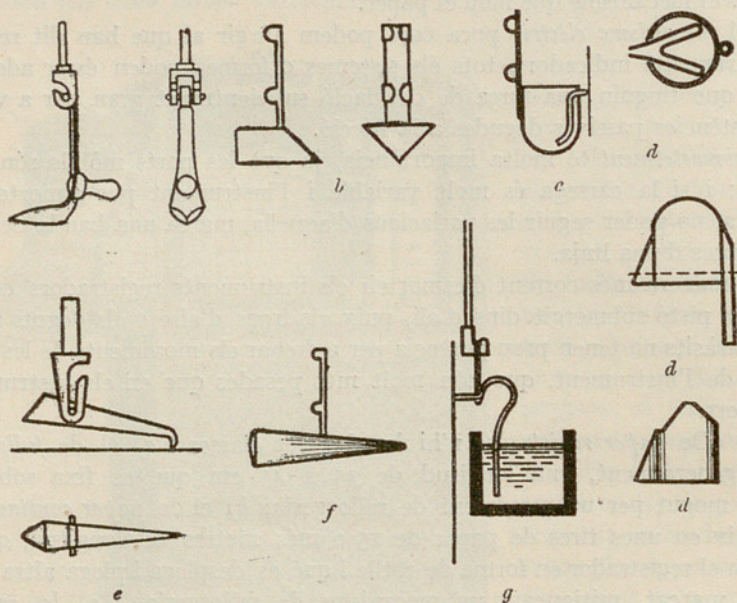


FIG. 53

precisió de l'instrument. L'altra, és servir-se, en lloc d'una ploma, d'un estilet d'acer, que és mantingut separat del paper i que a intervals hi toca empès per un moviment de rellotgeria. En aquest procediment, ideat per *Everett Edgcumbe*, no solament ha estat eliminada la tinta, sinó que també la fricció de la ploma sobre el paper. Entre el paper i l'estilet hi ha interposada una cinta impregnada de tinta que marca sobre el paper els punts assenyalats per l'estilet.

A intervals fixes, usualment cada cinc segons, l'estilet pica contra el paper per mitjà d'un mecanisme accionat elèctricament o mecànicament pel mateix rellotge que mou el paper. Com que les impressions es succeeixen bastant ràpidament, l'estilet traça sobre el paper del diagrama gairebé una línia contínua.

52. En la generalitat dels casos el mecanisme que mou el paper és un mecanisme de rellotgeria regulat per mitjà d'un pèndul. El rellotge sol tenir la corda necessària segons sigui la longitud del paper. Si, a més, ha d'enrotllar el paper, el mecanisme ha d'ésser suficientment potent per vèncer la resistència que oposa el paper a ésser enrotllat.

També, moltes vegades, és utilitzat com a mecanisme motor un petit motor elèctric que per mitjà d'una reducció disminueix la seva velocitat. La velocitat del motor és graduada mitjançant un regulador  $G$  de força centrífuga (fig. 54) que, quan la velocitat passa de la normal, posa la resistència  $r$  en curt circuit, deixant l'induït del motor en paral·lel sols amb les resistències  $RR$ , per la qual cosa la velocitat del motor és reduïda el suficient fins que cessi el contacte. Els contactes són de platí o d'altre metall adequat, i la resistència  $r$  serveix, demés, per reduir les guspises en els contactes a un mínimum.

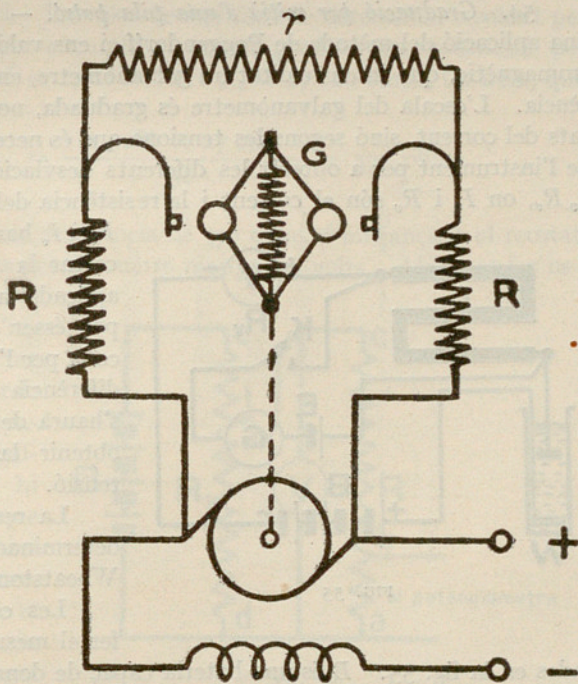


FIG. 54

### GRADUACIÓ D'INSTRUMENTS

53. Per estar segurs de l'exactitud de les indicacions dels instruments de mesurament, cal comprovar-los de tant en tant. També, de vegades, cal graduar-los de nou; en ambdós casos ens valdrem dels aparells que generalment tenen els laboratoris dedicats a mesuraments elèctrics. En els números següents donem el procediment per graduar els diferents instruments més usats en els mesuraments elèctrics.

## GRADUACIÓ DE VÒLTMETRES

54. *Graduació per mitjà d'una pila patró.* — El mètode que donem és una aplicació del mètode de Poggendorff, i ens valdrem d'un vòlmetre electromagnètic, que és en realitat un galvanòmetre, en sèrie amb una gran resistència. L'escala del galvanòmetre és graduada, no en funció de les intensitats del corrent, sinó segons les tensions que és necessari aplicar als terminals de l'instrument per a obtenir les diferents desviacions, això és, en funció de  $I_v R_v$ , on  $I_v$  i  $R_v$  són el corrent i la resistència del vòlmetre. Per tant, si

$R_v$  i  $I_v$  han estat mesurats, hom pot cercar la valor exacte de la tensió aplicada a l'instrument, i aquesta pot ésser comparada amb la indicada per l'agulla del vòlmetre. La diferència serà la correcció que s'haurà de tenir en compte per a obtenir la veritable valor de la tensió.

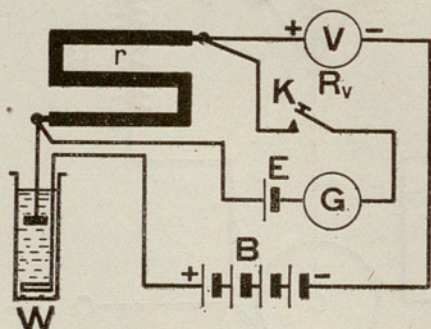


FIG. 55

La resistència del vòlmetre és determinada mitjançant el pont de Wheatstone.

Les connexions necessàries per fer el mesurament de  $I_v$  estan indicades en la fig. 55.

$B$  és una bateria capaç de donar el corrent necessari;  $W$  és un reostat líquid per mitjà del qual pot ésser regulat el corrent  $I_v$ , amb el qual es varien les indicacions del vòlmetre  $V$ ;  $r$  és una resistència variable de valor coneguda. La pila patró té una tensió  $E$ . Cal estar segur que la pila patró està connectada correctament, de manera que en el circuit del galvanòmetre la f.e.m. de la pila estigui en oposició amb la diferència de potencial produïda pel pas del corrent en  $r$ . Si la pila està ben connectada, i si  $I_v r = E$ , el galvanòmetre restarà immòbil quan s'abaixi l'interruptor  $K$  i tindrem

$$I_v = \frac{E}{r}$$

i la diferència de potencial  $e$  en els terminals del vòlmetre serà donada per la fórmula

$$e = \frac{E}{r} \times R_v. \quad (1)$$

55. En la pràctica, generalment, només es gradua l'instrument per

unes quantes tensions ben determinades, per exemple 10, 20, 30 volts, essent marcades les intermedies a ull. Per a poder graduar l'instrument cal conèixer la valor corresponent de la resistència  $r$ , que ha d'ésser inserida en el circuit del vòlmetre a fi que aquest marqui la tensió desitjada quan el galvanòmetre estigui en equilibri. La valor de  $r$  és fàcil de determinar resolent per  $r$  la fórmula (1). Així, per exemple, si volem graduar un vòlmetre per una tensió de 30 volts, i  $E = 1,0186$  volts i  $R_v = 17\ 000$  ohms, tindrem, que

$$r = \frac{E \times R_v}{e} = \frac{1,0186 \times 17\ 000}{30} = 577 \text{ ohms.}$$

Es posa, doncs, en  $r$  una resistència de 577 ohms, i mitjançant el reostat líquid  $W$  es fa que l'agulla del vòlmetre marqui 30 volts. Això pot fer necessari canviar el nombre d'elements de la bateria. L'interruptor  $K$  ha d'ésser abaixat amb precaució, i deixar-lo anar immediatament que aparegui una desviació en el galvanòmetre. En general, hi haurà una desviació, ço que indicarà que el vòlmetre tindrà probablement una error, de manera que encara que el vòlmetre marqui 30 volts, la tensió veritable entre els seus terminals diferirà d'aquella valor. També, en el cas que

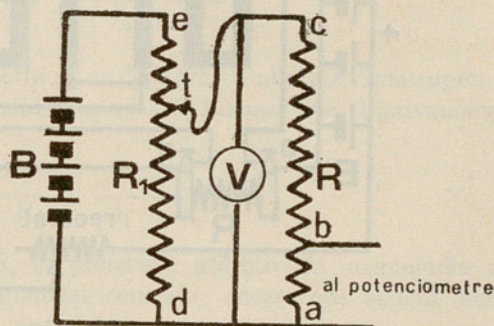


FIG. 56

la resistència de  $r$  no pugui tenir exactament la valor corresponent a 30 volts per ésser el mínimum regulable de la resistència  $r$  de 1 ohm, per obtenir un equilibri perfecte caldrà variar la resistència del reostat líquid fins que el vòlmetre marqui la indicació desitjada. Es registren la lectura i la valor corresponent de  $r$ . La diferència entre la veritable tensió en els terminals de l'instrument i la lectura o desviació, dóna la correcció a fer, això és, la quantitat que ha d'ésser tinguda en compte a la lectura del vòlmetre per obtenir la veritable valor de la diferència de potencial.

56. *Graduació per mitjà del potenciòmetre.* — Si utilitzem el potenciòmetre per graduar vòlmetres, ens servirem d'una caixa de resistències  $R$ , tal com indicarem en el núm. 44, per a poder augmentar el marge dels mesuraments a qualsevol tensió. El potenciòmetre (fig. 56) es connecta en els terminals  $a b$ , i el vòlmetre  $V$  que volem graduar en els terminals  $a c$ . Per a obtenir totes les tensions intermèdies, hom es val d'una bateria  $B$ ,

d'un nombre suficient d'elements per donar la tensió màxima a què es vol arribar, la qual es connecta als borns  $d$  i  $e$  d'una resistència  $R_1$ . Si connectem un dels terminals del vòlmetre  $V$  amb el punt  $d$  d'unió de la bateria i la resistència  $R$ , i movem l'altre terminal  $t$  des del punt  $d$  cap al  $e$ , el vòlmetre estarà sotmès a una tensió que començarà per zero quan el terminal  $t$  coincideix amb el  $d$ , fins a la valor màxima de la bateria que és quan el terminal  $t$  s'escau en  $e$ . Aquestes variacions de tensió repercutiran en el potenciòmetre per estar connectat als terminals  $a b$ , el qual ens do-

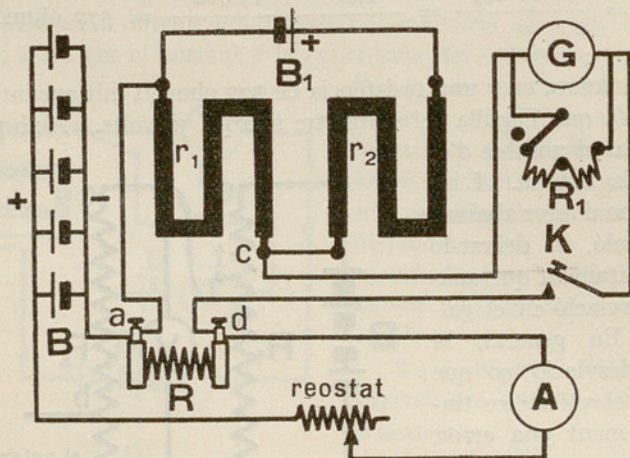


FIG. 57

narà, en cada moment, la valor exacta de la tensió en els borns del vòlmetre, tenint en compte la relació  $ac : ab$  de la caixa de resistències  $R$ .

#### GRADUACIÓ D'AMPÈRMETRES

57. En mesurar el corrent per graduar un ampèrmetre cal usar un mètode que el lliuri de totes les errors de què poden ésser afectades les indicacions dels millors instruments d'indicació directe. Aquestes graduacions es fan mitjançant piles patró i resistències acuradament regulades, tal com veurem.

Referint-nos a la fig. 57,  $R$  és una resistència coneguda, construïda de manera que no s'escalfi apreciablement al pas del corrent. Aquesta resistència és inserida en sèrie amb l'ampèrmetre  $A$  que volem graduar i un reostat que permet graduar el corrent de la bateria d'acumuladors  $B$ .

Per mesurar el corrent de l'ampèrmetre és necessari determinar la diferència de potencial en els terminals de la resistència  $R$ . Per això cal disposar d'una bateria auxiliar  $B_1$  de f.e.m., ben constant i capaç de donar un petit

corrent de 0,001 amp contínuament, i de dues caixes de resistències  $r_1$  i  $r_2$ , cada una d'elles d'una resistència total d'uns 10 000 ohms i construïdes de manera que es puguin regular de ohm en ohm. Per completar, cal un galvanòmetre i un interruptor. Si designem per  $I$  el corrent que passa per l'ampèrmetre, entre  $a$  i  $d$  hi haurà una diferència de potencial igual a  $I R$ . Si la diferència de potencial en els terminals de la bateria  $B_1$  la designem per  $e$ , tindrem que la que hi ha entre  $a$  i  $c$  valdrà

$$e \times \frac{r_1}{r_1 + r_2}.$$

Quan els potencials de  $c$  i  $d$  són iguals, tindrem

$$I R = e \times \frac{r_1}{r_1 + r_2},$$

i quan això passi, el galvanòmetre no es desviarà en abaixar l'interruptor  $K$ . Per consegüent, si  $r_1$  i  $r_2$  han estat ajustades de manera que el galvanòmetre no doni cap desviació,

$$I = \frac{e}{R} \times \frac{r_1}{r_1 + r_2}.$$

Com a bateria auxiliar  $B_1$  és preferible utilitzar un acumulador a fi d'obtenir una diferència de potencial constant, encara que estigui descarregat parcialment. Les piles patrons no poden ésser empleades, puix no n'hi ha cap que pugui donar, encara que sigui molt petit, un corrent ben constant sense que la seva f. e. m. s'alteri per la polarització.

El primer que cal fer és determinar la diferència de potencial de la bateria auxiliar  $B_1$ . Això es pot fer per mitjà del mètode de Poggendorff.

En fer les connexions indicades en la fig. 57, cal tenir la precaució de connectar els pols positius de les bateries junts.

Generalment, en tancar l'interruptor el galvanòmetre donarà una desviació que s'anullarà regulant  $r_1$  o  $r_2$ . Quan l'equilibri és atansat, cal llegir immediatament l'ampèrmetre.

Si  $r_1 + r_2$  fos molt més gran que la resistència de la bateria  $B_1$ , la diferència de potencial  $e$  tindria aproximadament la valor de la f. e. m. de

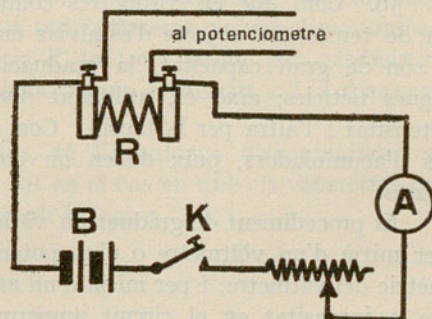


FIG. 58

la pila. Cal tenir en compte que les connexions imperfectes de la pila o l'excessiva resistència dels fils de connexió fan el mateix efecte que si la resistència de la bateria  $B_1$  fos molt gran, i com que la resistència de la bateria ha d'ésser menyspreable, per a fer el mesurament segons el mètode de Poggendorff cal pendre les precaucions convenients perquè allò no succeeixi. Usant les convenients resistències de  $R$  es poden mesurar amb aquest mètode totes les intensitats.

58. *Graduació per mitjà del potenciòmetre.* — Per a graduar un ampèrmetre per mitjà d'un potenciòmetre (fig. 58), es connecta l'ampèrmetre  $A$  en sèrie amb una resistència patró  $R$  i la bateria; al pas del corrent es produirà en la resistència patró una caiguda de potencial entre els seus extrems, i si els unim als terminals d'un potenciòmetre ens serà fàcil graduar l'ampèrmetre segons les indicacions d'aquell instrument. A més, es posa en sèrie amb la resistència i l'ampèrmetre un interruptor  $K$  i un reostat per a regular el corrent i poder fer els diferents mesuraments necessaris per graduar l'ampèrmetre. La valor de les desviacions en l'ampèrmetre pot ésser calculada exactament en ampers, empleant la llei d'ohm; així, la intensitat en ampers =  $\frac{\text{lectura del potenciòmetre, en volts.}}{\text{resistència de } R, \text{ en ohms.}}$

#### GRADUACIÓ DE VÀTMETRES

59. Com que els vàtmetres comporten dos circuits, un d'intensitat i un de tensió, a l'objecte d'estalviar energia durant les proves, especialment si són de gran capacitat, la graduació es fa pel procediment de les càrregues fictícies; això és, utilitzant dues bateries independents, una per la intensitat i l'altra per la tensió. Com havem dit ja, les bateries millors són les d'acumuladors, puix donen un corrent molt constant durant molt de temps.

El procediment de graduar un vàtmetre queda, doncs, reduït a mesurar, per mitjà d'un vòltmetre o d'un potenciòmetre, la tensió en el circuit volt-mètric del vàtmetre, i per mitjà d'un ampèrmetre o, també, d'un potenciòmetre la intensitat en el circuit ampermètric. Les lectures del vàtmetre són indicades en vats, i es comproven multiplicant les indicacions de l'ampèrmetre per les del vòltmetre. A l'objecte d'eliminar l'efecte del magnetisme terrestre, es fan dues lectures per cada indicació del vàtmetre, amb tal objecte, tant en el circuit volt-mètric com en el ampermètric són intercalats commutadors que permeten invertir el sentit del corrent en ambdós circuits. No cal dir que si emplem el potenciòmetre per fer el mesurament de la tensió i de la intensitat del vàtmetre, els resultats són molt més exactes.

La fig. 59 representa un esquema de connexions per a graduar un vàtme-

tre, la bobina ampermètrica del vàtmetre és connectada en sèrie amb un ampèrmetre  $A$  i un reostat a una bateria d'acumuladors. Pel cas d'utilitzar un potenciòmetre per fer el mesurament, hom es serveix de la resistència  $r$  intercalada en sèrie en el circuit ampermètric del vàtmetre, tal com férem per graduar un ampèrmetre, utilitzant per aquest objecte els terminals  $a$  i  $b$  d'aquella. La bobina voltmètrica del vàtmetre amb la seva resis-

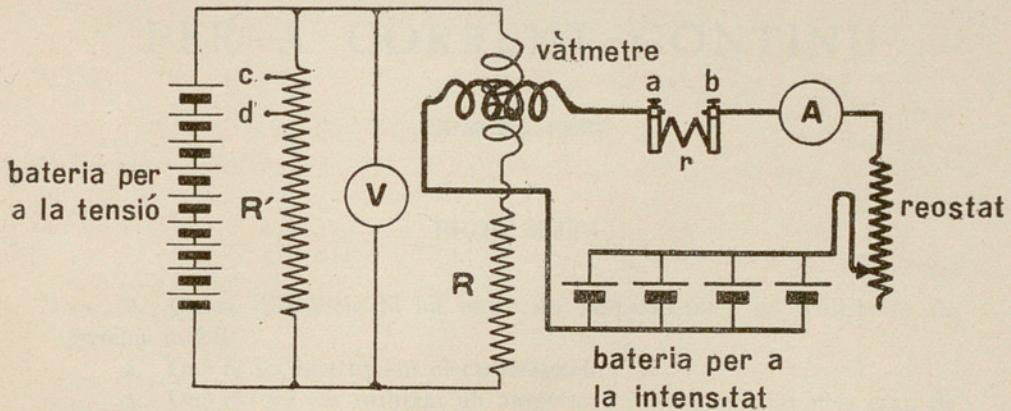
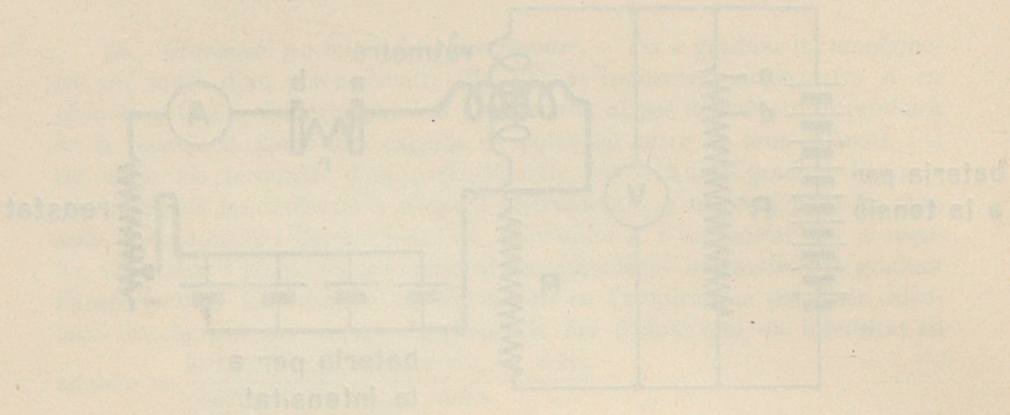


FIG. 59

tència  $R$ , són connectades a una bateria d'acumuladors, i el voltmètre  $V$  que la mesura, es connecta entre un extrem de la bobina mòbil i un extrem de la resistència  $R$ . Si es vol utilitzar un potenciòmetre per fer el mesurament de la tensió, es connecta la resistència  $R'$  tal com fem per graduar un voltmètre i el potenciòmetre es connecta en els terminals  $c$  i  $d$  d'aquesta resistència.

L'emplear dues bateries distintes, té l'aventatge d'economitzar, en gran manera, energia elèctrica, sobre tot en el cas en què els vàtmetres que s'han de graduar siguin per corrents molt intensos.

En el primer experimento se observó que cuando se conectaba el condensador en serie con un resistor, el voltaje en el resistor disminuía. Este fenómeno se puede explicar considerando que el condensador actúa como un elemento de almacenamiento de energía que se carga y descarga durante el ciclo de la corriente alterna. En consecuencia, el voltaje en el resistor no es constante, sino que varía en el tiempo. Este efecto se puede observar en el gráfico adjunto, donde se muestra la variación del voltaje en el resistor en función del tiempo.



En este experimento se observó que cuando se conectaba un condensador en serie con un resistor, el voltaje en el resistor disminuía. Este fenómeno se puede explicar considerando que el condensador actúa como un elemento de almacenamiento de energía que se carga y descarga durante el ciclo de la corriente alterna. En consecuencia, el voltaje en el resistor no es constante, sino que varía en el tiempo. Este efecto se puede observar en el gráfico adjunto, donde se muestra la variación del voltaje en el resistor en función del tiempo.

# INSTRUMENTS PER A CORRENT CONTINU

## PRIMERA PART

### PROBLEMES

1. Quina diferència hi ha entre un ampèrmetre i un vòltmetre de bobina mòbil?
2. Què és un instrument electromagnètic?
3. Què cal fer per utilitzar un ampèrmetre per intensitat més gran de la seva intensitat normal?
4. Per què serveix un vàtmetre? Feu-ne una breu descripció.
5. Per mesurar amb un ampèrmetre de 20 ampers un corrent de 500 ampers, quina és la resistència del shunt que hem d'empresar tenint en compte que la resistència de l'ampèrmetre és de 0,008 ohms? Indicar la constant per la qual s'han de multiplicar les indicacions de l'ampèrmetre per trobar el corrent que passa pel circuit principal.
6. Com es gradua un ampèrmetre? Expliqueu un mètode fent un diagrama.
7. Què és un vàtmetre compensat? Quina diferència hi ha amb un de no compensat?
8. Un aparell elèctric gasta 32,4 Kw, a una tensió de 750 volts. Quina és la intensitat requerida?
9. Per les bobines d'un electrodinàmòmetre, posades en sèrie, hi circula un corrent de 8 ampers, i marca una desviació de 16. Indicar: 1.<sup>a</sup>, la constant de l'electrodinàmòmetre; 2.<sup>a</sup>, quina seria la intensitat del corrent que donés una desviació de 49 divisions de l'instrument.
10. Què és un vòltmetre? Com es connecta per conèixer la tensió? Indicar un dels mètodes que hi ha per graduar-los.
11. Què és un potenciòmetre? Explicar breument el principi en què es funda.
12. Calcular la resistència que cal afegir a un vòltmetre de 150 volts,

per poder mesurar una tensió de 750 volts, essent la seva resistència interior de 15 000 ohms, i dir per quina constant cal multiplicar les lectures per saber la tensió mesurada pel vòltmetre i la resistència afegida.

13. Fer esquemes dels mètodes de determinar la tensió, el corrent i la resistència per mitjà del potenciòmetre senzill.

14. Què és un vòltmetre d'escala múltiple?

15. De quina manera es connecten les bobines d'un dinamòmetre Siemens quan es vol mesurar la tensió, quan es vol mesurar el corrent i quan es mesura la potència d'un circuit?

16. Fer un esquema i una descripció breu dels usos d'un potenciòmetre Crompton.

17. Com es gradua un vàtmetre? Feu un esquema de les connexions.

18. Què és un instrument registrador, per què serveix i de quines parts consta?

19. Què és el mètode de les càrregues fictícies per graduar un vàtmetre? Quina aventatge té?

20. Què és la balança de Lord Kelvin? Explicar el principi del seu funcionament.



RF. 5-32

