

HORLOGERIE ÉLECTRIQUE

1^{re} PARTIE

HORLOGES-MÈRES

ET

INSTALLATIONS HORAIRES

PAR

Ch. PONCET,

PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE D'HORLOGERIE

DE CLUSES



1905

« CLUSES, IMPRIMERIE F. TROTTET »

HORLOGERIE ÉLECTRIQUE

HORLOGES-MÈRES

On donne le nom d'HORLOGE-MÈRE à toute pendule ou horloge munie d'un dispositif servant à émettre des courants électriques.

La réalisation automatique, par un mouvement d'horlogerie mesureur du temps, de l'opération consistant à lancer périodiquement un courant dans un circuit ⁽¹⁾ est très simple en elle-même, et pourtant que de déboires n'a-t-elle pas occasionnés et n'occasionne-t-elle pas de nos jours encore, aux électro-horlogers amateurs.

Ces déboires sont dus, en majeure partie, à un phénomène particulier de l'*induction dynamique* appelé *extra-courant*.

Avant d'entreprendre l'étude de ce dernier, disons tout d'abord ce qu'on entend par induction au sens générique du mot. Elle repose sur le principe initial suivant :

Lorsqu'on fait varier le nombre de lignes de force d'un champ magnétique ⁽²⁾ dans lequel se trouve un fil formant circuit fermé ⁽³⁾, il se produit à chaque variation un courant électrique temporaire dont la durée n'excède pas celle de la variation du champ qui l'a provoqué.

1) On appelle circuit électrique l'ensemble formé par une source d'électricité, le ou les appareils d'utilisation et les fils qui les relient.

2) Un champ magnétique est l'espace dans lequel un aimant ou un électro-aimant exerce ses effets d'attraction ou de répulsion. Un champ magnétique est sillonné d'un grand nombre de lignes que l'on peut mettre en évidence avec de la limaille de fer. On les appelle lignes de force.

3) Un circuit est dit FERMÉ quand un courant électrique peut y circuler. Un circuit est dit OUVERT quand, au contraire, le courant ne peut le traverser.

D'après ce qui précède, il faut donc pour obtenir des courants induits :

1° Un champ magnétique qui porte le nom d'*inducteur*,

2° Une certaine longueur de fil formant circuit fermé. Ce dernier porte le nom de *circuit induit* et le courant temporaire qui le parcourt s'appelle *courant induit* ou d'*induction*.

Toutefois l'extra-courant, qui est pourtant un courant induit, fait exception à la règle ci dessus, étant donné qu'il se manifeste sur un fil unique jouant tout à la fois les rôles de circuit inducteur et de circuit induit.

Si le fil est rectiligne, l'extra-courant est nul, mais s'il est enroulé plusieurs fois sur lui-même, comme c'est le cas dans les bobines d'électro-aimants, ses différentes spires s'induisent mutuellement à toutes les variations du champ magnétique créé par le courant qui les traverse. A chacune de ces variations correspond un extra-courant dont le sens est le même que celui du courant principal pour la rupture du circuit et de sens inverse pour la fermeture.

Un circuit sur lequel l'extra-courant prend facilement naissance est dit posséder une grande *selfinduction*, mot qui désigne assez bien l'extra-courant puisqu'il signifie induction d'un circuit sur lui-même.

Les électro-aimants ont beaucoup de selfinduction et, comme précisément ce sont ces sortes de moteurs électriques qui sont le plus employés en horlogerie électrique, on conçoit que pour cette dernière application, on doive tout particulièrement se préoccuper de l'extra-courant et surtout de ses inconvénients.

Le principe de l'induction nous fait aisément comprendre que si un électro-aimant est parcouru par un courant ininterrompu, il ne s'y forme aucun-extra-courant, tant que son champ magnétique reste uniforme.

Mais, dans la pratique, pour qu'un électro-aimant remplisse le rôle de moteur, il faut qu'il mette son armature en mouvement, en d'autres termes qu'il l'attire, puis qu'il l'abandonne, soit à l'action d'un ressort antagoniste, soit à l'action de la pesanteur.

Pour cela il faut que le courant d'excitation traverse l'électro, puis cesse, et ainsi de suite.

On le voit, la caractéristique des applications de l'électricité, lorsqu'on utilise les électros, consiste dans l'emploi des *courants intermittents* ; qui dit courants intermittents dit courants alternativement ouverts et fermés.

Dans les applications de l'électricité à l'horlogerie, les intensités de tels courants passent, quelquefois toutes les secondes, de zéro à un maximum et de ce maximum à zéro ; les champs magnétiques qu'ils créent en suivent toutes les fluctuations, et à chacune de ces fluctuations, un extra-courant se produit.

On ne peut donc être taxé d'exagération en disant que les circuits de l'électro-horlogerie sont de véritables bouillons de culture de l'extra-courant.

Maintenant que nous connaissons, tout au moins approximativement, l'origine de l'extra-courant, voyons en quoi il peut être nuisible.

Pour lancer périodiquement un courant dans un circuit on se sert d'un appareil appelé *interrupteur*.

Toute pendule ou horloge munie d'un interrupteur prend le nom d'horloge-mère.

Dans une horloge-mère, ce dispositif électrique fonctionne automatiquement ; mais pour faciliter la compréhension des divers modèles d'interrupteurs que nous allons étudier, nous supposons d'abord qu'ils fonctionnent à la main.

La fig. 1 montre un interrupteur élémentaire ; il est formé d'une lame métallique *a*, susceptible de faire ressort, et d'un plot enclume *b* isolé de *a*.

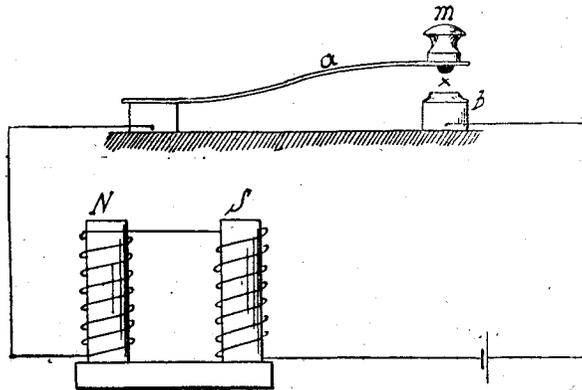


Fig. 1.

Intercalons cet interrupteur dans un circuit comprenant une pile *p* et un électro-aimant *NS*, et, après avoir fermé ce circuit en appuyant sur le bouton *m* de la lame-ressort *a*, laissons celle-ci revenir de par

son élasticité sur elle-même, nous voyons jaillir une étincelle au point de rupture x .

Cette étincelle, pour l'explication de laquelle a été écrit la plus grande partie de ce qui précède, est due tout simplement à l'extra-courant de rupture.

Si on ne s'efforce d'éliminer cette étincelle, elle a tôt fait d'oxyder les contacts et même de les volatiliser complètement.

Aujourd'hui tous les constructeurs ont à leur disposition des moyens permettant, sinon de supprimer complètement les étincelles, tout au moins de les atténuer fortement.

Certains de ces systèmes d'interrupteurs ont fonctionné des dizaines d'années en lançant plusieurs millions de courants dont les points d'interruption sont restés aussi nets, aussi brillants que le premier jour.

Étudions quelques-uns des moyens d'élimination de l'étincelle d'extra-courant.

Nous débuterons par cette question : Pourquoi jaillit-il une étincelle entre les contacts d'un interrupteur ?

Une étincelle jaillit entre les contacts d'un interrupteur parce que la force électromotrice de l'extra-courant de rupture est assez élevée pour que le courant qui en résulte puisse se fermer à travers la couche d'air qui sépare ces contacts.

De plus, lorsque l'électricité traverse un milieu très mauvais conducteur, tel que l'air, elle se manifeste sous forme d'étincelle, par exemple la production des éclairs en temps d'orage.

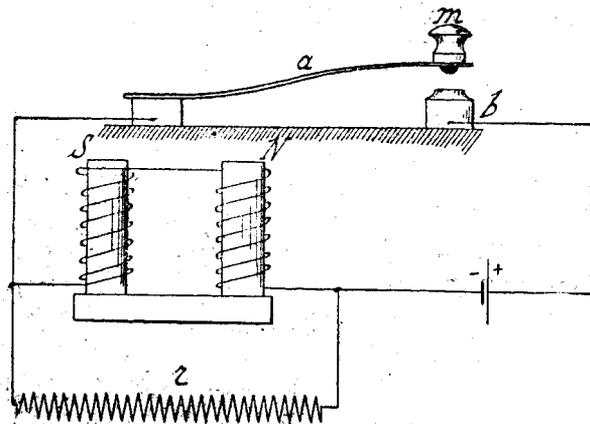


Fig. 2

Lorsqu'un circuit ne possède pas de selfinduction, il se produit tout de même une étincelle à la rupture, mais elle est négligeable, n'étant occasionnée que par la seule force électromotrice de la pile, force incomparablement plus faible que celle de l'extra-courant.

La fig. 2 montre un circuit dans lequel l'étincelle d'extra-courant est absorbée par un fil r dont la résistance est environ 40 à 50 fois celle de l'électro NS , sur les bornes duquel il est mis en dérivation.

La résistance r , tout en étant très élevée, l'est toujours beaucoup moins que celle de l'air ; il s'ensuit que l'extra-courant développé sur l'électro-aimant prendra le chemin plus facile que lui offre le fil r .

Le montage vu fig. 3 supprime même l'étincelle due à la seule force électromotrice de la pile ; mais il a un inconvénient, celui de laisser la pile débiter en permanence un courant qui, bien que peu intense, n'en constitue pas moins une dépense inutile d'électricité.

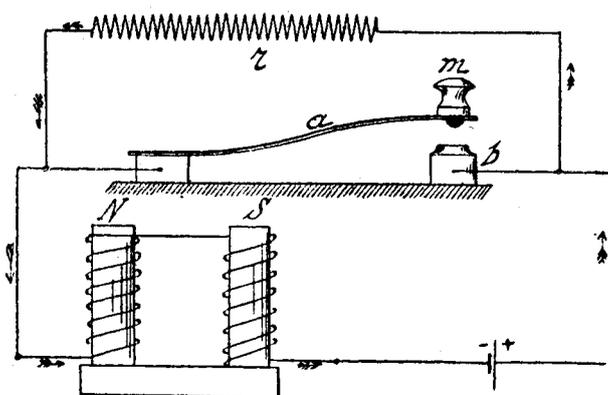


Fig. 3

Cet inconvénient n'existe pas avec le dispositif vu fig. 4. L'adjonction d'un deuxième interrupteur $a' b'$ dont la lame a' fonctionne, avec la lame a , par l'intermédiaire d'une tige t , permet d'interrompre le courant lorsque la résistance r a rempli son but qui est de préserver de l'étincelle de rupture le contact de l'interrupteur principal $a b$. Pour cela, il faut que a' soit plus près de b' que a ne l'est de b , de façon qu'en appuyant sur la lame a , a' vienne toucher b' avant que a n'ait touché b . En laissant les lames reprendre leur position de repos, la première quittera donc son plot b alors que a' et b' sont encore en

contact. Seuls ceux-ci supporteront donc l'étincelle de rupture déjà bien affaiblie par la résistance r .

En résumé, dans ces sortes d'interrupteurs, le contact se rompt en un point et s'établit normalement en un autre, lequel est par suite toujours propre.

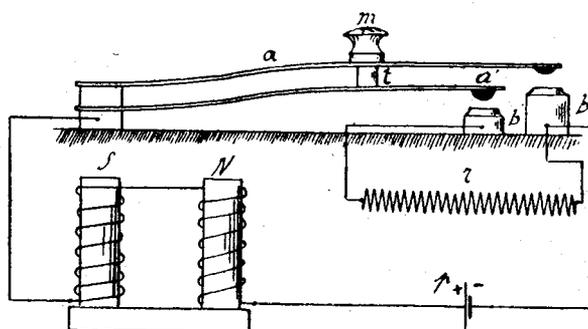


Fig. 4

La figure 5 montre un perfectionnement de cette idée que la maison Reclus applique dans un appareil appelé *relai*. Ce dernier, étant souvent l'auxiliaire indispensable d'une horloge-mère, sera l'objet, un peu plus loin, d'un entretien spécial.

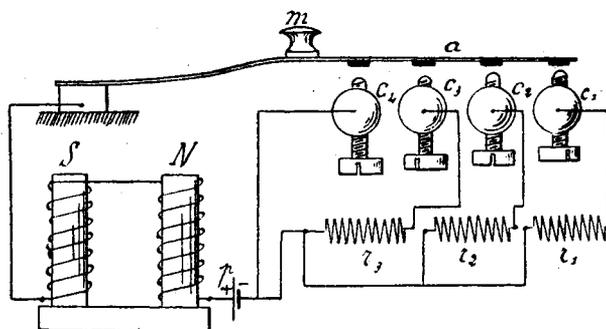


Fig. 5

En appuyant sur le bouton m de la lame d'interruption a , le circuit de la pile se trouve d'abord fermé entre a et une vis C^1 à position réglable, puis successivement avec d'autres vis également réglables C^2 , C^3 et C^4 . Toutes ces vis sont isolées électriquement les unes des autres.

Au premier contact entre a et C^1 la pile p débite un courant à travers une grande résistance r^1 .

Le courant débité par la pile au deuxième contact entre a et C^2 traverse encore une résistance r^2 , plus faible que la précédente.

Au troisième contact entre a et C^3 la pile ne débite plus qu'à travers une faible résistance r^3 ; l'intensité du courant va par conséquent en augmentant de C^1 en C^3 .

Enfin, au quatrième contact, entre a et C^4 , le courant acquiert son intensité maximum puisqu'il n'a plus à franchir d'autre obstacle que celui présenté par le ou les électro-aimants NS dans lesquels il est utilisé.

Il résulte de la disposition des organes de cet interrupteur que le contact principal a C^4 qui seul laisse passer la totalité du courant dépensé par la pile reste toujours indemne de toute oxydation.

En effet, lorsqu'on laisse la lame revenir d'elle-même à sa position de repos, le premier contact qui se rompt est celui en C^4 . Le faible extra-courant qui se produit en ce moment, et dont la cause initiale est l'intercalation dans le circuit de la pile p des résistances en dérivation r^1 , r^2 et r_3 , ne pourra provoquer d'étincelle grâce à ces dernières qui lui offrent un chemin relativement plus facile que celui présenté par la couche d'air qui sépare C^4 de a .

Les contacts C^3 et C^2 jouissent à quelque chose près des mêmes immunités que le contact C_4 .

On établit les valeurs en ohms des résistances r^1 , r^2 et r^3 d'après la résistance totale présentée par l'ensemble des récepteurs NS utilisant le courant.

En appelant R cette résistance on fait :

$$\begin{aligned}r^1 &= R \\r^2 &= 2R \\r^3 &= 3R\end{aligned}$$

Dans l'interrupteur représenté par la figure 6 on se propose, au moment de la rupture, d'enlever la pile p du circuit et de fermer l'électro-aimant NS sur lui-même de manière à lui faire dépenser en chaleur dans sa propre résistance l'énergie libérée.

Cet interrupteur se compose d'une lame a dont l'extrémité libre est placée en regard de l'extrémité b d'un levier $b o c$ mobile en o . Le bras $o c$ étant le plus lourd, repose sur un plot d .

Vient-on à appuyer sur le bouton m , le contact s'établit entre a et

b, celui en *cd* se rompt, et le courant de la pile s'écoule sur le circuit *p a b o S N u p* à travers l'électro-aimant *NS*.

Si l'on abandonne la lame à elle-même, elle remonte en vertu de son élasticité, le contact *cd* se rétablit d'abord, de sorte que l'extra-courant qui aura pris naissance sur *NS* se détruit dans le circuit *S N u r d c o S*.

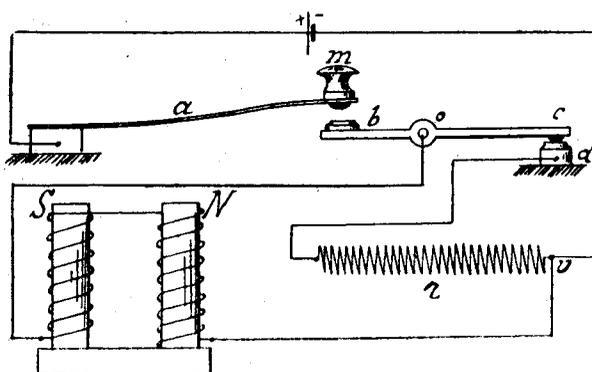


Fig. 6

D'autre part, la lame *a* continuant à remonter, le contact *ab* se détruit. A ce moment, le circuit *p a b o c d r u p* se trouve ouvert ; mais comme il renferme une grande résistance *r* et n'est soumis qu'à la seule force électromotrice de la pile, les étincelles sont extrêmement réduites et la conservation de l'interrupteur est assurée.

On peut toutefois faire à cet interrupteur ce reproche que l'établissement du contact et sa rupture se font au même point entre *a* et *b* ; si légères que soient les étincelles, elles peuvent à la longue suffisamment détériorer les contacts pour occasionner des ratés lors de l'émission du courant.

En général il vaut donc mieux avoir recours à un système d'interrupteur tel que celui de la figure 5, dans lequel le contact définitif se produit en un point différent de celui où s'effectue la rupture.

REMARQUES. — Que l'on emploie ou non l'un des moyens que nous venons de décrire pour éviter les étincelles d'extra-courant aux points d'interruption des circuits électriques, il faut toujours souder en ces points une petite plaquette d'un métal peu oxydable tel que le platine.

Le platine irridié, qui est un alliage de platine et d'irridium, se comporte particulièrement bien, mais il a l'inconvénient d'être très cher.

On emploie également des contacts en argent ; certains constructeurs prétendent même que l'oxydation de ce métal ne présente pas une bien grande résistance électrique.

Les fils employés dans la construction des résistances sont en métal très résistant, en ferro-nickel par exemple. On les enroule, pour qu'ils tiennent le moins de place possible, sur des bobines en bois dur ou en ébonite, en ayant soin, comme le montre la figure schématique 7, de changer le sens d'enroulement sur la moitié de la longueur du fil.

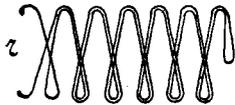


Fig. 7

Cette dernière précaution a pour but d'annuler toute selfinduction dans ces bobines.

Il faut surtout bien se garder d'utiliser comme résistances factices, des bobines de fil comportant des noyaux de fer.

Fonctionnement automatique des interrupteurs dans les horloges-mères.

Tous les types d'interrupteurs qui précèdent sont susceptibles de fonctionner en automatique, moyennant quelques modifications appropriées aux mécanismes des pendules ou horloges chargées de les actionner.

Dans certaines horloges on utilise les oscillations du pendule pour faire fonctionner l'interrupteur. Dans d'autres, c'est l'un des mobiles du rouage qui est chargé de cette opération.

L'horloge-mère vue fig. 8 est une application de cette dernière méthode. Elle est construite pour lancer un courant par minute.

A B C D E est le mouvement d'horlogerie.

L'interrupteur est constitué :

1° par deux roues r et r' à dents de rochet ; la plus grande r' est en matière mauvaise conductrice de l'électricité, ébonite ou ivoire ; r est en laiton ;

2° par une lame-ressort L isolée de la masse du mouvement.

Le circuit de cette horloge-mère ne comprend qu'une communication intérieure fixe f reliant L à une borne isolée F' à laquelle est rattaché l'un des fils aboutissant aux récepteurs u . La borne F' qui sert de point d'attache au pôle de la pile, est directement montée sur le massif du mouvement qui sert ainsi de portion de circuit.

Un simple examen de la figure fait voir que le circuit est ouvert, par suite de l'utilisation de la masse, entre l'extrémité l du ressort L et la roue en métal r .

Contrairement à ce qui se passe dans les lames similaires des interrupteurs précédents, la lame L tend constamment, de par l'armage qui lui a été donné, à toucher la roue r , ce qui se produirait sans la roue d'ébonite r' dont le rôle est précisément de ne permettre ce contact que pendant une fraction de seconde par minute.

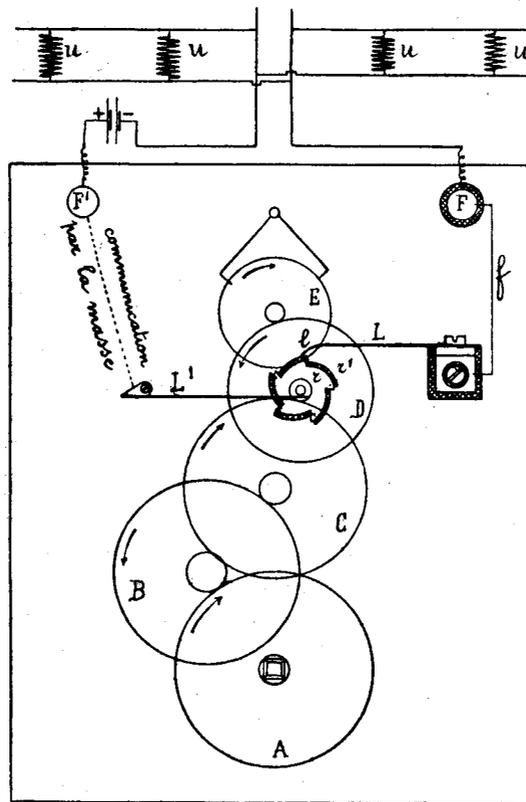


Fig. 8

Pour arriver à ce dernier résultat, les roues r et r' sont rendues solidaires de la roue D qui mène le pignon de la roue d'échappement E .

Considérons l'horloge en marche et ses différents mobiles tournant dans le sens des flèches, les roues r et r' ne tarderont pas à prendre la

position montrée par la figure 9 dans laquelle l'extrémité l du ressort L est tombée dans le vide de la dent en ébonite ; cette chute est limitée par la pointe d'une dent de la roue r , ce qui a pour effet de fermer le circuit de l'horloge-mère. Les récepteurs u seront alors traversés par le courant de la pile jusqu'à ce que l'extrémité l du ressort L , échappant la dent métallique, retombe de nouveau sur la roue en ébonite (fig. 10).

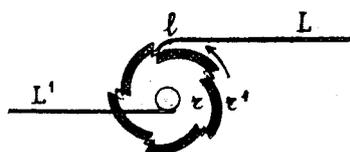


Fig 9.



Fig. 10

On fait généralement la durée de l'émission égale à trois quarts de seconde ; le minimum de durée dépend du plus ou moins d'inertie des organes mécaniques que l'électricité doit mettre en mouvement dans les récepteurs.

Le but du ressort L' est d'assurer par un frottement continu sur l'axe de la roue D un bon contact entre le mobile r et la masse du mouvement.

Le nombre de dents à donner aux roues r et r' dépend du temps que met la roue D à faire un tour entier et du nombre d'émissions que l'on veut obtenir à la minute.

Pour les raisons que nous avons signalées plus haut, on soudera des morceaux de platine ou d'argent aux extrémités l du ressort L et des dents de la roue r et l'on pourra appliquer le principe vu figure 2 pour assurer l'écoulement du courant induit de rupture.

La figure 11 représente un autre système d'interrupteur dont l'emploi est plus généralisé que le précédent.

Nous le supposons appliqué à un mouvement de pendule dont l'un des mobiles D fait encore un tour en cinq minutes.

Ici la roue D ne comporte pas de rochet en ébonite, ce qui est un avantage au point de vue de la fixité et de la régularité des contacts ; l'unique rochet r dont elle est pourvue est en métal ; la pendule

étant en marche, la roue et le rochet tournent dans le sens indiqué par la flèche (fig. 11).

Avec cet interrupteur, la masse est exclue du circuit ; les deux extrémités du circuit extérieur, dans lequel se trouvent la pile et les

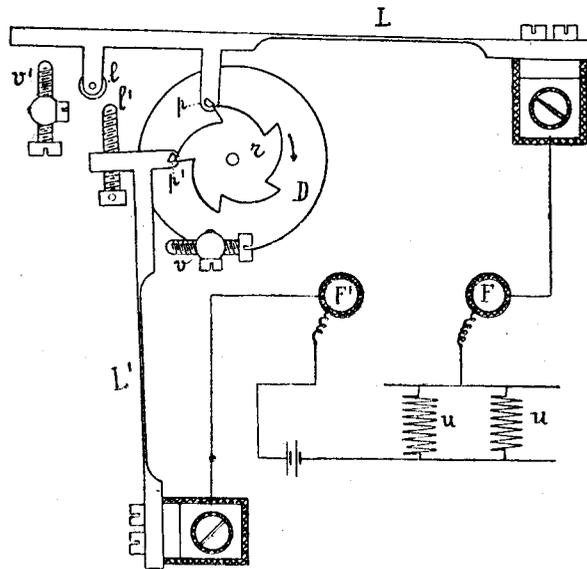


Fig. 11

récepteurs, aboutissent par deux bornes isolées F et F'' à deux ressorts également isolés L et L' qui sont armés dans la direction de l'axe de la roue r .

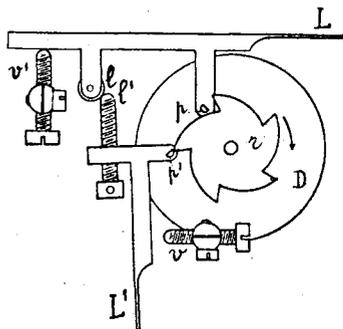


Fig. 12

L'un de ces ressorts, L , porte en l un petit galet en platine ou en argent et l'autre, L' , une vis v dont l'extrémité supérieure, argentée ou platinée, est disposée en regard du galet l sans toutefois le toucher tant que les ressorts ne sont pas dans la position vue fig. 12.

Les ressorts L et L' portent en outre deux demi-rouleaux p et p' en agate ou en cornaline, sem-

blables à ceux d'un échappement Brocot. Pendant environ les deux tiers du mouvement angulaire correspondant au pas du rochet r , p et p' reposent, de par l'armage de leurs ressorts respectifs, contre deux dents consécutives du dit rochet ; pendant l'autre tiers, ce sont

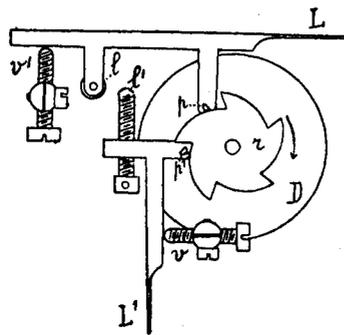


Fig. 13

des vis de butée v et v' , toutes deux isolées de la masse, qui limitent le cheminement des ressorts (fig. 13).

A l'examen des figures, on voit de suite que le circuit électrique de l'horloge-mère s'ouvre et se ferme aux points l et l' .

Par l'effet de la rotation du rochet r , les ressorts L et L' sont graduellement écartés jusqu'au moment où le demi-rouleau p tombe brusquement dans le creux

d'une dent. A cet instant le circuit se ferme par la rencontre du galet l avec la vis l' et il reste dans cette position jusqu'à ce que la vis l' se dérobe devant le galet l , ce qui arrive lorsque le demi-rouleau p' tombe à son tour dans le vide de la dent qui le soutenait (fig. 12 et 13). Ces opérations se répètent à chaque minute.

L'intervalle de temps qui sépare les chutes des ressorts L et L' constitue la durée du contact. Celle-ci dépend de l'inégalité des distances qui séparent les taquets p et p' des pointes des dents du rochet r qui leur servent de points d'appui.

Pour rendre facile le réglage de la durée de l'émission de courant, on monte souvent le talon du ressort L sur un pont à coulisse : au moyen d'une vis de rappel, on peut ainsi lui imprimer à volonté des mouvements de recul ou d'avance.

Si, comme nous le disons plus haut, les taquets p et p' sont faits en pierre dure, ce n'est pas seulement pour obtenir de bons frottements sur les dents du rochet r , mais surtout pour éviter toute liaison électrique entre les ressorts L et L' .

A la rigueur cependant, p et p' pourraient être en acier trempé, à condition qu'ils soient isolés de leurs ressorts ou bien que le rochet soit en substance mauvaise conductrice de l'électricité.

Ce dernier mode de construction, on le comprend, ne saurait donner au point de vue de la régularité des émissions de courant,

autant de garanties que le premier, à moins que la matière isolante employée pour la construction du rochet soit très dure.

Si le rochet est en ébonite, par exemple, les pointes de ses dents risquent fort de s'émousser par l'usage et il en résulte des irrégularités dans la durée des contacts ; ceux-ci seront quelquefois trop courts et d'autres fois trop longs. Ce dernier défaut, tout en n'offrant pas les mêmes inconvénients que le précédent, ne doit pourtant pas être négligé, si l'on veut exiger de la pile une longue durée, car il faut bien se pénétrer de cette idée qu'une pile se comporte comme un réservoir rempli d'eau, et que l'interrupteur peut être comparé au robinet qui permet de faire écouler l'eau du réservoir : Si le robinet reste longtemps ouvert, le réservoir est tôt vidé. Il en est de même pour une pile dont l'interrupteur reste longtemps dans la position d'émission.

Un simple exemple permettra de s'en rendre compte :

Supposons qu'une horloge-mère commande une fois par minute 10 récepteurs installés en dérivation, et que chaque récepteur nécessite une intensité de 0,15 ampère. Combien de jours durera la pile si sa capacité est de 120 ampères-heures⁽¹⁾ et que la durée de chaque émission est de 1 seconde ?

Calculons d'abord l'intensité totale I du courant débité par la pile au moyen de la formule

$$I = i n$$

dans laquelle i représente l'intensité absorbée par chaque récepteur et n le nombre de ceux-ci :

$$I = 0,15 \times 10 = 1,5 \text{ ampère.}$$

La quantité Q d'électricité dépensée par la pile dans un temps t se calcule par la formule

$$Q = I t$$

$$Q \text{ par heure} = 1,5 \times 60 = 90 \text{ coulombs}^{(2)}$$

$$Q \text{ par jour} = 90 \times 24 = 2160 \quad \text{»}$$

La durée de la pile sera de

$$\frac{120 \times 3600}{2160} = \mathbf{200 \text{ jours.}}$$

1) Un « ampère-heure » signifie une dépense de 1 ampère dans 1 heure.

2) Un « coulomb » signifie une dépense de 1 ampère dans 1 seconde. Un coulomb vaut donc $\frac{1}{3600}$ d'ampère-heure.

Calculons maintenant la durée de cette même pile lorsqu'elle débite pendant 2 secondes par minute.

$$Q \text{ par heure} = 1,5 \times (2 \times 60) = 180 \text{ coulombs.}$$

$$Q \text{ par jour} = 180 \times 24 = 4320 \quad \text{»}$$

La durée de la pile sera de

$$\frac{120 \times 3600}{4320} = \mathbf{100 \text{ jours.}}$$

Ces résultats auxquels on devait s'attendre montrent que, pour un même débit, la durée de la pile est en raison inverse de la durée des contacts.

HORLOGES-MÈRES A ROUAGES INDÉPENDANTS

Ces sortes d'horloges-mères présentent, par rapport à celles que nous venons de voir, une certaine complication; mais, par contre, elles ont des avantages dont l'importance n'échappera pas aux horlogers.

D'abord leurs interrupteurs, fonctionnant avec un rouage dont la force motrice est indépendante de celle qui est chargée d'assurer la marche de l'échappement, ne gêneront jamais cette dernière comme c'est le cas dans les systèmes précédemment étudiés.

Ensuite, ces interrupteurs sont susceptibles d'émettre des courants plus intenses, c'est-à-dire de commander un plus grand nombre de récepteurs, en raison des contacts frottants très énergiques qu'ils peuvent recevoir, puisqu'ils n'empruntent aucune force au rouage de l'échappement.

La fig. 14 montre en plan et en élévation les parties principales d'une horloge-mère de ce genre.

Pour ne pas surcharger inutilement le dessin, l'horloge proprement dite n'est représentée que par la roue des heures *H*.

Concentriquement à la roue *H*, sont implantées, à égale distance les unes des autres, 60 goupilles *t t...* en acier. — (Celles-ci pourraient être remplacées par une roue de rochet *h* de 60 dents, laquelle serait vissée sur la roue des heures.)

Les goupilles *t* sont destinées à servir successivement de butée à un fouet *s* qui est solidaire du mobile *D* faisant partie d'un train

d'engrenage $A B C D E$; disons que les fonctions de ce rouage se font comme celles d'une seconde indépendante, mais à chaque minute seulement, c'est-à-dire toutes les fois que le fouet s échappe celle des goupilles t qui lui servait de butée.

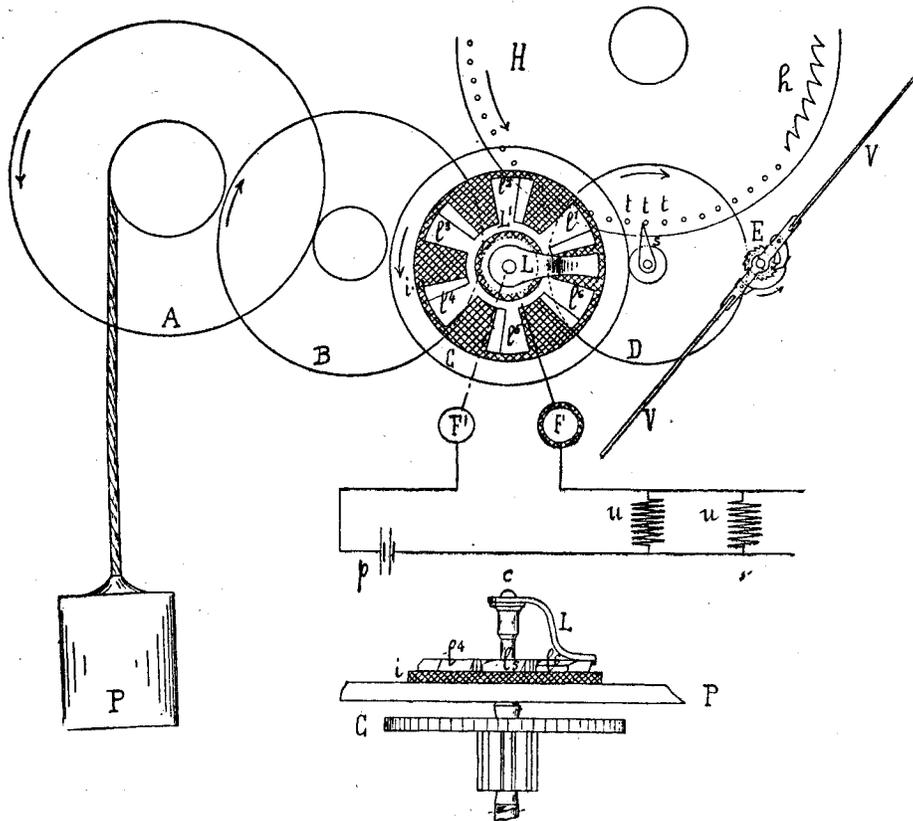


Fig. 14

Un poids P tend constamment à faire tourner le rouage $A B C D E$ dans le sens des flèches. Dès que la goupille en prise avec le fouet le laisse s'échapper, le rouage ci-dessus défile jusqu'à ce que le fouet ayant effectué une révolution entière (moins l'angle d'engrenage avec t) rencontre la goupille suivante.

A ce moment le déroulement du rouage est subordonné à celui de la roue H pendant tout l'arc d'engrènement des organes s et t , ou autrement dit, pendant une minute.

C'est pendant le défilé partiel des mobiles $A B C D E$ que l'on fait opérer par l'un d'eux, C , les fermeture et rupture du circuit électrique.

A cet effet, une lame-ressort L est ajustée, par son canon, à frottement dur sur l'extrémité c de l'axe de la roue C qui fait un tour en six minutes.

Entre deux émissions de courant l'extrémité libre de cette lame se trouve dans l'intervalle séparant deux pleins l^1 et l^6 d'un disque de cuivre L' ayant quelque ressemblance avec un pignon n'ayant pas d'excédent à sa circonférence primitive. L'axe du disque L' se confond avec celui de la roue D , c'est pourquoi son centre est évidé pour laisser passer librement l'axe de cette roue. D'autre part, L' devant être isolé de la masse du mouvement, on intercale une plaque d'ébonite i entre lui et la platine du mouvement sur laquelle il est fixé.

Le nombre des dents ou pleins $l^1 l^2 l^3$ est égal au temps en minutes que met le mobile D à faire un tour entier.

L'ensemble formé par la lame L et le disque L' constitue l'interrupteur. On voit que dans la fig. 14 le circuit de la pile p est ouvert entre L et L' ; mais à la première échappée du fouet s , la lame L tournant avec C dans le sens de la flèche viendra prendre contact avec le plein l^1 , le dépassera et finalement se retrouvera dans le vide qui le sépare du plein suivant l^2 ; il ne pourra aller plus loin parce que la rencontre du fouet s avec une goupille t de la roue des heures H coïncide avec cette position.

A la minute suivante, le contact de la lame se fera avec le plein l^3 , et successivement avec l^4 , l^5 , l^6 pour recommencer avec l^1 et ainsi de suite.

Un volant V , qui est monté sur l'axe du dernier mobile E , permet de régler à volonté la durée d'une émission de courant, soit la durée du contact de la lame L avec l'un des pleins du disque isolé L' .

REMARQUES. — Avec ces sortes d'interrupteurs, les moyens préventifs contre l'extra-courant dont nous nous sommes entretenus dans le début, ne sont pas indispensables. En effet, les parties médianes de la lame L et des pleins $l^1 l^2 \dots$ ne supportant jamais l'étincelle de rupture restent indéfiniment propres ; en outre la forme rentrante donnée aux côtés du plein du disque L' où se produisent les ruptures rend celles-ci très brusques ; il s'ensuit que l'étincelle n'ayant pas le

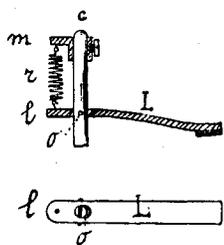


Fig. 15

temps de prendre toute son intensité, les portions de surfaces susceptibles de s'oxyder sont réduites au minimum.

Il n'est point besoin de démontrer que l'on rendrait plus parfaites les fonctions de la lame L en adoptant le genre de montage représenté par la fig. 15, dans lequel l'armage de la lame L est remplacé par un ressort à boudin r

HORLOGES-MÈRES ÉMETTANT DES COURANTS ALTERNATIVEMENT POSITIFS ET NÉGATIFS

Certaines horloges réceptrices ne peuvent fonctionner qu'avec des courants dont le sens est inversé à chaque émission, d'où l'obligation de munir les horloges-mères qui sont chargées de les actionner de mécanismes de distribution dont le rôle ne consiste pas seulement à ouvrir et fermer des circuits électriques, mais encore à opérer, entre deux fermetures, les renversements du courant.

La fig. 16 montre une horloge-mère de cette catégorie construite par la maison Hipp.

Le pendule, qui ne figure pas dans le dessin, fonctionne sous l'effet d'un système électrique que nous décrirons en temps opportun.

Une roue R à dents de rochet (60 dents) est directement soumise aux impulsions du pendule.

Ce dernier qui bat la demi-seconde rencontre à chacune de ses oscillations vers la gauche une goupille g implantée sur l'extrémité inférieure d'un levier A mobile autour d'un axe a .

Au retour de l'oscillation, ce levier, sous l'influence d'une masse M fait avancer, par l'intermédiaire d'un encliquetage C , une dent du rochet R , lequel fait un tour par minute.

L'axe de ce rochet porte, du côté du cadran, l'aiguille des secondes et le mobile commandant la minuterie ; du côté opposé, ce même axe porte un bras B dont l'extrémité b , garnie de platine, vient à chaque tour du rochet, soit toutes les 60 secondes, fermer le circuit de la pile en touchant à la fois deux leviers H et H^1 ordinairement isolés l'un de

l'autre. Ces deux leviers sont dessinés en élévation dans la partie supérieure de la fig. 17.

Les barettes P et P^1 qui leur servent de pivotement, supportent également deux ressorts s et s^1 dont les actions s'exercent dans le sens du rapprochement des extrémités libres des leviers H et H^1 .

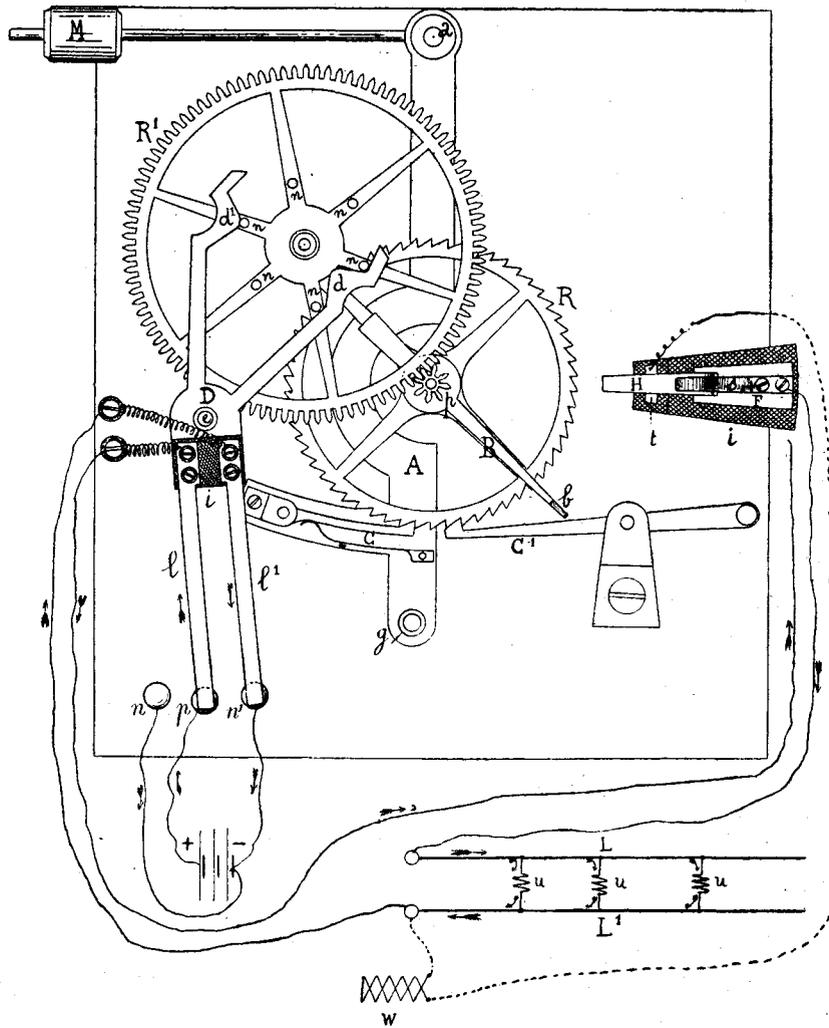


Fig. 16

Les parties en hachures quadrillées représentent des pièces isolantes.

Les leviers H et H^1 , avec le bras B , constituent l'interrupteur qui, comme tous les précédents, ne pourrait qu'émettre des courants de sens uniforme s'il ne lui était adjoint un dispositif électrique spécial, connu sous le nom de *commutateur inverseur*. Celui employé dans l'horloge-mère Hipp ne diffère du modèle utilisé en télégraphie qu'en ce que ses fonctions, au lieu d'être faites à la main, se font automatiquement.

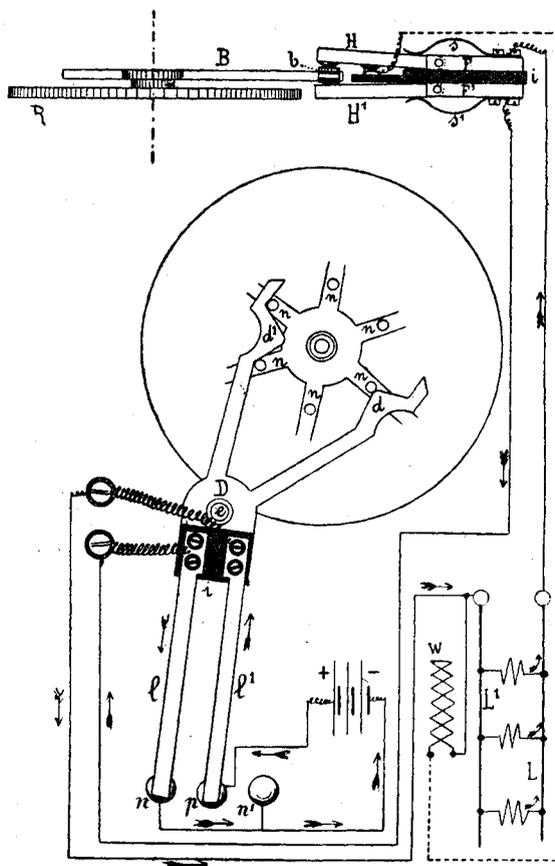


Fig. 17

Il se compose :

- 1° de trois plots p , n et n^1 dont l'un, p , est en relation permanente avec le pôle positif de la pile et les deux autres, n et n^1 , avec le négatif ;
- 2° de deux lames-ressorts l et l^1 , solidaires l'une de l'autre, et d'un levier D mobile autour d'un axe e ; le levier D est prolongé de l'autre

côté de l'axe par deux bras d et d^1 sur lesquels travaillent six goupilles n, n, \dots disposées sur les baguettes d'une roue R^1 .

Celle-ci est menée par le pignon p qui est solidaire de l'axe du rochet R ; elle est douze fois plus nombrée que ce pignon et fait par conséquent un tour en douze minutes.

Les formes données aux extrémités des bras d et d^1 sont telles que le passage de deux goupilles n et n placées sur un même diamètre de la roue R^1 donne successivement deux positions différentes aux lames-ressorts l et l^1 .

Chacune de ces dernières se trouve par suite tantôt en contact avec le plot $+$ tantôt avec le plot $-$ (fig. 16 et 17); de sorte que pour deux émissions successives les récepteurs u, \dots auxquels elles sont reliées à chaque minute par l'intermédiaire de l'interrupteur, sont parcourus par des courants de sens inverses. Il est aisé de s'en rendre compte en suivant la direction des flèches dans les fig. 16 et 17 qui montrent le commutateur inverseur dans ses deux positions différentes.

Les ruptures de contact entre les lames l et l^1 et les plots p, n et n^1 ne se produisant que lorsque l'interrupteur est hors fonction, celui-ci seul supporte les effets nuisibles de l'extra-courant. On peut toutefois les lui éviter, par exemple de la façon suivante :

Il suffit de faire reposer l'un des leviers H sur une plaque métallique t (fig. 16 et 17) en communication électrique avec la ligne L^1 et d'intercaler dans ce fil, qui est représenté en pointillé dans les figures, une bobine de résistance W sans selfinduction. Cette bobine a pour but d'éviter la mise en court-circuit de la pile au début de la fermeture du circuit, c'est-à-dire au moment où le levier H touche à la fois la plaque t et l'autre levier H^1 par le bras B qui sert de trait d'union.

A l'instant précis où le bras B échappe les leviers H et H^1 , le premier prend contact avec la plaque t , ce qui permet au courant d'induction, qui s'est créé dans les électro-aimants des récepteurs u, \dots , de se fermer sur lui-même.

Le principe de cette méthode d'élimination de l'étincelle d'extra-courant a été exposé page 12, fig. 6.

La même maison construit également ce type d'horloge-mère avec pendule battant la seconde.



La durée des contacts dans l'horloge-mère Hipp, tout en étant parfaitement suffisante pour les types de récepteurs du même nom, serait trop réduite quand il s'agirait de mettre en circuit des appareils possédant une certaine inertie, en particulier des horloges réceptrices pour clocher, par exemple.

D'autre part, dans l'horloge ci-dessus, le pendule jouant à la fois les rôles de moteur et de régulateur, on conçoit que l'on est forcément limité en ce qui concerne les *pressions* que l'on doit faire exercer entre les divers organes de commutation et de distribution *pour qu'ils ne fassent jamais résistance dans le circuit.*

Il est vrai que l'on remédie à cet inconvénient par des moyens dont nous aurons l'occasion de nous entretenir, mais qui ont l'inconvénient de ne donner qu'un synchronisme imparfait.

S'appuyant sur les observations ci-dessus, il a été étudié et construit à l'Ecole une horloge-mère à durée de contact réglable à volonté et pouvant commander directement et simultanément un grand nombre de récepteurs quel qu'en soit le système, sans que le réglage de l'horloge proprement dite en souffre.

En effet, son distributeur, qui a beaucoup d'analogie avec celui de la fig. 14 ayant servi de type d'étude, fonctionne, comme lui, avec un rouage à minute indépendante, identique au sien. C'est la raison pour laquelle nous n'avons pas cru devoir le représenter à nouveau ; la fig. 18 montre en plan et en élévation le distributeur en question qui remplit la double fonction d'interrupteur et de commutateur inverseur.

Ses parties essentielles sont :

1° Deux lames-ressorts l et l' solidaires de l'axe de la roue C appartenant au rouage $A.B...$ (fig. 14 et 18).

2° Deux disques P et N , comportant chacun, comme celui de la fig. 14, six pleins ou saillies $p.p$ et $n.n...$ (fig. 18 et 19).

La platine H de l'horloge qui est vue en élévation dans la fig. 18 est supposée enlevée dans le plan de la même figure pour laisser voir la roue C .

Voici comment sont établies les communications électriques : la lame l' , dont le canon est ajusté à frottement dur sur l'extrémité prolongée de l'axe de la roue C est en relation, par l'intermédiaire de cet axe et de la masse, avec la borne F^1 et l'un des fils de ligne L^1 ; l'autre lame l dont le canon, contrairement à celui de la lame l' , est isolé de l'axe par un tube d'ébonite, communique avec la borne isolée F

et avec le deuxième fil de ligne L ; la communication avec la borne F est assurée par un ressort frotteur F , supporté par un pont en équerre isolé.

Les disques P et N , isolés l'un de l'autre et de la masse, sont reliés l'un, P , au pôle positif de la source d'électricité, et l'autre, N , avec le négatif. Ils sont fixés par deux vis sur l'une des platines H de la cage du mouvement, de telle façon que leurs centres, préalablement évidés, se confondent avec celui de la roue C . Leurs saillies $p.n.p.n...$

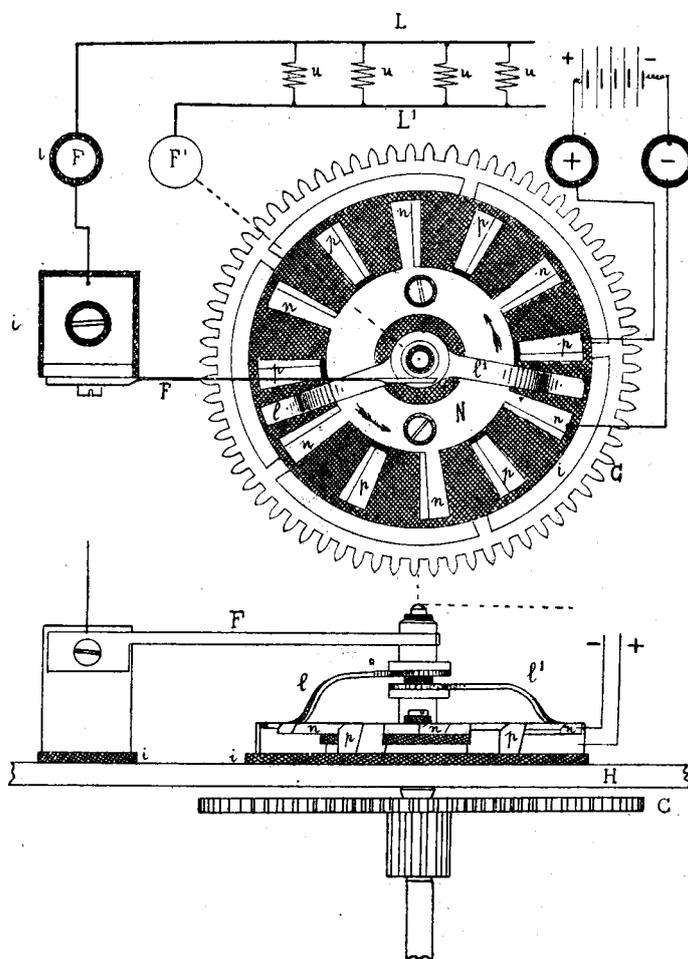


Fig. 18

devant être alternées et arriver au même niveau, le disque inférieur *P* est creusé assez profondément pour recevoir, d'abord la plaque d'ébonite qui doit l'isoler du disque *N*, et ensuite ce dernier, fig. 19.

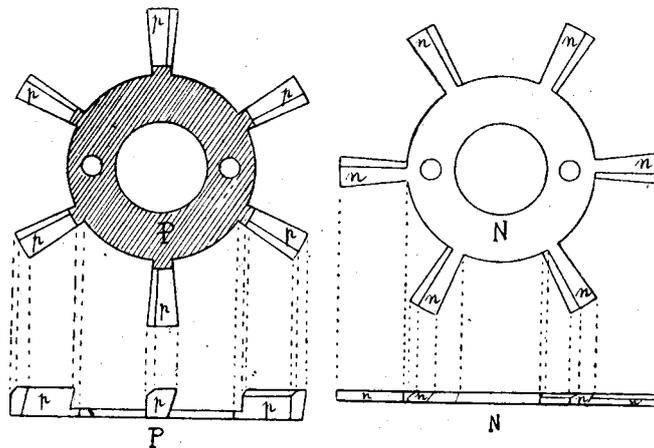


Fig. 19

Il résulte de la disposition des diverses pièces qui constituent cet interrupteur commutateur que le circuit électrique qu'il commande est ouvert en deux points, soit à l'extrémité de chacune des lames *l* et *l'* lorsqu'elles se trouvent entre deux saillies quelconques *p.n* et *n.p* (fig. 18).

Lorsque par suite de la rotation de la roue des heures *H* (fig. 14) le fouet *s* échappe la goupille *t* qui le maintient en arrêt, les mobiles *A.B...*, tournant sous l'action de la force *P*, entraînent, par l'axe du mobile *C*, les lames-ressorts *l* et *l'*. Celles-ci ne tardent pas à prendre contact avec les saillies *p* et *n* qui se présentent devant elles (fig. 20), puis les dépassent, pour se retrouver entre deux autres saillies, dans une position identique à celle de la fig. 18.

Comme nous l'avons vu dans un paragraphe précédent, les fonctions du rouage commandant l'interrupteur redeviennent alors dépendantes de la roue des heures *H* jusqu'à la minute suivante ; à cet instant elles feront prendre aux lames *l* et *l'* la position représentée fig. 21. Enfin, les lames *l* et *l'* se retrouveront de nouveau arrêtées lorsque le circuit sera ouvert, et ainsi de suite.

Remarquons que dans la fig. 20 le courant sort de l'interrupteur

par la lame l' ; il se rend par la masse dans la borne F_1 , traverse les récepteurs $u...$, revient par la borne F , le ressort frotteur, la lame l et le disque n N au pôle négatif de la pile, dont le positif est relié au disque P .

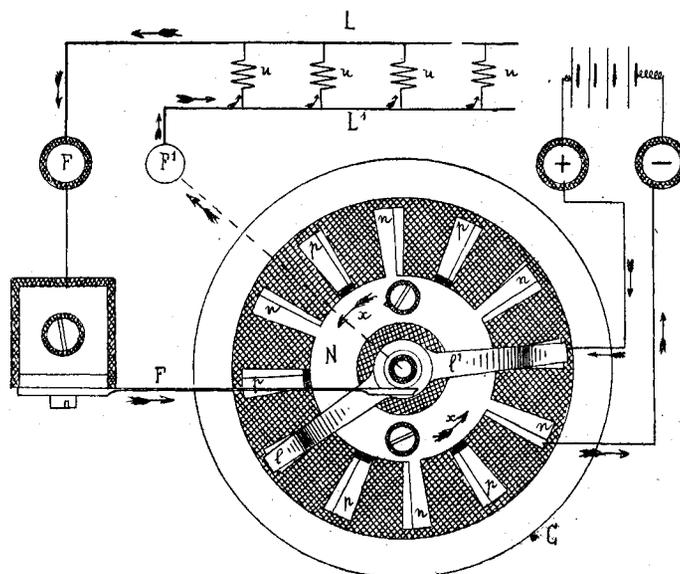


Fig. 20

Dans la fig. 21, le courant parcourt le même cycle mais en sens inverse depuis les lames l et l' .

Si l'on suit celles-ci dans leur rotation avec la roue C suivant les flèches concentriques, on voit qu'à chaque minute le courant chargé d'exciter les récepteurs $u...$ change de sens.

Pour assurer une bonne relation électrique entre la lame l' et la masse, un ressort monté à l'intérieur de la cage frotte en permanence sur l'axe de la roue C . Cette précaution, que nous avons déjà eu l'occasion de signaler page 14 (fig. 8), doit être prise toutes les fois qu'un mobile, dont les points de pivotement demandent à être huilés, fait partie d'un circuit électrique.

Si l'on compare, en tant que commutateur, le distributeur ci-dessus avec celui de l'horloge Hipp on voit qu'en principe ils sont identiques. Ils ne diffèrent que par les mouvements transmis à leurs lames-ressorts : dans le premier, ces dernières se meuvent toujours

dans le même sens, tandis que dans le second, elles subissent des mouvements alternatifs de droite à gauche et vice-versa.

Disons maintenant pourquoi le commutateur inverseur Hipp est impropre à servir également d'interrupteur ; la raison en est que l'établissement des contacts des lames avec les plots de pile, de même que les ruptures entre ces organes ne se font pas avec assez de rapidité.

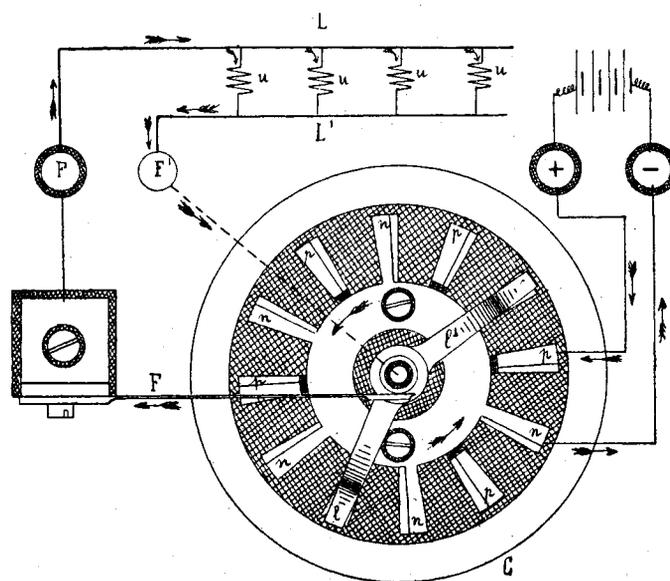


Fig. 21

Bien que le commutateur interrupteur représenté dans les fig. 18, 20 et 21 soit spécialement établi pour lancer des courants inversés, il peut être appelé à commander un réseau d'horloges réceptrices ne nécessitant que des courants de même sens. On peut, dans la plupart de ces cas, laisser les communications telles qu'elles sont, ce genre de récepteur fonctionnant avec n'importe quel sens de courant ; mais, l'expérience nous l'a montré, des ratés peuvent quelquefois survenir, lorsque les électro-aimants ont beaucoup de rémanence.

On évitera cet inconvénient, sans augmenter le nombre des éléments de la pile, en redressant le sens du courant d'excitation : il suffira pour cela de mettre en court-circuit les bornes + et - ainsi que les bornes F et F' .

Les communications avec les lignes et la pile devront être alors établies comme suit :

Aux bornes + et — sera attaché l'un des pôles de la pile ; l'autre pôle sera relié à l'un des fils de ligne et l'autre fil sera relié aux bornes F et F^1 .

L'installation sera ainsi prête à fonctionner avec des courants de même sens.



Lorsque les ressorts ou poids d'une horloge-mère à rouage indépendant sont remontés à de courts intervalles de temps par un moteur électrique, comme c'est le cas dans l'horloge en service à l'École, la force à la roue d'échappement étant constante, un échappement ordinaire est suffisant.

Si, au contraire, le remontage doit se faire à la main, ce qui entraîne un assez grand nombre de jours entre deux remontages consécutifs et, par suite, des inégalités dans les impulsions reçues par le régulateur, on a avantage, à tous points de vue, à employer une horloge-mère munie d'un échappement à remontoir d'égalité.

La masse constante actionnant cet échappement est remontée par le train de rouages sur lequel réagit le poids principal, une ou deux fois par minute, suivant que l'on désire faire émettre des courants dans l'un ou l'autre de ces temps.

On choisit ensuite parmi les mobiles du rouage celui qui parcourt un chemin suffisant et on lui fait commander soit un interrupteur ordinaire soit un inverseur.

On réalise ainsi sans aucune complication, à part le dispositif électrique, une horloge-mère à rouage indépendant possédant toutes les qualités des précédentes.



Pour les installations importantes, on se sert beaucoup en Suisse d'une horloge-mère reposant sur ces principes.

Cette horloge se compose de trois parties absolument distinctes et reliées entre elles par des arbres de transmission : la première comprend un pendule à mercure battant la seconde et l'échappement à force constante dont la roue porte l'aiguille enregistrant les secondes.

La deuxième partie est constituée par le rouage et le cadran des heures et minutes.

Enfin, la troisième partie de ce groupe horaire est formée par le mécanisme de commutation et de distribution qui se trouve attelé sur l'arbre reliant les deux autres parties.

Lorsque la petite masse chargée d'entretenir les oscillations du pendule est arrivée à la fin de sa course, le rouage, aussitôt déclenché, la ramène à sa position première. C'est pendant cette opération, qui se renouvelle toutes les minutes, que se produisent les contacts dont la durée est réglée, comme dans les précédentes applications, par un volant à ailettes ou à force centrifuge faisant partie du train de rouage de l'horloge.

Les types de distributeurs pouvant être utilisés soit dans les horloges à rouage indépendant soit dans celles à remontoir d'égalité sont nombreux. Citons entre autres l'interrupteur à mercure imaginé, il y a quelques années déjà, par MM. NAPOLI & LECLANCHÉ :

Deux barillets en ébonite *A* et *B*, vus en coupe fig. 22 et 23, sont séparés par une cloison verticale *C*, également d'ébonite. Ils forment une boîte hermétiquement fermée que la cloison *C* divise en deux compartiments *a* et *b* dans lesquels a été préalablement versée une certaine quantité de mercure *m* et *m'* ; le mercure occupe la moitié environ de la hauteur des compartiments. L'une de ces nappes mercurielles *m* est en relation électrique permanente avec le pôle + de la

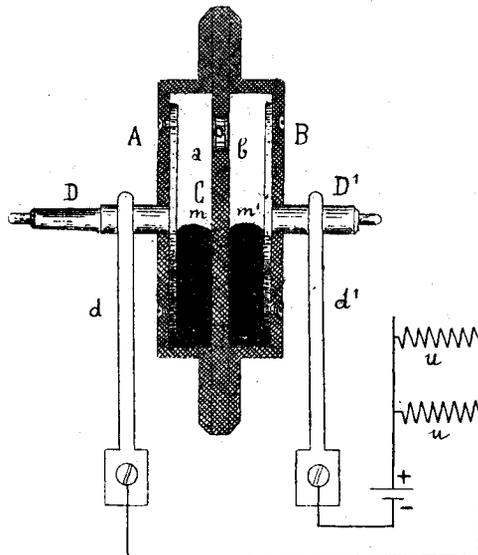


Fig. 22

Position de l'Interrupteur
entre deux émissions
de courant.

pile par les portées métalliques intérieures du tourillon D et le balai fixe d frottant sur ce dernier d'une manière continue. L'autre nappe m^1 communique avec le pôle — par le tourillon D^1 et son balai fixe d^1 .

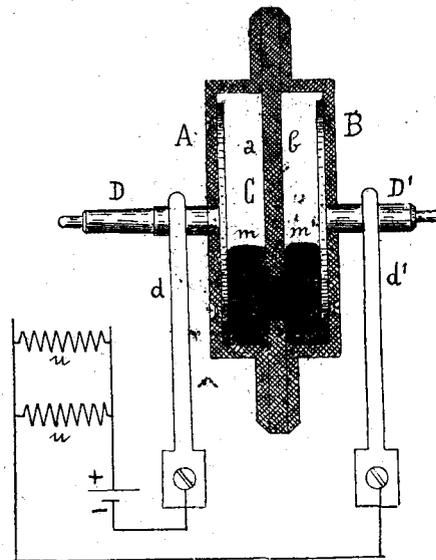


Fig. 23

Position de l'Interrupteur pendant l'émission du courant.

A la seule inspection de la figure 22 on se rend compte que le circuit de la pile est ouvert ; mais vient-on, soit à la main soit au moyen d'un rouage animé d'une vitesse convenable, à imprimer aux barillets une demi-révolution autour de leurs tourillons D et D^1 , les nappes mercurielles se mélangeront intimement par une ouverture c pratiquée dans la cloison C (fig. 23) et le circuit est alors fermé jusqu'à ce que les barillets aient repris, sous l'influence de la même force, la position de repos (fig. 22).

Un gaz réducteur peut être enfermé avec le mercure pour éviter toute oxydation.



Le commutateur inverseur rotatif Ruhmkorff peut également trouver son emploi dans une horloge-mère à rouage indépendant.

Les figures 24 et 25 montrent cet appareil en élévation, vu parallèlement et perpendiculairement à l'axe.

C est un cylindre de bois ou d'ébonite mobile autour d'un axe horizontal $a.b$ interrompu en son milieu. La partie a est en communi-

cation, 1° par le pont P avec le pôle $+$ de la pile ; 2° par une vis v avec une lame métallique l faisant corps avec le cylindre C . L'autre extrémité b de l'axe $a.b$ est, de la même manière, réunie à l'autre pôle de la pile et à une seconde lame métallique l' . De cette façon on peut dire que l et l' sont les pôles de la pile.

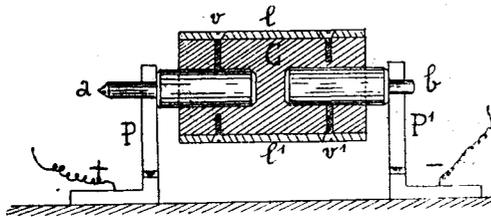


Fig. 24

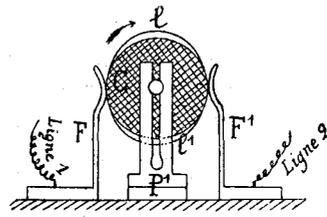


Fig. 25

Par la fig. 25 on voit que les lames l et l' font saillie au-dessus et au-dessous du cylindre. F et F' sont deux ressorts isolés dont les parties supérieures se dressent à la hauteur du cylindre d'ébonite et en regard de la partie non recouverte par les lames l et l' .

Dans cette position le courant est interrompu ; mais, si l'on fait tourner le cylindre de 90° , suivant la flèche, on fera communiquer l avec F' , et l' avec F ; le courant passera alors de $P.l$ en F' , circulera de la ligne 2 à la ligne 1 après avoir traversé les récepteurs utilisant le courant, et reviendra par F, l' et P' au négatif de la pile.

En faisant encore tourner le cylindre d'un deuxième quart de cercle, le commutateur aura accompli un demi-tour depuis la position vue fig. 24 et il se retrouvera en circuit ouvert. Si enfin, l'on continue, toujours dans la même direction, à imprimer au cylindre un mouvement angulaire toujours égal à 90° , le courant sera de nouveau rétabli, mais il circulera cette fois en sens inverse dans les lignes et récepteurs.

Tel qu'il vient d'être décrit, cet appareil peut être adopté sur un mobile faisant un tour en deux minutes. Si, pour un rouage donné, on ne dispose que d'un mobile tournant de $1/4$ de tour par minute, le cylindre devra recevoir quatre lames $l...$ au lieu de deux ; si le mobile fait $1/6$ de tour, le nombre de lames $l...$ devra être porté à six.

DISTRIBUTEURS A SECONDE

Pour les usages courants on ne distribue jamais l'heure par secondes, mais il n'en est pas de même dans les Observatoires, où l'on exige de très courts intervalles de temps entre deux émissions.

Comme pour la distribution par minute ou demi-minute, on distingue les dispositifs émettant des courants de même sens et ceux émettant des courants changeant de sens à chaque contact. Signalons parmi ces derniers, qui sont peu nombreux, le modèle Hipp dont la figure 26 donne une vue schématique.

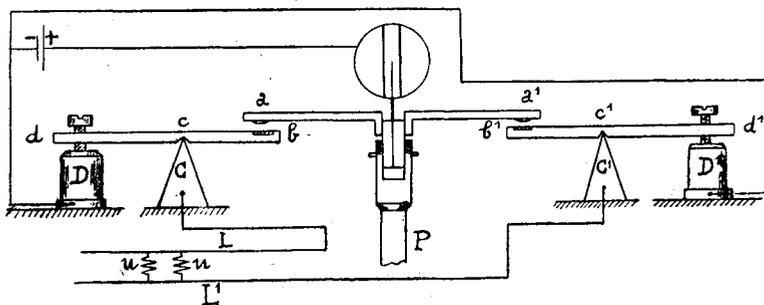


Fig. 26

Près de la lame de suspension du pendule *P*, dont les oscillations sont entretenues par l'électromagnétisme, sont vissées deux équerres métalliques *a* et *a'*. Celles-ci viennent, à tour de rôle, pendant le fonctionnement du pendule, prendre contact avec des leviers *b.c.d* et *b'.c'.d'* pouvant légèrement osciller en *c* et *c'* autour de couteaux *C* et *C'*.

Le pendule *P* étant dans la verticale (fig. 26), les leviers *b.c.d* et *b'.c'.d'* n'ont aucun contact avec les équerres *a* et *a'* ; les bras *c.d* et *c'.d'* qui sont les plus lourds reposent par des vis de réglage sur des plots isolés *D* et *D'*.

Lorsque le pendule oscille vers la droite (fig. 27), le circuit de la pile est fermé en *a.b* et le courant circule dans l'ordre suivant : $+ a.b.c.C.L.u...L'.C'.c'.d'.D' -$.

Pendant l'oscillation du pendule vers la gauche (fig. 28), le courant suit la direction $+ a'.b'.c'.C'.L'.u...L.C.c.d.D -$.

Au moment de la rupture en *a.b* ou en *a'.b'*, l'extra-courant qui a

pris naissance dans les électroaimants des récepteurs $u...$ s'anéantit dans le circuit $L.C.c.d.D.D^A.d^A.c^A.C^A.L^A.u...L$.

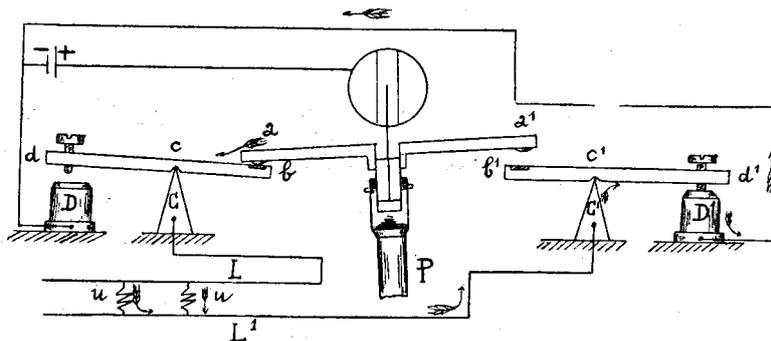


Fig. 27

Remarquons cependant que malgré l'analogie que présente ce distributeur avec ceux des figures 6 et 17 (pages 12 et 24), il ne permet pas d'intercaler dans le circuit de l'extra-courant, une résistance électrique capable d'éviter le débit de la pile en court circuit à l'instant où celui des leviers en travail touche à la fois l'équerre et le plot. Ce défaut, quoique se produisant pendant un temps infiniment réduit, n'en abrège pas moins, en raison de sa fréquence, la durée de la pile.

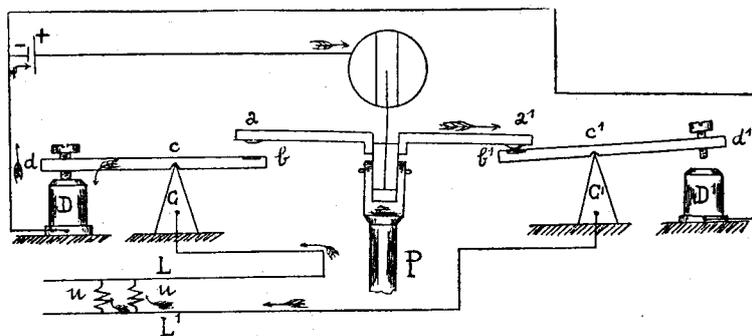


Fig. 28

C'est probablement le motif qui a amené le constructeur à établir un interrupteur donnant un contact toutes les deux secondes seulement. La figure schématique 29, qui n'est que la réédition de la fig. 6, montre cette nouvelle disposition dans laquelle, au moyen de la résistance W , on évite l'inconvénient ci-dessus relaté.

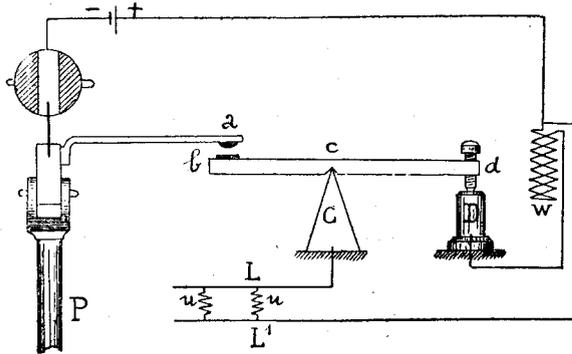


Fig. 29

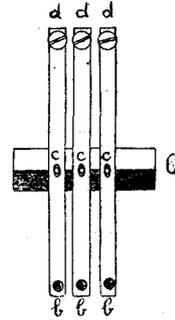


Fig. 30

Enfin, pour mieux éviter encore l'oxydation, il est recommandé de multiplier le nombre des leviers de contact *b.c.d* (fig. 30). Pour peu, en effet, que le plan de ces leviers ne soit pas rigoureusement parallèle à l'équerre *a*, celle-ci ne les touche pas tous en même temps ; elle commencera par prendre contact avec le plus rapproché, puis avec le second, puis avec le troisième. Au moment de la rupture, un effet analogue se produit, mais en sens inverse, l'équerre abandonnant successivement les trois leviers, de sorte que le dernier seul supporte les effets de l'extra-courant, dans le cas où ce dernier ne se serait pas entièrement neutralisé dans son circuit particulier.

Un autre dispositif de distribution par seconde ou toutes les deux secondes consiste à munir le pendule *P* (fig. 31) d'un doigt réglable *p*

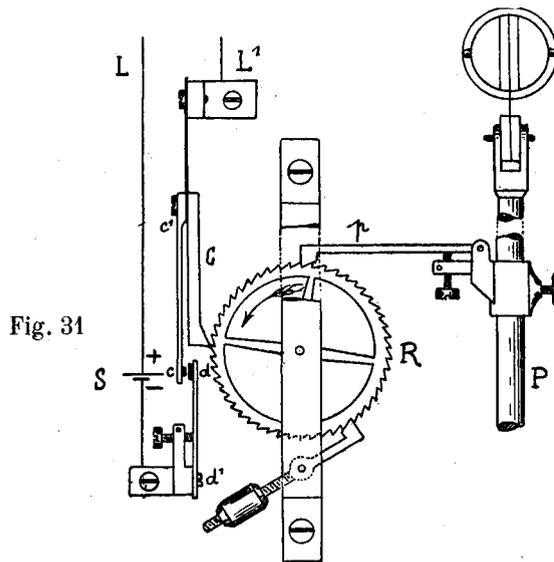


Fig. 31

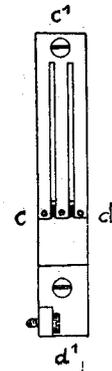


Fig. 32

venant à chaque double oscillation imprimer à un rochet R un mouvement angulaire correspondant à une dent.

Pendant que s'effectue cette opération, un cliquet C , dont le ressort est armé dans la direction du rochet, tombe dans le creux d'une dent ; la lame $c.c'$, qui lui est solidaire, l'accompagne dans sa chute et vient prendre contact, pendant un huitième de seconde environ, avec une deuxième lame $d.d'$, ordinairement isolée de la précédente.

Au moment où s'établit cette communication, le circuit de la pile S se trouve fermé à travers la ligne L , les récepteurs et la ligne de retour L' .

Pour les raisons que nous connaissons, les parties c et d des lames-ressorts sont platinées, et les points de contact pourront être multiples, comme le montre la figure 32.

Les oscillations du pendule étant entretenues électriquement, on peut utiliser la rotation qu'il imprime à la roue R pour commander une minuterie enregistrant les minutes et les heures.

RELAIS

Dans tout ce qui précède, il n'a pas été question d'un facteur très important duquel dépend pourtant, pour une grande part, la bonne réussite d'une distribution horaire ; nous voulons parler de la quantité de pression qui doit s'exercer entre les contacts des interrupteurs.

Quelles que soient l'intensité d'un courant et sa force électromotrice, la pression nécessaire doit atteindre plusieurs décigrammes.

On ne dispose pas toujours dans les horloges-mères de forces suffisantes pour produire des pressions de cet ordre, d'autant plus que la force nécessaire pour séparer les contacts est toujours supérieure à celle qui a produit la fermeture : cela tient à ce que les étincelles d'induction produisent comme une sorte de soudure entre les pièces en contact.

D'autre part, lorsque la distance, qui sépare un groupe de récepteurs d'une horloge-mère, est très grande, l'intensité du courant s'affaiblit par suite de la *perte de pression* (voir page 45) due à la résistance des fils de ligne.

On remédie à ces inconvénients par l'emploi d'un appareil appelé *relai*.

Le but d'un relai est de substituer aux courants très faibles lancés par une horloge-mère un autre courant assez puissant pour faire fonctionner tous les récepteurs d'une installation.

L'emploi du relai est donc tout indiqué :

- 1° lorsque l'interrupteur d'une horloge-mère n'offre pas une puissance de contact suffisante pour la grandeur du courant qu'il doit émettre ;
- 2° lorsque, dans une installation, certains récepteurs se trouvent trop éloignés de la source d'électricité.

La forme des relais est très variable ; par contre leurs mécanismes, exception faite pour quelques-uns des modèles employés en télégraphie, sont toujours simples.

La fig. 33 montre un relai réduit à sa plus simple expression.

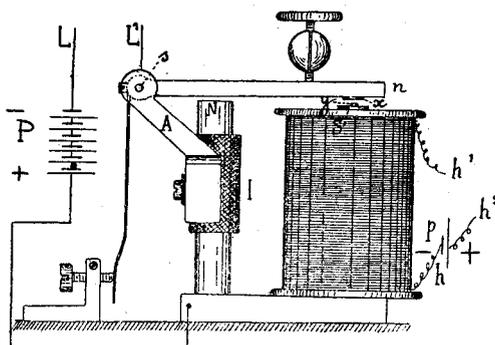


Fig. 33

Il se compose d'un électro-aimant $N S$, dont l'armature $s.n$ pivote en s sur un pont A , fixé par une vis sur le noyau N . Le pont, et par suite l'armature, sont isolés de la masse de l'électro par un tube d'ébonite I ajusté sur le noyau N .

Les communications électriques étant disposées comme on le voit sur la fig. 33, il suffira, pour utiliser ce système de relai, de relier les extrémités des conducteurs L et L^1 aux lignes allant aux récepteurs d'heures, et les fils h^1 et h^2 aux bornes de l'horloge-mère.

Dans le cas particulier, où le relai est employé pour faire opérer les fonctions d'une fraction seulement des récepteurs d'une installation, les extrémités h et h^1 des fils de l'électro-aimant sont directement branchées sur les fils de ligne, suivant le mode d'installation adopté pour les autres récepteurs.

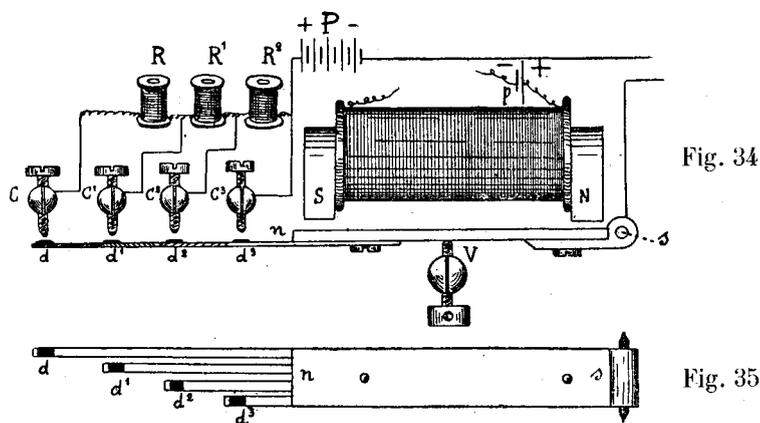
Au moment précis où le circuit de la pile p sera fermé par l'interrupteur de l'horloge-mère, l'armature sera aussitôt attirée contre les noyaux N et S et le circuit de la pile P , qui n'était ouvert qu'aux points platinés x et y , se trouve alors fermé pendant que dure l'attraction de l'armature, c'est-à-dire pendant tout le temps où l'interrupteur de l'horloge-mère se trouve lui-même en circuit fermé.

Un petit relai établi dans de bonnes conditions peut donner sous une puissance minime, 0,1 watt par exemple, des pressions entre les contacts pouvant dépasser le kilogramme.

Si l'on considère que dans une horloge-mère ordinaire (fig. 8 et 11, pages 14 et 16), la force disponible à la circonférence de la roue commandant l'interrupteur se chiffre à peine par quelques grammes, on peut juger par là de la supériorité des contacts obtenus avec les relais.

L'emploi de ces derniers sera tout à fait efficace si, comme on l'a signalé à maintes reprises, l'on multiplie les points de contacts et surtout si entre chacun de ceux-ci se trouvent intercalées des résistances allant en décroissant au moment de l'établissement du courant, et en croissant au moment de la rupture. Le courant passant ainsi par des valeurs intermédiaires, l'émission acquiert une forme ondulatoire particulièrement propre à la suppression des effets nuisibles de l'extracourant.

Le relai RECLUS, dont nous avons déjà vu le principe (fig. 5, page 10), remplit toutes ces conditions.



C'est l'armature $s.n$, mobile en s , (fig. 34 et 35) qui remplace la lame-ressort a de la fig. 5. A cet effet, elle supporte vers son extrémité

libre quatre lamelles métalliques, aux extrémités desquelles sont soudées de petites plaques de platine $d.d^1.d^2.d^3$. Celles-ci font regard aux extrémités également platinées de quatre vis dont les supports C, C^1, C^2 et C^3 sont isolés les uns des autres et reliés, comme l'indique la figure 34, aux bobines de résistance R, R^1 et R^2 .

Lorsque l'électro, sous l'effet du courant émis par l'horloge-mère attirera l'armature $s.n$, le circuit de la pile P sera fermé :

- 1° en d (les résistances R, R^1 et R^2 sont dans le circuit, l'intensité du courant est donc minimum) ;
- 2° en d^1 (les résistances R^1 et R^2 restent encore dans le circuit, l'intensité augmente) ;
- 3° en d^2 (il ne reste dans le circuit que la résistance R^2 , l'intensité augmente encore) ;
- 4° en d^3 (les résistances ci-dessus sont hors circuit, l'intensité est maximum).

Au retour de l'électro-aimant à l'état neutre, c'est-à-dire lorsque le courant de la pile p ne l'excitera plus, l'armature retombera de par son propre poids jusqu'à la vis de repos V en ouvrant le circuit de la pile P en sens inverse de l'ordre suivi pour la fermeture. En cas de rémanence, le décollage est encore facilité par l'armage des lames-ressorts $d.d^1.d^2.d^3$.

Dans ce relai, le contact définitif d^3 restera donc toujours propre puisqu'il se produit en un point différent de celui d où s'effectue la rupture finale.



On peut quelquefois se dispenser de l'emploi des relais par un procédé qui n'est applicable qu'à une catégorie d'horloges-mères ; Ex. : celle vue fig. 16, page 23.

Ce procédé consiste à diviser en un nombre déterminé de groupes la totalité des récepteurs installés en dérivation et devant marcher avec une seule horloge-mère, puis à faire commander chacun de ces groupes, à tour de rôle, par un interrupteur spécial.

Prenons pour exemple l'horloge-mère que représentent les fig. 16 et 17 ; on voit qu'il est possible de répartir concentriquement à la roue de rochet H , plusieurs interrupteurs $H.H^1$ que le bras $B.b$, en tournant avec le rochet R , viendra successivement mettre dans la position de circuit fermé.

Ce dispositif présente les avantages suivants :

D'une part les pressions des contacts peuvent être moins énergiques que si la pile commandait tous les récepteurs à la fois ; ensuite cette pile pourra être d'autant plus faible que les récepteurs sont divisés en un plus grand nombre de groupes.

CHOIX DU MODE D'INSTALLATION DES RÉCEPTEURS HORAIRES

L'étude de cette partie et de quelques-unes de celles qui vont suivre, sort quelque peu du sujet de ces articles ; ces questions sont cependant assez intimement liées aux horloges-mères pour que nous ayons à en parler ici.

Le choix du mode de distribution du courant électrique dans les récepteurs est d'une grande importance. Dans beaucoup de cas c'est ce choix qui impose le diamètre des fils et le type de générateur à employer ; il est donc indispensable d'être fixé à cet égard lorsqu'on veut faire une installation.

Les deux principaux modes d'installation sont :

1^o *l'installation en série* (aussi appelée installation en tension ou en embrochage) dans laquelle les récepteurs $u.u...$ (fig. 36) ne forment qu'un seul circuit ; le courant est donc obligé de traverser les récepteurs l'un après l'autre.

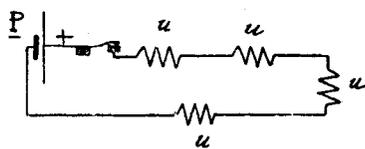


Fig. 36

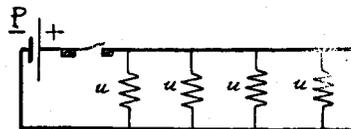


Fig. 37

2° *l'installation en dérivation* (fig. 37) dans laquelle les récepteurs constituent autant de circuits indépendants ; en ce cas, le courant total débité par le générateur P se répartit en quantités égales ou inégales suivant que les résistances de ces circuits sont elles-mêmes égales ou inégales.

Ce dernier mode de distribution présente l'inconvénient d'exiger pour les fils principaux L et L' de plus forts diamètres que dans le système en série, parce qu'ils sont parcourus par la somme de tous les courants dérivés.

Par contre, il offre les avantages suivants :

1° le fil d'un ou plusieurs récepteurs peut se rompre sans que ce défaut arrête les autres appareils ;

2° le nombre d'éléments de pile peut être moindre pour alimenter un nombre donné de récepteurs que si ces mêmes récepteurs étaient installés en série ; la dépense de l'électricité, ou si l'on veut la puissance électrique en watts, est cependant la même dans les deux systèmes, comme du reste nous allons le démontrer.

La différence de potentiel totale pour l'installation en série est égale au produit de la différence de potentiel U , nécessaire à chaque récepteur, par le nombre n de récepteurs, et l'intensité totale I est égale à celle d'un appareil (1).

La puissance électrique P étant le produit de la différence de potentiel en volts par l'intensité en ampères, on peut donc écrire :

$$P = (U.n) I$$

Pour une installation en dérivation, la différence de potentiel est celle nécessaire à un seul récepteur (en supposant les fils de ligne sans résistance) et l'intensité totale est égale au produit de l'intensité I que nécessite un appareil, par le nombre d'appareils n ; on a donc, en désignant par P' la puissance,

$$P' = U (I.n)$$

Donc, les puissances électriques P et P' , dépensées avec les installations en série et en dérivation, sont égales, étant donné qu'elles représentent le produit de trois grandeurs U , I et n identiques dans les deux cas.

(1) Loi de Ohm : *L'intensité d'un courant est la même en tous les points d'un même circuit.*

Nous allons d'ailleurs donner un exemple numérique :

Soit à calculer la puissance électrique dépensée par 10 récepteurs installés .

1° en série,

2° en dérivation,

sachant que chacun d'eux a une résistance R de 100 ohms et nécessite une intensité I de 0,1 ampère ; la résistance des fils de ligne étant supposée nulle.

Tirons d'abord de la formule fondamentale de Ohm $I = \frac{U}{R}$, la différence de potentiel nécessaire à chaque récepteur

$$U = IR = 0,1 \times 100 = 10 \text{ volts.}$$

La puissance P absorbée par les 10 récepteurs en série est :

$$P = (U.n) I = (10 \times 10) \times 0,1 = 10 \text{ watts.}$$

La puissance P^1 absorbée par les mêmes récepteurs en dérivation est :

$$P^1 = U (I.n) = 10 \times (0,1 \times 10) = 10 \text{ watts.}$$

La puissance absorbée est donc la même dans les deux cas.

Calcul du Nombre d'Eléments de Pile destinés à alimenter les Récepteurs des installations précédentes.

Complétons, en conservant les mêmes données, le problème ci-dessus, par le calcul du nombre d'éléments de pile que nécessitent l'un et l'autre de ces modes de distribution. Supposons que les éléments choisis sont du type Leclanché, ayant sous un débit de 0,1 ampère, une différence de potentiel u de 1,4 volt.

Pour les 10 récepteurs en série il faudra :

$$\frac{U.n}{u} = \frac{10 \times 10}{1,4} = 71,4 \text{ éléments.}$$

Pour les mêmes récepteurs en dérivation :

$$\frac{U}{u} = \frac{10}{1,4} = 7,14 \text{ éléments.}$$

En réalité, ces 7,14 éléments ne seront pas suffisants s'ils sont

identiques à ceux utilisés dans l'installation en série. Remarquons en effet, que si ce dernier mode de distribution nécessite 10 fois moins d'éléments, en compensation, il exige 10 fois plus de courant ; ce qui fera tomber la différence de potentiel d'autant ; en effet, la relation suivante :

$$U = E - r I$$

montre que la différence de potentiel U , aux bornes de n'importe quel générateur d'électricité, est égale à la force électromotrice E , moins le produit de la résistance intérieure r du générateur, par l'intensité I du courant qu'il débite.

Par conséquent le produit $(r.I)$, qui constitue ce qui est ordinairement appelé une *perte en volts* ⁽¹⁾ due à la résistance r , sera 10 fois plus élevée dans les éléments alimentant les récepteurs en dérivation que dans ceux qui alimentent les mêmes appareils en série, l'un des facteurs I étant 10 fois plus élevé.

Comme la force électromotrice ⁽²⁾ d'un élément Leclanché est de 1,48 volt et que la différence de potentiel des éléments choisis a été donnée de 1,4 volt pour un débit de 0,4 ampère, la perte en volts, pour chacun des éléments de la distribution en série, est égale à

$$1,48 - 1,40 = 0,08 \text{ volt.}$$

Pour un même élément, dans la distribution en dérivation, cette perte sera de

$$0,08 \times 10 = 0,8 \text{ volt}$$

par suite la différence de potentiel aux bornes de chaque élément tombe à

$$1,48 - 0,8 = 0,68 \text{ volt ;}$$

(1) L'expression *perte en volts* est quelquefois remplacée par les suivantes *perte de tension ou de pression, ou chute de potentiel*. Tout conducteur, métallique ou liquide, absorbe, si sa résistance électrique est appréciable, une certaine pression que l'on peut considérer comme perdue puisqu'elle ne peut être utilisée, d'où l'expression *perte en volts*. La perte en volts provoquée par un conducteur est d'autant plus petite que la résistance de ce conducteur et le courant qui le traverse sont eux-mêmes plus petits.

(2) On confond souvent la force électromotrice d'une pile avec sa différence de potentiel ; la première qui est immuable pour un même type d'élément, quelle que soit sa *grandeur*, représente la pression électrique *quand la pile ne débite pas* ; la deuxième représente, au contraire, la pression électrique *lorsque la pile débite* ; la différence de potentiel est toujours plus petite que la force électromotrice, mais l'écart entre ces deux grandeurs est d'autant moindre que l'élément considéré a une plus grande surface de lames polaires, ou, ce qui revient au même, d'autant moindre que la résistance intérieure de l'élément est plus faible.

de sorte qu'au lieu des 7 ou 8 éléments indiqués par le calcul précédent, il en faudra

$$\frac{U}{u} = \frac{10}{0,68} = 14,7 \text{ soit en chiffres ronds 15 éléments.}$$

Remarquons que la perte en volts pour les éléments de l'installation en dérivation est de

$$(15 \times 1,48) - 10 = 12,2 \text{ volts,}$$

c'est-à-dire plus de 100 p. % plus élevée que le nombre de volts utilisés pour assurer le passage du courant dans les appareils d'utilisation.

On peut donc conclure que pour actionner des appareils électriques installés en dérivation et même en série, il ne faut pas seulement se préoccuper de la force électromotrice des éléments choisis, mais surtout de leur différence de potentiel. Pour ce qui concerne particulièrement les distributions en dérivation, on choisira des éléments grands modèles parce que ce sont ces éléments qui ont la plus petite résistance intérieure.

Ainsi 7 ou 8 éléments suffiraient pour actionner en dérivation les dix appareils dont nous venons de parler, à condition que les éléments choisis aient chacun une résistance intérieure dix fois plus faible que celle de l'un des éléments de l'installation en série.



Le parallèle que nous venons d'établir entre les installations en série et en dérivation pourrait inciter les débutants en électro-horlogerie à rejeter sans appel le premier de ces modes de distribution de courant en raison du grand nombre d'éléments qu'il exige par rapport au second.

Il est facile de dissiper cette prévention qui n'est justifiée que dans le cas unique où les résistances électriques des appareils à installer restent invariables. En effet, sous une même différence de potentiel (10 volts) et par conséquent avec une batterie de pile aussi restreinte que dans l'installation en dérivation du problème précédent, on peut alimenter, en série, 10 récepteurs horaires dépensant la même

puissance électrique (10 watts, soit 1 watt par récepteur⁽¹⁾) que ceux de la susdite installation.

La puissance électrique P étant, comme nous le savons, égale au produit des volts par les ampères, règle qui est représentée par l'équation $P = U I$ (voir page 43), nous pouvons, de cette dernière, tirer la nouvelle intensité I en ampères nécessitée par ces 10 récepteurs, puisque nous connaissons la puissance P et la différence de potentiel U .

$$I = \frac{P}{U} = \frac{10}{10} = 1 \text{ ampère}$$

A son tour l'équation de ohm $I = \frac{U}{R}$ nous permettra de calculer la nouvelle résistance à donner aux 10 récepteurs réunis dans un même circuit :

$$R = \frac{U}{I} = \frac{10}{1} = 10 \text{ ohms}$$

comme les récepteurs doivent être en série, la résistance d'un seul est par suite :

$$\frac{10}{10} = 1 \text{ ohm}^{(2)}.$$

Il reste maintenant à déterminer combien d'éléments comprendra la batterie de pile. Pour rendre plus évidente la démonstration que nous avons entreprise, nous choisirons des éléments identiques à ceux du problème précédent.

La tension totale en volts et le débit total en ampères (10 volts et 1 ampère) étant exactement ceux de l'installation en dérivation, les

(1) La puissance électrique que nous avons supposée dépensée par un seul récepteur est relativement élevée, car un récepteur d'appartement, n'ayant qu'un médiocre rendement, dépense rarement plus de 0,3 watt ; des modèles récepteurs à armature polarisée, lancés depuis peu de temps dans l'industrie, fonctionnent même, en toute sécurité, avec une dépense d'électricité 10 fois moindre, c'est-à-dire 0,03 watt.

(2) Les résistances électriques R et R_1 de deux appareils exigeant la même puissance, étant entre elles comme leurs différences de potentiel U et U_1 élevées au carré, la résistance inconnue pourrait encore être calculée d'après la proportion suivante : $\frac{R}{R_1} = \frac{U^2}{U_1^2}$. Si R_1 est cette résistance inconnue, R étant la résistance qu'avait chaque appareil dans les exemples précédents (100 ohms), il vient :

$$R_1 = \frac{R U_1^2}{U^2} = \frac{100 \times 1^2}{10^2} = 1 \text{ ohm.}$$

récepteurs ayant chacun 100 ohms de résistance au lieu de 1 ohm comme dans ce dernier exemple où ils sont installés en série, on obtiendra naturellement le même nombre d'éléments de pile, soit 14,7 ou 15 éléments.

Ces calculs montrent que pour diminuer la différence de potentiel, et par déduction le nombre d'éléments de pile exigé par un ou plusieurs appareils, il suffit de diminuer leur résistance électrique tout en respectant, bien entendu, leurs ampères-tours⁽¹⁾.

×××

Les problèmes relatifs à la recherche du nombre d'éléments de pile nécessaire au fonctionnement des appareils d'une installation peuvent revêtir des formes diverses que nous essayerons de résumer dans quelques exemples.

1^{er} Ex. — *On se propose d'installer, en série, 5 récepteurs ; combien d'éléments devra comporter la pile sachant :*

1^o que chaque récepteur a une résistance r de 6 ohms et exige une intensité I de 0,2 ampères ;

2^o que les éléments à utiliser ont chacun une force électromotrice E de 1,5 volt et une résistance intérieure r' de 0,3 ohm ;

3^o que la résistance r'' des fils, reliant les récepteurs entre eux et à la pile, est égale à 3 ohms.

La différence de potentiel aux bornes de la pile sera d'après la

$$\text{formule } I = \frac{U}{R}$$

$$U = I R$$

ou en décomposant R , qui représente ici la résistance totale, par ses valeurs partielles

$$U = I (r \times 5 + r'') = 0,2 \times (6 \times 5 + 3) = 6,6 \text{ volts.}$$

(1) On appelle ampères-tours d'un électro-aimant le produit N des tours de fil enroulés sur ses noyaux par l'intensité I du courant qui doit les traverser ($N \cdot I$).

Pour un électro dont les dimensions sont déterminées, le nombre d'ampères-tours nécessaire à son excitation est invariable, mais suivant les besoins, on peut faire varier les facteurs N et I à condition toutefois que si l'on augmente l'un, l'on diminue l'autre dans la même proportion, et réciproquement.

Ex. — *Un électro-aimant devant être excité par 200 ampères-tours peut recevoir 200 mètres de fil et 1 ampère puisque* $200 \times 1 = 200$ ampères-t^s
ou 50 — — — *et* 4 — — — $50 \times 4 = 200$ —
ou 2000 — — — *et* 0,1 — — — $2000 \times 0,1 = 200$ —
 etc....

Déterminons la différence de potentiel u aux bornes d'un seul élément par l'application de la formule $U = E - (r' I)$ (voir page 45)

$$u = 1,5 - (0,30 \times 0,2) = 1,44 \text{ volt.}$$

Le nombre d'éléments que devra recevoir la pile sera égal au quotient de la différence de potentiel total U aux bornes de la pile par la différence de potentiel u d'un élément.

$$\frac{U}{u} = \frac{6,6}{1,44} = 4,5 \text{ ou } 5 \text{ éléments.}$$

××

2^e Ex. — On se propose d'installer en dérivation, à peu de distance les uns des autres, 20 récepteurs; combien d'éléments devra comporter la pile sachant :

1^o que chaque récepteur a une résistance r de 150 ohms et exige une intensité i de 0,024 ampère;

2^o que la force électromotrice E des éléments choisis est de 1,5 volt et leur résistance intérieure r' de 0,15 ohm;

3^o que la résistance des fils de ligne est de 2 ohms.

La résistance totale R , présentée par l'ensemble des appareils d'une installation en dérivation, est en raison inverse du nombre de ces appareils⁽¹⁾.

En désignant par n le nombre de récepteurs, on peut écrire :

$$R = \frac{r}{n} = \frac{150}{20} = 7,5 \text{ ohms}$$

à laquelle résistance nous ajouterons celle des fils de ligne, soit

$$7,50 + 2 = 9,5 \text{ ohms.}$$

Par contre l'intensité totale I est de 20 fois plus grande pour 20 récepteurs que pour 1.

Ce qui donne :

$$I = i.n = 0,024 \times 20 = 0,48 \text{ ampères.}$$

(1) En effet, la résistance électrique d'un conducteur étant en raison inverse de sa section, on rendra sa résistance 2,4... 10 fois plus faible en rendant sa section 2,4... 10 fois plus forte ou ce qui revient au même en disposant en dérivation aux extrémités de ce conducteur 2,4... 10 conducteurs identiques comme section, longueur et nature. Par conséquent plus on augmente le nombre de dérivation dans une installation électrique, plus on affaiblit sa résistance totale. Ceci est, du reste, prouvé par l'augmentation de la quantité d'électricité que l'installation absorbe. Des observations analogues et plus tangibles peuvent être relevées dans une distribution d'eau, lorsque sur la conduite principale on vient à augmenter le nombre des conduites dérivées.

Nous tirons de la formule $I = \frac{U}{R}$ la différence de potentiel que devra avoir la pile à ses bornes :

$$U = R I = 9,5 \times 0,48 = 4,56 \text{ volts.}$$

Par suite le nombre d'éléments sera

$$\frac{U}{u} \text{ ou } \frac{U}{E - (r I)} = \frac{4,56}{1,5 - (0,15 \times 0,48)} = 3,2, \text{ soit } \mathbf{4 \text{ élém}^{\text{ts}}}.$$

××

3^e Ex. — La différence de potentiel U nécessaire aux bornes de deux récepteurs, installés en dérivation l'un près de l'autre à l'extrémité de deux fils de ligne dont la résistance r'' est de 1,2 ohm, est 3 volts, combien la pile comprendra-t-elle d'éléments, la résistance r d'un récepteur étant de 40 ohms et les éléments à utiliser ayant une force électromotrice de 1,5 volt et une résistance intérieure r' de 0,25 ohm.

La différence de potentiel nécessaire aux bornes de la pile devra être celle qu'exigent les récepteurs à leurs bornes, plus la perte de tension (voir page 45) due à la résistance des fils de ligne.

En appelant U' la première différence de potentiel, U la seconde et e la perte de tension, on peut donc écrire

$$U' = U + e$$

ou en remplaçant e par son expression $r'' I$

$$U' = U + (r'' I) \quad (1).$$

Or, nous le savons, dans l'installation en dérivation $R = \frac{r}{n}$

par conséquent on peut écrire $I = \frac{U}{r} = \frac{4}{40} = 0,2$ ampère.

En appliquant la formule (1) on a

$$U' = 3 + (1,2 \times 0,2) = 3,24 \text{ volts.}$$

La pile devra comporter :

$$\frac{U'}{E - (r' I)} = \frac{3,24}{1,5 - (0,25 \times 0,2)} \text{ ou } \frac{3,24}{1,45} = 2,2 \text{ ou } \mathbf{3 \text{ élém}^{\text{ts}}}.$$

××

4^e Ex. — Combien faudra-t-il d'éléments pour actionner 30 récepteurs en dérivation près les uns des autres, sachant :

1^o que chaque récepteur a une résistance r de 250 ohms et que sa dépense d'électricité P égale 0,2 watt ;

2^o que les fils de ligne sont en cuivre et que leur longueur, depuis la pile au premier récepteur, est de 200 mètres chacun et leur diamètre 2 m/m ;

3^o que les éléments choisis ont une force électromotrice E de 1,5 volt et une résistance intérieure r' de 0,4 ohm.

En représentant par r'' la résistance inconnue des fils de ligne et par R la résistance totale de l'installation, il vient

$$R = \frac{r}{n} = r'' \quad (1)$$

Nous calculerons la résistance r'' au moyen de la formule

$$r'' = \frac{a l}{d^2} \quad (2)$$

qui signifie que la résistance r'' d'un fil est proportionnelle à sa longueur l et en raison inverse de sa section ou du carré de son diamètre d ; a est un coefficient qui dépend du degré de conductibilité du métal employé ; dans la formule (2) il représente la résistance de 1 mètre du fil de métal employé ; si celui-ci est en cuivre du commerce comme c'est le cas dans ce problème, la valeur du coefficient a est d'environ 0,023 ohm.

$$R = \frac{r}{n} + \frac{a l}{d^2}$$

En remplaçant ces lettres par leurs valeurs on a

$$R = \frac{250}{30} + \frac{0,023 \times 400}{2^2} = \mathbf{10,6 \text{ ohms.}}$$

Maintenant que la résistance de l'installation est établie, calculer l'intensité du courant nécessaire au moyen de la formule $P = U I$ dans laquelle il nous suffira de remplacer la différence de potentiel U , que la pile doit posséder aux bornes, par sa valeur $R.I$

$$P = (R.I) . I$$

$$\text{ou } P = R I^2$$

$$\text{d'où } I^2 = \frac{P}{R}$$

$$\text{ou encore } I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

En remplaçant ces lettres par leurs valeurs il vient

$$I = \sqrt{\frac{30 \times 0,2}{10,6}} = 0,752 \text{ ampères.}$$

Enfin la formule $I = \frac{U}{R}$ mise sous la forme suivante

$$U = I R$$

nous permettra de calculer la différence de potentiel nécessaire aux bornes de la pile

$$U = 0,752 \times 10,6 = \mathbf{7,97 \text{ volts}}$$

ce qui porte le nombre d'éléments à

$$\frac{U}{E - (r' \cdot I)} = \frac{7,97}{1,5 - (0,4 \times 0,752)} \text{ ou } \frac{7,97}{1,1992} = 6,6, \text{ soit } \mathbf{7 \text{ éléments.}}$$

××

5^e Ex. — Une installation comprend, disposés en dérivation près les uns des autres, 1 récepteur horaire de clocher exigeant une puissance électrique P de 2,8 watts et 10 récepteurs d'appartement absorbant une puissance totale P' de 2,5 watts. Ces appareils devant fonctionner sous une différence de potentiel de 8 volts, calculer quelles doivent être leurs résistances et combien la pile devra comporter d'éléments, leur force électromotrice et leur résistance intérieure étant $E = 1,5$ et $r' = 0,18$.

Désignons par R , la résistance à donner au récepteur de clocher

R' , celle des 10 récepteurs d'appartement,

I , l'intensité qui doit traverser le premier,

I' , l'intensité qui doit traverser les seconds.

De la formule $P = U I$ on tire successivement

$$I = \frac{P}{U} = \frac{2,8}{8} = 0,35 \text{ ampère}$$

$$\text{et } I' = \frac{P'}{U} = \frac{2,5}{8} = 0,315 \quad \gg$$

Enfin de la formule $I = \frac{U}{R}$ on tire successivement

$$R = \frac{U}{I} = \frac{8}{0,35} = 22,85 \text{ ohms}$$

$$\text{et } R' = \frac{U}{P} = \frac{8}{0,315} = 25,39 \text{ ohms.}$$

La résistance du récepteur de clocher doit être de 22,85 ohms et celle des 10 petits récepteurs de 25,39 ohms.

L'intensité totale I_1 que devra débiter la pile est

$$I_1 = I + P = 0,35 + 0,315 = 0,665 \text{ ampère.}$$

La pile comprendra

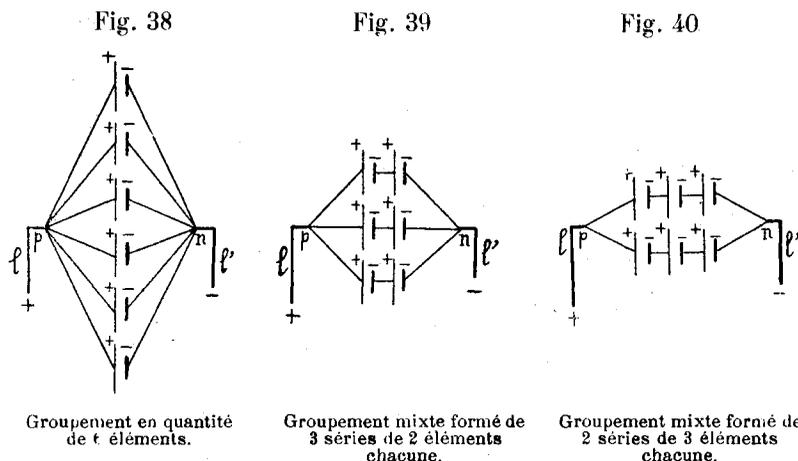
$$\frac{U}{E - (r' I_1)} = \frac{8}{1,5 - (0,18 \times 0,665)} \text{ ou } \frac{8}{1,38} = \mathbf{6 \text{ éléments.}}$$

Groupement des éléments de pile.

Dans tous les problèmes précédents, les éléments de pile, dont le nombre a été déterminé par le calcul, doivent être réunis comme dans les piles vues en schéma (fig. 33 et 34), c'est-à-dire groupés en *tension*.

Mais il peut arriver que des éléments, même des plus grands modèles, aient un débit maximum insuffisant pour alimenter un circuit extérieur de faible résistance ; dans ce cas, c'est le groupement en

quantité (fig. 38) ou un groupement *mixte* (fig. 39 et 40) qui doit être utilisé.



NOTA. — l et l' sont les extrémités du circuit extérieur; elles sont réunies par des bornes ou serre-fils aux pôles p et n . Ceux-ci doivent toujours être de noms contraires quel que soit le mode de groupement employé.

Avant de donner des exemples d'application de ces deux derniers modes de groupement, nous en esquisserons le plus brièvement possible la théorie, sans omettre celle du groupement en tension.

Tout d'abord demandons-nous pourquoi, au lieu de former des piles de plusieurs éléments, ne prend-on pas un seul élément possédant à lui seul toute la puissance dont on a besoin; on est d'autant mieux fondé à se poser cette question que l'on construit d'autres sources d'électricité, telles que les machines dynamos, de tous voltages et débits.

C'est que la force électromotrice dans les piles est très faible et on a vu (p. 45) qu'on ne l'augmente pas en majorant les dimensions de l'élément qui lui donne naissance.

En effet les éléments qui ont la réputation bien relative d'être doués d'une grande force électromotrice, mettent tout au plus 2 volts à la disposition de leur propriétaire, ce qui est peu comparativement aux tensions exigées par la plupart des applications.

Quant au débit maximum d'un élément, la formule de Ohm (p. 43) nous montre qu'il est d'autant plus grand que sa résistance intérieure est plus faible; d'autre part, nous savons que cette dernière pourrait être réduite à une quantité infinitésimale en donnant de très grandes surfaces aux lames polaires (p. 45). Par conséquent, en

augmentant les dimensions d'un élément, on augmente son débit. Néanmoins cette solution n'est adoptée qu'en partie : on préfère s'en tenir à des grandeurs permettant une manutention facile et avoir recours, comme pour l'augmentation de la force électromotrice, à plusieurs éléments convenablement groupés ensemble, lorsqu'un seul ne peut débiter la quantité d'électricité nécessaire à un circuit extérieur.

GROUPEMENT EN TENSION. — Le groupement en *tension* ou en *série* consiste, ainsi que nous l'avons vu, à réunir le pôle négatif du 1^{er} élément au pôle positif du 2^e, le négatif du 2^e au positif du 3^e et ainsi de suite. Les deux pôles extrêmes sont les pôles de la pile.

Dans ce groupement, la force électromotrice totale E de la pile est égale au produit de la force électromotrice e d'un élément par leur nombre N .

$$E = e.N$$

Le courant débité par chaque élément devant traverser tous les autres éléments, la résistance r' totale de la pile est proportionnelle au nombre d'éléments, on a donc

$$r' = r.N$$

L'intensité du courant débité dans un circuit extérieur de résistance r'' par N éléments réunis en tension, sera d'après la formule fondamentale

$$I = \frac{E \text{ (force électromotrice totale)}}{R \text{ (résistance totale du circuit)}}$$

$$I = \frac{e N}{r N + r''}$$

L'intensité maximum I sera obtenue quand la résistance extérieure sera nulle ou négligeable.

On aura alors

$$I = \frac{e N}{r N}$$

$$\text{ou } I = \frac{e}{r}$$

Ce qui prouve qu'il est inutile de grouper des éléments en tension si la résistance extérieure est nulle.

Mais si pour une même résistance r'' , on augmente N , l'intensité du courant augmente aussi et cette augmentation est d'autant plus accentuée que la résistance extérieure r'' est plus grande.

Mais nous le répétons, si r'' est nulle ou très faible, on n'augmen-

tera pas l'intensité ou on ne l'augmentera qu'insensiblement, en employant un plus grand nombre d'éléments.

GROUPEMENT EN QUANTITÉ. — Dans ce groupement, les éléments sont disposés en dérivation et peuvent par suite débiter sur le circuit extérieur indépendamment les uns des autres.

L'ensemble des éléments ne forme plus alors qu'un seul élément plus grand, ayant comme surface de lames polaires la somme des surfaces des divers éléments ; il s'ensuit que la résistance r' totale de la pile est

$$r' = \frac{r}{N}$$

Remarquons que cette dernière formule est identique à celle qui régit les résistances des récepteurs en dérivation (p. 49).

La force électromotrice totale est celle d'un seul élément.

Grouper des éléments en quantité revient donc à prendre un seul élément, dont la surface serait égale à celle de tous les éléments.

On peut comparer N éléments groupés en quantité à N réservoirs d'eau dans lesquels l'eau est à un même niveau. En faisant débiter indépendamment les uns des autres tous les réservoirs sur une même canalisation, on réalise un plus grand débit qu'avec un seul, mais la *pression* qui correspond à la *tension* électrique ou à la force électromotrice qui crée cette tension, est la même que lorsqu'un seul réservoir débite.

D'après ce qui vient d'être dit, l'intensité I du courant produit par N éléments groupés en quantité sur un circuit extérieur de résistance r'' sera

$$I = \frac{e}{\frac{r}{N} + r''}$$

Si r'' est de valeur nulle ou négligeable on obtiendra l'intensité I' maximum.

$$I' = \frac{e}{\frac{r}{N}} \text{ ou } \frac{eN}{r}$$

Cette intensité est N fois plus grande que celle que l'on obtiendrait avec un seul élément.

Nous devons remarquer, en effet, que les éléments étant en dérivation, l'intensité I , passant dans le circuit extérieur, est égale à

la somme des intensités i sortant de chaque élément ; c'est-à-dire que l'on a

$$I = i + i + i \quad \text{ou} \quad I = i.N$$

Si la résistance extérieure r'' a une certaine valeur, l'intensité n'augmente plus avec le nombre d'éléments parce que, pour vaincre une résistance, il faut de la tension ou, si l'on veut, des volts.

GROUPEMENT MIXTE. — Il résulte, de ce qui précède, que si la résistance r'' du circuit extérieur est grande par rapport à la résistance intérieure r d'un élément, c'est le groupement en tension qui donne le maximum d'intensité.

Si, au contraire, r'' est très faible par rapport à r , c'est le groupement en quantité qui fournira le débit le plus intense.

Mais lorsque r'' n'a de valeurs ni très grandes, ni très petites, on a intérêt à employer le *groupement mixte* dans lequel on utilise à la fois les groupements en tension et en quantité.

Dans le groupement mixte, la force électromotrice et la résistance intérieure des éléments d'une *série* (fig. 39 et 40) se calculent comme dans le groupement en tension.

La force électromotrice de toutes les séries est celle d'une seule ; par contre la résistance intérieure des éléments d'une série est divisée par le nombre s de séries.

On voit par là qu'employer un tel groupement revient à prendre un seul élément, dont la force électromotrice serait celle de tous les éléments d'une série, et dont la surface des lames polaires serait multipliée par le nombre de séries.

Cherchons le maximum de courant que l'on peut obtenir avec ce groupement

$$I = \frac{e N}{\frac{r N}{s} + r''}$$

$$\text{d'où } I = \frac{e}{\frac{r}{s} + \frac{r''}{N}}$$

L'intensité I est maximum, lorsque le dénominateur $\frac{r}{s} + \frac{r''}{N}$ est minimum, et il est prouvé que ce dénominateur est minimum lorsque les deux rapports $\frac{r}{s}$ et $\frac{r''}{N}$ sont égaux ; dans ce cas, la résistance intérieure égale la résistance extérieure.

La règle générale suivante se rapporte à tous les modes de groupements.

L'intensité maximum, débitée par une pile, s'obtient, dans un circuit extérieur de résistance donnée, en groupant les éléments de telle manière que leur résistance intérieure totale soit égale ou le plus approchant de celle du circuit extérieur.

REMARQUE. — Surtout pour ce qui concerne les groupements en quantité et mixtes, il faut bien se garder de réunir des éléments de force électromotrice et de résistance intérieure différentes, sinon les éléments, dont le *niveau* ou *potentiel* électrique est plus élevé, débiteraient du courant sur ceux dont le niveau est plus faible.

Exemples d'application des groupements mixtes et en quantité.

On demande de calculer une pile devant débiter un courant I de 8 ampères sur un circuit extérieur dont la résistance r'' est de 0,75 ohm ; les éléments à utiliser ont une force électromotrice de 1,5 volt et une résistance intérieure r de 0,2 ohm.

La différence de potentiel U , nécessaire aux bornes de la pile est

$$U = r'' I = 0,75 \times 8 = 6 \text{ volts.}$$

L'intensité maximum i'' , que peut débiter un élément, est

$$i'' = \frac{e}{r} = \frac{1,5}{0,2} = 7,5 \text{ ampères}$$

i'' étant plus petit que I , il faudra donc faire débiter ensemble un minimum de 2 piles, c'est-à-dire employer le groupement en quantité.

Par suite chaque pile débitera une intensité i égale à $\frac{I}{2}$ soit 4 ampères.

Sous ce débit la différence de potentiel u d'un élément est d'après la formule $u = E - (r I)$ (p. 45)

$$u = 1,5 - (0,2 \times 4) = 0,7 \text{ volt.}$$

Le nombre N d'éléments, que chaque pile devra comporter, sera donné par le rapport $\frac{U}{u}$

$$N = \frac{6}{0,7} = 9 \text{ éléments (par excès).}$$

La pile comportera donc un total de 18 éléments formant un groupement mixte de 2 séries de 9 éléments chacune.

Pour faire la preuve de la suffisance de cette pile, remplaçons les lettres par leurs valeurs dans la formule

$$I = \frac{e N}{\frac{r N}{s} + r''}$$

$$\text{il vient } I = \frac{1,5 \times 9}{\frac{0,2 \times 9}{2} + 0,75} = 8,1 \text{ ampères}$$

En comparant les résistances intérieures totales r' des diverses piles pouvant être réalisées avec ces 18 éléments groupés :

- 1° en tension.
- 2° en quantité.
- 3° en 9 séries de 2 éléments chacune.
- 4° en 6 » 3 » »
- 5° en 3 » 6 » »
- 6° en 2 » 9 » »

on trouve que dans le 1^{er} groupement $r' = r N = 0,2 \times 18 = 3,6$ ohms

—	—	2 ^e	—	$r' = \frac{r}{N} = \frac{0,2}{18} = 0,011$	»
—	—	3 ^e	—	$r' = \frac{r N}{\frac{r N}{3}} = \frac{0,2 \times 2}{9} = 0,044$	»
—	—	4 ^e	—	$r' = \frac{0,2 \times 3}{6} = 0,1$	»
—	—	5 ^e	—	$r' = \frac{0,2 \times 6}{3} = 0,4$	»
—	—	6 ^e	—	$r' = \frac{0,2 \times 9}{2} = 0,9$	»

C'est dans ce dernier groupement que la résistance intérieure de la pile 0,9 ohm se rapproche le plus de la résistance extérieure 0,75 ohm. Il est donc celui qui, d'après la règle énoncée plus haut, donne la plus forte intensité.

Si dans le problème précédent on fait la résistance extérieure r'' égale à 0,1 de ohm par exemple, la différence de potentiel U aux bornes de la pile devient

$$U = r' I = 0,1 \times 8 = 0,8 \text{ volt.}$$

Cette tension étant de beaucoup inférieure à 1,5 volt, un seul élément sera suffisant pour la réaliser, à condition toutefois que la perte en volts e n'excède pas $1,5 - 0,8 = 0,7$ volt. Celle-ci, on le sait, est représentée par la relation $e = r I$ de laquelle nous tirerons la valeur de l'intensité maximum à faire débiter par l'élément.

$$I = \frac{e}{r} = \frac{0,7}{0,2} = 3,5 \text{ ampères.}$$

Comme le débit total doit être de 8 ampères, nous devons associer en quantité $\frac{8}{3,5} = 3 \text{ éléments}$ (par excès).

RENDEMENT D'UNE PILE. — Le rendement d'une pile est le rapport de la puissance utilisée $P = U I$ à la puissance totale $P = E I$ (E représentant la force électromotrice de la pile).

La puissance totale, dépensée par une pile, est égale à la puissance utilisée plus la *puissance perdue*, $P = e I$. La puissance totale peut donc s'écrire :

$$\begin{aligned} P &= U I + e I \\ \text{ou } P &= r'' I \cdot I + r I \cdot I \\ \text{d'où } P &= r'' I^2 + r I^2 \end{aligned}$$

(r'' désigne la résistance extérieure et r la résistance intérieure.)

Une pile fournit sa puissance utile maximum lorsque sa résistance r égale la résistance extérieure r'' , c'est-à-dire lorsqu'elle débite l'intensité maximum (p. 58).

Pratiquement on n'a pas intérêt à demander aux piles leur maximum de puissance utile, parce que leur rendement tombe à 50 0/0. En effet si l'on fait $r = r''$, on a

$$\begin{aligned} &\frac{U I}{E I} \\ \text{ou } &\frac{r'' I^2}{r'' I^2 + r I^2} \\ \text{ou } &\frac{r''}{r'' + r} \quad (1) \end{aligned}$$

d'où le rendement = $\frac{1}{1 + 1} = 50 \text{ p. } 0/0$.

Faisons observer que le rapport de la différence de potentiel à la force électromotrice $\frac{U}{E}$ suit les mêmes fluctuations que le rapport de la puissance utile à la puissance totale.

Si l'on pouvait réaliser une pile débarrassée de toute résistance intérieure, son rendement serait d'après la formule (1)

$$\frac{r''}{r''} = \frac{1}{1} = 100 \text{ p. } 0/0;$$

mais cela est aussi impossible que le mouvement perpétuel.

Néanmoins on se rapprochera du rendement maximum en rendant r négligeable par rapport à r'', c'est-à-dire en faisant travailler la pile sur une résistance extérieure relativement élevée.

A part la question du rendement, qui est secondaire quand il ne s'agit que de forces aussi minimales que celles employées même dans les plus importantes installations horaires, d'autres raisons s'opposent à ce qu'on fasse débiter aux piles leur maximum d'intensité, lorsqu'on veut espérer de leur part de la durée et une certaine constance.

La catégorie des piles dites polarisables, telles les nombreuses variétés de piles Leclanché qui sont à peu près les seules pratiques, pour le moment, dans les applications où l'on fait usage de courants intermittents, comme en horlogerie électrique par exemple, sont particulièrement sensibles aux excès de débit. On sait, en effet, que si ces sortes de générateurs ont l'appréciable avantage de ne pas s'user en circuit ouvert, par contre, ils ont le défaut de se *polariser* quand on leur fait débiter des courants dont l'intensité se rapproche par trop du maximum qu'ils sont susceptibles de donner théoriquement. Ce défaut va en s'aggravant si l'espace, qui sépare deux émissions est court, la *dépolarisation* n'ayant pas le temps de s'effectuer.

D'autre part, par le fait d'un grand débit, les constantes de la pile s'altèrent beaucoup, la force électromotrice faiblit, tandis que la résistance intérieure augmente. On conçoit, dans ces conditions, que l'arrêt des appareils en service ne saurait tarder. S'il s'agit de récepteurs horaires, l'horloger s'évertuera à vouloir les réparer, alors que tout le mal vient de la pile ; et, disons-le en passant, il en est ainsi neuf fois sur dix.

Nous répétons donc qu'il y a tout intérêt, pour les applications de longue durée, à ne pas exiger des piles toute leur puissance utile.

En conséquence, ayant à établir une installation pour la distribution de l'heure par l'électricité, nous ferons choix de récepteurs dont la résistance totale aura préalablement été calculée pour que le débit de la pile soit le plus faible possible. La pile devra, il est vrai, comporter davantage d'éléments, mais ce surcroît de dépense est largement compensé par l'économie réalisée sur l'achat des fils servant

au transport du courant, ceux-ci pouvant être de petite section ; d'un autre côté l'entretien de la pile sera bien moindre.

On peut, à juste titre, objecter le cas où l'on a à utiliser des récepteurs dont l'enroulement présente une résistance trop faible pour qu'ils puissent être disposés en dérivation et trop grande pour être mis en série (1). Rappelons-nous que le même cas s'est présenté à propos des groupements de pile (p. 57). La solution que nous avons alors admise pour les piles est applicable pour les récepteurs : en un mot, nous pourrions installer ceux-ci d'une manière mixte.

Ex. — *Supposons que l'on soit chargé d'une installation horaire comprenant 20 récepteurs, ayant chacun une résistance r'' de 10 ohms et nécessitant une différence de potentiel U'' de 1,4 volt.*

Les éléments à utiliser ont les constantes suivantes : $E = 1,5$ volt et $r = 0,35$ ohm ; le rendement de la pile doit être d'environ 85 p. 0/0.

Pour résoudre ce problème il faut :

1° *Calculer la différence de potentiel U' d'un élément, ainsi que l'intensité qu'il devra débiter.*

Le rapport $\frac{U'}{E}$, suivant les mêmes fluctuations que le rendement,

$$\text{on a } \frac{U'}{E} = \frac{85}{100}$$

$$\text{d'où } U' = \frac{1,5 \times 85}{100} = \mathbf{1,275 \text{ volt.}}$$

Pour chaque élément la perte en volts e sera

$$e = E - U' = 1,5 - 1,275 = 0,225 \text{ volt.}$$

La perte en volts d'un élément étant, on le sait, le produit de sa résistance intérieure r par son débit I , celui-ci sera :

$$I = \frac{e}{r} = \frac{0,225}{0,35} = \mathbf{0,642 \text{ ampère.}}$$

2° *Calculer la puissance électrique exigée par les 20 récepteurs.*

La différence de potentiel, nécessaire à un récepteur, a été fixée à 1,4 volt et sa résistance r'' à 10 ohms, par conséquent l'intensité i , qui

(1) S'il y a quelquefois impossibilité d'employer l'installation en dérivation, on ne peut en dire autant de l'installation en série ; en parlant de l'impraticabilité de ce dernier mode d'installation, on veut simplement faire allusion au nombre exagéré d'éléments que devra comprendre la pile, quand la tension exigée est trop élevée.

doit le traverser, est $i = \frac{U''}{r''} = \frac{1,4}{10} = 0,14$ ampère.

Par suite la puissance dépensée par les 20 récepteurs sera :

$$P = 1,4 \times 0,14 \times 20 = \mathbf{3,92 \text{ watts.}}$$

3° Calculer la différence de potentiel aux bornes de la pile.

De $P = U \cdot I$, représentant la puissance utile, on tire :

$$U = \frac{P}{I} = \frac{3,92}{0,642} = \mathbf{6,1 \text{ volts.}}$$

Ce voltage est trop faible pour commander les 20 récepteurs en série et trop élevé pour les commander en dérivation.

Le moyen terme consiste dans l'emploi d'une installation mixte (fig. 41).

Le rapport de la différence de potentiel U aux bornes de la pile, à la différence de potentiel U'' exigée par un récepteur (la résistance des fils de ligne ayant été supposée négligeable) détermine le nombre n de récepteurs à disposer en série sur chacune des dérivationes $a a'$, $b b'$,...

$$n = \frac{U}{U''} = \frac{6,1}{1,4} = \mathbf{4,357 \text{ récepteurs.}}$$

En augmentant légèrement la différence de potentiel U , on pourra insérer 5 récepteurs, ce qui donnerait un rendement un peu supérieur à 85 p. 0/0, ou bien on n'insérera que 4 récepteurs, comme le montre la fig. 41, et le rendement sera un peu inférieur au chiffre fixé.

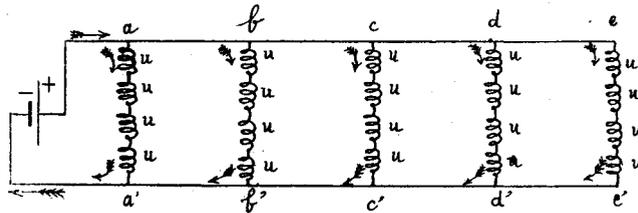


Fig. 41

Schéma d'une installation mixte
comportant 20 récepteurs u, u, \dots disposés en 5 séries de 4 éléments chacune.

REMARQUE. — Admettons que les enroulements des 20 récepteurs soient à faire, et, pour obtenir le même rendement, examinons qu'elles seraient les résistances à leur donner :

- 1° Si tous les récepteurs devaient être installés en dérivation ;
- 2° S'ils devaient être installés en série.

Quel que soit le mode d'installation employé, la résistance R , présentée par l'ensemble des récepteurs, doit être identique :

$$R = \frac{U}{I} = \frac{6,1}{0,642} = 9,5 \text{ ohms.}$$

Pour être installé en dérivation, chaque récepteur devra recevoir un enroulement présentant une résistance r de $9,5 \times 20 = \mathbf{190 \text{ ohms}}$, parce que, dans ce mode d'installation, $R = \frac{r}{n}$ (p. 49).

Si les récepteurs doivent être mis en série, chacun recevra une résistance de $\frac{9,5}{20} = 0,475 \text{ ohm}$, parce que, dans ce mode d'installation, $R = r \cdot n$. (p. 48).

Cas où les récepteurs sont installés à de grandes distances les uns des autres.

Lorsqu'une distribution de courant se fait sur une assez grande étendue, les résistances ohmiques, présentées par les portions de fils de ligne qui séparent les dérivation, ne peuvent plus être négligées, comme nous l'avons fait dans tous les problèmes ayant trait aux installations en dérivation.

Les pertes de tension (p. 45), provoquées par ces résistances, rendent inégales les différences de potentiel aux bornes des récepteurs ; ceux-ci reçoivent des quantités différentes d'électricité : les plus rapprochés de la source en ont en excès et les plus éloignés n'en ont pas assez. Plusieurs moyens sont à notre disposition pour remédier à cet inconvénient.

Le premier n'est pas toujours pratique, en raison des frais qu'il engendre, puisqu'il consiste dans l'emploi de fils de ligne de fortes sections, dans le but d'annihiler leur résistance.

Le deuxième moyen a le défaut d'exiger trois fils de ligne et il ne peut convenir que dans les cas où les récepteurs doivent former une ligne à peu près continue. Il consiste à doubler l'un des fils de ligne (fig. 42) et à brancher ensuite les récepteurs, d'une part, sur le second fil de ligne, et, d'autre part, sur la partie bouclée du premier.

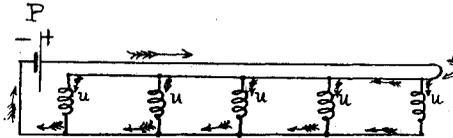


Fig. 42

Pour peu que l'on se donne la peine de suivre chaque circuit particulier u, u, \dots on voit que leurs longueurs sont les mêmes et si les résistances des récepteurs u, \dots sont égales,

chacun d'eux recevra une égale part du courant total débité par la pile P .

On égalisera encore les intensités des courants parcourant des circuits dérivés en intercalant dans ceux de ces circuits qui sont les plus courts, des résistances appelées, en raison du rôle qu'elles ont à remplir, *résistances compensatrices*. Relativement à leur construction, on suivra les recommandations faites p. 13.

Il est cependant une méthode d'enroulement des fils des résistances qui, tout en évitant la selfinduction, comme celle montrée par la fig. 7, présente plus de sécurité au point de vue de l'isolation.

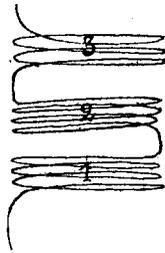


Fig. 43

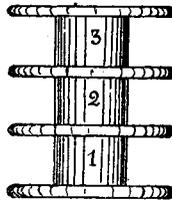


Fig. 44

Cet enroulement, au lieu de former une seule bobine, en constitue un nombre plus ou moins grand, 1, 2 et 3 (fig. 43), de formes plutôt plates, et dans lesquelles le fil est enroulé en sens inverse, afin d'annuler l'extra-courant.

La fig. 44 montre une carcasse de bobine appropriée à ce genre d'embobinage.

CALCUL DES RÉSISTANCES COMPENSATRICES. — Soit à calculer les résistances compensatrices d'une installation comprenant 5 récepteurs u_1, u_2, u_3, u_4 et u_5 , ayant chacun 50 ohms de résistance (fig. 45).

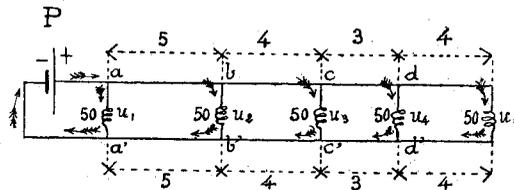


Fig. 45

Les résistances en ohms des portions de fils de ligne qui séparent ces récepteurs sont mentionnées sur la fig.

Considérons le courant émis par la pile P lorsqu'il est arrivé en d , qui est le point de départ des deux dérivation du_3d' et du_1d' , les plus éloignées de la pile. Pour se diviser en deux parties égales, ce courant devrait rencontrer deux résistances égales ; or, comme la résistance du_3d' a 8 ohms de résistance de plus que la dérivation du_1d' , nous intercalerons dans cette dernière une résistance auxiliaire ou compensatrice v_1 (fig. 46) de $58 - 50 = 8$ ohms.

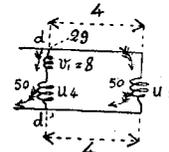


Fig. 46

En appelant R la résistance présentée par l'ensemble des deux dérivation du_3d' et du_1d' , r la résistance de l'une et n le nombre de dérivation, on a

$$R = \frac{r}{n} = \frac{58}{2} = 29 \text{ ohms.}$$

Portons-nous maintenant au point de dérivation précédent, c ; le courant trouve encore en ce point c deux chemins :

- l'un cdc' dont la résistance est $3 + 29 + 3 = 35$ ohms ;
- et l'autre cc' dont la résistance est 50 ohms.

Nous devons intercaler dans cette dernière dérivation une résistance compensatrice v_2 (fig. 47) pour le calcul de laquelle nous tiendrons le raisonnement suivant :

La dérivation cd comprend à partir de d deux autres dérivation ayant chacune un récepteur u_1 et u_3 , tandis que la dérivation cc' n'en a qu'un seul u_3 ; par conséquent cette dernière devra comporter une résistance qui, par rapport à celle de la première, et en raison de ce principe que les résistances de deux circuits dérivés sont en raison inverse des intensités des courants qui parcourent ces circuits, sera comme 2 est à 1. On aura donc : $v_2 = (35 \times 2) - 50 = 20$ ohms.

La résistance R présentée par l'ensemble des résistances des deux dérivation cdc' et cc' ne peut être calculée par la formule

$$R = \frac{r}{n}, \text{ ces résistances étant inégales.}$$

Nous devons, pour calculer R , nous baser sur la règle suivante, que l'on peut d'ailleurs vérifier expérimentalement au moyen des appareils de mesures électriques :

La résistance totale présentée par deux dérivation partant d'un

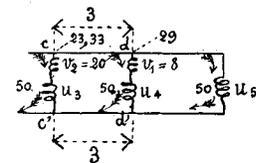


Fig. 47

même point est égale au produit de leurs résistances respectives divisé par la somme de ces mêmes résistances.

Cette règle peut s'expliquer ainsi : la résistance électrique étant l'inverse de la conductibilité, on trouvera la conductibilité de deux dérivation dont les résistances sont connues, en divisant l'unité par ces résistances respectives.

Si donc nous désignons par r la résistance de la dérivation cc' , et par r' celle de la dérivation cdc' , leurs conductibilités seront $\frac{1}{r}$ et $\frac{1}{r'}$; par suite la conductibilité totale sera $\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}$ ou $\frac{r + r'}{r r'}$ et la résistance totale $\frac{r r'}{r + r'}$ (1).

En remplaçant ces lettres par leurs valeurs, on a

$$R = \frac{70 \times 35}{70 + 35} = 23,33 \text{ ohms.}$$

La résistance de l'installation, depuis le point c , est 23,33 ohms.

Continuons à suivre le même raisonnement en nous portant au point de dérivation précédent b .

De ce point, les deux chemins offerts au passage du courant sont :

1° $bc'b'$, dont la résistance est $4 + 23,33 + 4 = 31,33$ ohms.

2° bb' , dont la résistance est 50 ohms.

Le premier chemin renferme trois récepteurs et le second un seul; nous devons insérer dans bb' une résistance compensatrice v_3 (fig. 48),

dont la valeur en ohms sera telle que cette dernière dérivation, par rapport à la précédente, sera comme 3 est à 1.

$$v_3 = (31,33 \times 3) - 50 = 43,99 \text{ ohms.}$$

La résistance R de l'installation depuis le point b est, d'après la

$$\text{formule } R = \frac{r r'}{r + r'}$$

(1) Si l'on fait $r = r'$, la résistance totale est $R = \frac{r^2}{2 r}$ ou $\frac{r}{2}$, c'est-à-dire que l'on retombe dans la formule $R = \frac{r}{n}$ que nous avons appliquée pour le calcul des dérivation d'égale résistance.

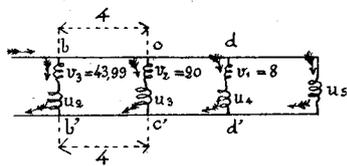


Fig. 48

$$R = \frac{93,99 \times 31,33}{93,99 + 31,33} = 23,49 \text{ ohms.}$$

Et en poursuivant nos calculs, nous dirons que la dérivation $a a'$, qui ne renferme qu'un récepteur, devra être rendue 4 fois plus résistante que la dérivation ab qui en renferme 4 ; nous insérerons donc en série avec son récepteur U , une résistance v_1 dont la valeur en ohms sera :

$$v_1 = (5 + 23,49 + 5) \times 4 - 50 = \mathbf{83,96 \text{ ohms.}}$$

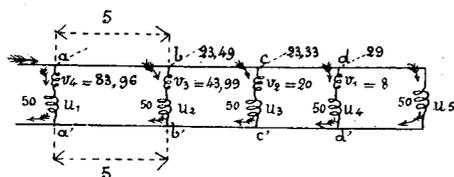


Fig. 49

Enfin, s'il restait d'autres résistances compensatrices à calculer, nous renouvelerions les mêmes raisonnements et opérations que ci-dessus, en ayant toujours bien soin d'établir un rapport conve-

nable entre les résistances des dérivation et le nombre d'appareils que celles-ci doivent recevoir.

L'exemple que nous venons de donner suffit à montrer que les résistances compensatrices, particulièrement celles qui sont le plus rapprochées de la pile, sont susceptibles d'acquérir des valeurs ohmiques bien plus élevées que les *résistances utiles*⁽¹⁾. Par suite le voltage perdu est bien plus grand que celui qui est utilisé. Cet inconvénient, on n'a pas de peine à le concevoir, est d'autant plus marqué que les résistances des récepteurs sont plus faibles par rapport à la résistance des fils servant à transporter le courant ; inversement il est d'autant moindre que l'on rend les récepteurs plus résistants. Ainsi, dans l'installation précédente, si les récepteurs avaient 100 ohms de résistance au lieu de 50, la perte en volts, pour chacun de leur circuit particulier, serait deux fois plus petite.

Pour le démontrer, admettons qu'un seul récepteur dépense une

(1) On peut, en effet, considérer comme *utiles* les résistances des récepteurs, car dans ceux-ci l'énergie électrique produit un travail utile : par exemple du magnétisme dans les électro-aimants, de la lumière dans les filaments des lampes à incandescence, etc...

Au contraire, nous pouvons considérer comme *inutiles* les résistances des conducteurs servant au transport du courant, les résistances compensatrices, s'il s'en a et les conducteurs liquides dans les piles, parce que l'énergie électrique qu'elles absorbent (puissance perdue, p. 79), se détruit dans ces conducteurs sous forme de chaleur, et par conséquent sans production de travail utile.

puissance électrique de 0,2 watt ; s'il a 50 ohms de résistance (R), l'intensité I , qui doit l'exciter, sera d'après la formule $P = UI$ ou encore $P = RI^2$ (p.p. 43. et 51.)

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad (1)$$

$$\text{d'où } I = \sqrt{\frac{0,2}{50}} = 0,0626 \text{ ampère.}$$

En remplaçant l'enroulement de ce récepteur par un autre enroulement formé de fil plus fin et plus long, afin de réaliser une résistance R' de 100 ohms, l'intensité nécessaire à son excitation sera (1) :

$$I' = \sqrt{\frac{0,2}{100}} = 0,0313 \text{ ampère}$$

c'est-à-dire que

$$\frac{I'}{I} = \frac{R}{R'} \quad (2)$$

Si, maintenant, l'on désigne par r les résistances *inutiles* au point de vue des effets électriques, soit les résistances compensatrices et celles des fils de ligne, par e la perte en volts quand chaque récepteur a 50 ohms de résistance, et par e' la perte en volts quand la résistance d'un récepteur est de 100 ohms, on a :

$$\frac{e}{e'} = \frac{rI}{rI'}$$

$$\text{ou } \frac{e}{e'} = \frac{I}{I'}$$

ce qui prouve que pour une même résistance *inutile* r , les pertes en volts sont en raison directe des intensités et, par suite, en raison inverse des résistances *utiles*.

CONCLUSION : La résistance des récepteurs appelés à fonctionner à une certaine distance de la pile, et loin les uns des autres, doit être assez grande pour que la résistance des fils de ligne puisse être considérée comme négligeable.

Si ces conditions sont convenablement remplies, on pourra même se dispenser de l'emploi des résistances compensatrices qui absorbent de l'énergie électrique en pure perte.

Constatons qu'il y a concordance entre la conclusion ci-dessus et celle qui concerne le rendement de la pile (p. 61).

Calcul de la résistance à donner à un récepteur, étant données la grosseur, la longueur et la nature des fils de ligne, ainsi que la perte de tension maximum que ceux-ci doivent engendrer.

Soit un récepteur appelé à fonctionner à une distance de 800 mètres de la pile ; quelle résistance doit-il posséder, si les fils de ligne sont en cuivre de 1,5 millimètre et s'ils ne doivent pas absorber plus de 10 p. 0/0 de la tension utile (différence de potentiel aux bornes du récepteur) ?

U , étant la différence de potentiel ;
 r , la résistance des fils de ligne ;
 r' , la résistance des récepteurs ;
 e , la perte en volts ;
 I , l'intensité du courant.

On peut écrire :

$$\frac{U}{e} = \frac{100}{10}$$

ou ce qui revient au même :

$$\frac{r' I}{r I} = \frac{100}{10}$$

en faisant disparaître I dans les deux termes de la fraction $\frac{r' I}{r I}$, on a :

$$\frac{r'}{r} = \frac{100}{10}$$

$$\text{d'où } r' = \frac{r \times 100}{10}$$

Pour effectuer, nous devons d'abord déterminer la valeur de r exprimée par la formule $R = \frac{a l}{d^2}$ (p. 51)

$$r = \frac{0,023 \times (800 \times 2)}{1,52} = 16,36 \text{ ohms.}$$

$$\text{D'où } r' = \frac{16,36 \times 100}{10} = \mathbf{163,6 \text{ ohms.}}$$

La résistance du récepteur sera de 163,6 ohms.

Calcul du diamètre à donner à des fils de ligne devant canaliser le courant d'une pile à un récepteur dont la résistance est donnée, ainsi que la perte en volts maximum.

Un récepteur, dont la résistance est de 150 ohms, doit fonctionner à une distance de 1000 mètres de la pile ; quel diamètre faut-il donner aux fils de ligne, sachant qu'ils doivent être en cuivre et qu'ils ne doivent pas absorber plus de 10 p. 0/0 de la différence de potentiel utile.

En conservant les mêmes lettres que dans le problème précédent, on a encore :

$$\frac{r'}{r} = \frac{100}{40}$$

$$\text{d'où } r = \frac{r' \times 10}{100} = \frac{150 \times 10}{100} = 15 \text{ ohms,}$$

qui est la résistance que devront posséder les fils de lignes.

Quant au diamètre de ces fils, la formule $R = \frac{a l}{d^2}$, mise sous cette autre forme $d^2 = \frac{a l}{R}$, nous permettra de le calculer :

$$d = \sqrt{\frac{a l}{R}}$$

$$\text{d'où } d = \sqrt{\frac{0,023 \times 2000}{15}} = 1^{\text{m/m}} 75.$$

Les fils de ligne doivent avoir 1^{m/m} 75 de diamètre.

Calcul des diamètres des fils de ligne dans les installations en dérivation devant recevoir n récepteurs.

Lorsque les récepteurs sont à peu près tous branchés vers les extrémités des fils de ligne, on peut calculer les diamètres de ceux-ci d'après la méthode que nous avons employée précédemment, en faisant toutefois intervenir dans le rapport $\frac{r'}{r}$, non pas la résistance r' d'un

seul récepteur, mais celle formée par l'ensemble de tous les appareils ; c'est-à-dire que l'on pourra écrire :

$$\frac{\frac{r}{n} I}{r' I} = \frac{e}{U}$$

$$\text{ou } \frac{r}{r' n} = \frac{e}{U} = \frac{10}{100} \text{ ou } \frac{12}{100} \text{ ou } \frac{8}{100} \dots$$

suivant que la perte en volts tolérée est de 10, 12, 8... pour cent.

Mais si les récepteurs sont répartis sur tout le trajet parcouru par les fils de ligne, I n'a plus la même valeur dans les deux termes de la fraction $\frac{\frac{r}{n} I}{r' I}$

Au dénominateur, I représente l'intensité que dépensent tous les récepteurs, alors qu'il ne peut représenter au numérateur que l'intensité moyenne qui parcourt les fils de ligne ; nous avons vu en effet qu'après chaque dérivation l'intensité du courant va toujours en décroissant jusqu'au récepteur le plus éloigné par rapport à la source d'électricité.

Supposons, par exemple, que dans une installation comprenant 6 récepteurs en dérivation, l'intensité totale absorbée par ces derniers soit de 0,3 ampère ; après avoir franchi la première dérivation, la plus proche de la pile, cette intensité est diminuée de $\frac{0,3}{6} = 0,05$ ampère ; même diminution à partir des deuxième, troisième, quatrième et cinquième dérivations, après lesquelles elle n'est plus que de 0,20 ; 0,15 ; 0,10 et 0,05 ampère. On conçoit dès lors que pour des fils de ligne de section uniforme, la perte de tension est plus grande dans la première portion de dérivation que dans les dernières.

C'est pour obvier à cet inconvénient que l'on recommande quelquefois de diminuer graduellement le diamètre des fils de ligne à partir de chaque point de dérivation quelque peu éloigné du précédent, c'est-à-dire à mesure que l'intensité diminue.

Dans le cas particulier où un centre horaire devrait alimenter des récepteurs, les uns assez rapprochés, les autres au contraire très éloignés, on a évidemment avantage à constituer des lignes indépendantes, pour chacune de ces catégories.

Enfin si pour une installation donnée, le système de distribution

en dérivation exigeait des diamètres de fils trop gros, il serait plus économique d'adopter le système de distribution en série mixte (fig. 41) ou simplement en série (fig. 36).

Densité maximum de courant dans les conducteurs électriques.

En règle générale, la section des fils servant à canaliser le courant débité par une source d'électricité jusqu'aux appareils d'utilisation est calculée pour qu'il y ait sensiblement égalité de tension aux bornes des récepteurs, et que par suite la perte de tension n'excède pas un tant pour cent la tension efficace, ou, si l'on veut, la différence de potentiel nécessaire aux bornes des appareils.

Ce qui précède nous en est un exemple.

Mais il est un autre facteur dont il faut tenir compte, la *densité du courant*. Sous ce nom, on désigne le rapport de l'intensité I du courant qui traverse un conducteur quelconque à sa section s en millimètres carrés. Pour un conducteur de section donnée, il existe une densité limite qu'il ne faut pas dépasser, sinon les conducteurs s'échauffent et des accidents matériels peuvent en résulter.

La quantité W de chaleur développée par un courant d'intensité I , dans un conducteur de résistance R , est indiquée par la relation suivante, dans laquelle t représente le temps pendant lequel passe le courant :

$$W = R I^2 t.$$

En d'autres termes, la chaleur produite par un courant est proportionnelle à sa puissance multipliée par le temps.

Si donc on ignore la densité maximum ou autrement dit la limite de sécurité du courant pour une section de conducteur donné, on court les risques, sinon de le fondre, tout au moins de brûler son enveloppe isolante.

Ces accidents arrivent surtout lorsqu'on fait usage de courants industriels.

Avec les piles, les effets calorifiques ne sont pas bien à craindre, vu la faible puissance des batteries ordinairement en usage. Quoi qu'il en soit, il importe de se rappeler que les excès de densité sont nuisibles.

L'expérience a démontré que l'on peut faire passer de deux à trois

ampères dans les fils isolés servant aux enroulements des électro-aimants. Toutefois en horlogerie électrique, où ceux-ci ne reçoivent des courants que pendant un temps très court, il est possible, à la rigueur, de dépasser quelque peu ce chiffre.

Appareils de protection contre les actions calorifiques des courants.

Coupe-circuits.

A priori il peut sembler étrange aux personnes peu au courant de la marche ascendante des progrès de l'horlogerie électrique que l'on ait à se préoccuper des actions calorifiques de l'électricité dans de simples installations horaires. Il est indéniable que de semblables préoccupations n'interviennent que par exception, par exemple lorsque les conducteurs des susdites installations sont appelés à croiser d'autres conducteurs servant au transport des puissants courants de lumière ou autres applications, car il faut alors prévoir ce qu'il adviendrait si, par suite de ruptures, des contacts fortuits venaient à se produire entre ces divers conducteurs ; suivant les endroits où ces communications se produiraient les horloges du réseau pourraient être soumises à de très grandes densités de courant. Or nous savons que toute exagération dans ce sens se traduit par un échauffement qui peut occasionner les pires accidents matériels.

D'autre part, des essais faits avec les courants des secteurs d'éclairage ont prouvé la possibilité d'utiliser ces derniers pour la distribution de l'heure par des moyens que nous étudierons un jour. En ce cas surtout, il y aura lieu de se mettre en garde contre les excès de densité. On y arrivera en faisant usage d'appareils de sûreté bien connus sous le nom de *coupe-circuits*.

On distingue les *coupe-circuits fusibles* et les *coupe-circuits magnétiques*. Il en existe un grand nombre de systèmes aussi bien dans la première que dans la deuxième catégorie.

En principe, les coupe-circuits fusibles sont formés d'un simple fil métallique, de quelques centimètres de longueur, convenablement choisis comme nature et section et mis en série dans les circuits à protéger. Lorsque l'intensité de sécurité vient à être dépassée, ce fil fond et coupe ainsi automatiquement le circuit.

La section des fils fusibles employés dans les coupe-circuits est généralement choisie telle qu'ils rentrent en fusion quand l'intensité du courant dépasse trois fois sa valeur normale ; cette section peut donc être déterminée expérimentalement.

Dans la pratique, la densité adoptée pour les fils fusibles en plomb ou en étain, métaux qui sont les plus employés en raison de leur grande fusibilité, est d'environ dix à douze ampères par millimètre carré de section.

Afin d'en faciliter le montage et le remplacement, les fils fusibles sont fixés par leurs extrémités à deux bornes ou vis montées sur un socle en matière isolante et autant que possible incombustible, et par ces mêmes points d'attache ils sont insérés dans les circuits.

Le fonctionnement d'un coupe-circuit amenant naturellement l'arrêt du courant, et par suite des appareils, il est de toute importance de prévoir, dans n'importe quelle installation, des conditions d'isolement telles que le rôle de cet appareil de sûreté soit le plus effacé possible.

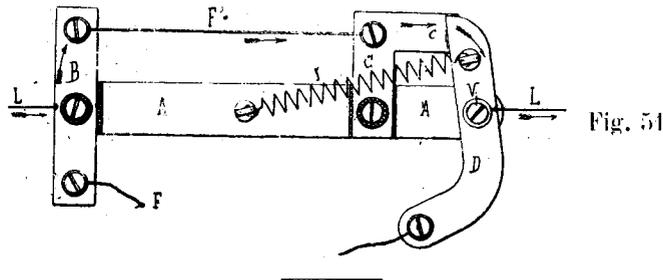
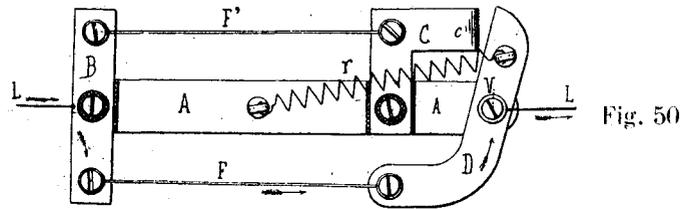
Pour éviter les ennuis qui résultent de la rupture d'un fil fusible, on a imaginé des appareils dans lesquels le fil qui vient de fondre est remplacé automatiquement par un autre. Malheureusement cette solution n'est efficace que si la cause qui a provoqué la fusion du fil n'est que passagère, sinon le fil de réserve brûlerait immédiatement après ; de plus elle est incomplète puisque si l'on ne songe pas à remplacer le fil fondu on se retrouve en cas d'un nouveau surcroît de courant dans des conditions identiques à celles d'un coupe-circuit ordinaire.

La figure 50 montre un coupe-circuit construit sur ce principe.

F et F' sont des fils fusibles ; le premier est réuni à des pièces B et D , le second aux pièces B et C . Les pièces B , C et D sont en cuivre et isolées les unes des autres. Si le fil F , qui seul est inséré entre les extrémités L du circuit à protéger, vient à fondre par suite d'un accroissement momentané de l'intensité du courant, le fil F' est mis automatiquement en service de la façon suivante :

La pièce D à laquelle le fil F est attaché par une de ses extrémités est mobile autour d'une vis à portée V ; elle est constamment sollicitée par un ressort à boudin r vers la lame e ; mais le fil F s'oppose à l'action du ressort et maintient la pièce D dans la position montrée par la fig. 50.

Dès que le fil F est rompu (fig. 51), la pièce D vient s'engager sur la lame c et dès ce moment c'est le fil F' qui se trouve dans le circuit L .



Les coupe-circuits magnétiques sont formés d'électro-aimants dont les armatures commandent les interrupteurs.

En régime normal, le courant n'est pas suffisant pour exciter l'électro-aimant, mais si pour une raison quelconque le courant augmente d'intensité, le magnétisme développé provoque une attraction qui fait rompre le circuit. Malgré certains avantages présentés par ces sortes de coupe-circuits, on leur préfère presque toujours les précédents à cause de leur différence de prix.

Paratonnerres.

Les paratonnerres sont à la fois des appareils de protection contre les effets calorifiques et physiologiques des courants d'électricité atmosphérique lorsqu'il y a décharge de celle-ci à travers des conducteurs aériens. Contrairement à ce qui se passe dans les coupe-circuits, le but des paratonnerres n'est pas de couper le chemin par où doivent passer les courants, mais d'assurer l'écoulement de ces derniers à la terre.

Une des conditions essentielles pour que le rôle d'un paratonnerre

soit efficace est *que cet écoulement puisse s'effectuer le plus en droite ligne possible.*

En raison de l'énorme tension qu'elle possède, l'électricité atmosphérique ne se comporte pas, en effet, comme l'électricité de tension ordinaire. Ainsi un nœud dans un conducteur, ou quelques spires de fil, qui constituent une résistance inappréciable pour un courant de quelques volts seulement, présentent un obstacle presque infranchissable à des courants de quelques centaines de mille volts. Au contraire un petit intervalle d'air, séparant deux pièces de métal, ne pourrait être traversé par les premiers courants, alors que les courants de haute tension de l'électricité atmosphérique le traverseraient très facilement sous forme d'éclairs.

C'est précisément sur cette bizarre particularité que sont basés les paratonnerres. Il faut distinguer ceux qui sont spécialement chargés de protéger les maisons et ceux employés pour préserver les lignes aériennes et les appareils auxquels ces lignes aboutissent.

Nous ne nous occuperons que de ces derniers.

Le plus simple est le paratonnerre à papier.

Il se compose tout simplement de deux plaques de laiton bien dressées et séparées par une feuille de papier ou mieux de mica ; ces plaques sont maintenues serrées l'une contre l'autre par deux vis préalablement isolées ; l'une des plaques est intercalée dans le conducteur à protéger et l'autre est reliée à la terre par un conducteur rectiligne. Pour réaliser avec la terre une section de contact suffisante, le conducteur rectiligne est soudé à un toron de fil de quelques kilogrammes ou à une plaque métallique d'un mètre carré environ qui est ensuite plongée dans un sol humide et assez profondément pour être à l'abri des gelées. Les conduites d'eau ou de gaz constituent d'excellentes prises de terre, mais on doit éviter de prendre des terres dans le voisinage des conduites de gaz lorsque celles-ci sont en plomb.

Dans les conditions normales, il ne peut donc passer aucun courant de basse tension dans le paratonnerre, mais si une décharge d'électricité atmosphérique se produit, elle ne suivra pas, d'après la loi élémentaire de Ohm, le chemin *le moins résistant, mais celui qui va le plus directement à la terre ;* c'est-à-dire que le courant passera d'une plaque à l'autre à travers la feuille de papier qu'il perce et de là à la terre. La perforation de la feuille peut ne pas empêcher l'isolement des deux plaques ; dans le cas contraire il suffit de la remplacer.

La fig. 52 montre en plan et en élévation un paratonnerre qui résulte de la combinaison du précédent avec le système dit à pointes.

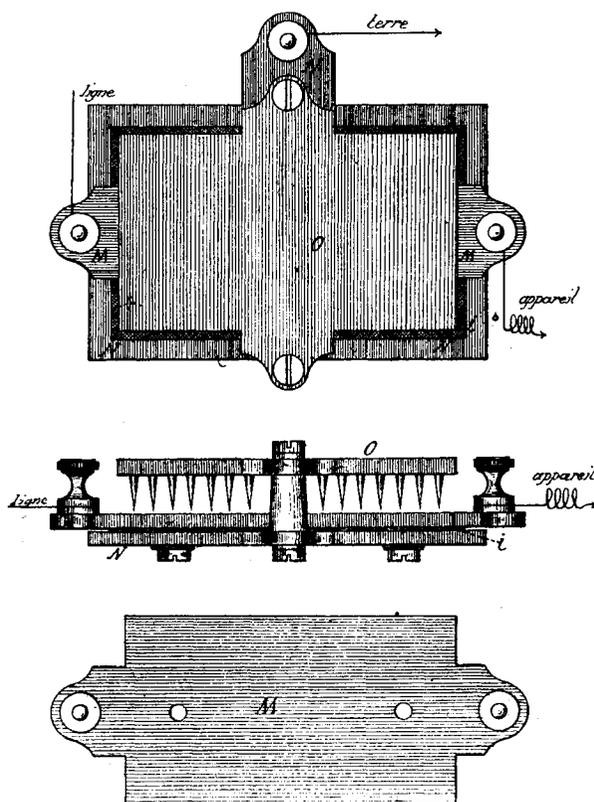


Fig. 52

M et *N* sont des plaques de laiton séparées par la feuille *i* en papier, mica ou gutta-percha. En regard, et très près (1 millimètre au maximum) de la plaque *M* sont disposées des pointes métalliques chassées sur une troisième plaque *O* qui communique avec *N* par deux colonnes en laiton *P*.

La décharge électrique dans ce paratonnerre peut se faire simultanément, d'une part à travers la feuille isolante *i*, et d'autre part à travers l'espace d'air qui sépare la plaque *M* des pointes métalliques.

Paratonnerre Mambret.

Depuis bientôt-trois ans, on se sert exclusivement en France, pour le service téléphonique, d'un paratonnerre dont nous recommandons

l'application dans les installations horaires comportant des conducteurs extérieurs aériens.

Cet appareil, qui est construit par la maison *Mambret et C^{ie}*, présente les avantages suivants :

1^o Il est monté pour lignes-bifilaires ; il représente par conséquent deux paratonnerres du modèle précédent, ce qui réduit le prix d'achat dans le rapport de cinq à un, étant donné qu'il ne coûte que deux francs alors que le prix moyen d'un paratonnerre à pointes multiples et à papier est de cinq francs ;

2^o Il permet non seulement la décharge de chacun des deux fils du circuit à préserver à la terre, mais encore la décharge de chacun des fils du circuit sur l'autre ;

3^o Les parties entre lesquelles s'effectuent les décharges sont en charbon, ce qui est avantageux parce que, après les décharges, il ne reste pas de résidus conducteurs faisant court-circuit, comme cela se produit souvent lorsqu'on se sert de plaques ou de pointes métalliques ;

4^o Il est peu encombrant, 65 m/m × 25 m/m.

La fig. 53 montre ce paratonnerre en plan, élévation et profil.

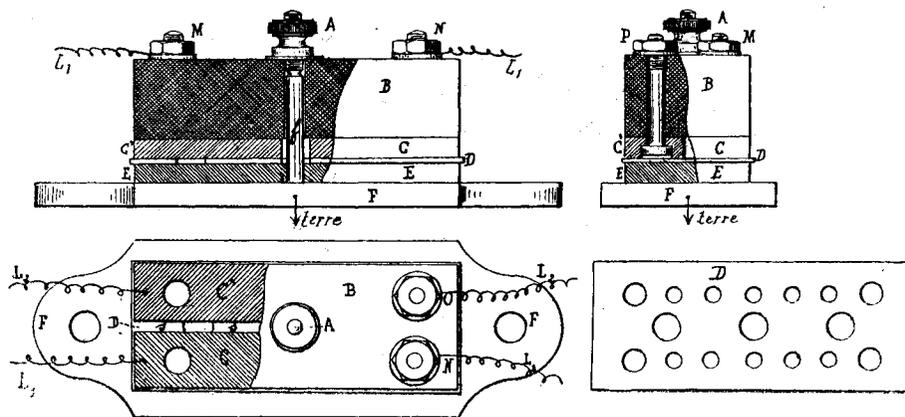


Fig. 53

Au milieu d'une plaque de laiton *F*, reliée à la terre, est rivée une tige métallique *f* dont l'extrémité supérieure est filetée. Une plaque rectangulaire en charbon *E*, dans laquelle on a ménagé un trou pour le passage de la tige *f*, puis une feuille de mica perforé *D* sont posées successivement sur la plaque *F*.

Dans une pièce en ébonite *B*, sont maintenues, au moyen de

quatre écrous *M*, *N*, *O* et *P*, deux plaques de charbon *C* et *C'*. Les têtes des écrous sont logées dans la masse des pièces en charbon comme le montre la déchirure faite dans la vue de profil. Ces plaques *C* et *C'* présentent un évidement au centre pour laisser passer sans contact électrique possible la tige *f*. L'ensemble formé par la pièce en ébonite *B*, les plaques de charbon *C* et *C'* et les écrous, est posé sur la feuille de mica *D* et le tout est serré sur la plaque de laiton *F* par un bouton *A*.

Les prises de communication des fils de lignes *L*₁ et *L*₂ avec le paratonnerre se font sur les écrous.

La décharge de chacun des fils, c'est-à-dire de chacune des plaques *C* et *C'* avec la terre se fait à travers la feuille de mica perforée. La décharge entre les deux fils de ligne s'effectue entre les tranches *s* des pièces *C* et *C'* séparées par une couche d'air de 2^{mm} environ d'épaisseur.

En temps de forts orages on perçoit des lueurs et on entend une série de crépitements produits par les décharges. Il n'est plus besoin de mettre les fils directement à la terre comme il était recommandé avec les anciens systèmes.

D'après des renseignements qui nous ont été donnés par des agents spéciaux du service téléphonique, le fonctionnement de ce paratonnerre est parfait ; cependant, après quelques décharges d'électricité atmosphérique, il se produit des poussières de charbon entre les tranches *s* des plaques *C* et *C'* ; ce défaut qui n'aurait aucune influence sur des récepteurs horaires provoque des crachements dans les téléphones qui sont des appareils plus délicats. On remédie d'ailleurs à cet inconvénient en maintenant dans un état constant de propreté l'espace qui sépare les plaques de charbon *C* et *C'*.

REMARQUE. — Les paratonnerres dont nous venons de parler, tout en étant efficaces pour la protection des lignes servant en horlogerie électrique, en télégraphie, etc. peuvent être d'une inefficacité complète quand il s'agit de la protection de réseaux électriques fonctionnant sous plusieurs milliers de volts. Il faut alors faire usage de modèles spéciaux dont la description ne serait pas à sa place ici, et pour l'étude desquels nous renvoyons aux ouvrages traitant des grandes applications de l'industrie électrique.

Emplacement des paratonnerres et coupe-circuits dans les installations horaires

Chaque fil de la canalisation aérienne devra dès sa rentrée dans les maisons d'habitation être pourvu d'un paratonnerre. Lorsqu'on juge à propos de faire usage de coupe-circuits⁽¹⁾, on devra les mettre en série avec les paratonnerres dans les circuits des récepteurs et de l'horloge-mère en adoptant l'ordre ci-après : les paratonnerres d'abord, ensuite les coupe-circuits et enfin les appareils à protéger.

Utilisation de la terre en remplacement du fil de retour dans les circuits électriques.

Personne n'ignore aujourd'hui, qu'il suffit d'un seul fil isolé pour que deux télégraphes puissent communiquer électriquement ensemble.

Il n'est pas indispensable, en effet, que le cycle parcouru par un courant soit entièrement métallique, ce qu'on peut mettre en évidence par l'expérience suivante qui est à la portée de tout le monde.

Transportons-nous, muni d'une pile et d'un galvanomètre, sur un terrain humide, et après avoir disposé à une certaine distance l'un de l'autre les deux objets ci-dessus, relierons par un fil métallique isolé, l'une des deux bornes du galvanomètre à une borne de la pile, la positive par exemple. Ce fil qui est l'image de l'unique fil de ligne dont nous parlions plus haut, servira à amener le courant de la pile à l'appareil.

Si maintenant, nous réunissons la deuxième borne du galvanomètre à un conducteur que nous enfoncerons le plus possible dans le sol et que nous en fassions autant depuis la borne négative de la pile, on verra aussitôt l'aiguille du galvanomètre dévier de sa position première. On déduit de cette observation que l'on peut fermer un

(1) Actuellement le service technique de l'administration des Télégraphes se préoccupe beaucoup des accidents pouvant résulter d'un surampérage intempêtif. Une de ses dernières mesures se rapporte particulièrement aux réseaux téléphoniques sillonnant les régions où l'industrie électrique s'est beaucoup développée dans ces dernières années ; toutes les lignes de ces réseaux vont recevoir un coupe-circuit qui, au point de vue de son peu d'encombrement, peut être comparé au paratonnerre Mambret, avec lequel, d'ailleurs, il est destiné à être accouplé. Ce coupe-circuit, qui conviendrait pour la plupart des installations horaires, fond sous un ampère seulement.

circuit électrique au moyen de la terre. En d'autres termes si l'on considère le fil métallique isolé comme servant de *fil d'aller* pour le courant qui vient du pôle positif de la pile, la terre peut être considérée comme servant de *fil de retour* à ce même courant jusqu'au pôle négatif.

On saisit sans peine, quelles importantes économies, permet de réaliser cette remarquable propriété qu'a la terre de se comporter comme un conducteur métallique. Aussi l'utilise-t-on depuis longtemps en horlogerie électrique, dès que le rayon d'une distribution horaire présente quelque étendue.

Résistance électrique de la terre

Dans la pratique, les communications avec la terre ne se font pas aussi simplement que le fait apparaître l'expérience ci-dessus.

Une *prise de terre* faite dans de telles conditions peut être suffisante, pour assurer l'écoulement d'un courant capable d'influencer l'aiguille d'un galvanomètre, ce dernier étant généralement un appareil sensible, mais elle offrirait trop de *résistance*, pour laisser passer les courants plus intenses qu'exigent les récepteurs horaires.

On augmentera la *conductibilité* de la terre, ou ce qui revient au même, on diminuera sa *résistance*, si l'on a soin, comme il a été recommandé, page 77, pour les prises de terre de paratonnerres, de prendre communication avec elle au moyen de plaques métalliques de grandes surfaces, que l'on ensevelit dans un sol restant indéfiniment humide. A cet égard on ne saurait mieux faire que d'utiliser le lit d'une rivière, l'eau d'un puits, mais jamais celle d'une citerne, qui est en quelque sorte isolée par l'enveloppe de ciment, substance qui conduit mal l'électricité.

A défaut de puits ou de rivière, les communications avec la terre peuvent être établies, lorsqu'on le peut, au-dessous des éviers, l'écoulement des eaux de cuisine contribuant à entretenir l'humidité du sol.

Dans son ouvrage « La Télégraphie pratique », M. Montillot conseille d'établir les prises de terre en se servant à la fois d'un toron de fils, dont la conductibilité soit au moins égale à celle du fil de ligne avec lequel il doit être relié par l'intermédiaire des piles et récepteurs, et d'une plaque de fer galvanisé à large surface sur laquelle on soude

l'une des extrémités du toron. La plaque de fer doit être plane et on doit lui donner de préférence une position verticale.

D'ordinaire cependant, la terre d'un petit poste télégraphique ne se prend qu'avec un toron de fil de fer galvanisé pesant environ cinq à six kilogrammes.

Quoique la terre joue le rôle d'un conducteur métallique, elle n'en suit pas tout à fait les mêmes lois quant à sa résistance ohmique par rapport à la longueur comprise entre deux plaques de communication. En effet, la résistance de la tranche de terre qui sépare ces dernières ne varie pas en raison de la longueur de cette tranche, comme cela arriverait, si cette terre était renfermée dans une caisse isolante. D'après le « Culley », des tranches de terre, ayant de un à cent mètres de longueur, auraient une résistance variant de un à cinq ohms et à partir de cent mètres, on pourrait considérer la résistance de la terre comme à peu près constante.

Par contre, la profondeur à laquelle les plaques sont enfouies aurait une grande influence sur la résistance de la terre. Cette résistance varierait en raison inverse de la profondeur.

Des expériences auxquelles nous avons procédé personnellement avec un pont de Wheatstone, sur un circuit dont la terre faisait partie, ont accusé pour celle-ci une résistance de six ohms. La surface de chacune des plaques était de un mètre carré environ, et la longueur de la tranche de terre qui les séparait de cent mètres ; ces plaques n'étaient enfouies qu'à un mètre de profondeur seulement, mais dans un sol très humide.

Rappelons que les meilleures terres sont celles que l'on prend aux conduites d'eau ou de gaz.

Comment imaginer, en effet, une plus grande surface métallique en contact avec le sol que celle réalisée par tout un réseau de tuyauterie en plomb ou en fer ? A ce sujet nous ferons observer qu'il faut de préférence souder les fils de terre aux conduites principales, les conduites dérivées ayant souvent leurs joints oxydés, ou non entièrement métalliques.

Dans les villes dotées d'une distribution de l'eau par l'électricité, on utilise presque toujours les conduites d'eau ou de gaz comme prises de terre. Il va sans dire que dans ce cas la résistance ohmique de celle-ci est tout à fait négligeable.

Nous résumons ce qui reste à dire concernant le rôle de la terre dans les circuits électriques, dans les recommandations suivantes :

1° Pour une même prise de terre, on ne doit employer que des métaux identiques, pour les plaques et les fils qui y sont soudés ;

2° Les plaques communiquant aux mêmes fils de ligne devront avoir à peu près la même grandeur ;

3° On évitera le voisinage des fils de ligne et des conduites de gaz en plomb, sinon pendant les orages, il pourrait jaillir des étincelles susceptibles de fondre ces conduites et de mettre le feu au gaz ;

4° On devra veiller avec soin à l'isolement des fils de ligne, surtout lorsqu'ils se trouvent à proximité d'autres fils transportant des courants de haute tension.

Sources d'électricité employées dans les distributions horaires.

Ce sont :

1° Les piles voltaïques ;

2° Les piles secondaires ou accumulateurs ;

3° Les machines magnétos et dynamos.

On peut encore se servir d'un système mixte de courants émis par des accumulateurs pendant le jour, et par des dynamos pendant la nuit. Entre deux émissions, les courants, des dynamos, dont le rôle principal est d'assurer un service d'éclairage par exemple, chargent les accumulateurs.

Des essais que nous avons faits dans le commencement de l'année dernière, nous autorisent à espérer que l'on ne tardera pas à ajouter à la nomenclature précédente les ondes hertziennes.

Piles voltaïques.

Nous savons qu'en principe, une pile voltaïque est un générateur d'électricité, dans lequel on brûle du zinc, pour obtenir de l'énergie électrique.

Dans une pile, on distingue :

1° Le liquide excitateur qui peut être constitué par de l'eau acidulée au 1/10^e d'acide sulfurique.

Ce liquide est contenu dans un vase imperméable.

2° Deux métaux différents que l'on fait plonger sans se toucher, dans le liquide excitateur, lequel attaque l'un plus énergiquement que l'autre.

La force électromotrice maximum est obtenue, lorsque l'un des

deux métaux n'est absolument pas attaqué ; c'est la raison pour laquelle le charbon artificiel est souvent employé au lieu et place d'une plaque en métal. Par convention la partie immergée du métal attaqué est supposée prendre de l'électricité négative et celle du conducteur inattaqué de l'électricité positive.

3^o Une substance dépolarisante, dont le rôle est d'absorber l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau de la pile par son propre courant, avant que cet hydrogène ait pu se déposer sur la plaque positive.

Qualités que devrait posséder une pile parfaite.

Une pile parfaite ne devrait pas s'user en circuit ouvert, c'est-à-dire lorsqu'elle ne débite pas de courant ; ne pas se polariser en circuit fermé ; avoir une force électromotrice élevée et une résistance intérieure faible.

S'il existait une telle pile, on n'étudierait et n'utiliserait que celle-là ; malheureusement il n'en n'existe pas ; certaines ont des qualités que d'autres n'ont pas, et comme il y a réciprocité, on est dans l'obligation d'étudier les principales d'entre elles afin de savoir faire, le cas échéant, un choix judicieux en rapport avec la nature du travail qu'on veut leur demander.

DIVERS TYPES DE PILES. — On peut diviser les piles en quatre catégories principales, qui sont :

1^o Les piles à un *seul liquide*, ainsi dénommées parce que leurs liquides dépolarisant et exciteur sont mélangés ;

2^o Les piles à *deux liquides* dans lesquelles le liquide dépolarisant est renfermé dans un vase poreux ou bien séparé du liquide exciteur par la seule différence de leur densité ;

3^o Les piles à dépolarisant *solide et insoluble ou peu soluble* ;

4^o Les piles sèches.

**Choix des types de piles à employer
en horlogerie électrique.**

Tout d'abord, on devra rejeter l'emploi des piles à un seul liquide qui s'usent presque aussi bien au repos qu'en travail.

Parmi les piles à deux liquides pouvant être utilisées, nous citerons

les piles dont le dépolarisant est une dissolution de sulfate de cuivre ; les piles Daniel, Meidinger, Callaud..... sont dans ce cas.

Ces deux dernières, dans lesquelles la séparation des liquides exciteur et dépolarisant est basée sur leur différence de densité, seront choisies de préférence à la pile Daniel dont le vase poreux qui renferme le dépolarisant, rend variable la résistance intérieure de la pile. Si le vase n'est pas assez poreux, cette résistance devient très grande ; si, d'autre part, pour affaiblir celle-ci on prend un vase trop poreux, les liquides exciteur et dépolarisant se mélangent, ce qui a pour effet d'augmenter considérablement les actions locales ⁽¹⁾ et dans ce cas, on tombe dans le défaut des piles à un seul liquide.

A moins d'employer des piles à écoulement ⁽²⁾ ou de très grandes dimensions, un élément au sulfate de cuivre tel que les modèles Callaud ou Meidinger ne peut donner qu'un courant de faible intensité en raison de sa grande résistance intérieure.

A titre de documentation, voici quelles sont les résistances intérieures des deux modèles d'éléments Callaud utilisés en télégraphie : celui de petite dimension a de 8 à 10 ohms et le plus grand de 4 à 6 ohms.

Les principales qualités des piles au sulfate de cuivre résident dans leur constance et surtout dans la facilité avec laquelle elles se dépolarisent, d'où le nom qui leur est souvent donné de *piles impolarisables* ; aussi peut-on sans inconvénient les associer en quantité ou en séries mixtes (p.p. 56 et 57) pour en tirer l'intensité dont on a besoin. Nous devons néanmoins limiter leur utilisation aux applications nécessitant des courants émis par intermittences peu espacées, toutes les secondes, par exemple.

La force électromotrice des éléments au sulfate de cuivre est pratiquement de 1 volt.

Dans la catégorie de piles à dépolarisants peu solubles ou insolubles, la pile Lalande et Chaperon à agglomérés présente des avantages marqués sur les précédentes quoique sa force électromotrice ne soit que de 0,85 volt à peine.

(1) Attaque du zinc à circuit ouvert.

(2) Piles dans lesquelles le liquide exciteur se renouvelle constamment par des procédés variant avec les divers modèles et qui permettent de réduire au minimum la longueur de la couche liquide qui sépare la plaque positive de la négative. La résistance intérieure est par suite amoindrie dans les mêmes proportions.

D'abord sa résistance intérieure est plus faible ; pour les modèles que l'on trouve dans le commerce, elle est de 0,3 ohm pour les petits ; 0,05 ohm pour les moyens et 0,03 pour les grands ; ensuite elle est dépourvue d'actions locales appréciables, tout en ayant les mêmes qualités de dépolarisation que les piles au sulfate de cuivre.

Dans cette même catégorie de piles, les modèles Leclanché et ses dérivés, les piles Lacombe, Leclanché-Barbier, etc. sont celles auxquelles on donne le plus souvent la préférence en horlogerie électrique.

La faveur dont jouissent ces piles tient au peu d'entretien qu'elles exigent pendant de longs mois, pourvu qu'on ne leur demande que des courants faibles et espacés.

De plus les matières qui rentrent dans leur fabrication ne sont ni caustiques, ni vénéneuses. Mais on peut reprocher aux piles Laclanché d'être inconstantes et de se polariser rapidement dès qu'on les ferme en court-circuit ou qu'on les fait débiter pendant quelque temps sur un circuit peu résistant.

Leur force électromotrice est de 1,48 volt ; quant à leur résistance intérieure elle est, pour les grands éléments, de 0,15 ohm et de 5 à 6 ohms pour les plus petits modèles qui sont encore en usage dans les bureaux télégraphiques municipaux.

La résistance intérieure d'un élément Leclanché est loin de rester fixe, c'est d'ailleurs la principale cause de l'inconstance du courant qu'il débite. On pourra juger de l'importance que ces variations peuvent acquérir à la longue dans les piles de mauvaise qualité par le tableau suivant qui donne le relevé des observations faites sur l'un des plus récents et meilleurs modèles d'éléments Leclanché, aggloméré à sac et zinc, de grande surface, auquel on a fait débiter pendant 50 jours, un courant continu, à travers une résistance extérieure de 10 ohms.

JOURS	RÉSISTANCE INTÉRIEURE en ohms	JOURS	RÉSISTANCE INTÉRIEURE en ohms
1	0,21	20	0,48
5	0,15	35	0,76
10	0,16	50	0,94

Dans les éléments ordinaires à grande surface, la résistance intérieure varie le plus souvent de 0,3 à 3 ohms.

On comprendra mieux maintenant combien on a intérêt à tenir compte des observations exposées, notamment page 61, dans le but d'obtenir des piles en général et des Leclanché en particulier les meilleurs résultats : à savoir de les faire débiter sur des circuits très résistants par rapport à leur résistance intérieure de telle façon que les variations de celle-ci ne puissent avoir d'influence notable sur la constance du courant. A cet égard ce sont les piles de grandes surfaces qui se comportent le mieux puisque ce sont elles qui ont la plus petite résistance intérieure ; nous devons donc les utiliser de préférence aux modèles moyens dans toutes les applications dont nous nous occupons.

Les grands éléments ont en outre l'avantage de posséder de plus grandes capacités et peuvent donc rester beaucoup plus longtemps sans être remontés. Il est en effet de toute évidence que si, par exemple, la pile du problème donné page 18 avait 240 ampères de capacité au lieu de 120, elle durerait 400 jours au lieu de 200.

Cependant la capacité des piles varie lorsqu'on sort du régime indiqué par le constructeur.

Voici quelques données sur les capacités des piles Lalande et Leclanché que l'on trouve dans le commerce :

ÉLÉMENTS LALANDE ET CHAPERON	}	Petit modèle : 70 à 75 ampère-heures sous le débit normal continu de 1 ampère.
		Moyen modèle : de 280 à 300 amp. h. sous le débit normal continu de 3 ampères.
		Grand modèle : 580 à 600 amp. h. sous le débit normal continu de 5 ampères.
ÉLÉMENT LECLANCHÉ AGGLOM. A SAC	}	Grand modèle : 110 à 120 amp. h. sous un débit moyen continu de 0,12 ampère.

PILES SÈCHES. — La dénomination de *piles sèches* donnée à ces sortes de piles est impropre ; on devrait plutôt les appeler *piles humides* ou *piles à liquide immobilisé*.

C'est la pile sèche *Bloc* qui, de l'avis général, a donné jusqu'ici les meilleurs résultats ; ce n'est pas autre chose qu'une pile Leclanché dans laquelle on a fait absorber le liquide excitateur par du *cofferdam*, substance extraite de la noix de coco. L'emploi des piles sèches est plus onéreux que celui des autres piles. Aussi nous ne conseillons pas de les utiliser dans les distributions horaires, si ce n'est dans les petites installations lorsque exceptionnellement on est obligé de placer les piles dans des locaux renfermant des objets craignant beaucoup l'oxydation.

Chargement et entretien des piles.

Pour la charge et l'entretien des piles, le meilleur conseil que nous croyons devoir donner, c'est de suivre ponctuellement les prescriptions du constructeur.

A défaut de ces renseignements on pourra se baser sur les quelques données suivantes qui concernent seulement les piles les plus usagées en horlogerie électrique.

PILE CALLAUD. — Nous savons que dans cette pile le liquide excitateur (eau acidulée ou dissolution de sulfate de zinc) et le liquide dépolarisant (dissolution de sulfate de cuivre) sont séparés par leur différence de densité.

La dissolution de sulfate de cuivre étant la plus dense occupe avec la plaque positive, qui est formée d'une lame de cuivre enroulée en spirale, le fond du vase en verre dont la partie supérieure reçoit le liquide excitateur dans lequel le zinc est maintenu suspendu par trois crochets reposant sur les rebords du vase.

La communication de la lame positive avec l'extérieur est assurée par une tige de cuivre soudée à cette lame. La portion de cette tige, qui traverse le liquide excitateur, est recouverte d'une forte enveloppe de gutta-percha.

Pour charger un élément Callaud on verse d'abord le liquide excitateur, jusqu'à un peu plus du tiers de la hauteur du vase en verre, puis au moyen d'un tube en verre effilé, un verre de lampe peut être utilisé, on fait arriver au fond du vase la dissolution de sulfate de cuivre qui, en se répandant, soulève le liquide excitateur.

La quantité de sulfate de cuivre, rentrant dans le liquide dépolarisant d'un élément Callaud, dépend naturellement de la grandeur de ce dernier.

A un élément ayant les dimensions ci-dessous énumérées, il en faut 150 grammes :

Diamètre du vase en verre	41	cent.
Hauteur	—	— 15 »
— du zinc	4,5	»
— de la lame cuivre	3	»

A un autre élément ayant les dimensions suivantes, il en faut 400 grammes.

Hauteur du vase en verre	20	cent.
— du zinc	7	»

Ces dimensions se rapportent aux deux modèles d'éléments Callaud employés en télégraphie.

Le principal entretien de ces éléments consiste à maintenir saturée de sulfate de cuivre la dissolution dépolarisante ; pour cela, il suffit d'ajouter de temps en temps, toutes les semaines environ, quelques cristaux de sulfate que l'on introduit avec précaution dans le vase au moyen du tube en verre qui a déjà servi au remplissage.

On doit veiller à ce que le liquide excitateur se maintienne au niveau de la partie supérieure du zinc.

Le liquide excitateur ne devra pas peser plus de 22° à 23° Baumé. Pour ramener le liquide à cette densité on retirera, au moyen d'une pipette, une certaine quantité de sulfate de zinc que l'on remplacera par de l'eau.

Enfin le vase en verre doit être exempt d'efflorescences, inconvénient que l'on évite en paraffinant ou en recouvrant d'une couche de suif la partie supérieure du vase. Disons tout de suite qu'aujourd'hui on ne livre guère de vases de piles autrement que paraffinés.

PILE MEIDINGER. — Cette pile, qui est basée sur le même principe que la précédente pour la séparation des liquides excitateur et dépolarisant, se distingue de celle-ci en ce que la dissolution dépolarisante est maintenue saturée en quelque sorte automatiquement par une réserve de cristaux de sulfate de cuivre contenue dans un ballon en verre, de forme spéciale, dont le goulot plonge jusque dans la partie inférieure du vase.

Un élément Meidinger peut de cette façon marcher plus longtemps

sans entretien qu'un élément Callaud. Son montage est sensiblement le même que celui de ce dernier. Quant à son entretien, il consistera à renouveler la provision de sulfate de cuivre et à maintenir, comme dans le Callaud, la densité du liquide excitateur et le niveau de ce dernier à la densité et à la hauteur indiquées plus haut.

Ajoutons que pour obtenir un bon fonctionnement des piles au sulfate de cuivre, il est nécessaire que ce sel contienne le moins possible de matières étrangères (sulfate de fer, de zinc, etc.). L'administration des Télégraphes en tolère 1 p. 0/0 et exige une proportion de 24,5 p. 0/0 de cuivre pur.

PILE LALANDE ET CHAPERON. — Le liquide excitateur est une dissolution de potasse caustique à 30 ou 40 p. 0/0 et le dépolarisant de l'oxyde de cuivre.

Ce dernier, dans les modèles les plus récents, est appliqué, sous forme d'aggloméré, sur une plaque de tôle cuivrée qui forme le positif de la pile.

Chaque élément Lalande et Chaperon est recouvert d'un couvercle sur lequel sont fixés en regard l'un de l'autre l'aggloméré et le zinc. Ceux-ci étant en place dans l'intérieur du vase en verre, il faut que le niveau de la dissolution de potasse caustique les dépasse quelque peu.

Le seul entretien que nécessite cette pile, jusqu'à usure complète, consiste à remplacer le peu de liquide excitateur qui peut s'évaporer. Il faut encore éviter l'absorption de l'acide carbonique de l'air par la potasse. Cette précaution est d'ailleurs assurée par le couvercle supportant les électrodes, puisqu'il bouche presque hermétiquement l'orifice du vase en verre.

La nature du liquide excitateur de la pile Lalande et Chaperon nécessite quelques précautions pour sa manipulation. Il faut éviter d'en répandre soit sur les vêtements, soit sur les mains.

PILE LECLANCHÉ. — Les éléments constitutifs de cette pile sont : pour le liquide excitateur, une dissolution de chlorhydrate d'ammoniac (sel ammoniac) ; pour le dépolarisant, du bioxyde de manganèse et du charbon de cornue comme plaque positive. Les petits éléments comportent un simple bâton de zinc et les grands un zinc annulaire, c'est-à-dire à grande surface. Pour éviter l'usure en circuit ouvert, les zincs des piles Leclanché, comme ceux des piles Lalande, doivent être amalgamés ; c'est du reste dans cet état qu'ils sont livrés par le commerce.

Le bioxyde de manganèse, n'étant qu'un très médiocre conducteur

de l'électricité, est mélangé dans le but d'augmenter sa conductibilité, avec du charbon concassé en petits morceaux. L'ensemble formé par le dépolarisant et le charbon est maintenu autour de la lame positive de deux façons, soit au moyen d'un vase poreux, soit sous forme d'agglomérés.

De là, les deux types principaux d'éléments Leclanché : ceux à vase poreux et ceux à agglomérés. Ce sont ces derniers qui conviennent le mieux pour l'horlogerie électrique.

La proportion de sel ammoniac par litre d'eau est de 250 à 300 grammes. Notons qu'il n'y a aucun inconvénient à augmenter cette dose, parce que le sel, en excès dans le début, se dissout au fur et à mesure de la consommation.

Cependant on fera bien de ne jamais mettre dans l'élément le chlorhydrate en poudre et verser l'eau par dessus ; la dissolution doit toujours être faite d'avance.

Pour qu'une pile Leclanché ait une longue durée, il importe que le sel ammoniac employé soit pur. Or la falsification de ce produit est assez répandue depuis quelques années ; elle se pratique surtout avec le sel ordinaire et le chlorure de sodium, ce dernier présentant l'inconvénient de diminuer rapidement le rendement de la pile.

Il existe deux méthodes permettant de contrôler ce mélange. La première est basée sur l'absorption de chaleur qui se produit quand on dissout le sel dans l'eau. Il en résulte que, si l'on emploie un poids connu de sel et un volume déterminé d'eau, on obtient le tableau suivant donnant les variations successives de la température et de la pureté du sel. Les chiffres indiqués sont ceux de l'abaissement de température à partir de la température ambiante.

Chlorhydrate d'ammoniaque pur	6° 00
— — + 5 p. 0/0 de chlorure de sodium	5° 75
— — + 10 p. 0/0	5° 50
— — + 15 p. 0/0	5° 25
— — + 20 p. 0/0	5° 00
Chlorure de sodium pur	4° 50

La deuxième méthode est basée sur l'augmentation de la densité de la solution par le mélange avec le chlorure de sodium. Il est nécessaire de faire l'observation à 15° C ; en dissolvant ainsi 75 grammes de sel dans 250 c. m³ d'eau, les chiffres suivants sont ceux représentant les variations du poids spécifique pour des accroissements successifs de richesse en chlorure de sodium.

Chlorhydrate d'ammoniaque pur.....				1 074
—	—	+ 5 p. 0/0 de chlorure de sodium		1 075
—	—	+ 10 p. 0/0	—	1 079
—	—	+ 15 p. 0/0	—	1 083
—	—	+ 20 p. 0/0	—	1 087

Enfin on reconnaîtra que du sel ammoniac est bon, c'est-à-dire qu'il ne renferme ni matières insolubles, ni fer, ni plomb, en faisant dissoudre quelques grammes de ce sel dans l'eau distillée. Si le sel est bon, le résidu insoluble doit être absolument insignifiant ; si le sel contient du plomb il se formera sur le zinc un dépôt noir spongieux ; s'il contient du fer un dépôt ocreux se formera au fond du vase contenant la solution. Dans les deux cas, le sel doit être rejeté.

Pour entretenir une pile Leclanché, il suffit d'y renouveler l'eau, au fur et à mesure qu'elle s'évapore ; il faut aussi assécher la surface extérieure des vases en verre si elle vient à être mouillée et débarrasser avec soin les éléments des dépôts de sels dits sels grimpants qui se forment *quelquefois* sur les lames polaires. Ces sels grimpants sont dus à deux causes principales : ou le travail de la pile est excessif, ou bien la pile étant placée dans un endroit où la température est élevée, l'évaporation du liquide est trop rapide. C'est pourquoi l'emplacement à donner à une pile ne saurait laisser indifférent ; il faut que cet emplacement ne soit ni soumis à une forte chaleur, ni à un grand froid ; une température comprise entre 8 à 15° C. convient parfaitement.

Vérification des piles

Emploi du VOLTMÈTRE et de l'AMPÈREMÈTRE

La majeure partie des amateurs électriciens ignorent jusqu'aux constantes que doivent posséder les piles dont ils se servent ; de sorte qu'ils ne sont prévenus d'avoir à recharger ou à changer des éléments que par l'arrêt des appareils que ceux-ci actionnent. Cette façon de procéder est des plus mauvaises et ne saurait convenir dans une exploitation sérieuse. Il faut absolument prévenir toute perturbation pouvant résulter d'un mauvais fonctionnement de la source d'électricité.

Avant de mettre une pile en service, il importe donc :

1° de connaître quelle doit-être, au début et à la fin de la marche, sa force électromotrice (f. é.) minimum et sa résistance maximum.

2° de contrôler par les moyens ci-dessous indiqués si la pile accuse bien ces valeurs.

On mesure la f. é. d'une pile en reliant les deux pôles de celle-ci aux deux bornes d'un *voltmètre*⁽¹⁾; la déviation d'un index sur un cercle gradué permet de lire distinctement le nombre de volts représentant cette f. é.

Quant à la résistance intérieure en ohms elle se déduit, par calcul, de la f. é. en volts, et de l'intensité maximum débitée par la pile exprimée en ampères.

La mesure des intensités s'effectue au moyen des *ampèremètres*⁽²⁾.

Pour mesurer l'intensité maximum débitée par une pile, on la met en court-circuit avec un ampèremètre par un fil gros et court. Cette mesure doit être faite le plus rapidement possible.

Le rapport $\frac{E}{I}$ des volts par les ampères (formule de Ohm p. 44) représente la résistance intérieure en ohms de la pile.

Nous rappelons que la f. é. et la résistance intérieure sont proportionnelles au nombre d'éléments en tension ou en série, et que l'intensité en court-circuit est au contraire la même quel que soit le nombre des éléments en tension (p. 54).

Si la f. é. accusée par le voltmètre est inférieure à celle que devrait donner la pile, c'est que un ou plusieurs des éléments associés sont mauvais; pour les découvrir, il suffira de procéder à la vérification élément par élément, et on éliminera ceux dont la f. é. est au-dessous de la normale.

Lorsque la f. é. est bonne et que l'intensité en court-circuit est trop faible, on peut conclure à un défaut de conductibilité due à ce que les communications des éléments entre eux sont mal assurées. Ce défaut réside souvent dans les prises de contacts qui s'oxydent à la longue.

Si la f. é. et l'intensité sont toutes deux très faibles, on peut conclure, lorsque la pile est nouvellement montée, qu'elle a été épuisée par un court-circuit prolongé, volontaire ou accidentel. Dans ce cas il y a lieu de procéder au rechargement de la pile avec des substances neuves.

(1) Un voltmètre est un galvanomètre à grande résistance.

(2) Un ampèremètre est encore un galvanomètre, mais n'ayant qu'une résistance négligeable.

Les voltmètres et ampèremètres se divisent en trois catégories :

1° ceux qui fonctionnent sous les actions magnétiques des courants ;

2° id id id calorifiques ;

3° id id id électrostatiques.

Enfin si la f. é. et l'intensité sont seulement plus faibles que leurs valeurs normales, le défaut provient de un ou plusieurs éléments qui ont été montés avec de mauvais liquides et de mauvais dépolari-sants. On les découvrira par la méthode d'investigation individuelle que nous avons déjà préconisée plus haut, et on les remplacera par d'autres.

Le voltmètre à utiliser pour mesurer la f. é. d'un élément doit être étalonné de 0,1 à 3 volts, et celui qui sert à mesurer la f. é. totale de la pile doit être étalonné de telle façon que celle-ci corresponde à la moyenne de la graduation.

Ainsi, pour une pile dont la f. é. totale est de 10 volts on emploiera un voltmètre gradué de 1 à 20 volts.

La vérification d'une pile en cours de service s'imposant de temps à autre, il est préférable lorsqu'on dispose des instruments de mesure précédents de les installer à demeure à côté de l'horloge-mère (fig. 54).

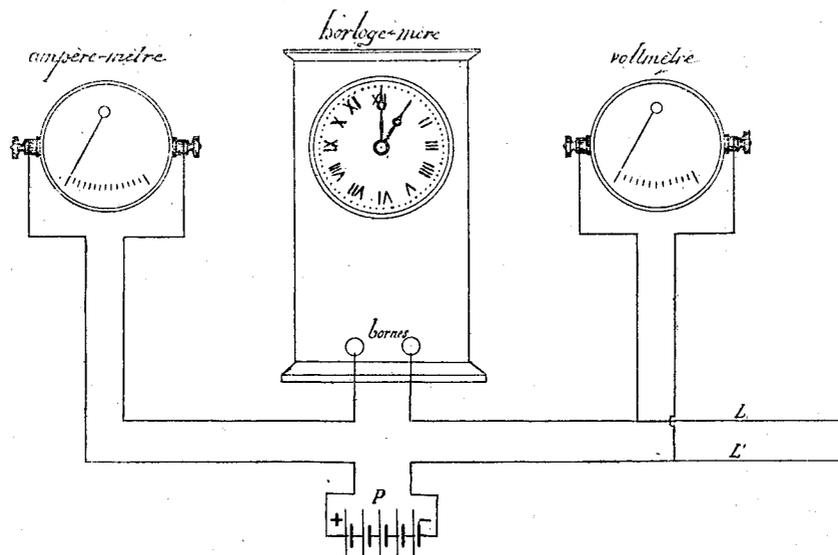


Fig. 54

Il suffit alors, pendant une émission de courant, de jeter un regard sur l'ampèremètre pour lire la valeur, en ampères ou fractions d'ampère, de l'intensité du courant débité par la pile *P*, ou sur le voltmètre pour lire le nombre de volts représentant ici non pas la force électromotrice, puisque la pile débite sur le circuit des récepteurs, lequel est en dérivation sur le circuit du voltmètre (p. 45),

mais la différence de potentiel aux points de départ des fils L et L' servant à canaliser le courant jusqu'aux appareils de réception.

Pour tirer le meilleur parti des observations ci-dessus, la personne chargée de la surveillance de l'installation devra naturellement connaître quelles sont les indications minima au-dessous desquelles la marche des horloges réceptrices n'est plus assurée afin qu'elle ait le temps de parer à une aggravation du mal soit en changeant les éléments dont la force électromotrice est tombée au-dessous du minimum (p. 93) soit en corrigeant les autres défauts qui auraient pu survenir dans l'installation.

Il va de soi que le voltage et l'ampérage devront toujours autant que possible être maintenus supérieurs aux valeurs minima nécessaires pour assurer le fonctionnement des récepteurs horaires. Il faut en effet compter d'une part sur la décroissance progressive de la force électromotrice de la pile, et d'autre part sur la marche ascendante de sa résistance intérieure, deux défauts qui, nous le savons, ont pour résultat d'affaiblir la puissance du courant.

Supposons que le réseau horaire commandé par une horloge-mère comprenne 15 récepteurs en dérivation (p. 42) exigeant chacun une intensité et une différence de potentiel minima égales à 0,04 ampère et 6 volts, et que la perte en volts (p. 45) provoquée par la canalisation soit égale à 1 ; l'ampèremètre et le voltmètre ne devront jamais donner des indications inférieures à $0,04 \times 15 = 0,6$ ampères et $6 + 1 = 7$ volts.

La figure 55 montre encore un poste de distribution horaire qui présente entre autres avantages sur le précédent, celui de faciliter la remise à l'heure des horloges réceptrices lorsque, pour une cause quelconque, elles sont en retard sur l'horloge-mère. A cet effet on fait usage d'un *manipulateur* morse O que l'on voit en profil dans la figure. Ce n'est pas autre chose qu'un type d'interrupteur commutateur monté de telle sorte qu'en lui faisant fermer un circuit, on met hors de ce circuit un appareil qui en fait partie lorsque le manipulateur est dans la position de repos. Dans la figure 55 c'est l'horloge-mère qui est mise hors circuit quand on appuie sur le manipulateur. Les parties essentielles de ce dernier sont un levier prismatique en laiton $m O \bar{n}$ mobile en O sur une chape également en laiton, et deux plots de même métal $m' n'$ que nous dénommerons, comme en télégraphie, l'un *m' plot de travail* et l'autre *n' plot de repos*. Un ressort r , fixé sur la chappe, a pour mission de maintenir énergiquement le levier $m o n$

relevé, et par suite en contact avec le plot de repos par l'intermédiaire d'une vis montée vers l'extrémité n .

En appuyant avec le doigt sur le bouton surmontant l'extrémité du bras $O m$, on rompt la communication entre le plot de repos et le levier $m O n$ et on l'établit entre ce dernier et le plot de travail. Dès qu'on cesse d'appuyer sur le bouton, le ressort r rétablit, après l'avoir rompu avec m' , la communication du levier avec le plot de repos.

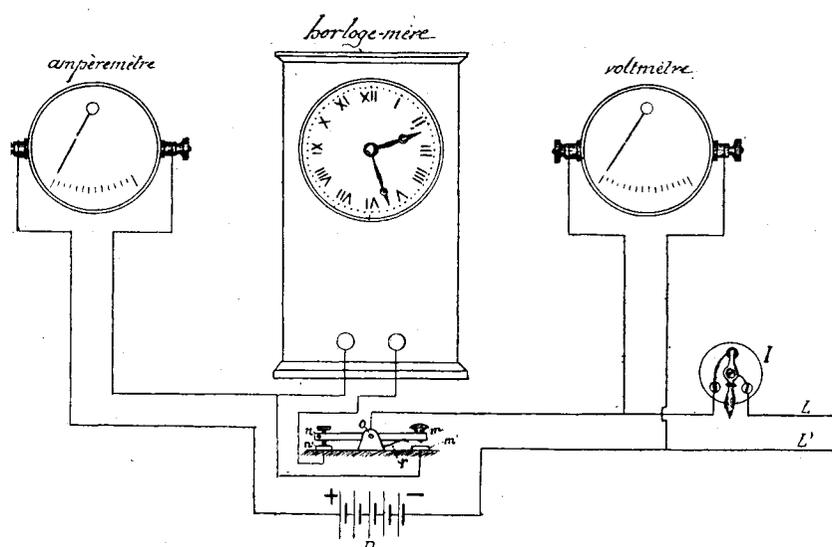


Fig. 55.

Tous les points de contact sont protégés contre l'oxydation par du platine.

Etant au repos, c'est-à-dire dans la position montrée par la figure 55, le manipulateur ne joue qu'un rôle passif. Mais vient-on à constater un retard dans les récepteurs horaires, il suffit, pour faire mouvoir leurs aiguilles, d'abaisser le levier du manipulateur jusqu'à sa rencontre avec le plot m' et de le laisser se relever sous l'influence du ressort antagoniste r , puis de renouveler cette opération jusqu'à ce qu'il y ait concordance entre les aiguilles des horloges distributrice et réceptrices.

Comme bien l'on pense, le rôle du manipulateur ne se borne pas à servir à la remise à l'heure des récepteurs, sinon un simple interrupteur à main remplirait parfaitement cet office ; il permet aussi, et c'est là son principal rôle, de s'assurer du bon état de l'interrupteur de

l'horloge-mère. Quand on voudra procéder à cette vérification, on remplacera pour une émission de courant, l'horloge-mère par le manipulateur. Celui-ci sera maintenu dans la position de travail au moins le laps de temps pendant lequel l'horloge-mère s'y trouve elle-même, cela pour éviter une double émission dont la conséquence serait une avance des récepteurs.

Le manipulateur étant dans la position d'émission, on note les indications données par le voltmètre et l'ampèremètre, et si elles sont identiques à celles relevées lorsque l'émission du courant est faite par l'horloge-mère, on peut conclure que son interrupteur est en bon état.

Si, au contraire, les indications relevées dans le premier cas sont plus faibles que celles relevées dans le second, cela ne peut provenir que du mauvais état de l'interrupteur de l'horloge-mère. Celle-ci devra donc être immédiatement retirée du service pour être réparée. C'est pourquoi, lorsqu'il s'agit d'assurer le fonctionnement d'horloges publiques, il est bon d'avoir à sa disposition une horloge distributrice de réserve. Il est toutefois rassurant de constater que l'inconvénient dont il vient d'être question est des plus rares quand les interrupteurs des horloges-mères sont établis suivant les principes étudiés dans nos premiers articles.

Toujours à l'aide des seuls conducteurs fixes de l'installation, la manœuvre du manipulateur permet encore de mesurer la force électromotrice de la pile. Mais cette mesure ne devant se faire qu'en faisant débiter la pile sur le voltmètre seulement, (l'ampèremètre n'ayant pour ainsi dire pas de résistance peut faire partie de ce circuit), on devra d'abord, avant d'appuyer sur le bouton du manipulateur, couper le circuit des récepteurs ; c'est précisément le rôle de l'interrupteur à manette I que l'on a inséré dans le fil de ligne L . Cette opération faite, on met le manipulateur dans la position de travail et on l'y maintient jusqu'à ce que l'on ait lu sur le voltmètre la force électromotrice en volts de la pile. Il va sans dire que cette mesure devra être faite entre deux émissions de courant ; dans le cas contraire, on devra, l'expérience terminée, et l'interrupteur étant ramené dans la position de circuit fermé, remettre les récepteurs à l'heure au moyen du manipulateur.

Lorsqu'on connaît la force électromotrice, la différence de potentiel et l'intensité du courant, une simple application de la formule de *Ohm* nous permettra de calculer la perte en volts provoquée par la résistance intérieure de la pile ainsi que la valeur ohmique de cette résistance.

En renouvelant ces mesures et calculs, à intervalles de temps

réguliers, on pourra établir une courbe montrant les variations de la résistance intérieure de la pile. Si ces variations sont trop considérables on aura au moins le loisir de ne plus employer le type de pile défectueux utilisé jusqu'alors.

De premier abord, ces connaissances peuvent paraître superflues ; elles sont cependant très utiles quand l'on veut être fixé sur la durée approximative d'une pile devant fournir un travail nettement déterminé.

En dehors des services que nous venons de relater, l'ampèremètre et le voltmètre peuvent à la rigueur servir à découvrir la nature des avaries ou des modifications pouvant être apportées illicitement à l'extérieur du poste de distribution. Par exemple, si un fil principal de la canalisation vient à se rompre avant les récepteurs, l'ampèremètre ne donnera plus aucune déviation ou seulement une déviation insignifiante due au faible courant qui parcourt le voltmètre, tandis que ce dernier donnera un surcroît de déviation. En effet, la pile ne débitant plus que sur un circuit *local* dont seul, en tant qu'appareil résistant, le voltmètre fait partie, c'est par conséquent la force électromotrice de la pile qui est indiquée ; en admettant, bien entendu, que ni l'horlogemètre ni l'ampèremètre n'offrent de résistance électrique.

Les mêmes faits se renouvelleront si les récepteurs étant installés en série, (p. 42), la rupture réside dans l'un deux.

Admettons maintenant que l'ampèremètre donne, contrairement au cas précédent, une déviation supérieure à celle indiquant l'intensité du régime normal et que le voltmètre donne une déviation plus faible que celle représentant la différence de potentiel normale, et cela quoique la force électromotrice de la pile n'ait pas faibli. La majoration d'intensité peut être imputée à un défaut d'isolation, soit dans les fils de la canalisation, soit dans les hélices magnétisantes d'un ou plusieurs électros de récepteurs ; ou bien si ceux-ci sont en dérivation, on a augmenté frauduleusement leur nombre. Quant à la chute de potentiel indiquée par le voltmètre, elle provient de ce que l'intensité du courant parcourant les lignes ayant augmenté, la perte en volts, qui est le produit de cette intensité par la résistance des conducteurs tant liquides que solides, a grandi dans les mêmes proportions. Enfin si l'on constate une diminution dans l'ampérage et une augmentation dans le voltage, la pile et l'horloge étant toujours en bon état, cela ne peut être dû qu'à une oxydation en des points de raccordement des fils de la canalisation, ces points ayant été mal soudés ou ne l'ayant pas été du tout.

Il ressort de ce qui précède que si les ampèremètres et les voltmètres ne sont pas indispensables dans les installations horaires, ils peuvent être d'un grand secours pour localiser les dérangements pouvant survenir tant à l'extérieur qu'à l'intérieur du poste ; on évite ainsi de perdre son temps en tâtonnements.

Lorsqu'une installation horaire est de trop minime importance pour que l'on fasse les frais d'un voltmètre et d'un ampèremètre, on peut se contenter de l'un ou de l'autre de ces appareils. Toutefois quand les récepteurs sont installés en série, on devra utiliser de préférence l'appareil qui est le plus sensible aux variations d'intensité c'est-à-dire l'ampèremètre ; on choisira le voltmètre qui est le plus sensible aux variations de tension, si les récepteurs sont installés en série.

REMARQUE. — En horlogerie électrique, les émissions de courant étant de courte durée, tous les systèmes d'instruments de mesure ne conviennent pas ; certains étant dépourvus, en effet, de toute *apériodicité*.

On dit qu'un galvanomètre quelconque est *apériodique*, lorsque, étant traversé par un courant, son équipement mobile après avoir dévié brusquement prend presque instantanément une position fixe.

La figure 56 montre encore un schéma de poste de distribution horaire dans lequel on fait usage d'un relai (p. 38).

L'ampèremètre est inséré dans le circuit de la grande pile *P* qui actionne les horloges réceptrices par l'intermédiaire du relai ; tant qu'au voltmètre, il est branché, comme précédemment, en dérivation au départ des lignes *L* et *L'*.

Le manipulateur *O* et l'interrupteur *I* permettront de faire les différentes opérations de contrôle que nous avons indiquées plus haut, mais nous ferons observer que ce n'est plus l'interrupteur de l'horlogemère que l'on pourra vérifier, mais celui du relai.

En raison du faible travail qu'elle fournit, la pile qui actionne le relai par l'intermédiaire de l'horloge-mère, peut rester longtemps sans être vérifiée et pour cela même, il n'est point utile d'immobiliser pour elle seule des instruments de mesure. Cependant si l'on dispose d'un voltmètre étalonné pour les faibles voltages, on pourra l'installer comme on le voit dans la figure, et en lui adjoignant un manipulateur

O' et un interrupteur I' ; l'élément p ainsi que l'horloge-mère pourront être vérifiés comme dans le cas de la distribution directe (fig. 55).

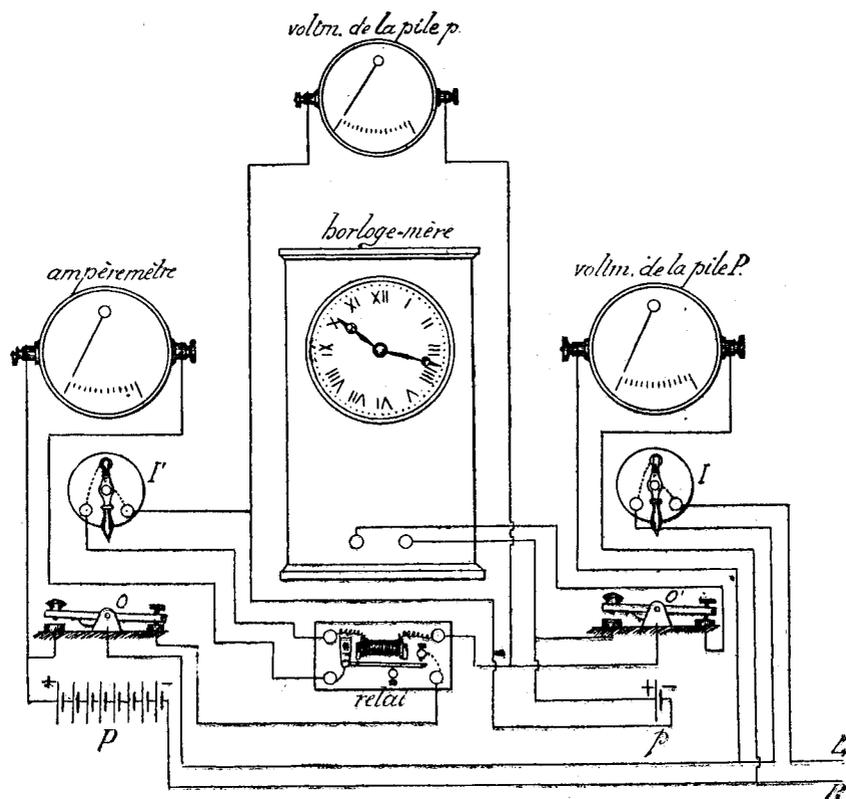


Fig. 56

Piles secondaires ou accumulateurs

On désigne ainsi des appareils dans lesquels de l'énergie électrique est transformée en énergie chimique, laquelle est récupérable à un moment donné en courant électrique. En d'autres termes, les accumulateurs sont des appareils qui servent à transformer l'énergie électrique en énergie chimique et vice versa.

Leur fonctionnement peut être comparé à celui d'un réservoir destiné à recueillir un courant d'eau plus ou moins faible et régulier

qui permet de disposer ensuite d'un débit constant, susceptible d'être rendu supérieur à celui qui a servi à l'emmagasinement.

Ce qui distingue particulièrement les piles secondaires ou accumulateurs des piles voltaïques ou primaires, c'est que leurs produits chimiques, au lieu d'être obtenus, comme dans ces dernières, dans les usines de fabrication, sont créés dans leurs propres éléments au moyen d'un courant électrique.

Dans les piles primaires, les produits chimiques doivent être remplacés au fur et à mesure qu'ils sont épuisés, tandis que dans les accumulateurs, il suffit, pour les reconstituer, de faire passer un courant électrique. Ce dernier est appelé *courant primaire* ou encore *courant de charge*, et le courant restitué par les accumulateurs, courant secondaire ou *courant de décharge*.

Le premier accumulateur a été imaginé par Planté. Il se composait d'un vase imperméable rempli d'eau acidulée au dixième par de l'acide sulfurique, dans laquelle plongeaient deux lames de plomb minces, mais à larges surfaces. Les lames étaient enroulées l'une sur l'autre tout en étant séparées par des bandes de caoutchouc ayant quelques millimètres d'épaisseur.

Pour charger un accumulateur il n'y a qu'à relier les deux lames aux deux piles d'une source d'électricité fournissant un courant d'intensité convenable.

On remarque que la charge est terminée lorsqu'on voit apparaître à la surface du liquide des bulles de gaz⁽¹⁾. A ce moment les deux lames de plomb ne sont plus identiques ; l'une, celle qui est reliée au pôle négatif, présente à sa surface du plomb pulvérulent, assez facile à distinguer à cause de son teint gris noir ; l'autre, qui est reliée au pôle positif, prend une teinte rougeâtre ; c'est de l'oxyde rouge.

Le plomb pulvérulent, qui s'est formé par *électrolyse* sur la lame négative, est attaqué par le liquide acide comme le zinc dans une pile primaire, tandis que la lame positive, qui est très oxydée, n'est pas attaquée. Or, on admet généralement cette hypothèse que la production d'un courant par les actions chimiques, comme dans la pile voltaïque par exemple, est basée sur la différence d'action qu'exerce un liquide

(1) Les gaz libérés sont de l'oxygène et de l'hydrogène provenant de l'*électrolyse* de l'eau. On donne le nom d'*électrolyse* à la décomposition que produit un courant électrique lorsqu'il traverse un composé chimique liquide ou en dissolution.

actif sur deux corps mis en présence ; si donc on relie les lames ci-dessus à un galvanomètre, cet instrument accusera l'existence d'un courant secondaire ou de décharge de sens inverse au courant primaire ou de charge.

La durée du courant de décharge sera limitée à celle du plomb pulvérulent ; de même qu'une pile primaire cesse de débiter du courant lorsqu'il n'y a plus de zinc à brûler.

Après la première charge, le courant de décharge est de très courte durée, car la couche d'oxyde est rapidement réduite ; mais par une série de charges et de décharges dans les deux sens, on l'augmente considérablement, et il arrive un moment où l'accumulateur peut être considéré comme étant *formé*, c'est-à-dire recouvert d'une assez forte couche d'oxyde pour fournir pendant plusieurs heures un courant *non interrompu* d'une certaine intensité.

Ce procédé de *formation* des lames de plomb est très lent ; plusieurs mois sont nécessaires. Pour la hâter, on recommande de plonger les lames dans des bains ayant la propriété de rendre le plomb plus spongieux et portant plus façonnable. Ce bain peut être fait avec de l'acide azotique étendu de la moitié de son volume d'eau dans lequel on laissera les lames de plomb pendant deux ou trois jours. Mais le procédé, activant le plus la formation d'un accumulateur, consiste à appliquer sur ses lames une couche perméable des substances que l'on veut y former. Les substances employées sont des oxydes de plomb comme le minium, ou un sel quelconque de plomb.

Le premier type d'accumulateur, construit d'après ces dernières données, est celui de *Faure*. En fait, il n'existe que deux types d'accumulateurs au plomb⁽¹⁾ : le type *Planté* et le type *Faure*. Ceux-ci se distinguent entre eux par les différents moyens employés par leurs constructeurs pour retenir contre les lames de plomb les couches d'oxyde dont il est parlé plus haut. Depuis quelques années ces moyens se sont multipliés à l'infini, aussi leur description, que l'on peut d'ailleurs trouver dans maints ouvrages⁽²⁾, sort-elle totalement du cadre de la présente étude.

(1) On pourrait employer d'autres métaux, mais actuellement encore on reconnaît que c'est le plomb qui se prête le mieux à l'accumulation de l'énergie électrique.

(2) Nous citerons entre autres le *Manuel pratique du monteur électricien*, par LAFFARGUE.

Force électromotrice et résistance intérieure des accumulateurs

A la fin de la charge, la f. é. d'un accumulateur est de 2,5 volts ;
elle descend à 2,2 volts quand l'accumulateur est au repos.

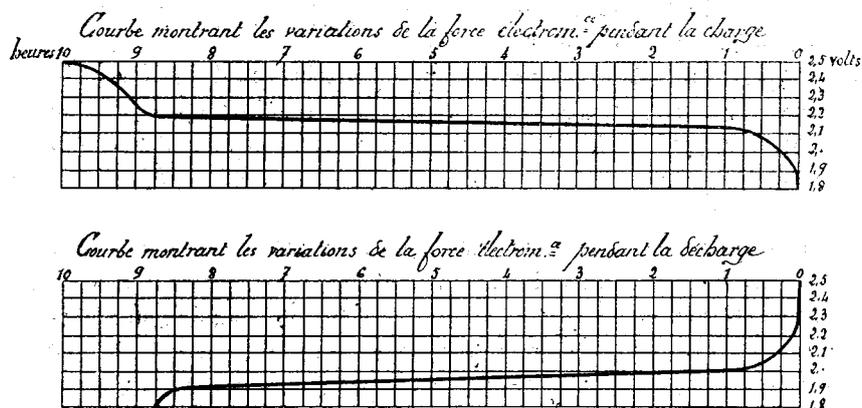


Fig. 57 et 58

Pendant la décharge, la f. é. tombe vite à 2 volts et 1,95 volt où elle se maintient assez longtemps.

Lorsque la f. é. est tombée à 1,85 volt, on doit arrêter la décharge et procéder à une nouvelle charge.

Enfin, comme le montrent les diagrammes ci-dessus (fig. 57 et 58), la f. é. moyenne d'un accumulateur pendant la charge est de 2,15 volts environ et pendant la décharge 1,95 volt.

Tant qu'à la résistance intérieure, elle est excessivement faible quand on la compare à celle d'un élément de pile voltaïque (p. 87) ; en effet, elle atteint à peine 0,001 ohm dans certains éléments de grande capacité. On conçoit, dans ces conditions, que la différence de potentiel, aux bornes d'un accumulateur, puisse être considérée comme étant égale à la f. é.

Aussi lorsqu'on emploie des accumulateurs pour la commande d'un réseau horaire et que l'on veut résoudre l'un des problèmes donnés (p. 48), on peut négliger la perte de tension provoquée par la résistance intérieure.

Intensités des courants de charge et de décharge

Disons tout de suite qu'il faut bien se garder d'adopter des intensités trop élevées; on devra se conformer aux valeurs en ampères fixées par le constructeur.

En général l'intensité du courant de charge varie entre 0,5 à 1 ampère par kilogramme de lames de plomb; celle du courant de décharge varie entre 1 et 2 ampères pour le même poids de plomb. Le courant de charge peut être plus faible que celui fixé ci-dessus, sans cependant l'être trop, sinon les effets chimiques ne pourraient plus se réaliser.

A propos de la décharge des accumulateurs, faisons observer combien il est important lorsqu'il s'agit de types à oxydes rapportés de les préserver des courts-circuits, car, en raison de leurs faibles résistances intérieures, ils fourniraient des courants de décharge énormes, qui occasionneraient la déformation des lames de plomb et la chute des matières actives, c'est-à-dire des oxydes rapportés.

Ainsi on se gardera bien de faire avec un accumulateur une mesure qui peut se faire avec une pile dans le but de connaître le courant maximum qu'elle peut débiter, mesure qui consiste, comme il est dit à la page 94, à brancher directement un ampèremètre, qui n'a pas ou à peu près pas de résistance ohmique.

Capacité des accumulateurs

La *capacité* des accumulateurs, comme celle des piles voltaïques, est très variable; elle dépend du poids du plomb qui rentre dans les lames.

C'est pour augmenter la *capacité* que la plupart des accumulateurs modernes comportent un grand nombre de lames de plomb p et n (fig. 59) disposées parallèlement et maintenues séparées par des baguettes de verre ou d'ébonite. Les lames paires représentent un pôle de l'accumulateur et les lames impaires l'autre pôle. La série paire est réunie à une traverse en plomb N et la série impaire à une traverse également en plomb P . Sur P et N sont fixées les bornes qui servent de prises de courant.

Comme pour les courants de charge et de décharge, la capacité des accumulateurs est indiquée par leurs constructeurs; elle est, en général, de 10 à 12 ampères-heure par kilogramme de plomb.

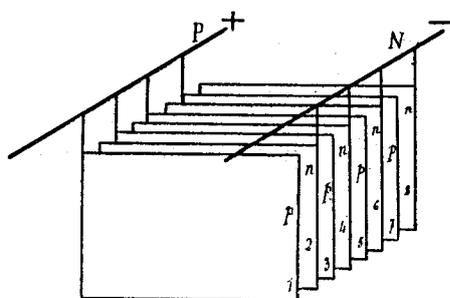


Fig. 59

Mais, pour un même accumulateur, la capacité, loin d'être immuable, subit au contraire d'assez grandes variations, suivant que le débit adopté est plus ou moins intense. Ainsi tel accumulateur, dont la capacité est de 26 ampères-heure pour une décharge en dix heures, ne possède plus qu'une capacité de 15 ampères-

heures pour une décharge en trois heures.

Rendement d'un accumulateur

Si pour évaluer le rendement d'un accumulateur on se plaçait au même point de vue que pour le rendement d'une pile (p. 60), on trouverait le premier énorme par rapport au second, l'accumulateur n'ayant presque pas de résistance intérieure; mais pour ce qui concerne les accumulateurs, le rendement s'évalue d'une autre façon.

D'abord on distingue le *rendement en quantité* et le *rendement en énergie*. Le premier est représenté par le rapport de la quantité d'électricité que l'accumulateur peut fournir à la décharge, à la quantité d'électricité qu'il a reçu à la charge; d'où :

$$\text{rendement en quantité} = \frac{\text{décharge en ampères-heure}}{\text{charge en ampères-heure}}$$

Ainsi, d'après ce que nous avons vu dans le précédent paragraphe, le rendement en quantité d'un accumulateur est meilleur lorsqu'il débite un faible courant que lorsqu'il débite un courant intense.

Pour une décharge normale, le rendement en quantité peut atteindre 90 p. 0/0.

Le *rendement en énergie* est représenté par le rapport de l'énergie fournie à la décharge, par l'énergie reçue à la charge. On obtient la première en faisant le produit de la f. é. moyenne à la décharge (1,95 volt) par les ampères-heures fournis par l'accumulateur. De même qu'on obtient la seconde en faisant le produit de la f. é. moyenne à la

charge (2,15 volts) par les ampères-heure reçus ; d'où :

$$\text{rendement en énergie} = \frac{1,95 \times \text{ampères-heure fournis}}{2,15 \times \text{ampères-heure reçus}}$$

ou encore : rendement en énergie = rendement en quantité $\times \frac{1,95}{2,15}$.

Le rendement en énergie est par conséquent toujours inférieur au rendement en quantité ; il varie entre 60 et 75 p. 0/0.

Groupement des Accumulateurs

On groupe les accumulateurs de la même façon que les piles primaires ; quant au choix du mode de groupement à adopter, il se fait par des considérations analogues à celles que nous avons développées pages 53 et suivantes.

Toutefois le groupement en tension est celui qui est le plus usité ; cette faveur s'explique par le fait que, trouvant dans l'industrie des accumulateurs de toutes capacités et par conséquent de tous débits, il est plus simple, pour éviter les groupements en quantité ou mixtes de faire choix d'un type d'accumulateur capable de fournir, à lui seul, le courant de décharge dont on a besoin. A cet égard, pour ce qui concerne l'horlogerie, du moins, on ne saurait être embarrassé, les courants de décharge employés ne dépassant que bien rarement un ou deux ampères.

Quand le besoin ne s'en fait pas sentir il est inutile, parce que très

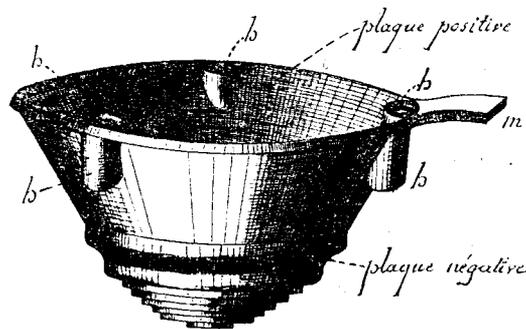


Fig. 60

onéreux, de faire usage d'accumulateurs à grand débit, le prix d'achat de ces derniers, étant comme bien l'on pense, en rapport avec leurs capacités. Cependant il est préférable de demander à un accumulateur un courant de décharge légèrement

inférieur à celui maximum qu'il est capable de donner. C'est la

règle que nous nous sommes imposée avec les accumulateurs utilisés à l'École pour la distribution de l'heure ; quoiqu'ils aient été construits pour des débits pouvant aller jusqu'à deux ampères, on ne leur fait débiter qu'un ampère au plus.

Ces accumulateurs méritent d'être mentionnés ici, non seulement à cause des particularités de construction qu'ils présentent par rapport aux modèles ordinaires, mais surtout pour la façon heureuse avec laquelle ils se prêtent au groupage en tension.

La figure 60 représente un élément. C'est, on le voit, une cuvette en plomb qui, chose curieuse, comporte à la fois la plaque positive et la négative ; la première est à l'intérieur et la seconde à l'extérieur. Pour montrer une batterie en tension avec ces sortes d'accumulateurs, point n'est besoin de les relier entre eux par des conducteurs métalliques, comme on est tenu de le faire avec les accu-

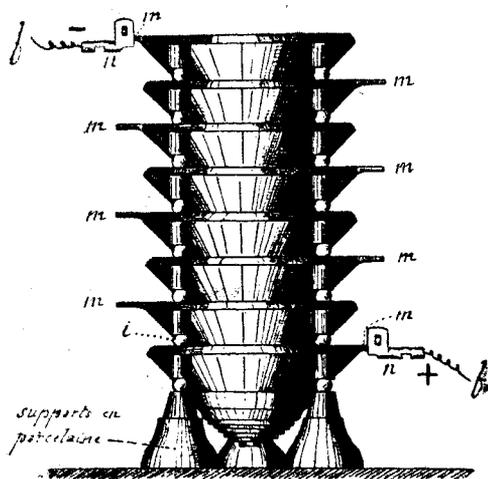


Fig. 61

mulateurs de construction courante et les piles voltaïques, il suffit en effet de les superposer les uns sur les autres comme une pile d'assiettes, en prenant seulement la précaution, au fur et à mesure que l'on met un élément en place, de l'isoler de ses deux voisins par des billes en verre *i* (fig. 61). Pour recevoir ces billes, des renflements *h* sont ménagés dans chaque élément à raison de trois

sur la face concave et autant sur la face convexe (fig. 60).

Une fois les éléments en place, on verse dans chacun d'eux, jusqu'à un centimètre du bord, de l'acide sulfurique chimiquement pur ayant une densité de 22° Baumé. A ce moment les accumulateurs se trouvent tout naturellement groupés en tension, et c'est le liquide acide qui, à part les fonctions qu'on lui connaît, sert à établir la relation électrique entre les plaques positives et négatives de deux éléments consécutifs ; on est par conséquent à l'abri des surcroits de résistance

qui occasionnent quelquefois, dans les accumulateurs ordinaires, l'oxydation aux points de jonction des conducteurs métalliques reliant le positif d'un élément au négatif de l'élément suivant.

Un autre avantage d'importance plus grande, c'est que la chute des matières actives ne peut entraîner de courts-circuits entre les plaques voisines, ces matières tombant dans une cavité ménagée au fond de chaque élément.

La liaison des fils f du circuit extérieur avec les pôles de la batterie s'opère par les oreillettes en plomb m dont chaque accumulateur est muni ; sur l'une ou l'autre de ces oreillettes peut être claveté un raccord n , également en plomb, percé à son extrémité libre d'un trou dont la section correspond à celle des fils f . Ces derniers peuvent être simplement ajustés à force dans leurs trous ou, ce qui vaut mieux, y être soudés.

La détermination des pôles peut, de prime abord, prêter à confusion étant donné qu'il n'y a qu'une prise de courant par accumulateur. Cependant si l'on observe bien la batterie, on voit que l'accumulateur du haut, de même que celui du bas, n'ont chacun qu'une seule face utilisée ; dans le premier, c'est la face convexe, c'est-à-dire la plaque négative et dans le second la face concave, soit la plaque positive. Par suite l'élément inférieur constitue le pôle positif de la batterie et l'élément supérieur le pôle négatif.

Il résulte donc du mode de construction de ces accumulateurs une chose qui, à priori, peut sembler paradoxale à savoir que pour réaliser un seul accumulateur il en faut deux, puisqu'il y a toujours deux plaques inutilisées. Par contre, quel que soit le nombre des accumulateurs montés en tension, il n'en faudra jamais qu'un seul en supplément du nombre utile. Ainsi dans la batterie que montre la fig. 61, sur huit éléments qu'elle comporte, il y en a sept utilisables.

Il nous resterait maintenant à dire comment ces accumulateurs se comportent en service. Pour le moment nous ne pouvons encore nous prononcer, mais lorsque les batteries, que nous utilisons, auront au moins deux ans de service, qui est le laps de temps prévu entre deux nettoyages, nous nous réservons de faire connaître par un article spécial, si les résultats que nous aurons obtenus nous permettent de recommander ce genre d'accumulateurs aux horlogers électriciens.

Sources d'électricité employées pour la charge des accumulateurs

Toutes les sources primaires peuvent servir à charger les accumulateurs, mais les seules pratiques sont les *machines dynamos à courant continu*. Parmi ces dernières nous devons même, pour des raisons ne pouvant être énumérées ici, donner la préférence à celles dites à *excitation en dérivation*.

Un moyen plus à la portée de tout le monde consiste à utiliser les secteurs d'éclairage ou de transport de force, lorsque ces secteurs sont alimentés par les machines ci-dessus. Mais cette méthode de charge est coûteuse lorsque la batterie à charger n'est formée que d'un petit nombre d'éléments, ce qui est généralement le cas pour les batteries employées en horlogerie électrique.

En effet les différences de potentiel sous lesquelles se font les distributions d'électricité industrielle étant toujours élevées, au minimum 100 et 120 volts, on est dans l'obligation, pour charger quelques accumulateurs seulement sous de pareilles tensions, de s'imposer des pertes en volts considérables (p. 45). C'est ce que nous allons nous efforcer de démontrer.

Nous ferons d'abord observer que pendant la charge, la force électromotrice d'une batterie d'accumulateurs, devient une force contre-électromotrice ; par conséquent dans l'application de la formule de Ohm, $I = \frac{U}{R}$, aux calculs des intensités des courants de charge, il faudra retrancher de la différence de potentiel U de la source de charge la force électromotrice E des accumulateurs. Il vient alors :

$$I = \frac{U - E}{R} \quad (1)$$

Pour un nombre n d'accumulateurs en tension ayant chacun une force électromotrice E et une résistance r , la formule (1) s'écrira :

$$I = \frac{U - E n}{r n} \quad (2)$$

Or, on n'ignore pas que pour chaque type d'accumulateur, l'intensité I du courant de charge est fixée d'avance et que la f. é. est connue, ainsi que la résistance intérieure qui d'ailleurs, même pour les petits éléments, est le plus souvent négligeable en pratique ; il ne reste donc dans l'équation (2) qu'une inconnue U , facile à déterminer :

$$U = E n + r n I \quad (3)$$

ou $U = E n + e n$

e représentant la perte en volts provoquée par la résistance intérieure d'un accumulateur.

Donnons un exemple numérique.

Soit à charger, avec un courant de 2 ampères, 5 accumulateurs groupés en tension dont la résistance intérieure particulière est de 0,05 ohm. Quelle doit être la différence de potentiel de la source de charge en supposant que les fils de connexions n'aient pas de résistance appréciable.

Ces accumulateurs peuvent être chargés soit à *intensité constante* et différence de potentiel variable, soit à *différence de potentiel constante* et *intensité variable*.

La charge à *intensité constante* n'est guère employée que pour des expériences de détermination de rendement ; elle n'est pas du tout pratique à cause de la surveillance qu'elle nécessite. Il faut, en effet, suivre pas à pas la marche ascendante de la force contre-électromotrice et élever au fur et à mesure la différence de potentiel de charge, afin de conserver le même rapport entre ces deux dernières grandeurs.

La conséquence de ce que nous venons de dire est qu'avec la charge à potentiel constant, qui est celle que nous choisirons, l'intensité du courant de charge va en diminuant jusqu'à la fin de la charge, ce qui ne constitue pas un défaut, au contraire, puisqu'il est reconnu que l'on doit charger les accumulateurs avec des intensités plutôt inférieures à celles fixées par les constructeurs.

Pour résoudre la question précédente nous poserons donc (3)

$$U = 1,85 \times 5 + 0,05 \times 5 \times 2 = 9,75 \text{ volts,}$$

qui représentent la différence de potentiel que doit posséder la source de charge.

Si cette dernière est représentée par une dérivation prise sur une distribution à 120 volts, il faudra perdre

$$120 - 9,75 = 110,25 \text{ volts,}$$

que l'on pourra faire absorber par une résistance factice, réalisée soit par une certaine longueur de fil métallique, soit par une ou plusieurs lampes à incandescence.

La valeur ohmique de cette résistance sera égale au quotient de la perte en volts par l'intensité I ; on peut donc écrire

$$R = \frac{e}{I} = \frac{110,25}{2} = 55,125 \text{ ohms.}$$

Pour la construction de cette résistance, nous emploierons du fil de fer, par exemple, d'une section correspondant à une densité convenable (p. 73) et nous calculerons la longueur l de ce fil au moyen de la formule $l = \frac{R d^2}{\alpha}$ (p. 51).

Si l'on adopte un diamètre de $0 \text{ m}^m 7$, ce qui représente une densité de 5 ampères par millimètre carré de section, on a (le coefficient α , étant pour le fer, 0,123 ohm)

$$l = \frac{55,125 \times 0,72}{0,123} = 220 \text{ mètres.}$$

Dans le but d'en réduire le volume, le fil rentrant dans une résistance factice est enroulé en boudinettes dont les spires sont assez espacées pour éviter qu'il ne se produise des courts-circuits entre elles.

Même ainsi faites, les résistances factices sont assez encombrantes, et puis il faut généralement les établir soi-même, ce qui n'est pas à la portée de tout le monde ; aussi leur préfère-t-on les résistances présentées par les filaments de charbon des lampes à incandescence.

Ce système est souvent des plus avantageux lorsqu'on utilise en même temps l'éclairage des lampes, comme cela a lieu à l'École, où les résistances intercalées dans nos circuits de charge ne sont autres que les lampes servant à éclairer les escaliers, la véranda et le portail. Ces lampes étant comprises dans l'éclairage général de l'établissement, le courant de charge ne coûte par conséquent rien.

Pour évaluer la résistance d'une lampe à incandescence il faut connaître :

- 1° son intensité lumineuse en bougies ;
- 2° la puissance électrique absorbée par bougie ;
- 3° la différence de potentiel pour laquelle elle a été construite.

Dans les lampes ordinaires, on estime qu'une bougie exige une puissance de 3,5 watts environ. Il est clair que des lampes de deux, quatre, dix, seize... bougies nécessiteront une puissance deux, quatre, dix, seize... fois plus grande ; et si ces lampes sont construites pour fonctionner sous le même voltage, elles laisseront passer deux, quatre, dix, seize... fois plus d'ampères qu'une lampe de une bougie ; par suite leurs résistances doivent être deux, quatre, dix, seize... fois plus petites.

On le voit, les résistances de deux lampes à incandescence sont en raison inverse de leurs intensités lumineuses exprimées en bougies.

Si donc nous désignons par J et J' les intensités lumineuses respectives des deux lampes, et par R et R' leurs résistances, nous pouvons écrire :

$$\frac{J}{J'} = \frac{R'}{R} \quad (4)$$

Rien ne sera plus facile désormais que de déterminer qu'elle doit être l'intensité lumineuse J d'une lampe devant servir de résistance dans le circuit de charge d'une batterie d'accumulateurs, si l'on connaît la résistance R que doit avoir cette lampe, ainsi que la résistance R' d'une autre lampe, construite pour le même voltage, dont l'intensité lumineuse J' est également connue.

On peut alors poser : (4)

$$J = \frac{J' R'}{R} \quad (5)$$

EXEMPLE. — Calculer une lampe destinée à servir de résistance R dans le circuit de charge du dernier problème ($R = 55,425$ ohms).

Nous nous servirons comme base d'une lampe de dix bougies. Une bougie exigeant une puissance de 3,5 watts, dix bougies en exigeront dix fois plus, soit $P = 35$ watts.

Le nombre d'ampères I qui passeront par la lampe de dix bougies (sous 120 volts) se déduira de la relation $I = \frac{P}{U}$ (p. 47)

$$I = \frac{35}{120} = 0,291 \text{ ampère.}$$

Enfin la relation $R = \frac{U}{I}$ nous servira à calculer la résistance R' de la lampe

$$R' = \frac{120}{0,291} = 412 \text{ ohms environ.}$$

Remplaçons maintenant par des chiffres les lettres de la proportion (4) dont les valeurs sont connues, il vient :

$$\frac{J}{10} = \frac{412}{55,425}$$

d'où l'on tire (5) :

$$J = \frac{10 \times 412}{55,425} = 74 \text{ bougies environ.}$$

Une lampe de 74 bougies, intercalée dans le circuit de charge des

cinq accumulateurs du précédent problème, laissera passer le courant de charge qui a été fixé, soit 2 ampères.

Il est possible que l'on n'ait pas à sa disposition une telle lampe ; dans ce cas on pourra prendre deux lampes installées en dérivation (p. 43) de trente-sept bougies chacune, ou cinq lampes toujours en dérivation, dont quatre seront de seize bougies et la cinquième de dix bougies seulement.

Ces calculs ne sauraient prétendre à une bien grande précision, car pour des lampes données comme ayant le même pouvoir éclairant, les résistances ne sont pas toujours exactement les mêmes ; d'autre part pour une même lampe la résistance varie avec son degré d'incandescence. Néanmoins on peut considérer ces calculs comme étant suffisants pour la pratique. Du reste on évitera toute erreur en contrôlant le courant de charge au moyen d'un ampèremètre.

On peut encore calculer les lampes à incandescence destinées à être insérées dans des circuits de charge en fonction de la puissance totale dépensée par ces derniers.

Ainsi veut-on charger, comme précédemment, p. 111, par l'intermédiaire d'une lampe laissant passer un courant de 2 ampères, emprunté à une canalisation de lumière sous 120 volts, une batterie de 5 accumulateurs, présentant une force contre-électromotrice minimum de 9,75 volts et une résistance intérieure de 0,25 ohm, nous dirons :

La dérivation qui comprendra la lampe et les accumulateurs absorbera une puissance totale de

$$120 \times 2 = 240 \text{ watts ;}$$

or, comme une bougie dépense 3,5 watts (p. 112), la dépense totale correspond à un pouvoir éclairant de

$$\frac{240}{3,5} = 68 \text{ bougies environ.}$$

Mais toute la puissance totale n'est pas dépensée en lumière, une partie est en effet dépensée sous forme d'énergie chimique représentant ce qu'on appelle la charge des accumulateurs. On détermine cette dernière partie au moyen de la relation

$$P = (E + e.) I$$

dans laquelle les lettres ont la même signification que dans les formules (1), (2) et (3).— p. 110.

Remplaçons ces lettres par leurs valeurs, il vient :

$$P = (9,75 + 0,25 \times 2) 2 = 20,5 \text{ watts.}$$

Dès lors la puissance dépensée par la lampe seule est :

$$240 - 20,5 = 219,5 \text{ watts.}$$

Une telle lampe, pour laisser passer 2 ampères, devra nécessairement être construite pour une différence de potentiel correspondant aux autres facteurs P et I . Comme $P = UI$, on a :

$$U = \frac{P}{I} = \frac{219,5}{2} = 110 \text{ volts en chiffres ronds}$$

et l'intensité lumineuse sera de $\frac{219,5}{3,5} = 62,27$ bougies.

Pratiquement, on pourra choisir une lampe de 60 bougies, ou plusieurs lampes en dérivation représentant ce pouvoir éclairant construites pour une différence de potentiel de 110 volts. Les lampes d'une telle tension se construisent couramment dans l'industrie.

On trouve actuellement dans le commerce de petits appareils portatifs comportant tout ce qui est nécessaire pour prendre facilement une dérivation sur une distribution à courant continu à l'effet de charger de petites batteries d'accumulateurs.

Ces appareils se composent d'une planchette d'ébonite sur laquelle sont fixées quatre bornes dont deux sont reliées aux pôles de la batterie et les deux autres aux extrémités d'un cordon bifilaire souple qui est terminé par un bouchon-prise de courant qu'il suffit de visser sur une douille de lampe à incandescence. Sur la même planchette se trouvent, en outre de la lampe rhéostat que l'on peut changer à volonté, un chercheur de pôles dont la résistance est de 15.000 ohms et un interrupteur permettant de faire passer momentanément le courant de charge dans le chercheur de pôles. On reconnaît le pôle négatif à une petite tache rouge qui disparaît aisément par l'agitation.

Les chercheurs ou indicateurs de pôles sont en général tous basés sur les propriétés décomposantes des courants. Il en existe une infinité de types. Mais le plus simple est certainement le suivant :

Tout le monde connaît le tirage au ferro-prussiate fait dans les ateliers de mécanique pour les calques de dessin; le dessin sur ces tirages apparaît en traits blancs sur fond bleu. Si l'on prend un peu de ce papier, qu'on le mouille légèrement et qu'on le touche avec deux conducteurs reliés à une canalisation de 100 à 220 volts, le pôle négatif laissera une tache blanche caractéristique.

L'explication en est facile. Le bleu de prusse dont est imprégné le papier est électrolysé (p. 102) ; de la potasse apparaît au pôle négatif où elle décolore le papier.

Comme nous l'avons préconisé, si pour la charge des accumulateurs, on trouve à utiliser les lampes qui sont nécessaires à la fois comme appareils de lumière et de résistance, c'est parfait. Par contre leur emploi, comme d'ailleurs celui de toute autre résistance factice, devient onéreux lorsque leur rôle se borne à servir de résistance électrique.

Cet inconvénient s'aggrave lorsque les différences de potentiel des sources de charge sont élevées et que les batteries à charger n'ont à opposer à ces grandes tensions que de faibles forces contre-électromotrices tout en exigeant des courants de charge intenses.

Dans ce cas, l'emploi des *moteurs-transformateurs* est tout indiqué.

On désigne ainsi des appareils qui ont pour but de modifier les facteurs de puissance de deux machines dynamos reliées mécaniquement d'axe à axe et destinées, l'une à tourner comme machine motrice et l'autre comme génératrice.

La machine motrice, ou si l'on veut le moteur, est établi pour pouvoir être branché directement en dérivation sur une distribution de courant de tension nettement déterminée en empruntant une quantité d'électricité également déterminée.

La majeure partie de l'énergie électrique consommée dans le moteur est transformée en énergie mécanique qui est entièrement dépensée à faire tourner la dynamo génératrice laquelle, à son tour, reproduit l'énergie électrique initiale moins une perte variable avec la grosseur et les types de machines. Mais les facteurs U et I qui constituent les puissances électriques respectives de chaque machine sont modifiés ; dans l'une, la motrice, U est élevé tandis que I est faible ; dans l'autre, la génératrice, U est au contraire faible et I élevé.

Ainsi, dans le moteur-transformateur que possède l'Ecole, le moteur a été construit pour fonctionner sous une tension U de 120 volts en absorbant une intensité I de 3 ampères seulement, et la génératrice restitue 16 ampères sous 45 volts, Ce qui fait un rendement de 66 pour cent environ.

Dans les machines puissantes, le rendement est meilleur.

Quelquefois les moteurs-transformateurs se résument en une seule machine, laquelle comporte alors deux enroulements distincts, l'un de fil fin, c'est celui du moteur, et l'autre, celui de la génératrice de fil gros et court.

Ces sortes d'appareils sont peu encombrants et leur rendement est parfois supérieur à celui des précédents.

On construit également pour la charge des accumulateurs des moteurs-transformateurs dont le but principal est de transformer des courants alternatifs mono ou polyphasés en courants continus ; on sait que les courants alternatifs sont impropres à la charge des accumulateurs.

Enfin, on se sert encore de *redresseurs de courants alternatifs* basés sur l'électrolyse. Dans ces derniers, on utilise les propriétés électrochimiques de lames de charbon et d'aluminium plongées dans des solutions spéciales et qui ne laissent passer le courant *que dans un sens*. Par leur fonctionnement, ces appareils peuvent être comparés à des clapets ou soupapes électrolytiques.

Depuis peu de temps, il paraîtrait même qu'un inventeur, M. Graetz, aurait imaginé un nouveau redresseur électrolytique qui, contrairement au précédent qui n'utilise que la moitié de l'énergie totale du courant, l'utiliserait en entier.

Observations concernant l'emploi des moteurs-transformateurs comme source de charge

Il peut arriver que la différence de potentiel U du courant fourni par la génératrice soit inférieure à la force électromotrice de la batterie à charger. En effet, si celle-ci comporte, par exemple, 8 accumulateurs et que U égale 12 volts seulement, la charge en *tension* (p. 55) est impraticable car la force contre-électromotrice de $(2,5 \times 8) = 20$ volts. On tourne la difficulté en groupant les accumulateurs d'une manière mixte.

Les chiffres donnés dans ce dernier exemple commandent de former deux séries de quatre éléments chacune (p. 57) ; la charge devient alors possible, la force contre-électromotrice n'étant plus que de $(2,5 \times 4) = 10$ volts.

Mais il ne faut pas oublier que les deux séries étant groupées en quantité, le courant de charge se répartira en deux parties égales ; il faudra par conséquent le doubler si l'on veut que la charge s'opère dans le même temps que si les accumulateurs étaient groupés en tension.

On pourrait de même opérer la charge des 8 accumulateurs ci-dessus au moyen d'une génératrice n'ayant qu'une différence de potentiel de 6 ou 3 volts, en opposant pour la première tension, un groupement mixte de quatre séries de deux éléments, et, pour la deuxième tension, en groupant les 8 accumulateurs en quantité (p. 56).

Le courant de charge, dans le premier cas devrait être multiplié par 4, et par 8 dans le second.

Il faut éviter, et ceci est de première importance, de mettre une batterie d'accumulateurs dans le circuit d'une dynamo génératrice non en fonction. Avant de faire cette opération, on doit attendre que le moteur-transformateur, préalablement mis en marche, ait atteint sa vitesse normale, soit le moment où la différence de potentiel est maximum. Sans cette précaution, les accumulateurs se déchargeraient à travers la génératrice dont la résistance intérieure est toujours très faible.

Même observation en ce qui concerne l'arrêt de la charge ; on doit d'abord ouvrir le circuit de charge avant d'arrêter les machines.

Un accident de la nature de celui que nous venons de signaler peut résulter d'un arrêt intempestif des dynamos ; on le prévient en intercalant dans les circuits de charge des appareils dénommés *disjoncteurs* ou encore des *conjoncteurs-disjoncteurs*. Nous en décrivons quelques spécimens un peu plus loin.

Durées de la charge et de la décharge

Connaissant la capacité d'une batterie d'accumulateurs, la durée de la charge se calculera au moyen de la formule $t = \frac{Q}{I}$, dans laquelle Q désigne la capacité en ampères-heure, I l'intensité en ampères du courant de charge et t le temps exprimé en heures. Si la charge se fait à intensité variable (p. 111), I représente alors l'intensité moyenne.

On pourra d'ailleurs s'assurer que la charge est terminée au moyen d'un *densimètre*, qui, à ce moment, doit marquer 26° Beaumé.

Quand les accumulateurs sont en bon état, le bouillonnement du liquide est aussi un indice de fin de charge. Mais le moyen le plus rationnel consiste à vérifier au moyen d'un voltmètre si chaque accumulateur donne bien 2,5 volts. Ajoutons qu'un excès de charge n'est pas nuisible. Ce détail a son importance dans les applications à l'horlogerie électrique.

La durée de la décharge se calcule encore avec la formule précédente, mais I désigne l'intensité du courant de décharge et Q la capacité utile, qui se déduit du rendement en quantité (p. 106).

Divers appareils susceptibles d'être utilisés dans les installations horaires alimentées par des accumulateurs.

Disjoncteurs

Les disjoncteurs sont en quelque sorte des coupe-circuits, (p. 74) différant de ceux que nous connaissons en ce que leurs fonctions s'opèrent quand l'intensité du courant qui les parcourt tombe au-dessous d'une certaine limite.

C'est dans ce but qu'on les utilise quelquefois dans les circuits de charge des accumulateurs pour prévenir les accidents qui pourraient résulter d'une prédominance de la force contre-électromotrice de la batterie sur la différence de potentiel de la source de charge.

Le disjoncteur, que représentent dans ses deux positions extrêmes

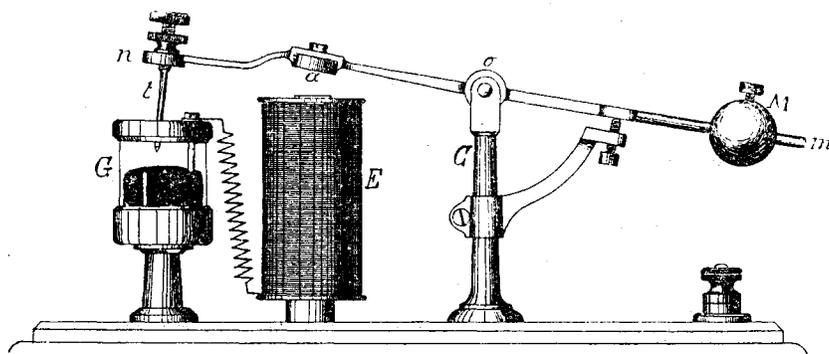
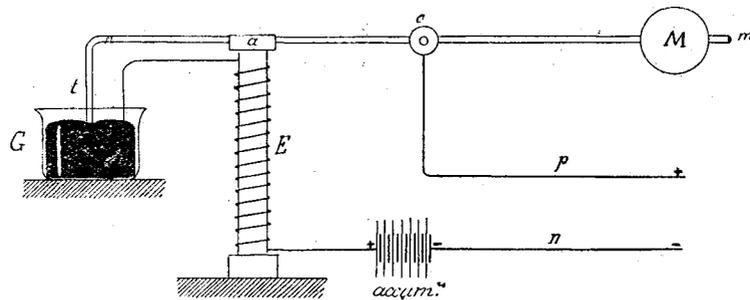


Fig. 62

la figure 62, montrant une vue d'ensemble, et la figure schématique 63, se compose d'un électro-aimant E formé de quelques spires de gros fil,

d'un godet G partiellement rempli de mercure et d'un levier m, o, n mobile en o . Ce levier comporte, en m , une masse M et, sur les bras $o n$, une armature a et une tige de platine t plongeant ou destinée à plonger dans le mercure du godet G lorsque le circuit électrique, dont fait partie l'électro E , doit être fermé.

Les communications étant établies comme le montre le schéma 63, on rapproche, en soulevant la masse M avec la main, l'armature a des



$p + n$ fils aboutissant à la source de charge.

Fig. 63

pôles de l'électro E . A ce moment le circuit comprenant la source de charge, les accumulateurs à charger et l'électro-aimant E , est fermé (fig. 63) ; ce dernier prenant aussitôt de l'aimantation maintiendra, par l'action attractive qu'il exerce sur l'armature a , le levier m, o, n dans la position de circuit fermé aussi longtemps que l'intensité du courant de charge ne faiblira pas outre mesure.

Dans le cas contraire, l'influence magnétique de l'électro s'affaiblissant, l'armature obéit à l'action de la masse M et rompt le circuit.

Il y a cependant un cas où un tel disjoncteur peut ne pas agir, c'est celui de l'arrêt brusque du courant débité par la dynamo, arrêt qui, entre autres causes, peut être provoqué par la rupture de son circuit d'excitation. Le courant de charge peut alors être remplacé avec assez de rapidité par le courant de décharge des accumulateurs avant que le levier m, o, n n'ait eu le temps d'obéir à l'action de la masse M .

Pour éviter cet accident qui, par suite de peu de résistance de l'électro, pourrait avoir les conséquences que l'on sait (p. 105), on n'aurait qu'à remplacer la masse M , par un ou deux ressorts antagonistes dont l'effet sur l'armature serait sans doute beaucoup

plus prompt. On ne saurait mieux faire que de citer comme exemple le mode de montage de l'armature dans le télégraphe Hughes. Mais le moyen le plus sûr consiste à employer un disjoncteur à *armature polarisée*.

La polarisation de l'armature est réalisée, soit par un aimant permanent, soit par un électro-aimant, ayant une résistance convenable, que l'on fait exciter par un ou deux éléments pris dans la batterie même à charger.

La fig. 64 montre un disjoncteur de la première catégorie :

E est la bobine recouverte de gros fil ; un bout de celui-ci communique avec le mercure contenu dans le godet G , et l'autre avec l'un des conducteurs p du circuit de charge ;

NS est l'aimant permanent ;

$a a'$ est une armature en fer doux dont le centre de mouvement est en a . Le centre de la bobine est assez évidé pour permettre à

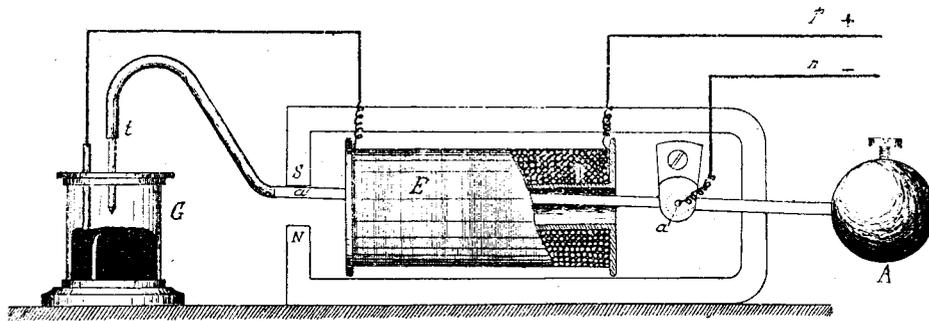


Fig. 64

l'armature d'osciller quand il y a lieu, entre les pôles nord et sud, N et S , de l'aimant.

Du côté de a' , l'armature se termine par une tige recourbée t qui plonge dans le mercure lorsque l'armature occupe la position inverse de celle vue fig. 64.

L'armature et la tige t sont équilibrées par un contre-poids A ; aussi tant que l'électro n'est le siège d'aucun courant, l'armature peut occuper indifféremment l'une ou l'autre de ses positions extrêmes, c'est-à-dire rester attirée soit contre le pôle N de l'aimant, soit contre le pôle S . Mais si un courant vient à parcourir le fil de la bobine, l'armature, devenant sous son influence et pour son propre compte un aimant, temporaire il est vrai, acquerra à ses deux extrémités a et a'

deux pôles magnétiques contraires ; et si, par exemple, c'est un pôle nord qui se détermine en a' , le pôle de même nom de l'aimant NS la repousse aussitôt, tandis qu'elle est attirée par le pôle contraire. Il est évident qu'un mouvement inverse se produira si l'on vient à changer la direction du courant dans la bobine.

Il ressort de toutes ces explications, qu'avant de mettre en circuit un disjoncteur à armature polarisée, il faudra d'abord étudier la manière dont les fils p et n devront être connectés avec ceux du courant de charge. Généralement dans les appareils ne fonctionnant que pour un sens de courant, les bornes portent toujours les mentions $+$ et $-$. Si celles-ci n'existaient pas, il serait toujours facile de déterminer soi-même expérimentalement, le mode de connexion qu'il convient d'établir entre le disjoncteur et le circuit de charge. En effet, la dynamo ayant été préalablement mise en fonction et l'armature amenée contre le pôle N de l'aimant (fig. 64), si celle-ci est aussitôt chassée contre le pôle S , c'est que le courant de charge parcourt la bobine en sens inverse ; il suffira, pour lui donner la bonne direction, d'intervertir l'ordre d'attache des fils p et n .

REMARQUE. — Dans l'un et l'autre des disjoncteurs ci-dessus, il est nécessaire, même pour les plus faibles courants de charge, d'assurer l'intimité de la communication entre l'armature et la pièce sur laquelle elle pivote au moyen d'un fil souple dont la section convienne au courant auquel il doit livrer passage (p. 73).

Au lieu d'un fil souple on obtiendrait également un bon résultat avec un ressort dont la lame exercerait une friction continue sur l'axe de l'armature ; ou bien à l'exemple de l'appareil dont nous donnons un peu plus loin la description on pourrait disposer, le plus près possible du centre de mouvement de l'armature, une tige oscillant, sans jamais le quitter, dans l'intérieur d'un godet rempli de mercure.

La remarque que nous venons de faire a un caractère général ; elle s'applique, en effet, à tous les appareils comportant des mobiles dont les pivots pourraient servir de passage à un courant ; nous avons d'ailleurs déjà eu à nous en préoccuper à propos de certains systèmes de distributeurs pour horloges-mères (p. 15).

Conjoncteurs-disjoncteurs

En outre des fonctions qui sont spéciales aux disjoncteurs, les *conjoncteurs-disjoncteurs* rétablissent d'eux-mêmes les circuits de

charge dès que la différence de potentiel de la dynamo a repris sa valeur normale.

Les figures schématiques 65 et 66 représentent, la première dans la position de travail et la deuxième dans la position de repos, l'un des nombreux spécimens de conjoncteurs-disjoncteurs employés dans l'industrie ; il a été imaginé par M. Féry.

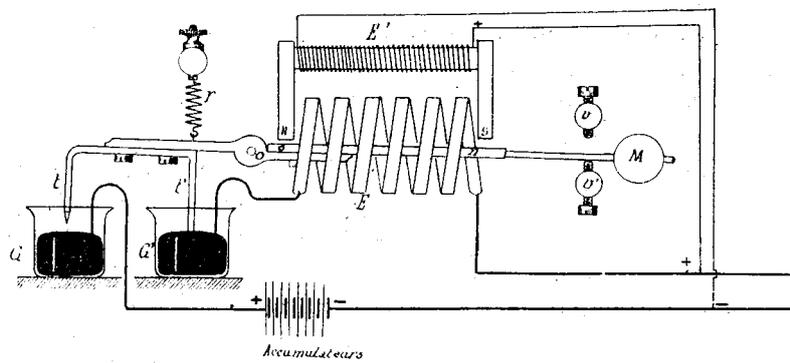


Fig. 65

Cet appareil est formé de deux enroulements, l'un E , formé de quelques tours de gros fil, est en série avec la batterie d'accumulateurs, et l'autre E' , formé d'un grand nombre de tours de fil fin, est en dérivation sur les deux conducteurs venant de la dynamo.

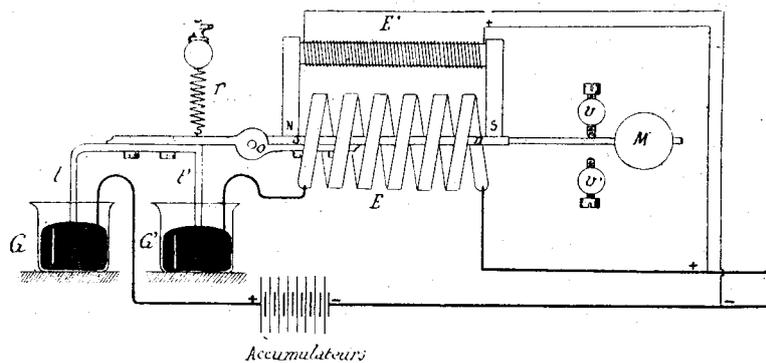


Fig. 66

La bobine E' est munie en son centre, d'un noyau de fer doux qui se termine à ses extrémités par deux épanouissements polaires N et S de même métal.

À l'intérieur de la bobine E se trouve également un noyau ou plutôt une armature de fer doux susceptible de pivoter autour d'un axe o . Cette armature est munie d'une masse M qui est destinée à jouer un rôle identique à celui de la pièce similaire du disjoncteur vu fig. 62 et 63.

Lorsqu'elle se meut autour de son axe, l'armature fait déplacer une pièce de cuivre $t t'$ ayant la forme d'un U dont l'une des branches t' reste, quelle que soit la position occupée par l'armature, constamment plongée dans le mercure du godet G' , tandis que l'autre branche t quitte le mercure du godet G lorsque l'armature occupe la position de repos (fig. 66), c'est-à-dire lorsqu'aucun courant ne passe dans l'appareil ou bien lorsque le sens du courant n'est pas convenable.

On opère le réglage de l'appareil en modifiant la position de la masse M , ou en armant, ou en désarmant le ressort r dont l'action sur l'armature $s n$ est la même que celle de M , et enfin par les vis de butée v et v' .

Le fonctionnement se fait ainsi : au départ la dynamo est mise en marche, la bobine de fil fin E' est traversée par le courant qui aimante les pièces N et S ; l'armature $s n$ étant aussitôt attirée (fig 65) fait plonger la pièce $t t'$ dans le mercure ; le circuit principal est alors fermé à travers les accumulateurs. Au même instant tout le courant de charge passe dans la bobine de gros fil E dont le sens d'enroulement est tel qu'elle produit sur l'armature $s n$ les deux mêmes pôles magnétiques qu'elle reçoit déjà de par l'induction des pièces N et S . L'effet magnétisant de la bobine E s'ajoute donc à celui de la bobine E' pour maintenir le circuit de charge fermé.

Si, à un moment donné, la tension de la dynamo vient à baisser, il en est de même de la force attractive exercée sur l'armature, et le circuit se rompt alors grâce aux actions combinées du ressort r et de la masse M .

La tension vient-elle à augmenter, les fonctions décrites plus haut se renouvellent et le circuit de charge se retrouvera de nouveau fermé.

Admettons maintenant que le courant de la dynamo cesse brusquement, l'appareil, quoique instantanément parcouru par le courant débité cette fois par les accumulateurs, n'en rompra pas moins le circuit de charge. En effet si la direction de ce nouveau courant dans la bobine E' reste la même que celle du courant débité par la dynamo, tel n'est pas le cas pour la bobine E qui se trouve de ce fait en opposition magnétique avec la précédente. En d'autres termes l'armature

étant soumise à deux inductions contraires, tend à prendre, à la même extrémité à la fois, un pôle nord sous l'influence du pôle sud de l'électro E' et un pôle sud sous celle de la bobine E ; son attraction par les pièces N et S ne pouvant dès lors plus s'exercer avec la même force, elle est immédiatement ramenée à sa position de repos par la masse M et le ressort r (fig. 66).

Les conjoncteurs-disjoncteurs, pas plus d'ailleurs que les disjoncteurs simples, ne sont indispensables pour les petites batteries d'accumulateurs comprenant des résistances factices quelque peu élevées (p. 114). Ainsi il est évident que les cinq accumulateurs dont il a été question dans un article antérieur ne font courir aucun risque à la dynamo qui fournit le courant de charge dans le cas où la tension de celle-ci viendrait à tomber brusquement à zéro. Voyons toujours ce qu'il adviendrait si pareil fait se produisait.

Nous rappellerons que ces accumulateurs pour recevoir 2 ampères sous une tension de 120 volts devaient être accompagnés par une résistance de 55,125 ohms.

En portant les choses au pire, par exemple en supposant la batterie entièrement chargée et les résistances des lignes et de la dynamo négligeables ainsi que la résistance intérieure de la batterie, le débit de celle-ci serait :

$$I = \frac{E n}{R} = \frac{2,5 \times 5}{55,125} = 0,22 \text{ ampère.}$$

Cette intensité étant visiblement bien au-dessous de celle que peuvent débiter les accumulateurs (p. 105), on avait donc bien raison de dire qu'il ne pouvait résulter aucun danger, pas plus pour les accumulateurs que pour la source de charge, si le fait précité venait à se produire.

Mais on ne pourrait plus en dire autant si les résistances factices intercalées avec les accumulateurs étaient faibles eu égard à la force électromotrice, car alors, si celle-ci venait à travailler sur ces résistances seules il en résulterait un courant de décharge pouvant dépasser le régime permis ou ne ferait-il même que s'en approcher, la majeure partie du courant emmagasinée se dépenserait en pure perte.

Il s'ensuit donc qu'il ne suffit pas qu'une batterie comporte dans son circuit de charge une résistance pour qu'on puisse la considérer complètement à l'abri.

Il est vrai que l'on peut arguer que les minuscules batteries susceptibles d'un emploi en horlogerie électrique étant généralement chargées sur un secteur de lumière, il faut encore compter sur les résistances des lignes et qu'au surplus on ouvre le circuit d'éclairage au départ de la station quand la dynamo est arrêtée. A cela nous répondrons que dans les installations d'éclairage, il est notoire que, pendant le jour, c'est-à-dire pendant que les dynamos ne tournent pas, beaucoup d'abonnés omettent par négligence de mettre les interrupteurs sur le plot d'extinction.

Or si le nombre des lampes, ainsi restées en circuit, est grand, leur résistance d'ensemble peut devenir assez faible pour être considérée comme négligeable ; si donc des accumulateurs font partie de la même installation à l'effet d'être chargés pendant la nuit, c'est-à-dire pendant que le courant passe, ces accumulateurs débiteront pendant le jour sur l'ensemble de cette installation, n'ayant comme obstacle que les résistances factices qui font partie de leur propre dérivation. Les batteries se trouvent par suite déchargées sans avoir produit de travail utile. On conçoit que dans ces conditions l'emploi d'un disjoncteur ou d'un conjoncteur-disjoncteur devient nécessaire.

Ce dernier appareil, on le comprend, est préférable au premier, en raison de ce que, rétablissant automatiquement le courant de charge dès qu'il reparait, on n'est plus astreint à refermer soi-même le circuit de charge comme on est tenu de le faire avec les disjoncteurs.

Enfin les conjoncteurs-disjoncteurs et même les disjoncteurs à armature polarisée peuvent encore rendre le service suivant : Que des modifications dans les connexions des fils de ligne avec les pôles des dynamos soient faites à la station de distribution de lumière, on en est prévenu par les appareils ci-dessus qui se refuseront à rester dans la position de circuit fermé.

Modes d'emploi des accumulateurs dans les centres de distribution horaires

Dans une installation horaire, on peut employer :

1^o une batterie de capacité suffisante pour fournir un travail d'une certaine durée et qui, lorsqu'elle est arrivée à fin de décharge

est remplacée par une autre qui a été chargée hors du local renfermant l'installation horaire ;

2° deux batteries que l'on fait passer à tour de rôle dans les circuits de charge et de travail ;

3° une batterie comme dans la première méthode, mais qui est régénérée sur place tout en la maintenant en service, c'est-à-dire dans le circuit de travail ;

4° une batterie ne possédant juste que la capacité correspondante au débit qui lui est imposé et restant indéfiniment dans les circuits de charge et de travail.

1^{er} MODE D'EMPLOI. — Cette méthode, qui consiste à procéder avec une batterie d'accumulateurs comme avec une pile voltaïque que l'on remplace quand elle est épuisée, n'est possible que lorsqu'on se trouve à proximité d'une maison fournissant des accumulateurs prêts à être mis en service.

Ce mode d'emploi devient très pratique si la susdite maison consent à fournir ses batteries en location, et si, en outre, elle prend la responsabilité de les remplacer elle-même au moment voulu, ou, si l'on veut, quand elles ont dépensé toute leur capacité utile.

Le jour où il faut pourvoir au remplacement d'une batterie ainsi utilisée est facile à prévoir. Après avoir soigneusement déterminé l'intensité du courant de décharge, soit en fonction de la force électromotrice et de la résistance totale du circuit, soit simplement en intercalant dans ce dernier un ampèremètre, on applique la formule

$t = \frac{Q}{I}$ (p. 118). Mais rappelons-nous que, dans cette équation

t représente le temps, exprimé en heures, pendant lequel les accumulateurs peuvent débiter d'une manière continue. Or, nous savons qu'en horlogerie électrique le débit des sources d'électricité est intermittent ;⁽¹⁾ — on compte généralement un débit par minute à raison de une seconde environ — pour connaître le nombre de jours que la batterie peut rester en service, il faut donc diviser la valeur de t par la durée du travail journalier.

EXEMPLE. — Une batterie dont la capacité utile Q est de 30 ampères-heures pour le courant de décharge I qui est de 1,5 ampère,

(1) L'horloge-mère Thury-Cuénod, dont nous parlerons un jour, fait exception à la règle.

travaille 1 seconde par minute. Combien de jours pourra-t-elle rester en service ?

La durée de la décharge, en heures, pour un débit se faisant sans interruption serait :

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ heures.}$$

La durée de la décharge pour le débit périodique ci-dessus est de 60 secondes pour une heure, de $60 \times 24 = 1440$ secondes = 24 minutes pour un jour.

La batterie pourra rester autant de jours en service qu'il y a de fois 24 minutes dans 20 heures, soit 50 jours.

Tous les types d'accumulateurs ne conservent pas leur charge aussi longtemps ; aussi faut-il encore avoir soin de choisir ceux qui subissent le moins l'influence du temps : c'est avec intention que nous disons « le moins » car il n'existe pas d'accumulateurs qui ne subissent à la longue une perte plus ou moins grande.

L'utilisation d'une batterie d'accumulateurs dans les conditions que nous venons d'exposer, n'offrant aucune différence avec celle d'une pile voltaïque, les diagrammes d'installation des fig. 54, 55, et même 56, si l'on fait usage d'un relai, sont applicables dans la circonstance (p. 95).

2^{me} MODE D'EMPLOI. — Sans vouloir le recommander particulièrement, étant donné que pour des éléments identiques il est plus onéreux que tout autre, puisqu'il faut deux batteries pour un même poste horaire, il faut reconnaître qu'il peut être utile, à un moment donné, d'avoir à sa disposition une batterie supplémentaire ; surtout si l'on habite une localité où l'on ne puisse se réapprovisionner en source d'électricité. Qu'il survienne, en effet, une avarie à la batterie en service, l'autre, à moins d'une coïncidence fâcheuse, pourra la remplacer pendant que l'on procède à la réparation ou au changement des éléments endommagés.

D'autre part, les accumulateurs de tous systèmes sont tenus à être démontés et lavés périodiquement. Avec deux batteries, cette opération peut s'effectuer sans interruption dans la marche des horloges.

Ajoutons que le coût de deux batteries peut être inférieur à celui d'une seule ayant une capacité double.

Sans plus allonger ce préambule, voici comment on procède dans une installation horaire comprenant deux batteries.

On l'a déjà compris, l'une de celles-ci est en charge, sur place, pendant que l'autre est dans le circuit de l'horloge-mère. Lorsqu'arrive l'instant où cette dernière batterie a atteint sa limite de décharge, on la remplace par la précédente qui est elle-même remplacée dans le circuit de charge par la batterie épuisée.

Cette double opération, on le conçoit sans peine, ne saurait être faite pratiquement que par un commutateur spécial. Celui que nous présentons (fig. 67) mérite le reproche d'être encombrant, mais ce défaut est compensé par la clarté avec laquelle sont vus les divers organes qui le composent.

Disons-le, l'une de nos préoccupations, lorsque nous élaborons les plans d'un appareil, si simple soit-il, destiné à l'École, est de mettre chaque pièce le plus en vue possible. Nous nous préparons ainsi petit à petit un matériel de démonstration qui, pour modeste qu'il soit encore, nous est déjà d'un grand secours dans l'enseignement de l'électricité.

Description et fonctionnement de deux commutateurs permettant de modifier simultanément les communications de deux batteries d'accumulateurs ayant des circuits de charge et de travail communs.

L'un de ces appareils fonctionne à la main et l'autre mécaniquement. Nous nous occuperons d'abord du premier, dont la fig. 67 nous montre les vues de face et de profil.

Sur un socle en ébonite de forme rectangulaire sont montés : huit vis-bornes a, a', c, \dots , autant de plots en cuivre p^1, p^2, p^3, \dots , et quatre piliers (voir la vue de profil) sur lesquels peuvent se mouvoir, autour de vis à portée, un même nombre de lames de cuivre A, A', B et B' .

D'autres vis à portée x, \dots, x^3 ont pour mission de réunir ces quatre lames à une traverse en ébonite y munie en son milieu d'un bouton z . C'est à l'aide de ce bouton que l'on met à la fois les lames A, A', B et B' soit pour les mettre sur les plots p^1, p^3, p^5 et p^7 , comme dans la figure 67, soit sur les plots p^2, p^4, p^6 et p^8 .

Les communications intérieures sont formées de bandes rigides en cuivre rouge reposant sur le socle; elles sont assez clairement présentées pour être autrement signalées.

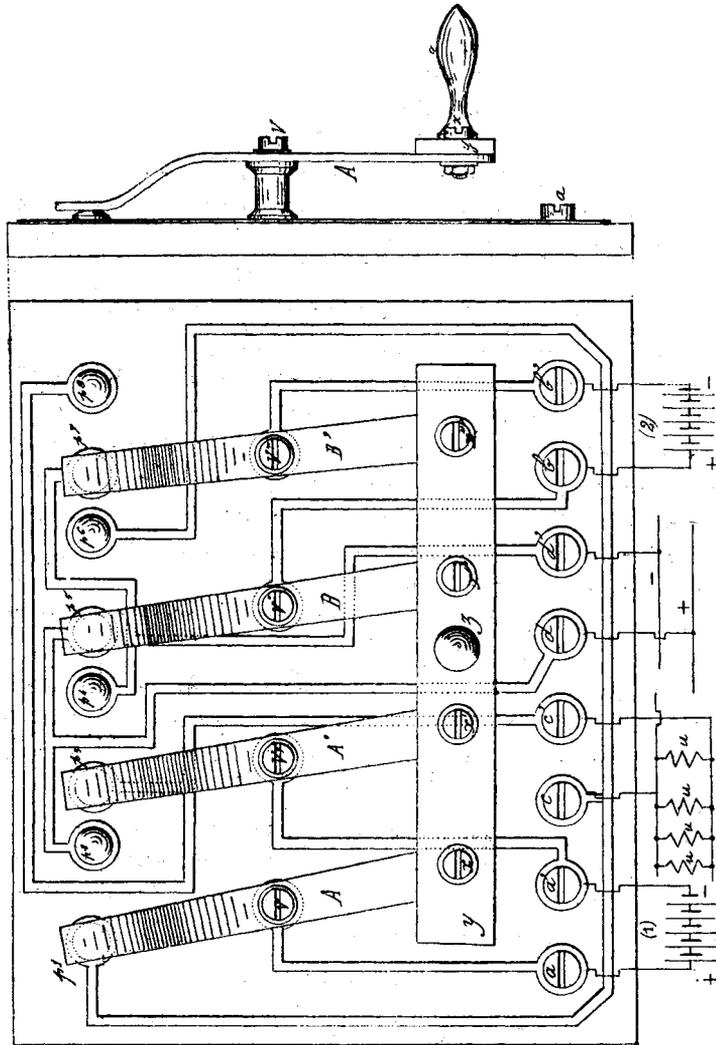


Fig. 67

Quant aux communications extérieures, elles sont représentées schématiquement, ainsi que les batteries d'accumulateurs, les appareils d'utilisation et la source de charge.

Pour l'intelligence de nos explications, nous appellerons batterie (1) la batterie qui est en travail, et batterie (2) celle qui est en charge.

On voit que la batterie (1) est reliée aux vis-bornes a et a' ; la batterie (2) aux bornes b et b' ; les récepteurs, qui sont représentés par les dérivation $u, u...$, aux bornes c et c' ; la source de charge, qui est représentée par une dérivation sur deux conducteurs supposés parcourus par du courant continu, aux bornes d et d' .

Les lames A, A', B et B' occupant la position montrée par la figure, on peut constater par la lecture des communications, tant intérieures qu'extérieures, que c'est la batterie (1) qui débite et la batterie (2) qui est en charge.

En effet, suivons par exemple le courant de charge depuis le conducteur marqué du signe $+$. Il se rend d'abord à la borne d , de là au plot p^5 , sur lequel appuie la lame B , par laquelle le courant s'écoulera jusqu'à la borne b et la batterie (2), pour revenir par la borne b' , la lame B' , le plot p^7 et la borne d' , au conducteur portant le signe $-$, c'est-à-dire au pôle négatif.

Suivons de même le cycle du courant dans le circuit de travail.

Du pôle $+$ de la batterie (1), le courant se rend successivement à la borne a , à la lame A , au plot p^1 , à la borne c , à l'un des fils aboutissant aux récepteurs $u...$, revient, par l'autre fil, à la borne c' , le plot p^3 , la lame A' et la borne a' , au pôle $-$ de la batterie.

Quand viendra le moment de faire passer la batterie (1) du circuit de décharge dans celui de charge, et vice-versa pour la batterie (2), il suffira d'amener, en se servant du bouton z , les lames A, A', B et B' en contact avec les plots p^2, p^4, p^6 et p^8 .

Il sera aisé de s'assurer, par une nouvelle étude des deux circuits que dans cette nouvelle position des lames, les deux batteries se sont bien mutuellement remplacées dans le circuit qu'elles occupaient primitivement.

Il resterait à examiner comment on équilibre la quantité de courant reçue à la charge avec celle qui est dépensée pour actionner les récepteurs horaires. C'est ce que nous ferons après l'étude du commutateur suivant, que la même question intéresse.

Commutateur automatique

Le principe de cet appareil est celui-ci :

On utilise le travail effectué, au bout d'un certain nombre de jours, par l'armature d'un électro-aimant dont l'excitation se fait par inter-

miffence et en même temps que ceux des récepteurs horaires, pour armer, par l'intermédiaire d'un rouage réducteur et d'une came, un fort ressort.

Ce dernier restitue d'un seul coup, à période fixe, l'énergie qu'il a

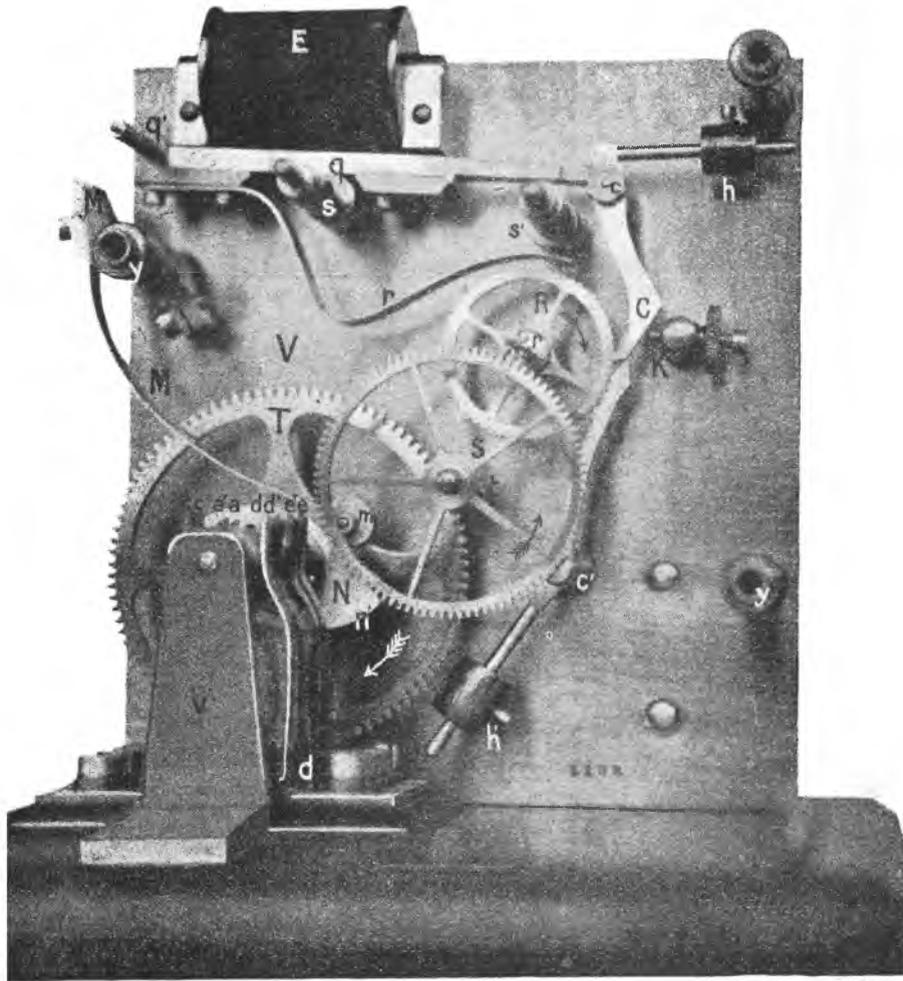


Fig. 68.

ainsi emmagasinée sous forme d'armage, en modifiant les positions respectives des pièces d'un commutateur d'ordre rotatif, mais qui, au point de vue électrique, est de la nature de celui que nous venons de décrire.

Avec un tel commutateur on s'évite donc les préoccupations des mises en charge et en décharge.

Dans le système dont la figure 68 montre en grandeur naturelle l'aspect d'ensemble, — la platine d'avant a été démontée à cet effet — on utilise le mécanisme électrique d'un récepteur horaire ordinaire.

L'armature a de l'électro-aimant E , qui est excitée une fois par minute par le courant qu'émet l'horloge-mère du poste horaire dont il fait partie, ne produit pas d'effet utile au moment de son attraction ; mais, après chaque rupture du courant, en retombant sous la double influence d'un ressort r et de son propre poids, elle fait avancer, d'une dent, par le cliquet C mobile en v , qu'elle porte, la roue de rochet R .

Pendant le soulèvement de l'armature par l'électro, la roue R est maintenue en place par un cliquet de retient C' mobile sur une colonne c' fixée sur la platine postérieure V du mouvement.

Les cliquets C et C' sont munis de masses h et h' dont l'action de la pesanteur assure l'encliquetage de ceux-ci avec les dents de la roue de rochet.

Le ressort r , qui est vissé sur l'armature près de l'axe q de cette dernière, n'exerce son antagonisme qu'à l'instant où l'armature va atteindre le sommet de sa course ascendante. Son rôle consiste surtout à aider au décollage en cas de rémanence ; d'autre part, il régularise l'effort moteur de l'électro qui, de faible au début de l'attraction, va en croissant au fur et à mesure que l'armature se rapproche des pôles.

A cet effet, l'armature occupant la position de repos, (fig. 68), on laisse un jour plus ou moins grand entre l'extrémité libre du ressort r et une colonne s' qui lui sert de butée d'armage.

Cette colonne s' est excentrée sur la portion de sa longueur faisant regard au ressort r , dans le but de rendre facilement réglable l'angle pendant lequel le ressort ci-dessus doit agir.

Une colonne s , semblable à la précédente, sert à régler la quantité de chute à tolérer à l'armature.

Enfin par suite de la rencontre du plan incliné, qui termine l'extrémité inférieure du cliquet C , avec la vis K , l'armature en tombant ne peut faire sauter la roue R de plus d'une dent. L'appareil est rendu de la sorte aussi ponctuel dans ses fonctions que la meilleure horloge réceptrice.

Le rouage réducteur se compose d'un pignon r , monté sur le même axe que la roue R , menant une roue S dont l'axe comporte

également un pignon *l*, qui, à son tour, mène une roue *T*. L'axe de celle-ci est plus long que celui des autres mobiles, aussi a-t-on dû donner à son tourillon antérieur un point de pivotement spécial qui est le pont en équerre *c*.

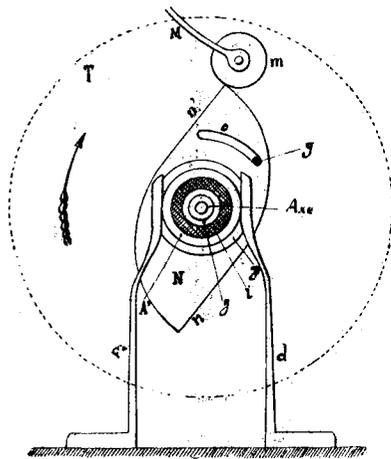


Fig. 69.

A, B, B' et *A'* (fig. 69 et 70), sont quatre tubes de cuivre dont un segment a été enlevé sur une fraction de leur longueur; ils sont ajustés à demeure dans les positions indiquées dans la figure et sans qu'il y ait contact entre eux, sur un tube d'ébonite *i* qui est lui-même solidaire d'un canon en laiton *J* ajusté à frottement libre sur l'axe de la roue *T*.

Les quatre tubes de cuivre, isolés entre eux et du mouvement par deux plaques d'ébonite *W*, communiquent par huit ressorts frotteurs *a, b, a', b', ...*, avec les batteries, la source de charge et le circuit de décharge.

b', ..., avec les batteries, la source de charge et le circuit de décharge.

La came *N* (fig. 68, 69 et 70) est rivée contre une portée *J* qui termine, du côté de la roue *T*, le canon métallique *J*.

L'ensemble formé par la came *N*, le canon *JJ'*, le tube d'ébonite *i* et le tube de cuivre *A, B, B'* et *A'* constitue la partie mobile du commutateur automatique. Cet ensemble est rendu solidaire de la roue *T* par une goupille *g* que porte celle-ci et qui pénètre dans la came *N* par une ouverture *O* pratiquée concentriquement à l'axe du mobile *T*.

Un ressort *M*, dont le pont de fixage *M'* est calé sur l'une des trois colonnes *y... de la cage formée par le mouvement, exerce par son extrémité libre sur laquelle est monté un galet *m* une pression énergique et constante sur la came *N*. Si bien que lorsque celle-ci présente au galet *m* le commencement de l'un de ses plans inclinés descendants, *n* ou *n'* (fig. 69), le ressort *M*, grâce à l'ouverture dont il a été parlé plus haut, réagissant brusquement, accentue le mouvement de rotation du système mobile du commutateur en laissant ainsi en arrière la goupille *g* dans l'ouverture *o* de la came.*

Ce travail de restitution du ressort *M* sur la came est instantané ; il est accompli quand le galet *m* a atteint le bas du versant descendant sur lequel il a agi. A partir de ce moment tout le système mobile du

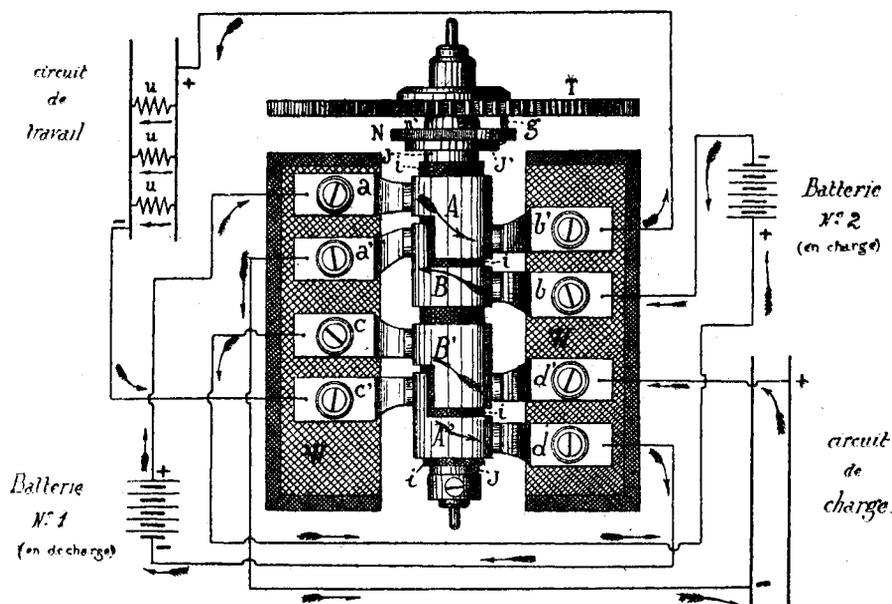


Fig. 70.

commutateur reste au repos jusqu'à ce que, la roue *T* continuant à tourner à chaque chute de l'armature, sa goupille *g* ait rattrapé le temps perdu qu'a provoqué la poussée en avant de la came par le ressort *M* ; après quoi la partie mobile *N, A, B, B', A'* redevient solidaire du mobile *T*.

Au bout d'une demi-révolution de cette dernière roue, la came, en amenant le ressort *M* au sommet du plan incliné suivant (fig. 69) aura emmagasiné une nouvelle provision d'énergie qui sera restituée comme précédemment.

On voit qu'à un tour de la roue *T* correspondent deux manœuvres de commutateur. L'une d'elles, par exemple, celle provoquée par l'action du ressort *M* sur le versant descendant *n* de la came *N* établit les connexions suivantes (fig. 70) :

- 1° Le tube de cuivre *A* est passé en contact avec le frotteur *b'*
- 2° *B* *a'*
- 3° *B'* *d'*
- 4° *A'* *c'*

Remarquons que les quatre autres frotteurs a , b , c et d frottent sur les parties des tubes A , B , B' et A' n'offrant pas de solution de continuité; leurs communications avec ceux-ci sont par conséquent invariables.

La lecture des communications de la fig. 70, nous montre que la batterie (1) est dans le circuit de décharge et la batterie (2) dans celui de charge.

L'inverse a lieu pour ces batteries quand après un demi-tour du mobile T , le ressort a glissé sur le versant n de la came (fig. 71).

En effet dans cette nouvelle fonction du commutateur,



En suivant les communications de la figure 71 on pourra constater que les batteries ont bien changé de circuit.

La vitesse de rotation du mobile T dépend du temps pendant lequel on peut laisser une batterie en travail; le rouage doit donc être établi en conséquence.

Dans l'appareil que nous venons d'étudier et que nous avons expérimenté avec succès pendant une année, la roue T met six jours pour faire un tour entier, ce qui représente une manœuvre du commutateur en trois jours.

A priori, on pourrait croire que le fonctionnement de l'ensemble de ce mécanisme doit exiger une assez grande puissance. Les raisonnements suivants permettront de juger du contraire.

Admettons que pour vaincre les résistances mécaniques, il faille un kilogramme à la circonférence de la roue T , ce qui est plutôt excessif pour le fonctionnement d'un commutateur qui ne doit laisser passer qu'un ou deux ampères au plus.

Sachant que le diamètre de T est de 0,05 mètre, le chemin parcouru après un tour soit au bout des six jours est :

$$0,05 \times 3,1416 = 0,15708 \text{ mètres ;}$$

et le travail mécanique correspondant :

$$1 \times 0,15708 = 0,15708 \text{ kgm.}$$

Pendant le même laps de temps, six jours, le premier mobile R ,

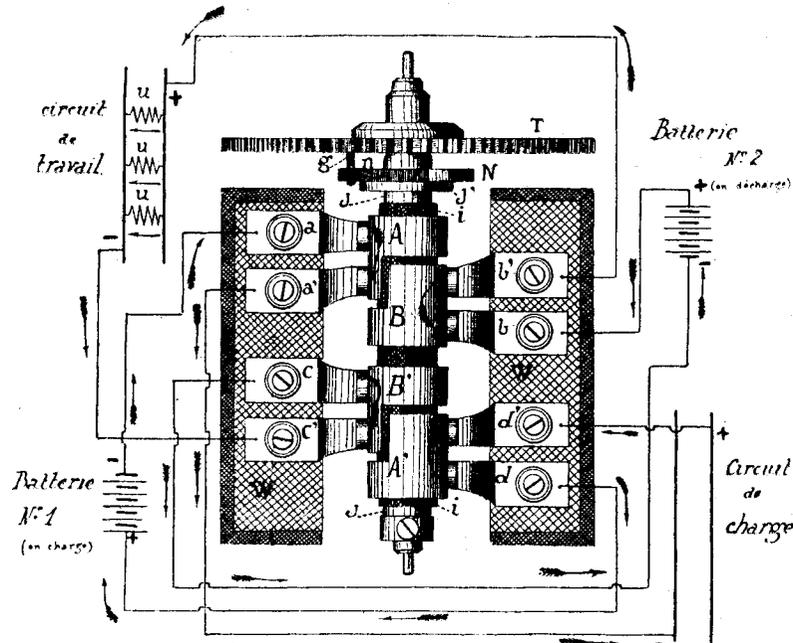


Fig. 71.

dont le diamètre est de 0,025 mètre et qui, sous les actions répétées de l'armature fait exactement un tour par heure, parcourra :

$$0,025 \times 3,1416 \times 24 \times 6 = 11,0976 \text{ mètres}$$

En divisant le travail en kgm., par le chemin parcouru par la roue *B*, on obtiendra la force nécessaire à la circonférence de cette dernière.

On trouve, calcul fait, un peu plus de treize grammes.

Ainsi, une armature agissant sur le rochet avec une pression d'une quinzaine de grammes est suffisante pour assurer les fonctions du commutateur automatique.

Le principal inconvénient de ce dernier réside dans ce fait qu'il ne peut convenir qu'à des éléments dépensant à peu près leur capacité utile dans l'intervalle de temps qui sépare deux commutations consécutives ; sinon il faut un autre rouage et par conséquent un appareil spécial.

Un autre inconvénient auquel n'échappe pas le commutateur à main (fig. 67, p. 130), est que les deux batteries restent le même temps dans leurs circuits respectifs ; or celle qui est en décharge, pour une émission de une seconde par minute, ne débite que pendant 24 minutes

par jour, alors que dans le même temps la batterie qui est en charge reçoit du courant aussi longtemps que le courant de lumière circule sur les lignes, c'est-à-dire durant une moyenne de 10 à 12 heures. Par exemple, si la décharge et la charge s'effectuent, la première avec 1,5 ampère et la seconde avec 1 ampère, la dépense journalière ne sera que de 0,6 ampère-heure pour 10 à 12 ampères-heures fournis.

Pour tant qu'au surcroît de dépense de courant, on peut le négliger dans les petites applications pour ne tenir compte que du temps perdu à l'entretien des batteries.

Quant à la *surcharge* qui résulte de l'état de choses ci-dessus, elle ne présente d'inconvénient que si le courant de charge est trop fort ; or, comme c'est précisément par le défaut contraire que l'on est appelé à pécher, il n'y a rien à craindre de ce côté là. En effet, avec le mode d'emploi des accumulateurs qui nous occupe actuellement, nous emploierons le plus faible courant de charge possible, sans toutefois que la batterie puisse jamais, à la décharge, dépenser toute sa capacité utile.

En suivant cette recommandation, on trouve plusieurs avantages : d'abord on évite des surcharges exagérées, ensuite on réduit la dépense du courant, enfin, comme nous l'avons déjà déclaré en temps opportun, le chargement s'opérant lentement donne de meilleurs résultats.

Il ne faudrait cependant pas que le courant de charge soit trop faible ; si son intensité était par exemple dix fois moindre que ce qu'elle devrait être normalement, il se pourrait, si l'isolation est imparfaite, ce qui est le cas général, que la charge ne puisse s'effectuer quelque longtemps que dure l'opération.

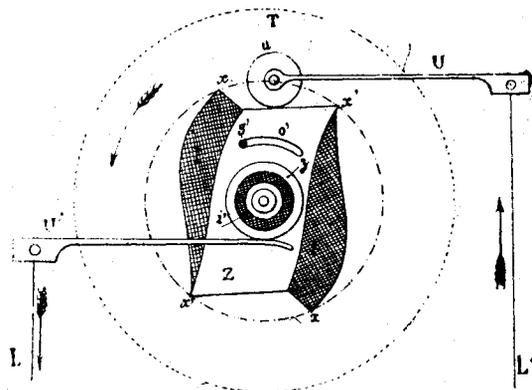
Si même avec un courant de charge réduit à sa plus simple expression, il y a encore à craindre une surcharge exagérée, on pourra toujours limiter la charge par un interrupteur à main ou automatique ou par un commutateur à deux directions si le circuit de charge comprend une ou plusieurs lampes-rhéostat dont l'éclairage est également utilisé.

Il est très facile quand on fait usage du commutateur automatique (fig. 68) de réaliser l'automatie d'un interrupteur de courant de charge.

La fig. 72 nous en montre un exemple.

Sur l'axe de la roue *T* de la figure 68, du côté postérieur, est ajusté à frottement libre un assemblage de deux pièces *Z* et *I*,

la première en cuivre et la seconde en ébonite, rendu solidaire de cette roue par une goupille g' . Un ressort isolé U , communiquant par le fil L avec le négatif de la source de charge, presse alternati-



*L aboutit au pôle négatif de la source de charge
L' aboutit au frotteur a'*

Fig. 72.

vement, par le galet u qu'il porte à son extrémité, sur l'une ou l'autre des deux pièces Z et I , tandis qu'un deuxième ressort U' , communiquant avec le frotteur a' (fig. 70 & 74) frotte sans discontinuer sur le canon z de la pièce métallique Z . Pendant que U est en contact avec Z , le courant de charge passe ; ce dernier est inter-

rompu quand U frotte sur la pièce d'ébonite I .

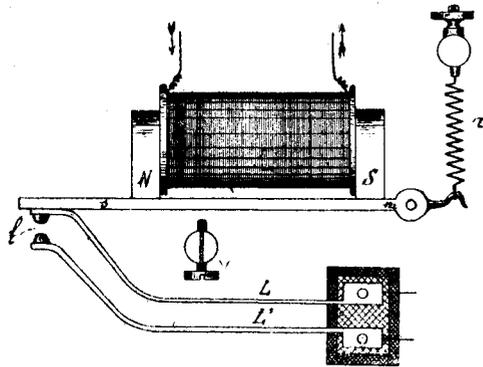
L'ouverture o' et les plans inclinés situés après x, x' , en arrière sur le sens de rotation, permettent au ressort U de fermer et d'ouvrir le circuit de charge, avec la promptitude nécessaire pour éviter toute formation d'arc.

Quant à la durée du courant de charge, elle dépend de la largeur donnée à la périphérie de la pièce en métal Z . Dans le modèle que nous présentons, le courant de charge passera une nuit sur trois, la roue T faisant, ainsi que nous l'avons dit, une révolution en six jours.

En passant nous donnons le conseil de ne pas être trop optimiste en ce qui concerne le calcul du nombre d'heures qu'il faudra laisser en charge, car les pertes d'énergie, dans les batteries ne recevant pas des soins très assidus, dépassent toujours les valeurs que nous avons données (p. 106), valeurs qui sont tirées d'essais de laboratoire.

On pourra aussi empêcher des surcharges inutiles en utilisant les fonctions d'un électro-aimant ns (figure 73) dont l'armature sn , quand elle est en repos, maintient en contact deux ressorts L et L' , intercalés dans le circuit de charge.

L'enroulement de cet électro est tel qu'étant branché en dérivation sur



les pôles de la batterie en charge, il attire l'armature quand la f.é. a atteint son maximum. Lorsque la f.é. baisse, l'armature, obéissant à l'action de son ressort antagoniste r , rétablit le courant de charge en amenant L en contact avec L' .

Fig. 73.

Le dispositif montré par la figure 73 pourrait fonctionner par le

moyen utilisé dans l'avertisseur de fin de charge « Dujardin ». Un des accumulateurs de la batterie est complètement fermé ; il communique avec l'atmosphère, d'une part, à la partie supérieure, par un petit tuyau et, d'autre part, latéralement, au-dessous du liquide, par une sorte de tube de niveau. Dans ce dernier qui est en verre, et à la partie supérieure, est placée une mèche de coton qui le bouche presque entièrement, mais qui laisse cependant un orifice suffisant pour que le peu de gaz produit pendant la charge puisse s'échapper. A fin de charge, les gaz étant plus abondants ne peuvent s'échapper assez rapidement, et la pression sur le liquide augmente. Celui-ci est alors refoulé et s'élève dans le tube latéral.

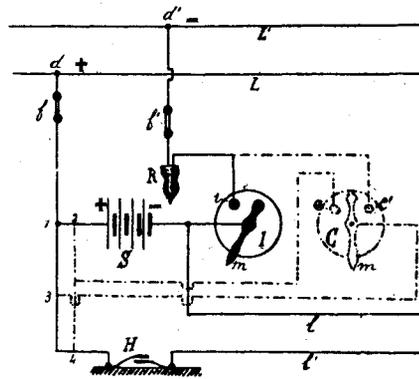
Dans le tube, à une certaine hauteur, est placée une pointe de plomb que l'on fait communiquer avec une des extrémités du fil de l'électro-aimant ; l'autre extrémité du fil est en relation avec l'élément extrême de la batterie ou avec l'un des éléments voisins. On règle l'appareil de manière que dès que la charge est complète, le liquide vienne toucher la pointe de plomb, de sorte que le circuit de l'électro est alors fermé sur la batterie aussi longtemps que celle-ci restera en pleine charge.

Pendant tout ce temps l'armature restant attirée laissera ouvert le circuit de charge (fig. 73.)

3^e mode d'emploi des accumulateurs

Le schéma ci-contre (fig. 74) représente, en traits pleins, les communications les plus essentielles d'un poste horaire dans lequel

on n'emploie qu'une batterie d'accumulateurs *A* régénérable sur place, tout en laissant assurer sans discontinuité la marche des horloges réceptrices.



Les fils aboutissant aux horloges réceptrices

Fig. 74.

La charge est sensée se faire par une dérivation de courant prise en *dd'* sur deux fils principaux *L* et *L'*, canalisant pour des besoins

industriels quelconques, un courant continu.

R est une lampe jouant le rôle de résistance; *f* et *f'*, des coupe-circuits fusibles, (p. 74); *I*, un interrupteur à manette; *H*, l'interrupteur de l'horloge-mère.

Quand les accumulateurs sont arrivés à fin de décharge, on met la manette *m* de l'interrupteur *I* sur le plot *i*; le circuit de la dérivation *d, S, I, R, d'* se trouve alors fermé à travers la batterie et la lampé-rhéostat.

La charge étant terminée, on rompt le circuit de charge en ramenant la manette *m* dans la position montrée par le dessin.

Si la lampe *R* devait être aussi utilisée pour l'éclairage (p. 142), au lieu d'un interrupteur, c'est un commutateur à deux directions qu'il faudrait employer.

Ce commutateur et les nouvelles communications qu'entraînerait son emploi sont représentés (fig. 74), le premier *C*, en pointillé, et les secondes, en traits mixtes. Avec l'interrupteur *I*, seraient alors supprimées les portions de communications comprises entre les points 1 et 2, 2 et 3, et l'on relierait les extrémités des conducteurs aboutissant à l'interrupteur.

L'installation étant ainsi modifiée, il est facile de se rendre compte que la lampe R reste éclairée quel que soit celui des plots c et c' sur lequel appuie la manette m' ; mais celle-ci étant sur le plot c , le courant de la dérivation passe dans la batterie, tandis qu'il n'y passe pas si la manette est sur le second plot c' .

On compléterait utilement une semblable installation en disposant à proximité du commutateur un voltmètre que l'on relierait, d'une part, au pôle $-$ de la batterie et, d'autre part, au plot c , qui communique au pôle $+$. Dans ce cas, on munirait la dérivation fournie par le voltmètre d'un interrupteur permettant de ne l'utiliser qu'en temps utile, c'est-à-dire lorsqu'on veut contrôler l'état de la force électromotrice.

Tant que le voltmètre accuse une tension normale (p. 104), on éclairera la lampe par le plot c' , dans le cas contraire ce sera par le plot c .

Il est évident que l'on n'est pas obligé de laisser la batterie se décharger jusqu'à sa tension minimum avant de lui fournir une nouvelle charge; en rechargeant la batterie alors que ce minimum n'est pas atteint, d'abord, la charge sera moins longue, ensuite on a l'avantage de maintenir aux bornes une différence de potentiel plus uniforme.

Un autre poste horaire n'utilisant, comme le précédent, qu'une batterie d'accumulateurs est vu dans la figure schématique suivante.

Ici, la charge est assurée par un moteur-transformateur (p. 116), formé de deux dynamos B et G accouplées par leurs axes a et a' . La première B est la réceptrice et la seconde G la génératrice.

La mise en marche⁽¹⁾ se fait en manœuvrant la manette m d'un rhéostat M intercalé avec le moteur B , dans le circuit d'une dérivation $d d'$ prise, par exemple, sur deux fils de lumière L et L' .

On amène d'abord la manette sur le plot 1 et on la fait ensuite passer successivement sur les plots 2, 3, 4, 5; une fois sur le dernier plot il n'y a plus d'autre résistance électrique dans la dérivation $d d'$ — en supposant nulle ou négligeable la résistance des fils de connexion — que celle du moteur B .

(1) La figure 75 pour être complète devrait comporter un interrupteur permettant au moment de la mise en marche de fermer d'abord directement sur le fil L' le circuit d'excitation E du moteur B . La communication reliant E au balai inférieur serait alors annulée.

La manœuvre de la manette doit se faire assez lentement pour

qu'avant d'atteindre le dernier plot du rhéostat, le moteur ait eu le temps d'acquiescer une certaine vitesse.

Le moteur-transformateur étant ainsi mis en fonction, on ferme le circuit de la génératrice G au moyen d'un interrupteur ou encore d'un disjoncteur D (p. 119) qui tout en jouant son rôle de protecteur peut très bien faire l'office d'un interrupteur.

Un rhéostat M' , en série dans le circuit de l'excitation E' permet de faire varier la résistance de ce

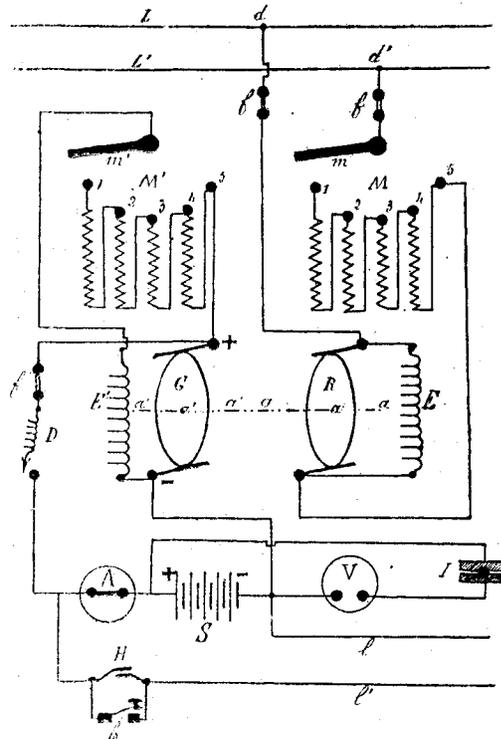


Fig. 75.

dernier, et, par là même, de régler la différence de potentiel aux bornes de la génératrice. A cet effet, un voltmètre V , qu'un interrupteur I permet d'utiliser à volonté, est installé en dérivation aux bornes de la batterie B .

Remarquons que les emplacements occupés par le voltmètre et l'ampèremètre A permettent d'utiliser ces appareils aussi bien pour contrôler le courant de décharge que celui de charge.

Nous rappelons que dès que la charge est complète, il faut avant de rompre le circuit du moteur R , ouvrir d'abord celui de la génératrice G , non cependant sans avoir réduit son débit afin d'atténuer l'extra-courant de rupture (p. 6).

Il convient d'adjoindre à l'horloge-mère un manipulateur ou un simple interrupteur à main h (fig. 75).

Le rôle de cet accessoire ayant été indiqué à propos des postes

horaires avec piles voltaïques (p. 97), nous n'y reviendrons pas. Il peut cependant avoir un autre rôle que nous n'avons pas signalé ; le voici : lorsque les appareils de mesure ne sont pas suffisamment aperiodiques pour qu'il soit possible d'en faire les lectures pendant le court instant que dure la fermeture du circuit dans l'horloge-mère, on n'a qu'à remplacer celle-ci, pour une émission, par l'interrupteur à main que nous laisserons dans la position de circuit fermé tout le temps nécessaire pour que les index des appareils de mesure aient pris position ; nous aurons ainsi tout le loisir d'en lire posément les indications.

Un autre poste horaire est montré par la figure 76 ; il comporte entre autres particularités :

1^o une batterie de piles primaires P à même de remplacer la secondaire B en cas d'avarie ou pendant le nettoyage périodique auquel elle est assujettie ;

2^o une horloge-mère H' que l'on peut, au cas échéant, mettre en circuit en remplacement de l'horloge-mère H ordinairement en service ;

3^o un relai R dont l'emploi est facultatif ;

4^o un récepteur horaire dont l'électro a reçu un enroulement tel que ce récepteur s'arrête avant tous les autres, si la différence de potentiel vient à baisser d'une façon anormale.

Ce récepteur contrôleur sera mis de préférence dans le local habité le plus souvent par la personne qui est chargée de l'entretien de l'installation. A l'École, c'est le récepteur de l'atelier de mécanique qui a été établi dans le but de servir d'avertisseur. Tant qu'on le voit fonctionner, on est sûr qu'il en est de même des autres horloges, sauf, naturellement, que des circuits particuliers ne soient rompus ou que par des effets de rémanence les armatures de certains récepteurs restent collées contre leurs électros.

Le commutateur 2 sert à rompre ou à établir le courant de charge que tamise une lampe rhéostat r . Après la charge, celle-ci peut être mise seule en circuit par le même commutateur, si son éclairage est utilisable.

Le commutateur 3 permet la mise en service de l'une ou l'autre des batteries B ou P , selon que la manette est sur le plot de gauche ou de droite.

Au moyen du commutateur bavarois 4, on peut réaliser quatre opérations :

1^o les fiches occupant les positions montrées par le schéma, le courant des batteries B ou P est dirigé sur l'horloge-mère H ;

2^o l'une des fiches restant à la même place et l'autre fiche étant mise entre les masses a et e , le courant est dirigé cette fois sur l'horloge-mère H' ;

3^o les fiches étant mises entre les masses a et d , a et b , l'élément P' chargé d'actionner le relai R se trouve relié à H ;

4^o ce même élément sera relié à H' en mettant une fiche entre a et e .

A ces deux dernières positions des fiches, doit coïncider la position de la manette du commutateur δ sur le plot communiquant avec l'interrupteur particulier du relai qui se trouve ainsi mis en relation avec la ligne L .

Quand les émissions doivent être faites directement, c'est-à-dire sans l'aide du relai, les manettes et fiches des différents commutateurs occupent les positions représentées dans la figure.

Terminons cette courte description en signalant, pour mémoire, les autres accessoires figurés dans le schéma : f et f' , plombs fusibles ; F , paratonnerre (p. 76) ; 1 et 6 sont des interrupteurs à main, le premier permet de laisser le voltmètre hors circuit, quant au second, nous connaissons le rôle qu'il peut être appelé à jouer ; L et L' (haut de la fig.) sont des fils de lumière ; L et L' (à droite) sont des fils aboutissant aux horloges-réceptrices ; enfin V est une résistance sans self, dans laquelle se neutralise l'extra-courant de rupture (p. 8).

OBSERVATIONS. — La batterie primaire P peut être, à l'ordinaire, affectée à un service de sonneries, téléphones, au remontage automatique des horloges-mères, etc. Quand, par hasard, elle devra être utilisée pour la distribution horaire, il suffira de rompre tous les circuits étrangers. Cependant si cette batterie possédait une capacité suffisante, il n'y aurait pas d'inconvénient à lui laisser alimenter plusieurs circuits à la fois. Ceci se rapporte, à fortiori, aux batteries secondaires. Mais, avec ces dernières, il est nécessaire que l'isolement général soit bon, sinon il en résulterait de graves perturbations à cause des pertes à la terre existant la plupart du temps dans les installations de lumière.

Supposons, par exemple, qu'il survienne un défaut d'isolation dans le fil L (fig. 76) qui canalise le courant de lumière dont une fraction est employée à charger les accumulateurs, et qu'un même défaut affecte le fil L' qui canalise le courant de ceux-ci aux réceptrices ; il se crée aussitôt un court-circuit continu entre les fils de lumière

L et L' à travers la terre, d'une part, et les réceptrices d'autre part. Si le court-circuit est peu résistant, le fil de plomb f fondra, s'il est trop résistant pour laisser passer un courant capable de fondre le

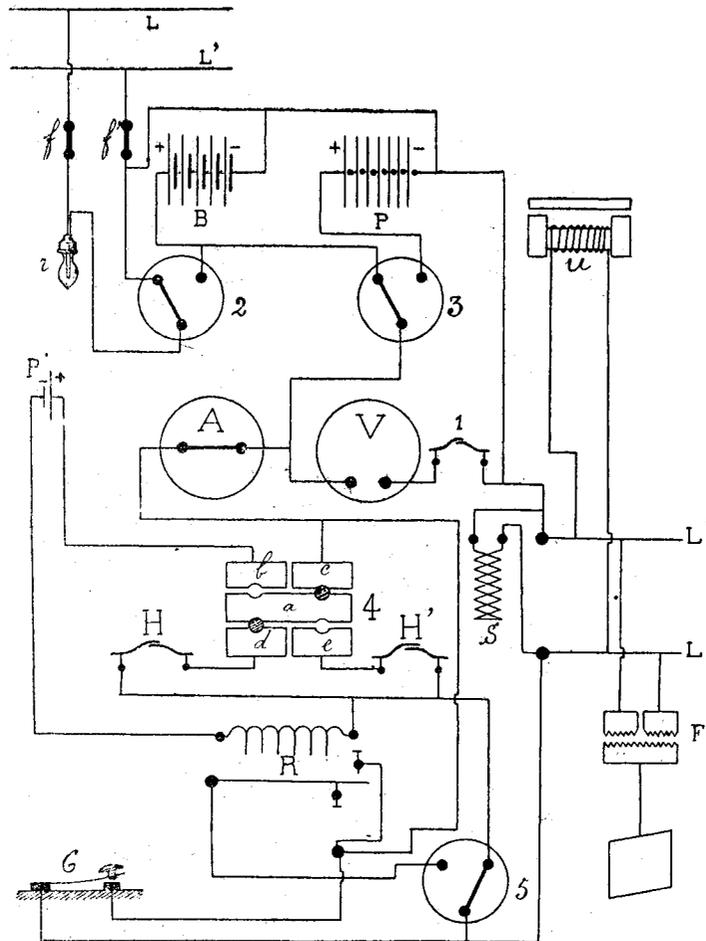


Fig. 76.

plomb, les armatures des récepteurs resteront constamment attirées contre leurs électros, et il en sera ainsi jusqu'à ce que l'on ait relevé et corrigé les pertes à la terre dans les circuits commandés par les batteries. En attendant on devra rompre le circuit de charge de la batterie pour couper toute relation avec les conducteurs industriels.

Les défauts d'isolement que nous venons d'envisager ne pourraient

avoir de conséquences fâcheuses pour l'horloge-mère par suite de l'emplacement occupé par la lampe rhéostat ν . Mais que la perte à la terre existe sur le fil de lumière L , la lampe étant sur l'autre branche f' de la dérivation ff' , il se produira bel et bien un court-circuit au moment où l'interrupteur de l'horloge-mère fermera le circuit. Cette fois, le court-circuit sera complet puisqu'il n'y a même plus comme obstacle la résistance ohmique présentée par l'ensemble des réceptrices.

Ces faits mettent bien en évidence la nécessité des fils fusibles dans les installations horaires ayant des connexions sur d'autres installations canalisant de forts courants.

Comme complément à la sécurité offerte par les fils fusibles, il est bon d'insérer la résistance devant rentrer dans le circuit de charge, par moitié sur chaque branche de la dérivation prise sur les fils de lumière. Par exemple, si cette résistance est représentée par une lampe de 30 bougies sous 120 volts on mettrait une lampe de 15 bougies sous 60 volts sur chacune des branches f et f' (fig. 76).

4^e Mode d'emploi des Accumulateurs

Nous l'avons dit, il s'agit ici de laisser indéfiniment les accumulateurs dans leur circuit de charge. Il faut alors arriver à équilibrer le courant de charge reçu quotidiennement par la batterie avec la dépense journalière de celle-ci.

La chose est réalisable de deux façons :

1^o En faisant dépenser l'excédent des courants sur une résistance facile ;

2^o En adaptant à un mécanisme de récepteur-horaire un interrupteur automatique dans le genre de celui que nous avons vu figure 72, lequel ne laissera passer le courant de charge que pendant le temps indiqué par le calcul et l'expérience.

3^o En disposant dans le circuit de charge un disjoncteur interrompant automatiquement la charge quand elle est complète.

Entretien et Durée des Accumulateurs

Les accumulateurs doivent être placés dans un local sec, frais et bien aéré, sur des isolateurs en verre reposant sur des étagères en bois gondronné.

Il faut éviter de les laisser déchargés, sinon les plaques se recou-

vrent d'une couche blanche de sulfate de plomb, mauvaise conductrice de l'électricité.

Lorsque des plaques sont sulfatées on les désulfatera en chargeant les accumulateurs une première fois avec un liquide marquant 2 à 3^e Baumé seulement.

Quand les accumulateurs doivent rester quelque temps inutilisés, il faut, au préalable, leur donner une légère surcharge.

Le liquide doit toujours dépasser le bord supérieur des plaques ; dès qu'il y a perte par évaporation, on doit la rétablir par de l'eau distillée.

Il faut de temps en temps vérifier la densité du liquide et la ramener si cela est nécessaire, après la charge, à la densité voulue, 27^e Baumé, à fin de charge, et 22^e à fin de décharge.

Le nettoyage doit se faire avant que les débris de matières actives tombées au fond des vases n'atteignent les plaques, sinon ces matières produiraient des courts-circuits. On lave les plaques en les plongeant simplement dans de l'eau distillée. (1)

Les constructeurs indiquent généralement un cycle de deux ans entre deux nettoyages. Des enquêtes personnelles faites dans les usines utilisant des batteries industrielles les plus réputées nous ont démontré qu'il faut au moins un nettoyage annuel.

Toutefois, les petites batteries utilisées en horlogerie électrique étant moins surmenées pourront supporter un intervalle plus long.

Il faut enduire d'une couche protectrice de vaseline ou de vernis les bornes ou prises de courant sur les accumulateurs.

Lorsqu'une batterie ne doit pas être utilisée pendant longtemps, il faut la démonter non sans lui avoir fait subir une surcharge.

Les plaques négatives seront conservées dans un récipient contenant de l'eau distillée et les positives pourront être empilées dans un endroit sec.

Indépendamment des soins que nous venons d'énumérer il faudra encore tenir compte des recommandations particulières formulées par les constructeurs.

(1) Pour éviter toute interruption dans le service pendant le nettoyage des accumulateurs on pourra procéder élément par élément. Mais pour cela, il faut naturellement que la batterie comporte au moins un élément en sus du nombre nécessaire pour réaliser la tension minimum. Si, en marche normale, l'excès de tension provoqué par l'élément supplémentaire est nuisible, il sera toujours facile de l'annuler au moyen d'une résistance factice.

Quant à la durée des accumulateurs, elle dépend beaucoup de la façon dont on les entretient.

Les meilleures marques sont cotées comme ayant une durée de 10 ans mais nous savons par expérience que les plaques positives qui sont celles qui s'usent le plus, demandent quelquefois à être changées au bout de 5 à 6 ans.



En l'état actuel des choses, il n'existe pas encore, à notre connaissance du moins, de types d'accumulateurs ayant été construits dans le but spécial d'appropriation à l'horlogerie électrique. En effet, les modèles employés dans l'industrie sont plutôt construits en vue d'obtenir un grand rendement, une charge rapide, une forte décharge par rapport à leur poids en sacrifiant souvent les qualités d'endurance.

Or, dans l'application qui nous occupe, l'inverse est préférable ; l'horloger qui a la direction d'une installation horaire préférera incontestablement posséder des accumulateurs à faible rendement pourvu qu'ils soient robustes et qu'ils durent le plus longtemps possible sans nécessiter de soins trop assidus.

Espérons que dans un avenir prochain cette lacune sera comblée.

HORLOGES-MÈRES ÉMETTANT DES COURANTS AU MOYEN DE MACHINES MAGNÉTOS

Nous abordons à l'une des plus modernes applications de l'électro-horlogerie : les horloges-mères avec machines magnétos comme source d'électricité.

L'étude de la magnéto est intéressante au premier chef ; en effet, on la retrouve en téléphonie, où elle est presque exclusivement employée pour les appels, et, dans l'automobilisme, pour l'inflammation des gaz.

Les organes essentiels d'une magnéto sont *l'inducteur* et *l'induit* (p. 6). Le premier est constitué par un aimant permanent, et, le second, par une bobine de fil de cuivre recouvert, à sa périphérie, d'une enveloppe isolante.

Les extrémités de ce fil étant reliées, si l'on fait *varier le nombre de lignes de force*, ou pour employer l'expression consacrée, le *flux* coupé par l'induit, ce dernier devient spontanément le siège d'un courant dont la durée est la même que celle de la variation du flux.

Dans une magnéto, on peut réaliser de deux manières la variation du flux embrassé par l'induit :

1^o en provoquant le déplacement de l'induit dans le champ magnétique inducteur ;

2^o en déplaçant dans le voisinage des pôles de l'aimant producteur du champ, au milieu duquel l'induit reste fixe dans une position déterminée, un morceau de fer de façon à modifier *la résistance du circuit magnétique* formé par les lignes de forces.

Avant d'examiner les moyens permettant de réaliser pratiquement ces deux derniers modes de variation, il est bon de consacrer quelques lignes à l'étude des champs magnétiques et des courants induits.

CHAMP MAGNÉTIQUE. — Nous avons dit (p. 5) ce que c'est qu'un champ magnétique ; nous pourrions le mettre en évidence de la façon suivante : après avoir saupoudré de limaille de fer une plaque de verre disposée sur l'aimant dont on veut reproduire le champ, imprimons au système quelques petites secousses ; nous constatons que les parcelles de fer se rassemblent en filets formant des lignes courbes, allant d'un pôle à l'autre.

Ces lignes ne sont autre chose que la trajectoire des *lignes de force* rendue visible.

Telle est l'expérience de ce qui est connu sous le nom de fantôme magnétique, qu'il est facile de fixer en lignes blanches sur fond bleu en faisant usage de papier au ferro-prussiate. Pour cela, étant dans l'obscurité, nous mettrons une feuille de ce dernier papier entre deux plaques de verre mince, et, après avoir formé le champ ainsi qu'il est dit plus haut, nous exposerons le tout au soleil pendant deux ou trois minutes — le temps d'exposition dépend du degré de sensibilité du papier. — Il faudra ensuite laver la feuille de papier à grande eau et la laisser sécher.

CIRCUIT MAGNÉTIQUE. — On a été amené à assimiler les lignes de force qui sillonnent un champ magnétique à un courant électrique qui parcourt un circuit ordinaire ; d'où le nom de *circuit magnétique* donné au trajet moyen suivi par les lignes de force.

On admet que les lignes de force, comme les courants électriques, ont un sens déterminé, leur direction va du pôle nord au pôle sud en franchissant l'air qui sépare ces pôles par une trajectoire plus ou moins accentuée.

Comme un circuit électrique, un circuit magnétique peut être plus ou moins *résistant*.

Conséquemment un circuit électrique peut donner lieu à un champ plus ou moins *intense* suivant que le milieu parcouru par les lignes de force est plus ou moins *conducteur*.

Les corps qui offrent la meilleure *conductibilité magnétique* sont les corps dits magnétiques; le fer tient la tête; il est environ vingt mille fois plus conducteur que l'air.

C'est ainsi qu'un morceau de fer placé dans un champ magnétique en accapare presque toutes les lignes de force.

Nous n'insisterons pas sur ces considérations qui, quoique succinctes, suffisent pour démontrer que les lignes de forces, comme les courants électriques, tendent toujours à prendre le chemin le moins *résistant*.

NATURE DES COURANTS INDUITS. — Les courants induits s'opposent toujours au mouvement qui les produit ainsi qu'il ressort de la loi suivante formulée par le physicien Lenz :

Le courant développé dans une bobine de fil par son mouvement dans un champ magnétique, tend à imprimer un mouvement de sens contraire à celui qui a produit ce courant.

Nous voilà donc fixés sur ce point capital qu'il faut dépenser du travail mécanique pour faire mouvoir une bobine de fil dans un champ magnétique.

Désormais nous comprendrons pourquoi, lorsque tout circuit est ouvert, l'induit d'une dynamo (1) peut être entraîné par un seul homme, alors qu'il faut dépenser quelquefois plusieurs chevaux de force pour lui imprimer le même mouvement quand son circuit est fermé.

Ajoutons que l'énergie mécanique dépensée pour faire mouvoir une bobine induite est proportionnelle à l'énergie électrique développée.

D'autre part l'énergie électrique engendrée est :

- 1° proportionnelle à la vitesse de déplacement de l'induit; parce que plus le déplacement est grand, plus grande est la variation du flux;
- 2° proportionnelle à l'intensité du champ inducteur;
- 3° proportionnelle au nombre de spires que comporte l'induit;
- 4° proportionnelle à la surface embrassée par chacune des spires.

Remarque importante : si les spires de la bobine induite cou-

(1) En principe une dynamo ne diffère d'une magnéto que par l'inducteur qui, au lieu d'être constitué par un aimant permanent, l'est par un électro-aimant.

pent les lignes de force du champ inducteur dans un certain sens, le courant induit produit est d'un certain sens. Mais dès que ces mêmes lignes de force sont coupées en sens inverse, le courant s'inverse également dans les sphères.

Donc en déplaçant une bobine de fil dans un champ magnétique, son fil sera parcouru par un *courant alternatif*. En effet, pour qu'il en soit autrement c'est-à-dire pour avoir un courant de même sens, il faudrait opérer dans un champ variable de surface illimitée ; or, dans la pratique, ce n'est pas le cas, la surface d'un champ étant toujours relativement restreinte, il faut, pour maintenir l'induit dans son champ inducteur, lui imprimer dans une certaine direction des mouvements de va-et-vient.

Dernière remarque : Pourquoi du mouvement d'un induit dans un champ magnétique résulte-t-il obligatoirement un courant alternatif ?

L'observation combinée de la loi de *Lenz* citée plus haut et de la loi de *Faraday* nous permettra de le comprendre.

La loi de *Faraday* dit que *deux lignes de force parallèles et de même sens se repoussent et qu'elles s'attirent si elles sont de sens contraires*.

Or, quand un induit est en mouvement dans un champ inducteur ce sont deux champs magnétiques qui sont en présence ; dans l'un, l'inducteur, les lignes de force se dirigent toujours dans le même sens, mais tel n'est pas le cas dans le champ magnétique induit, où, comme le fait prévoir la loi de *Lenz*, elles prennent toujours une direction telle qu'elles s'opposent au mouvement qui les a produites.

Si maintenant nous apprenons qu'à des lignes de force de sens donné correspond un courant de sens donné, il est clair que, puisque les lignes de force s'inversent dans le champ magnétique induit, il en sera de même pour le sens du courant induit.

Le sens des lignes de force dans un champ magnétique créé par un courant sur un fil de cuivre, est comme celui des aiguilles d'une montre, quand on regarde l'extrémité du fil par où rentre le courant.

Tout ce que nous venons de dire est sans nul doute un peu abstrait, mais il était indispensable d'en parler car c'est en quelque sorte une introduction naturelle à la compréhension des machines magné-



Magnétos dans lesquelles on produit des courants par des déplacements de l'induit

Une des façons les plus simples de provoquer une variation du flux ou du nombre des lignes de force coupées par une bobine induite consiste à faire tourner celle-ci dans le champ inducteur qui, lui, reste fixe.

Pour simplifier, nous supposons que la bobine n'est formée que d'une seule spire ab fermée sur elle-même (fig. 77) et susceptible de tourner dans le sens des aiguilles d'une montre, autour d'un axe mn perpendiculaire aux lignes de force de l'aimant NS .

Les lignes de force sont représentées par des flèches allant du pôle nord N au pôle sud S .

Remarquons que dans la position 1, la spire ne coupe pas de lignes de force, puisque ses côtés a et b , qui seuls sont soumis à l'action inductrice de l'aimant, se déplacent *parallèlement* à la direction de ces lignes. Le courant induit obtenu est donc nul.

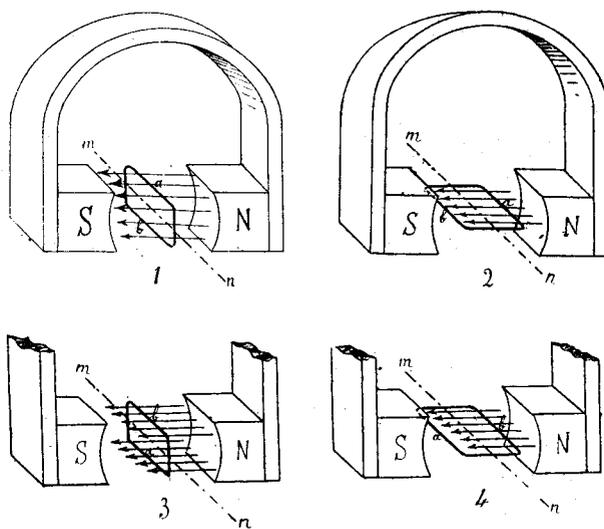


Fig. 77.

Mais au fur et à mesure que la spire se rapproche de la position 2 le nombre de lignes de force coupées va en grandissant ; d'après ce que nous savons, l'intensité du courant induit ira aussi en augmentant.

A la position 2, correspond donc le maximum du courant.

De la position 2 à la position 3, le flux coupé va en diminuant ; l'intensité du courant induit suit les mêmes fluctuations.

De 3 à 4, mêmes observations que de 1 à 2, c'est-à-dire que l'intensité du courant augmente avec le flux coupé.

Enfin de 4 à 1, diminution de l'intensité du courant pour les mêmes raisons que de 2 à 3.

On voit que dans un champ magnétique dont les lignes de force sont horizontales, chaque fois que la spire induite sera horizontale, il y aura courant maximum ; et, chaque fois qu'elle sera verticale, courant nul. Comme cette spire ne peut être que deux fois horizontale dans un seul tour, il y aura donc deux maxima par tour. Par conséquent, pendant une révolution entière la spire a été parcourue par un *courant alternatif*.

En appelant à notre aide les connaissances que nous avons acquises par la lecture des pages précédentes nous constaterons que de 1 à 3, le courant induit parcourt la spire — en considérant le côté *a* — de l'avant à l'arrière ; et, de 3 à 4, c'est-à-dire au point de départ, le courant est de sens inverse.

Voici comment on représente graphiquement les variations de

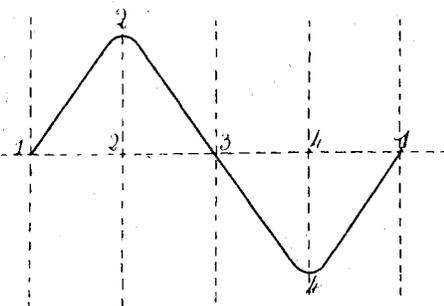


Fig. 78.

l'intensité du courant induit : sur une ligne horizontale (fig. 78), on porte les diverses positions 1, 2, 3 et 4 occupées par la spire et en chacune de ces positions, on porte sur une perpendiculaire la valeur de l'intensité trouvée ; on obtient une courbe sinusoïdale qui montre

qu'en 1 le courant est nul, qu'il est maximum en 2, qu'il redevient nul en 3 où il change de sens, et qu'il reprend son maximum en 4 pour redevenir nul en 1 et ainsi de suite. Nous avons ainsi une image du courant alternatif simple provoqué par une machine magnéto.

On appelle *période* l'intervalle du temps compris entre les passages de la bobine induite en deux points où le courant a deux valeurs égales et de même signe.

Une *phase* est une demi-période,

Le nombre de périodes par seconde s'appelle *fréquence*.

Dans la suite nous aurons à nous rappeler ces différentes dénominations.

EMBOBINAGE DE L'INDUIT — On conçoit que dans la pratique une seule spire ne saurait suffire à constituer l'induit. Pour obtenir le plus de courant possible, on emploie une grande longueur de fil isolé que l'on enroule sur une bobine en fer doux ayant la forme d'un double T. (fig. 79).

Si le fil employé est long et fin on obtiendra un nombre considérable de volts et moins d'ampères. Le contraire a lieu si l'on se sert d'un fil gros et court. Quelle que soit d'ailleurs la grosseur du fil employé, le volume total ne change pas pour une bobine donnée.

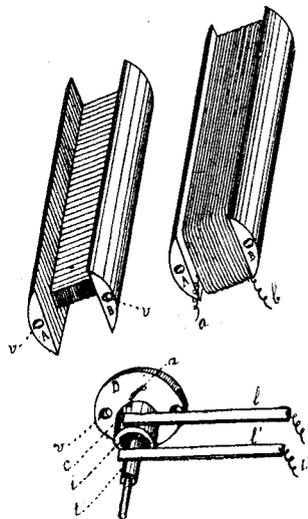


Fig. 79.

Sur les deux extrémités des joues A et B de la bobine en fer sont montés par deux vis v et v' , deux disques D en laiton — un seul, celui de l'avant, est représenté dans la figure — comportant en leur centre une tige en acier terminée par un tourillon t destiné à servir de point de pivotement.

L'axe de l'un de ces disques reçoit une bague en cuivre ou en argent c , isolée de la masse par une autre bague i qui est en ébonite. A la bague c est soudée l'une des extrémités a ou b du fil de l'induit, tandis que l'autre extrémité est soudée à la masse.

Le courant induit est recueilli par deux frotteurs l et l' , dont l'un l , frotte sur la bague c , et, l'autre l' , sur l'axe du disque, soit sur la masse.

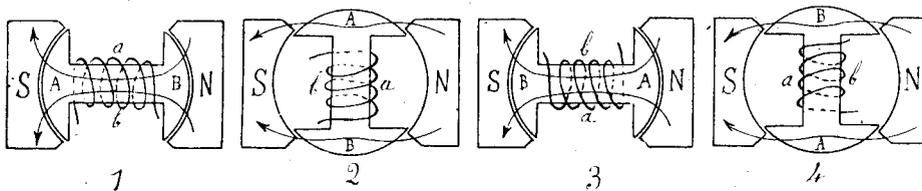


Fig. 80.

A ces frotteurs sont rattachées les extrémités L et L' du circuit intérieur. Sur l'axe du disque D qui est vissé sur l'autre extrémité de la

bobine on chasse soit une poulie ou tout autre organe par lequel on fera mouvoir la bobine dans le champ inducteur.

La figure 80 qui montre les quatre positions de la bobine en double T, n'est en somme que la réédition de la fig. 77 qui ne représente l'induit que par une seule spire.

**Magnétos dans lesquelles on fait varier le flux
coupé par la bobine induite
au moyen d'un volet en fer que l'on fait tourner
dans le champ inducteur**

Dans ces sortes de magnétos, la bobine induite, dont la conformation peut être identique à celle que nous venons de voir (fig. 79), est fixe comme l'inducteur. Pour en obtenir des courants induits on se contente de faire tourner concentriquement à la bobine un système de volet en fer doux formé de deux ailes V et V' diamétralement opposées (fig. 81).

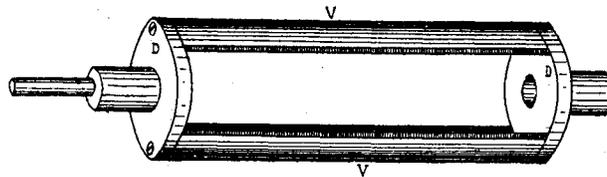


Fig. 81.

L'assemblage de ces deux ailes se fait, ainsi que le montre la fig. 81, au moyen de deux disques D en métal non magnétique, dont les axes sont percés à l'effet de recevoir les extrémités de l'axe de la bobine induite.

L'axe du disque D d'avant, qui n'est percé que sur une fraction de sa longueur, se termine par un pivot suffisamment allongé pour lui permettre de recevoir, après son palier support, le mobile qui servira à entraîner l'ensemble du volet.

Le disque D d'arrière a son axe percé de part en part dans le but de laisser dépasser le pivot de la bobine qui s'y ajuste. C'est par l'extrémité prolongée de ce dernier axe que l'on rend l'induit fixe dans la position indiquée par la fig. 82.

Il est clair que, la bobine de fil restant immobile, point n'est besoin du commutateur ni des frotteurs l et l' qui sont indispensables

au type de magnéto précédent pour relier les extrémités *a* et *b* de l'induit au circuit extérieur *L* et *L'* (fig. 79).

Il suffira en effet, l'une des extrémités du fil induit étant soudée à la masse, de faire passer l'autre extrémité à l'intérieur, à travers un

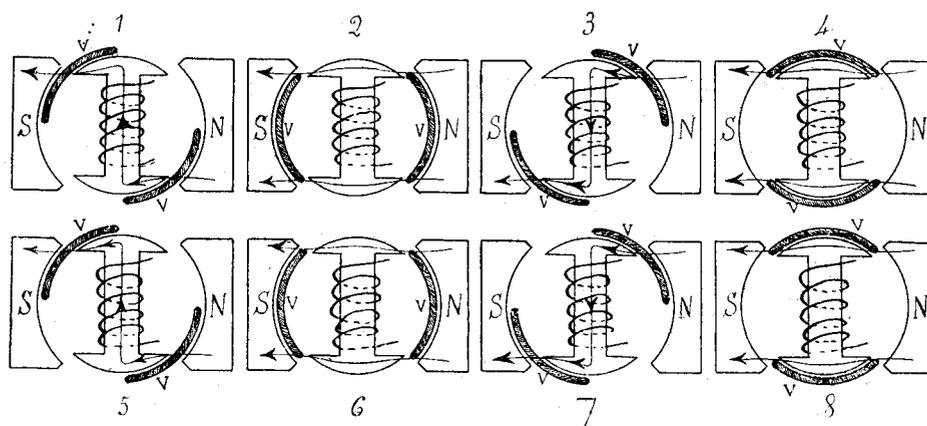


Fig. 82.

trou isolé préalablement pratiqué dans le pivot libre de la bobine.

La suppression de toute commutation entre le circuit intérieur et le circuit extérieur constitue déjà un avantage, et non des moindres, en faveur de la magnéto à volet. Ce n'est pas tout. En effet, la rotation de l'induit peut, dans certains cas, présenter des inconvénients à cause de sa pesanteur. Ainsi, si l'on envisage le fonctionnement d'une bobine induite dans un mécanisme d'horloge, on peut juger combien celle-ci aurait à souffrir des effets nuisibles de l'inertie, lorsqu'à chaque minute il faudrait lancer brusquement cette bobine et l'arrêter de même. Avec le volet dont le poids sera toujours relativement beaucoup plus faible, les inconvénients précités seront bien atténués.

Un autre avantage, que nous verrons utilisé dans l'horloge-mère « Magnéta » que nous décrivons un peu plus loin, est celui-ci : la magnéto à volet donne quatre maxima de courant par tour au lieu de deux que donne la magnéto précédemment décrite. Ainsi donc, pour obtenir avec la magnéto à volet un courant induit passant par toutes les gammes depuis le zéro au maximum, il suffira d'imprimer aux ailes *V* un mouvement de rotation égal à un huitième de tour. C'est ce que nous allons démontrer en nous servant de la figure 82 qui

montre précisément les huit positions principales qu'occupe le volet pendant une de ses révolutions.

Rappelons-nous qu'un morceau de fer interposé dans un champ magnétique en concentre le flux, la plupart des lignes de force tendant à passer à travers le fer dont la perméabilité est très grande (p. 151). Si donc nous déplaçons dans le champ de l'aimant *NS* (fig. 82) les ailes *V* du volet, le flux se déplacera avec elles ; par suite les spires du fil enroulé sur la bobine en double T, seront coupées par un flux variable dans les mêmes conditions que si elles étaient elles-mêmes déplacées. Rien d'étonnant alors pour quiconque connaît les principes sur lesquels repose la production des courants induits, si notre bobine de fil devient le siège d'un courant.

Ce courant, ainsi que nous le fait présager l'étude de la magnéto précédente, est d'ordre alternatif (p. 154). Nous allons en étudier les différentes phases.

Supposons que le volet tourne, par exemple, en sens inverse des aiguilles d'une montre : on voit que ses ailes *V* et *V'* arrivées à la position 1 forment comme un pont entre les pôles nord et sud de l'aimant et les joues en fer de la bobine de fil. A la seule inspection de la figure, on comprend que c'est alors que les lignes de force dont le trajet moyen est indiqué par les flèches, doivent éprouver le moins de difficultés pour passer du pôle nord au pôle sud ; la résistance magnétique est à son minimum, partant le flux est à son maximum.

Arrivées à la position 2, les ailes se confondant avec les épanouissements polaires de l'aimant, c'est comme si elles n'existaient pas ; aussi, l'espace d'air à traverser par les lignes de force est-il plus grand que dans toute autre position ; par conséquent la résistance magnétique est à son maximum et le flux à son minimum.

Le volet continuant à tourner, ses ailes viennent, comme en 1, faire pont entre les joues en fer de la bobine induite et les pôles de l'aimant, position 3, ce qui rend à nouveau la résistance magnétique minimum et le flux maximum.

A la position 4, où les ailes coïncident avec les joues de la bobine la résistance magnétique se trouve dans le même cas que dans la position 2, le flux est donc là aussi minimum.

Si nous continuons ainsi à suivre les ailes du volet dans leurs positions successives 5, 6, 7 et 8, c'est-à-dire jusqu'à l'achèvement

d'un tour entier, nous voyons que le flux magnétique passe alternativement du maximum au minimum.

A ces maxima et minima du flux correspondent des forces électromotrices alternatives minima et maxima.

En effet, un examen comparatif fait avec les fig. 77, 80 et la fig. 82 montre que le trajet des lignes de force est identique pour les positions impaires comme pour les positions paires. C'est ainsi que l'on peut relever dans celles-ci ⁽¹⁾ un parallélisme entre les lignes de force et le plan des spires de l'induit ; or, nous avons vu page 153 que dans ce cas, le courant induit réalisé est maximum. Au contraire, dans les positions impaires, où les lignes de force sont perpendiculaires aux spires, le courant induit est nul ; nous en avons expliqué le pourquoi en disant que les lignes de force *n'étaient pas coupées par les spires* et que l'on se trouvait absolument dans le même cas que si les spires étaient déplacées parallèlement aux lignes de force. En résumé, il ne peut se produire de courant dans les positions impaires, puisque les spires de la bobine induite n'y sont l'objet d'aucune *variation du flux*.

Quant aux changements de sens du courant, il est facile de les prévoir si nous nous rappelons les principes énoncés dans la première partie de ce chapitre ; il y aura inversion du courant toutes les fois que le sens de la variation du flux s'inversera également.

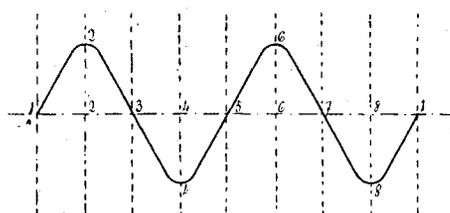


Fig. 83.

Par exemple, à partir de la position 3 où la direction du flux est l'inverse de celle de la position 1, le courant change de sens ; il en est de même dans les positions 5 et 7.

REMARQUE. — Il est évident que si le volet, après avoir été amené de la position 1 à la position 2, était ramené en 1, le courant induit obtenu de 2 en 1 serait l'inverse de celui obtenu de 1 en 2.

(1) Dans les positions paires des figures 80 et 82, il aurait fallu représenter des lignes de force passant à travers les spires de la bobine induite.

La courbe sinusoïdale montrée par la fig. 83, qui est établie sur les mêmes principes que la figure similaire 77, donne l'image du courant alternatif obtenu pendant une rotation entière du volet en fer. On voit en comparant ces deux dernières figures, que le nombre de phases par tour et par suite des maxima de courant est doublé dans la magnéto à volet.

D'après certains auteurs parmi lesquels nous pouvons citer *Du Moucel*, l'application de la magnéto dans les horloges-mères aurait été essayée dès son apparition.

Il est évident que les expérimentateurs n'avaient pas fait leurs essais avec une science suffisante des phénomènes dont ils se réclamaient, car rien de ces tentatives n'est resté dans le domaine de la pratique.

Pour l'instant nous ne connaissons en effet que l'horloge-mère dont nous allons donner la description et qui est exploitée depuis deux ou trois années par une Société zurichoise sous le nom d'horloge *Magnéta*.

La fig. 84 en montre une vue d'ensemble. La platine postérieure a été enlevée pour faciliter la vue du mécanisme qui se compose de deux corps de rouage actionnés chacun par un poids.

Le rouage de gauche est celui qui actionne la magnéto qui est du type à volet que nous venons d'étudier.

De la magnéto, la fig. 84 ne laisse voir que l'un des pôles *N* de l'aimant inducteur et la partie supérieure de l'axe du volet.

Entre deux émissions de courant, le rouage commandant le volet est maintenu au repos par la pièce portant le n° 5.

Le rouage de droite est celui de l'horloge proprement dite.

Le fonctionnement en tant qu'horloge-mère a lieu comme suit :

La roue commandant le pignon d'échappement et qui fait un tour en huit minutes comporte sur son champ extérieur huit goupilles, qui, toutes les minutes, provoquent le déplacement des leviers 1, 2, 3, 4, 6 et 7; de ce fait, la pièce n° 5 devient libre et effectue par la force du poids moteur commandant le rouage de gauche, un demi-tour énergique.

Par ce mouvement de rotation et au moyen de la manivelle attachée en 5, la bielle 8 suivant la position occupée au moment du

débrayage, est attirée ou repoussée en agissant sur le volet qui fait un

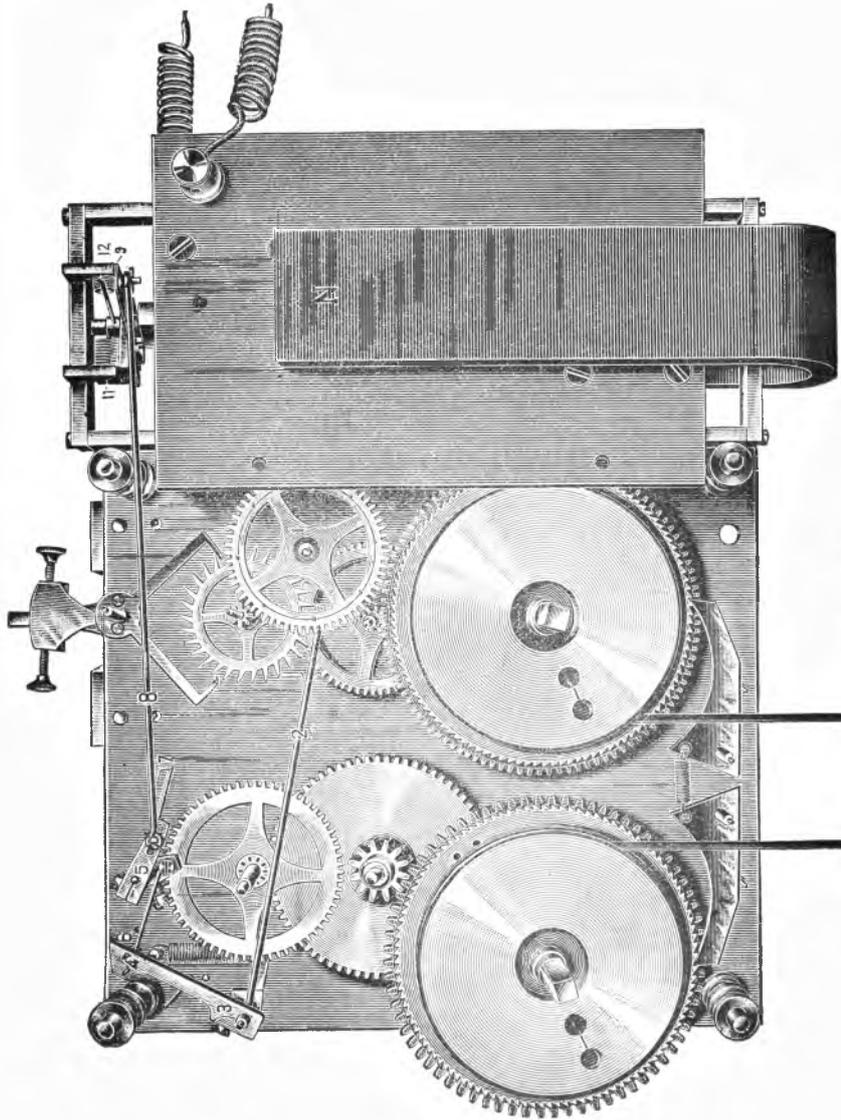


Fig. 84

huitième de tour, ce qui est suffisant, nous l'avons vu, pour créer un courant induit passant du zéro au maximum. Remarquons de plus que le volet après avoir passé dans une première émission, par exemple,

de la position 1 à la position 2 (fig. 82) est ramené de la position 2 à la position 1 ; les courants qui résultent de ces deux manœuvres sont donc de sens inverse (p. 159).

Afin que le choc occasionné par la vigueur du mouvement imprimé au volet ne nuise à aucun organe, la bielle 9 qui termine le volet vient buter à la fin de sa course contre les ressorts à boudin 11 et 12 qui sont comprimés à tour de rôle et utilisent leur élasticité ainsi emmagasinée pour le mouvement de retour.

Nous savons déjà que ce rapide mouvement du volet de fer dans le champ magnétique de l'aimant A, engendre dans la bobine fixe un courant induit qui change de sens à chaque mouvement contraire du volet, c'est-à-dire à chaque minute.

Cette instantanéité de la production du courant se communique *sans interrupteur ni commutateur* d'aucune espèce aux horloges secondaires ou récepteurs horaires qui y sont reliés ; c'est ce qui explique la mention *sans contacts* qui est souvent ajoutée aux horloges-magnéta.

Cependant ces sortes d'horloges-mères ne pourraient actionner n'importe quel système de récepteur à cause du peu de durée de leur émission. Il est en effet indispensable que les armatures des récepteurs destinés à être commandés par ces, soient très légères, car si leur inertie est quelque peu sensible, le fonctionnement n'a pas le temps de s'effectuer, ou, pour le moins, on risque des ratés.

C'est pour cette raison que la même maison qui construit les horloges-magnéta établit aussi un type de récepteur horaire qui répond au desiderata voulu. Nous en donnons une vue (fig. 85).

L'armature 17, construite très légèrement avec de la tôle de fer doux, est polarisée⁽¹⁾, d'une part, par l'un des pôles d'un aimant permanent 14, coudé à angle droit, et, d'autre part, par l'autre pôle à travers les noyaux de l'électro-aimant dont la culasse est vissée sur la partie coudée de l'aimant ; elle se meut sur 18, dans le sens rotatif. L'armature occupant la position qu'indique la figure, si l'électro est parcouru par un courant de sens tel qu'il provoque sur le noyau de gauche un pôle de sens contraire à celui que l'armature reçoit par l'influence du pôle supérieur de l'aimant, le côté 17 de l'armature sera

(1) Aimantée par influence.

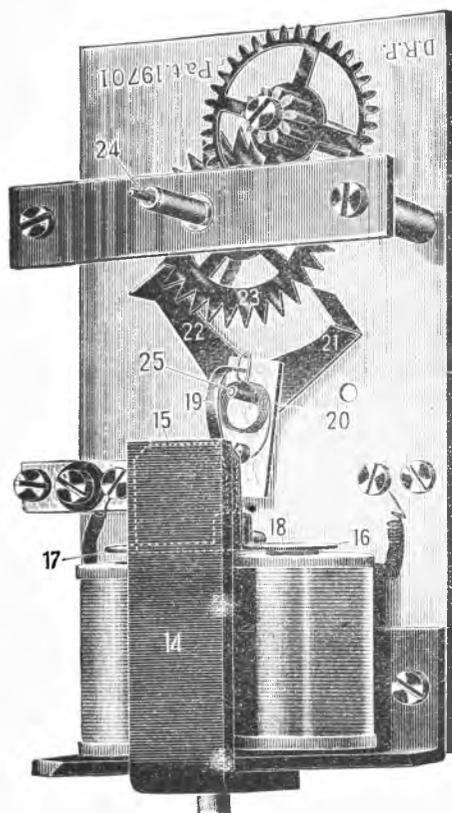


Fig. 85.

attiré, tandis que le côté 16 sera repoussé par le noyau de droite sur l'extrémité duquel s'est développé un pôle de même sens que celui de l'armature. On voit que les deux noyaux contribuent au mouvement rotatif de l'armature.

A l'émission suivante le courant lancé par l'horloge-mère étant inverse, il y aura également, d'après les lois de l'induction électro-magnétique, inversion dans la nature des pôles provoqués aux extrémités des noyaux de l'électro : cette fois, la polarité de l'armature étant de sens invariable, c'est le noyau de gauche qui repousse l'armature et celui de droite qui l'attire.

Un bras 19 qui est fixé sur l'armature en suit donc tous les mouvements.

La platine du mouvement porte en outre une goupille axe 25, sur laquelle se meut un ancre dont les deux bras 21 et 22 pénètrent alternativement dans les dents taillées en étoile d'une roue 23.

Sur l'ancre précitée est fixé, par l'une de ses extrémités, un ressort à boudin 20 qui sert pour ainsi dire d'accumulateur d'énergie dans le système.

L'autre extrémité du ressort à boudin se termine en anneau à l'intérieur duquel pénètre le bout du bras 19 que nous avons dit être solidaire de l'armature.

Sitôt donc que l'armature se meut sous l'action du courant, par exemple vers la gauche, le ressort 20 est immédiatement tendu par le

bras 19, dans la même direction, et cette tension emmagasinée se dépense sur l'ancre 21 mobile autour de 25 et produit l'avancement d'une demi-dent sur la roue à minutes 23.

Sur l'axe 24 de cette roue est fixée l'aiguille des minutes qui parcourt doucement et sûrement une minute à chaque jeu de l'appareil.

Entre deux fonctionnements, la fixité de l'armature et par suite des aiguilles — jusqu'à concurrence de la résistance mécanique offerte par le ressort à boudin — est assurée quelle que soit la position occupée par l'armature, grâce à l'attraction mutuelle qui s'exerce entre cette dernière et le noyau de l'électro qui est le plus rapproché.

Ces sortes de récepteurs — nous entendons ceux construits pour les appartements — n'exigent guère qu'une puissance de 0,01 watt.

On aura une idée de la modicité de cette dépense lorsqu'on saura qu'une machine magnéto d'une puissance d'un cheval-vapeur (p. 151) pourrait théoriquement en alimenter 73.600, puisque la puissance électrique qui équivaut à un cheval-vapeur est de 736 wats.

Horloge-mère émettant des courants triphasés

(*Système Thury*)

Par l'originalité de sa structure, cette horloge-mère se distingue encore plus que la précédente de celles présentées dans la première partie de cet ouvrage.

Détail peu banal pour une horloge, elle ne comporte aucun rouage et se compose essentiellement d'un moteur-transformateur et d'un pendule conique. Celui-ci sert à régler la vitesse de celui-là.

Le moteur-transformateur est alimenté par un courant fourni par un élément d'accumulateur. Une partie de ce courant continu est transformée en énergie mécanique, et, l'autre partie, en *courants triphasés*. Ces derniers courants sont distribués, *sans interruption*, dans les récepteurs horaires reliés à l'horloge-mère.

Comme on en jugera, les récepteurs *Thury* sont d'une construction non moins spéciale que celle de l'horloge qui les commande. En effet, dans ces sortes de récepteurs, l'électro-aimant classique qui actionne généralement les minuteriers des récepteurs ordinaires, est remplacé par un moteur à mouvement de rotation continu, construit pour fonctionner avec des courants émis par l'horloge-mère, c'est-à-dire avec des courants triphasés.

Ces moteurs qui sont connus sous le nom de *moteurs à champ*

tournant possèdent, entre autres, la propriété remarquable de fonctionner synchroniquement avec la génératrice des courants qui les excite.

Comme d'une part, l'excitation des moteurs n'est jamais interrompue, les aiguilles qu'ils commandent par l'intermédiaire de la minuterie, parcourent leurs cadrans d'un mouvement également non interrompu ; d'autre part, la vitesse du moteur étant de 120 tours à la minute, il devient facile d'adjoindre à chaque récepteur une aiguille permettant d'apprécier de très faibles fractions de temps.

Il nous paraît inutile de poursuivre plus avant la description de ces nouvelles horloges sans avoir acquis des notions suffisantes :

- 1^o sur les moteurs à courant continu ;
- 2^o sur les courants triphasés ;
- 3^o sur les moteurs à champ tournant.

Nous ferons remarquer d'ailleurs qu'étudier ces trois dernières parties c'est étudier les organes principaux des horloges Thury.

Moteurs à courant continu

C'est un fait connu de tout le monde aujourd'hui que les machines magnétos et dynamos (p. 151) sont *reversibles*, c'est-à-dire que si on leur fournit du courant électrique elles rendent une somme d'énergie mécanique à peu près équivalente.

Quand elles sont affectées à ce dernier usage, les machines magnétos et dynamos prennent les noms, les premières, de *moteurs magnétos* et, les secondes, de *moteurs dynamos*. Rappelons qu'en principe ces derniers ne diffèrent des premiers qu'en ce que leur champ magnétique est créé par un électro-aimant au lieu d'un aimant.

L'excitation des électros des dynamos tant génératrices que motrices, se fait soit par une source indépendante, soit par la totalité du courant débité ou reçu — c'est *l'excitation en série* — soit par une fraction seulement de ce courant — c'est *l'excitation en dérivation* — soit enfin par ces deux derniers modes d'excitation à la fois — c'est *l'excitation Compound*.

Dans l'industrie, on ne trouve que des moteurs et machines dynamos ; l'emploi des magnétos se restreint à des applications n'exigeant que de très faibles forces ou des courants infinitésimaux.

Cependant on construit depuis longtemps des moteurs dynamos de très petites dimensions, on en trouve d'ailleurs un exemple dans l'horloge-mère Thury ; nous-mêmes en avons appliqués depuis dix ans

au remontage des pendules, qui fonctionnent sous 1,5 volt et 0,5 ampère et qui dépensent quotidiennement environ 0,06 watt-heure seulement.

Nous aurons l'occasion de parler plus longuement de cette dernière application dans un ouvrage affecté spécialement au remontage automatique des pendules et horloges.

Fonctionnement des moteurs à courant continu

Le fonctionnement des moteurs est plus facile à saisir que celui de la production du courant dans les génératrices. Pour en faciliter encore la compréhension nous débuterons par le plus simple : le moteur *Siemens* à une seule bobine, dont la construction à un petit détail près, est identique à celle de la première magnéto que nous avons étudiée page 153.

La machine magnéto à laquelle on vient de faire allusion pourrait parfaitement servir de moteur, à condition de lui envoyer un courant alternatif de même période que celui qu'elle fournit lorsqu'elle tourne en génératrice. Pour la faire tourner en moteur en l'excitant au moyen d'un courant continu, il faudra modifier les organes qui relient les extrémités *a* et *b* du fil de la bobine (fig. 79 p. 155) au circuit extérieur.

Cette modification aura pour objet de faire changer la direction du courant dans la bobine après chaque passage de ses spires aux points neutres.

Nous venons d'employer deux mots dont il faut bien comprendre la signification. Qu'appelle-t-on points neutres dans les machines électriques ? — Ce sont les points où les machines tournant en génératrices, le courant change de sens. Ainsi dans les positions 1 et 3, (fig. 77 et 80) la bobine est aux points neutres.

On voit que ceux-ci coïncident avec le diamètre $T T''$ (fig. 87) perpendiculaire à celui passant par le milieu des pôles *N* et *S* de l'aimant.

On réalise le changement de sens du courant dans la bobine, ou, en d'autres termes, on fait parcourir cette dernière par un courant alternatif tout en se servant, dans le circuit extérieur, d'un courant

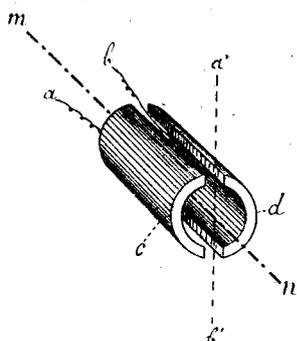


Fig. 86.

le collecteur de la bobine, viennent prendre contact les deux frotteurs ou balais métalliques *l* et *l'* (fig. 87) auxquels seront rattachés les bouts du circuit extérieur qui vont à la source électrique chargée d'alimenter le moteur.

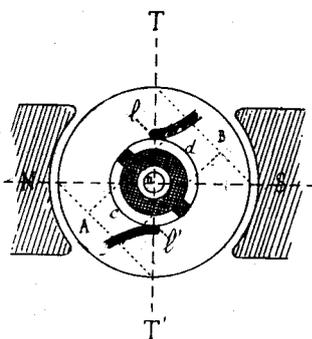


Fig. 87.

Considérons la figure 88 qui représente le schéma d'un moteur magnéto dans lequel la bobine ne figure encore que par une seule spire de fil *ab* mobile autour de l'axe *mn*.

Le courant, venant du pôle + de la source électrique *G*, arrive dans la bobine *ab* par le balai *l*, la coquille *c*, rentre dans la branche *a* et revient par la branche *b*, la coquille *d* et le balai *l'* au pôle —

Ce courant aimantera la carcasse en fer (fig. 79) autour de laquelle le fil est enroulé, et deux pôles magnétiques contraires seront créés sur les joues *A* et *B*.

Les pôles nord de la bobine et de l'aimant se repousseront et les

continu, par le dispositif suivant. On remplace la bague en cuivre *c* (fig. 79) par deux coquilles en cuivre *c* et *d* (fig. 86) demi-cylindriques et isolées l'une de l'autre. A l'une *c* on soudera l'extrémité *a*, par exemple, du fil de la bobine, tandis que l'autre extrémité *b* sera soudée à la coquille *d*. La ligne pointillée *mn* représente l'axe de la bobine.

Sur les deux coquilles *c* et *d* qui constituent le commutateur, ou, pour se servir de l'expression la plus usitée, le collecteur de la bobine, viennent prendre contact les deux frotteurs ou balais métalliques *l* et *l'* (fig. 87) auxquels seront rattachés les bouts du circuit extérieur qui vont à la source électrique chargée d'alimenter le moteur.

Le choix des points où doivent se faire les contacts des balais sur le collecteur n'est pas arbitraire comme dans la magnéto génératrice de courants alternatifs : il faut, théoriquement du moins, que ces contacts se fassent aux points d'intersection du diamètre *TT'* et du collecteur, (fig. 87) position qui correspond, ainsi que nous le disons plus haut, avec les points neutres.

Ce qui va suivre nous fera comprendre pourquoi.

pôles sud s'attireront ; or, comme les pôles de l'aimant sont fixes et que ceux de la bobine sont mobiles autour de mn , la bobine tendra à acquérir un mouvement circulaire autour de son axe.

Il est intéressant d'examiner d'abord dans quel sens s'effectuera le mouvement de rotation de la bobine, et, ensuite, comment il pourra

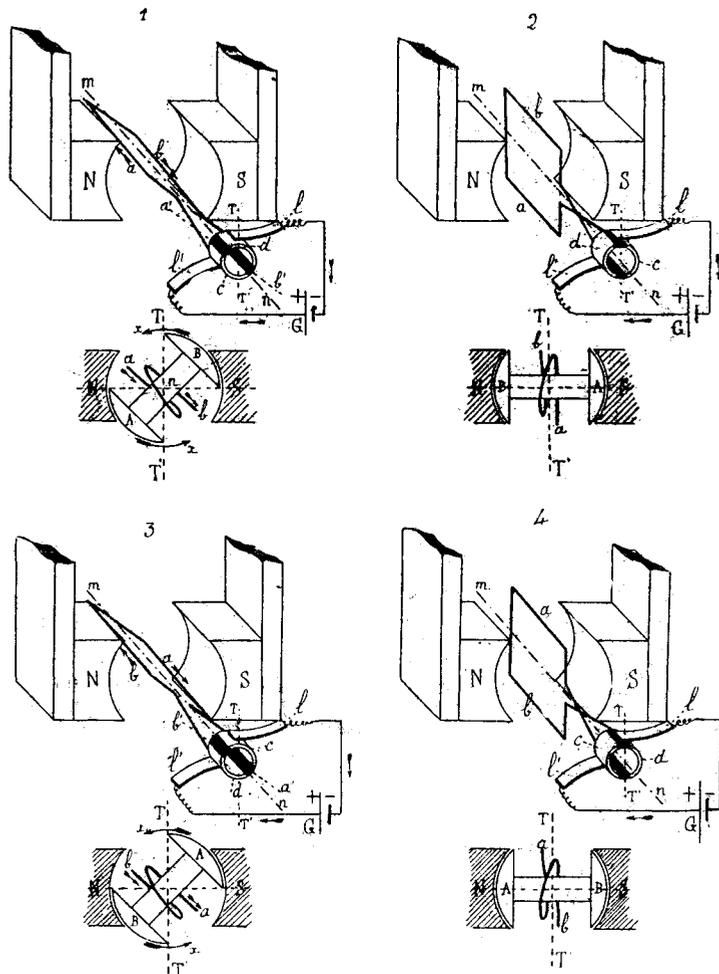


Fig. 88.

persévérer aussi longtemps que le moteur restera en relation avec la source G .

Pour déterminer le sens de rotation de la bobine, il faut connaître

l'une des règles permettant de reconnaître les pôles magnétiques créés aux extrémités d'une bobine de fil excitée par un courant.

La règle ci-après est certainement des plus simples à retenir :

Si l'on regarde les extrémités d'une bobine de fil, le pôle nord se trouve du côté où le courant va en sens inverse des aiguilles d'une montre.

Si l'on applique cette règle à la position 1 (fig. 88) il apparaît clairement que c'est la joue *A* qui prendra un pôle nord et *B* un pôle sud ; par conséquent si les pôles nord et sud de l'aimant sont, le premier en *N* et le second en *S*, le sens de rotation de la bobine sera suivant les flèches *x*.

La persévérance dans le mouvement rotatif se comprendra aussi aisément.

Lorsque par suite de la vitesse acquise la bobine *ab* aura franchi les points neutres, ou si l'on veut la position 2, les connexions de ses extrémités avec les pôles de la source *G* se seront inversées. En effet, la coquille *c* qui dans la position 1 communiquait avec le balai *C* communiqué, une fois la bobine arrivée dans la position 3, avec l'autre balai *t* ; de même que la coquille *d* qui communiquait avec *t* est venue se présenter sous le balai *C*.

Les communications des coquilles avec les extrémités du fil de la bobine étant invariables, ainsi que celles qui relient les balais aux pôles de *G*, le sens du courant aura donc changé dans la bobine lorsque celle-ci aura passé de la position 1 à la position 3.

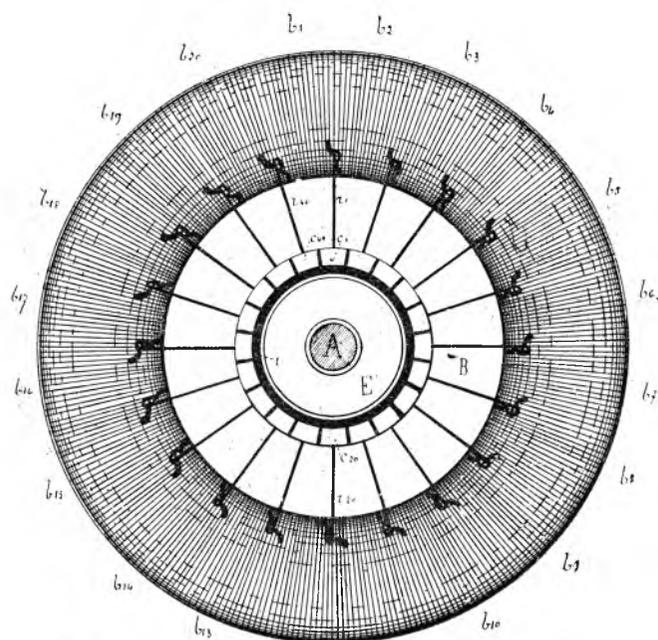
Or, d'après la règle que nous avons donnée ci-dessus, le changement de sens du courant dans la bobine *ab* aura pour conséquence de changer également l'emplacement des pôles sur les joues *A* et *B* de la bobine. C'est la joue *B* qui cette fois prend un pôle nord et la joue *A* un pôle sud.

La résultante de ce que nous venons de dire est que la bobine continuera à tourner suivant le sens des flèches *x*, franchira la nouvelle position neutre 4 pour se retrouver à la position 1 et ainsi de suite.

Moteur Gramme

Le moteur Siemens à une bobine, que nous venons de décrire, ne démarre pas avec la même facilité suivant quelle est la position initiale occupée par la bobine ; il ne démarre même pas du tout si d'aventure la bobine s'était arrêtée aux points neutres (p. 166).

Contrairement au précédent, le moteur Gramme n'offre pas de point mort, il démarre toujours aussi facilement quelle que soit la position de départ de la bobine. Cette dernière, que l'on désigne sous le nom d'anneau *Gramme*, est la pièce caractéristique des machines du type Gramme.



*Vue en plan d'un anneau Gramme comprenant
20 bobines b.*

Fig. 89.

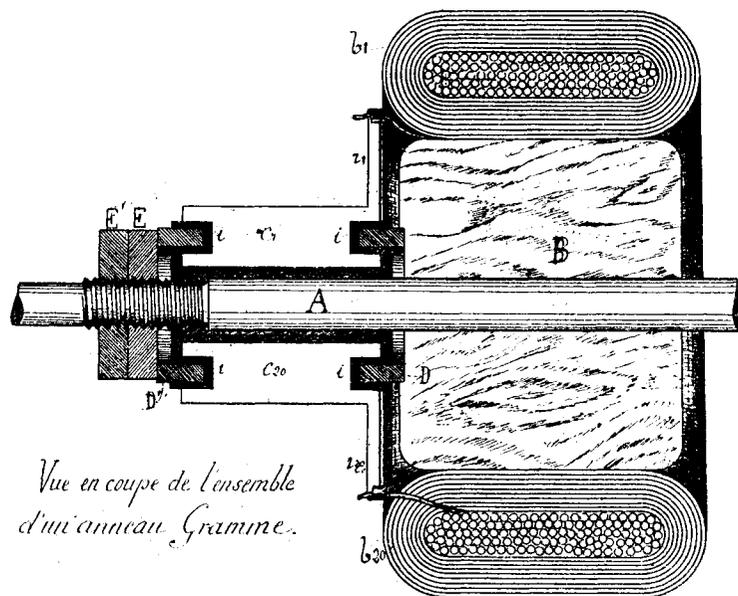
Les figures 89 et 90 montrent un anneau Gramme vu en plan et en coupe longitudinale.

Un anneau Gramme, ainsi que le fait mieux voir le schéma 91, comprend un plus ou moins grand nombre de petites bobines ou secteurs b_1, b_2, b_3, \dots , dont le fil de cuivre isolé au coton, est enroulé perpendiculairement et toujours dans le même sens, autour d'un noyau de fer doux $n s$ (fig. 91).

Dans le but d'éviter dans ce dernier la production de certains courants induits parasites, dits *courants de Foucault*, on ne le fait pas d'un seul morceau de fer massif: il est généralement constitué par une

série de couronnes découpées dans de la tôle de fer mince, couronnes qui sont séparées par une feuille de papier.

Quelquefois le noyau *ns* est formé par du fil de fer doux recuit et verni, ou tout au moins oxydé, de manière que les différents tours



*Vue en coupe de l'ensemble
d'un anneau Gramme.*

Fig. 90.

soient isolés les uns des autres; ce fil de fer est enroulé circulairement de manière à former un anneau cylindrique.

C'est un noyau de cette espèce dont est muni l'anneau Gramme que montre en coupe la figure 90.

Quand toutes les bobines partielles *b1*, *b2*,....., sont enroulées, on enfonce à l'intérieur de l'anneau cylindrique un noyau *B* en bois, monté lui-même sur l'arbre de rotation *A* en acier (fig. 90).

Dans les grands moteurs, ce noyau en bois est généralement remplacé par une monture métallique; l'anneau y gagne en solidité et de plus son échauffement est combattu par une ventilation efficace.

Pour éviter les effets de la force centrifuge, on ligature la partie extérieure de l'anneau avec du fil de laiton ou de fer dont les différents bouts sont soudés entre eux.

COLLECTEUR (p. 167). Le collecteur d'un anneau Gramme est formé d'autant de lames de cuivre *c1*, *c2*, *c3*,..... (fig. 89 et 91) qu'il y

a de bobines b_1, b_2, b_3, \dots . Chacune de ces lames est reliée au fil d'entrée et au fil de sortie de deux bobines consécutives par l'intermédiaire d'une lame radiale r_1 ou r_2 ou r_3, \dots (fig. 89 et 90), dont le bout recourbé en forme de pince reçoit, pour y être soudés à l'étain, les deux fils ci-dessus.

Il va sans dire que les lames c_1, c_2, c_3, \dots du collecteur doivent

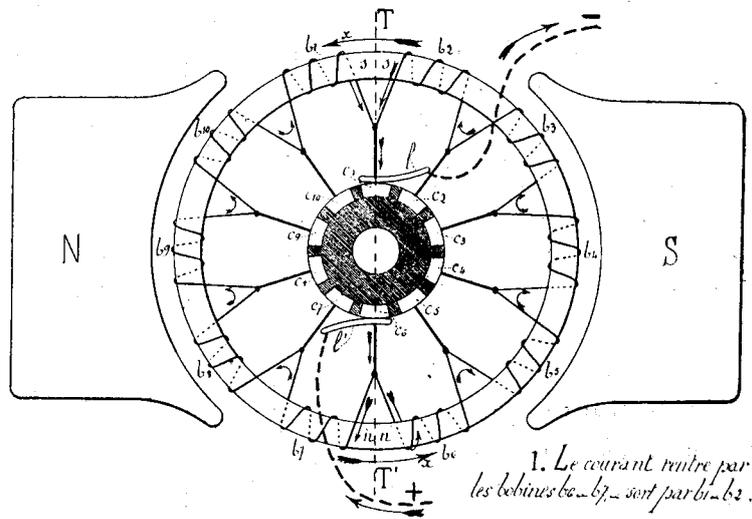


Fig. 91.

être soigneusement isolées entre elles. Nous nous servons de la figure 90 pour expliquer comment peut se faire leur montage, avec celui de l'ensemble de l'anneau Gramme.

Les lames du collecteur, préalablement enveloppées de carton d'amiante ou de carton bituminé, sont placées l'une contre l'autre parallèlement à l'arbre de rotation A , de façon à former autour de cet arbre un cylindre. Ces lames, parallèles à l'arbre, sont soudées aux lames radiales dont nous avons précédemment parlé.

Dans le cylindre constitué par l'assemblage des lames c_1, c_2, c_3, \dots , on a pratiqué, au tour, à l'avant et à l'arrière, deux rainures circulaires, dans lesquelles on a placé d'abord, une gouttière circulaire i faite d'une matière isolante, — on fait souvent usage de buis ou de gâfic — puis dans cette dernière deux anneaux métalliques D et D' .

Les deux anneaux D et D' assurent ainsi la liaison mécanique des

lames du collecteur tout en maintenant ces lames isolées les unes des autres.

Le centre du cylindre formé par le collecteur doit être très évidé afin d'éviter, entre les lames de cuivre, tout court-circuit par l'arbre *A*.

Ces opérations terminées, on enfle le collecteur sur l'arbre *A* jusqu'à ce que l'anneau de l'arrière, *D*, vienne porter contre une creusure pratiquée concentriquement à l'arbre dans le bois *B*. Deux écrous *E* et *E'* sont alors vissés sur la partie filetée de l'arbre *A*, jusqu'à ce que, pressant fortement sur l'anneau *D'* de l'avant, ils rendent solidaires le collecteur et l'arbre.

C'est alors que l'on engage dans l'extrémité recourbée des lames radiales *r1*, *r2*....., le fil d'entrée et de sortie de deux sections consécutives de l'anneau (fig. 89, 90 et 91).

Deux balais en fil de cuivre *l* et *l'* (fig. 91) appuient de chaque côté du collecteur de telle sorte que leurs points de contact soient aux extrémités du même diamètre *TT'* que nous avons dit (p. 167) devoir passer par les points neutres.

Fonctionnement du moteur Gramme

Le courant venant de la source électrique chargée d'alimenter le moteur arrive dans les bobines *b1*, *b2*, *b3*,..... de l'anneau (fig. 91), par

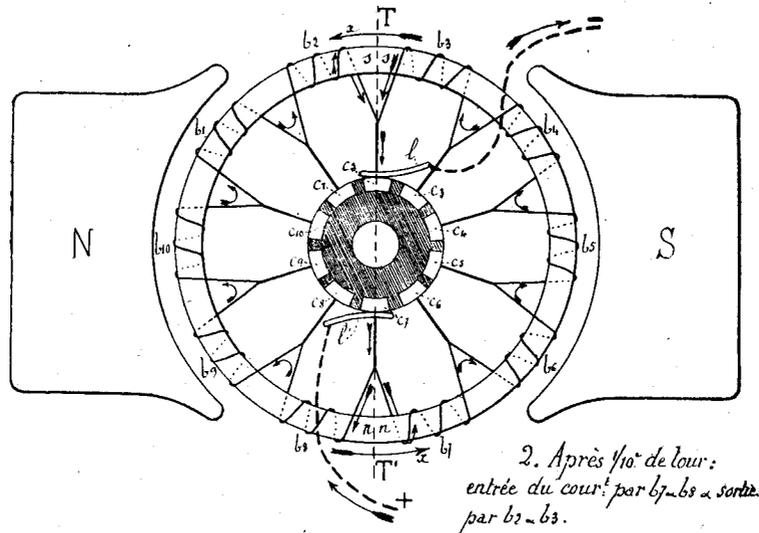


Fig. 92.

les balais l et l' dans le sens des flèches, une moitié de ce courant se dirige dans les bobines b_5, b_4, b_3, b_2 et b_1 et l'autre moitié dans les bobines b_6, b_7, b_8, b_9 et b_{10} .

Ces deux moitiés de courant se retrouvent au balai l d'où elles font retour au pôle négatif de la source d'électricité.

Le courant qui parcourt ainsi les bobines de l'anneau Gramme a pour effet d'aimanter le noyau de fer $n s$.

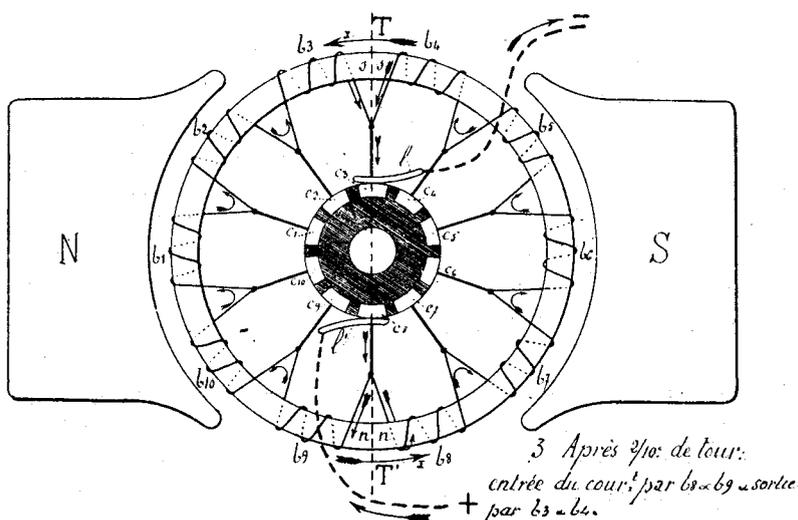


Fig. 93.

Supposons par la pensée, que ce dernier soit coupé en deux parties suivant le diamètre TT' et examinons quels seront les pôles magnétiques créés aux extrémités libres en appliquant la règle que nous avons donnée page 169.

Nous voyons que la partie inférieure présentera en nn un pôle nord, puisque le courant y va en sens inverse des aiguilles d'une montre, et les extrémités désignées par les lettres s et s , un pôle sud. Les deux moitiés de l'anneau présenteront donc en regard des pôles de même nom. Autrement dit, il se forme vis-à-vis du balai l un double pôle sud, et un double pôle nord vis-à-vis du balai l' . Or, les pôles sud s et s ainsi développés dans le noyau vont être attirés par le pôle nord N de l'inducteur NS , et repoussés par le pôle sud S ; de même que les pôles nord n et n vont être attirés par le pôle sud S et repoussés par le pôle nord N .

Toutes ces actions vont dès lors contribuer à faire tourner l'anneau autour de son axe dans le sens de la flèche x . Si nous suivons l'anneau dans son mouvement de rotation, nous comprendrons très facilement que tant que ses diverses sections b_1, b_2, \dots seront le siège d'un courant assez puissant, il persévéra à tourner grâce au collecteur qui maintient toujours l'entrée et la sortie du courant sur la ligne neutre TT .

En effet, dès que l'anneau a effectué un dixième de tour — ceci pour un anneau ne comportant que dix secteurs b_1, b_2, b_3, \dots (fig. 92)

la lame c_1 sur laquelle frottait le balai l , a été remplacée par la lame suivante c_2 , de même que la lame c_6 , sur laquelle frottait le balai l' , a été remplacée par la lame c_7 ; par suite, l'entrée du courant, au lieu de se faire comme dans la figure 91 par les bobines b_6 et b_7 , se fait par les bobines b_7 et b_8 , de même, la sortie qui se faisait par b_1 et b_2 , se fait par b_2 et b_3 ; c'est-à-dire que, comme tout à l'heure, l'entrée et la sortie se faisant sur le diamètre TT , les pôles nord n et n' et sud s et s' , se sont maintenus à la même place; par conséquent, l'anneau reste toujours soumis aux mêmes efforts attractifs et répulsifs de la part des pôles inducteurs N et S .

En observant la figure 93 qui montre l'anneau après un autre dixième de tour nous relèverons les mêmes constatations que ci-dessus.

En résumé, comme l'a si spirituellement fait remarquer un électricien bien connu, un anneau Gramme en fonction peut être comparé à un chien tournant sur lui-même en cherchant à attraper le bout de sa queue.

REMARQUES — I. — Pour des motifs que nous ne pouvons énumérer ici, dans la pratique, les points de contact des balais sur le collecteur ne doivent pas être sur la perpendiculaire TT à la ligne des pôles inducteurs NS , on doit les reporter d'autant plus en arrière par rapport au sens du mouvement que le moteur est de moindre qualité. C'est pourquoi les porte-balais sont mobiles de manière à pouvoir déplacer ceux-ci et chercher par tâtonnement l'emplacement qu'il convient de leur donner sur le collecteur; ce meilleur emplacement est celui où il ne se produit pas d'étincelles entre le collecteur et les balais.

II. — On change le sens de rotation d'un anneau Gramme en changeant le sens du courant dans l'anneau ou seulement en intervertissant la place des pôles inducteurs N et S .

III. — Un moteur en fonction absorbe d'autant moins de courant que sa vitesse est plus grande parce qu'alors il produit une

force contre-électromotrice qui équilibre en partie la force électromotrice du courant d'excitation.

A ce propos, rappelons que quand il s'agit d'un moteur industriel ou même de petits moteurs devant entraîner des appareils présentant de l'inertie, il ne faut pas fermer brusquement le circuit de la source d'excitation sur l'anneau à cause de la faible résistance ohmique de ce dernier ($1/4$ de la résistance totale du fil qu'il contient) : cette opération doit se faire en intercalant une résistance, dite *de démarrage* (p. 142), que l'on supprime graduellement au fur et à mesure que la résistance apparente du moteur (force contre-électromotrice) augmente.

Mode d'excitation des moteurs dynamos

Dans la théorie du fonctionnement du moteur Gramme, nous ne nous sommes nullement préoccupés de la façon dont les pôles inducteurs *N* et *S* sont produits ; ce qui prouve qu'il n'y a rien à changer à cette théorie qu'il s'agisse de moteur magnéto ou de moteur dynamo.

Il importe cependant que nous connaissions, au moins superficiellement, les avantages et les défauts des quatre modes d'excitation dont nous avons parlé précédemment (p. 165).

En 1 (fig. 94), nous voyons un moteur à *excitation séparée*. Les extrémités *a* et *b* du fil embobiné sur les noyaux de l'électro doivent être réunies à une source électrique différente de celle à laquelle sont rattachés les fils *A* et *B* communiquant à l'anneau.

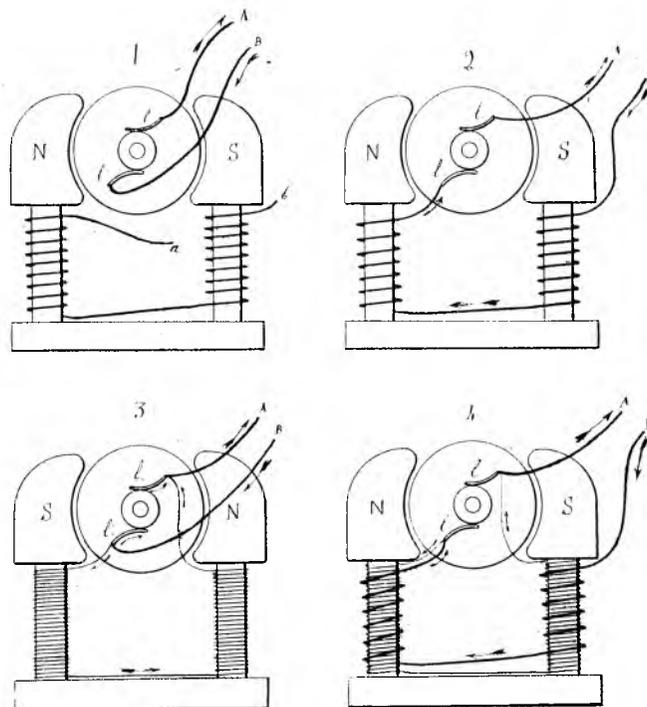
Ce mode d'excitation n'est pas bien pratique puisqu'il exige deux sources électriques. Il a néanmoins un avantage : la vitesse de l'anneau ne peut pas prendre des valeurs dangereuses, comme cela arriverait avec le système suivant, si l'on venait à réduire au minimum l'effort résistant opposé au moteur.

Un moteur *excité en série* est vu en 2 (même figure). Les noyaux de l'électro, sont recouverts de quelques tours de gros fil ne formant qu'un seul circuit avec la source électrique et l'anneau.

Dans ces sortes de moteurs, l'excitation, tant dans l'anneau que dans l'électro-aimant, est maximum au départ, puisqu'il n'y a encore pas de force contre-électromotrice ; aussi, est-ce à cet instant que l'effort moteur est le plus grand.

Les moteurs-série conviendront donc quand il y a lieu de donner, lors du démarrage, un fort coup de collier. Par contre, les moteurs-

séries ont le défaut de s'emballer quand l'effort résistant à vaincre faiblit considérablement.



Modes d'excitation des machines ou moteurs dyn^o.

Fig. 94.

Dans les moteurs *excités en dérivation*, dont on voit le principe en 3, les noyaux de l'électro sont recouverts d'un grand nombre de spires de fil fin dont les extrémités se rattachent aux balais *l* et *L* où aboutissent déjà le fil amenant le courant de la source électrique.

L'excitation en dérivation est la plus usagée, elle a tous les avantages de l'excitation séparée sans en avoir les inconvénients.

Par exemple, on n'a pas à craindre d'emballlements dangereux dont sont parfois victimes les moteurs excités en série, parce que dès que la vitesse augmente, la résistance apparente qu'occasionne la force contre-électromotrice dans la bobine augmente aussi, par conséquent le fil de l'électro reçoit d'avantage de courant, l'aimantation des pôles inducteurs devient plus intense ; toutes ces causes contribueront à ralentir la vitesse du moteur,

Il se produit donc dans le moteur excité en dérivation une auto-régulation qui les rend si avantageux quand une certaine régularité dans la marche est indispensable. C'est un moteur de cet espèce qui est dans l'horloge-mère Thury.

Enfin, en 4, nous voyons un moteur à *excitation compound* ; on y trouve appliqués les deux derniers modes d'excitation.

Le sens d'enroulement n'est pas le même dans le fil fin que dans le gros fil (ces deux enroulements se font dans le même sens dans les compoundages d'une dynamo génératrice). Il faut maintenant que le courant d'excitation qui passe dans le gros fil ajoute son action à celle du courant passant par le fil fin. C'est encore là une occasion d'appliquer la règle sur la détermination des pôles pour comprendre ce dernier raisonnement.

Nous avons vu que, dans les moteurs-séries, l'effort au démarrage était considérable. Au contraire, lors du démarrage, les moteurs en dérivation ne peuvent mettre en jeu qu'un effort moteur relativement faible ; parce que la source électrique fournissant alors un courant considérable à l'anneau a une tendance à donner aux bornes une différence de potentiel plus faible que dans la marche normale.

Dans un moteur compound, le courant intense qui passe au démarrage dans le gros fil compense par son effet la diminution de l'effet du fil fin. Mais le démarrage une fois effectué, l'action du gros fil est inutile et même nuisible ; aussi ce gros fil constitue souvent une des sections de la résistance de démarrage et on le retire du circuit lorsque le moteur est mis en marche.

Courants triphasés

Ces courants sont une des formes de ces courants alternatifs multiples issus d'un même *alternateur*⁽¹⁾, que l'on nomme *courants polyphasés* ou courants à phases multiples.

C'est par opposition au nom donné à ces sortes de courants, que l'on désigne quelquefois les courants alternatifs simples sous le nom de *courants monophasés*, ou courants à phase unique.

Toutefois, le nom de « polyphasés » ne répond pas exactement à l'objet qu'il doit indiquer ; il ne s'agit pas de courants ayant plusieurs

(1) Les dynamos à courants alternatifs sont ordinairement appelés alternateurs.

phases différentes, les courants sont seulement *en retard* les uns sur les autres.

En d'autres termes, on donne le nom de courants polyphasés à des systèmes de plusieurs courants monophasés de même fréquence (p. 155) décalés ou, si l'on veut, décalés les uns par rapport aux autres d'une certaine fraction de période.

Dans la pratique on n'utilise guère que deux sortes de courants polyphasés : les *courants diphasés* et, surtout, les *courants triphasés*.

Les premiers sont constitués par l'ensemble de deux courants monophasés décalés entre eux d'un quart de période, et les seconds, par l'ensemble de trois courants monophasés décalés entre eux d'un tiers de période.

Il est facile d'obtenir l'un ou l'autre de ces courants en se servant d'alternateurs à courants monophasés. Pour obtenir, par exemple, des courants diphasés sur des circuits extérieurs, il suffira de monter, sur le même arbre, deux alternateurs élémentaires tels que ceux que nous avons étudiés page 155 de manière que les spires de l'un soient en retard d'un quart de période sur l'autre — ce qui, pour ces machines, correspond à un écartement angulaire de 90°.

Si, au lieu de deux machines simples, on en montait trois sur le même arbre de manière que la seconde retarde d'un tiers de période (120°) sur la première, et la troisième d'un tiers de période sur la seconde, on obtiendrait cette fois des courants triphasés.

Bien que ce mode de montage des dynamos, pour obtenir des courants polyphasés, soit très simple en lui-même, on ne l'emploie pas, étant trop onéreux ; on préfère disposer sur l'induit d'une même machine des bobines placées les unes à côté des autres pour les faire déplacer dans le même champ magnétique.

Les alternateurs industriels à courants polyphasés, comme d'ailleurs ceux à courants monophasés, sont toujours *multipolaires* ; autrement dit ils sont toujours pourvus d'un plus ou moins grand nombre de pôles inducteurs dans le but d'augmenter la fréquence sans exagérer la vitesse.

Le plus souvent, les bobines induites sont fixes, et c'est l'inducteur qui tourne.

Le nombre des bobines induites dans les alternateurs à courants monophasés est égal au nombre de pôles inducteurs.

Dans les alternateurs à courants diphasés, il y a deux fois plus

de bobines induites que de pôles ; et, dans ceux à courants triphasés, il y en a trois fois plus que de pôles.

Cependant on peut réaliser au moyen d'un simple anneau Gramme (p. 170) un alternateur à courants triphasés n'ayant que trois bobines seulement pour deux pôles. C'est justement cet alternateur, le plus simple de tous, que nous allons étudier exclusivement, et ce, parce que c'est celui qui est appliqué dans l'horloge-mère qui fait l'objet de ces lignes.

Comme entrée en matière, nous commencerons d'abord par parler de la machine Gramme ne donnant que des courants monophasés. Cette tâche nous sera facile puisque les principes de ces derniers courants ont déjà été exposés dans l'étude de la magnéto. (p. 149).

Voici un anneau Gramme ns (fig. 95) dont deux spires diamétralement opposées sont reliées, par les conducteurs a et b , l'une à un disque en métal e , et l'autre à un second disque e' également en métal et isolé du premier.

Sur ces deux disques e et e' , concentriques à l'anneau et qui de plus lui sont solidaires, frottent deux balais m et m' auxquels viennent se rattacher les fils de ligne A et B allant aux appareils d'utilisation.

Aussi élémentaires que soient nos connaissances touchant les courants d'induction, nous en savons assez pour prévoir que si on fait tourner l'anneau dans le champ magnétique NS , les différentes spires de fil de cuivre isolé qui constituent son enroulement vont être le siège de courants induits dont les forces électromotrices s'ajouteront.

D'après la loi de Lenz (p. 151) le sens de ces courants sera tel que ceux-ci s'opposent au mouvement qui les a créés ; par conséquent, si l'on admet que le mouvement circulaire imprimé à l'anneau s'effectue suivant la flèche x , le courant induit créera sur les parties de l'anneau coupées par le plan TT' qui est équidistant des pôles inducteurs N et S , deux pôles contraires ; en s , ce sera un pôle sud et en n un pôle nord.

En appliquant maintenant la règle sur la façon de déterminer les pôles magnétiques que nous avons déjà eu l'occasion d'utiliser lorsque nous avons étudié le fonctionnement des moteurs Gramme (p. 174), on trouvera que le courant chemine dans l'anneau suivant les flèches y .

Nous voyons qu'arrivés dans la position 4, les courants induits qui ont pris naissance dans les spires situées à droite et à gauche du plan TT' , s'ajoutent en s et qu'ils trouvent une issue par le fil a , le

disque e , le balai m , d'où ils vont dans le circuit extérieur de A en B , pour revenir, par le balai m' , le disque e' et le fil b en n

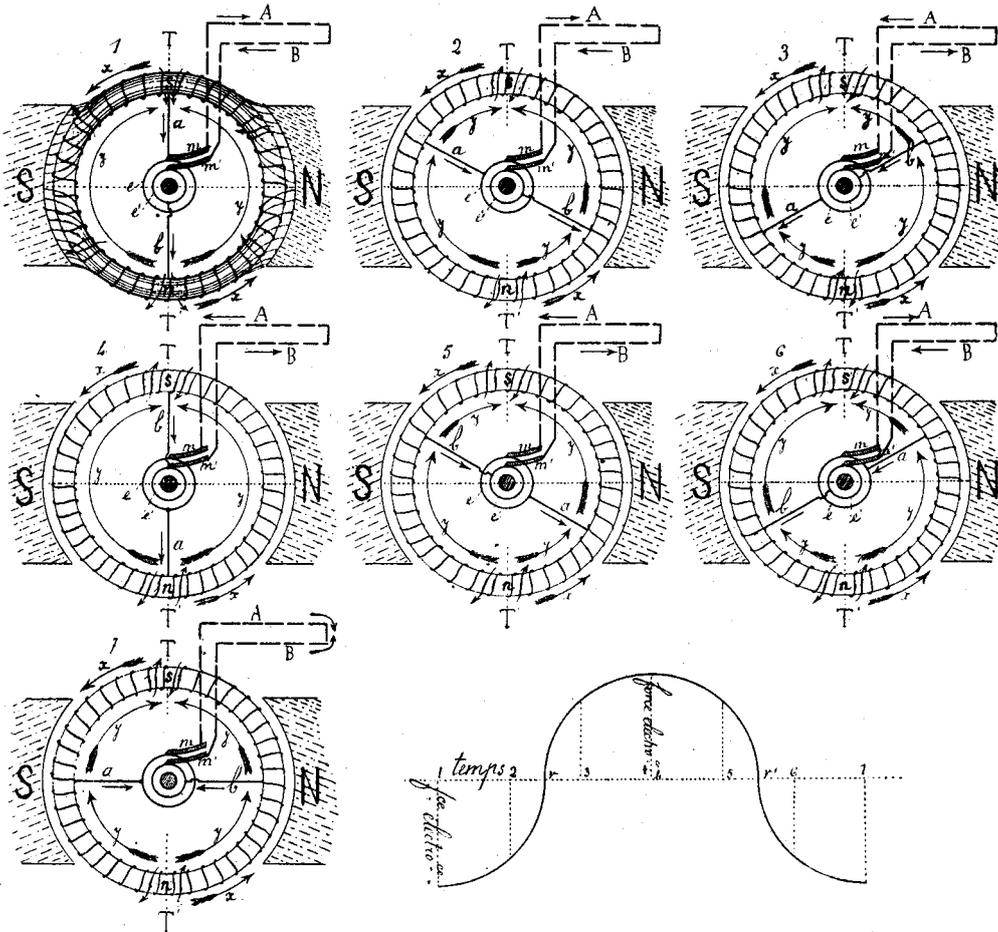


Diagramme des courants monophasés produits dans l'anneau de la position 1 à la position 6.

Fig. 95.

où les spires ont une force électromotrice nulle,

On se trouve dans le cas de deux batteries de piles réunies en quantité (p. 54), dont les pôles + seraient reliés au fil a et les pôles - au fil b .

Un peu plus loin, quand il s'agira de courants triphasés, nous emploierons des figures qui rendront plus tangibles la comparaison qui vient d'être faite.

Nous allons suivre l'anneau Gramme dans les positions 2, 3, 4, 5, 6 qu'il occupe successivement et entre lesquelles le cheminement angulaire est de 60° , en même temps que nous observerons le graphique représenté dans la même figure.

Nous reconnaissons dans ce graphique les courbes sinusoïdales indiquant la variation des intensités, ou, ce qui revient au même, des f. é. induites obtenues pendant une révolution entière de l'anneau.

C'est ainsi que l'on peut relever que, dans la position 4, la f. é. est à son point culminant ; les explications données plus haut nous ont en effet démontré que, dans cette position, toutes les spires, sans exception, contribuaient à fournir un courant dans la même direction.

Mais les choses ne sont plus ainsi quand l'anneau a passé dans la position suivante 2 : le courant induit a diminué ; cela s'explique par le fait que non seulement les f. é. développées dans les spires comprises dans la portion de l'anneau qui sépare le fil a du point s , ne sont point utilisées, mais qu'elles sont de plus en opposition avec les f. é. des spires comprises entre le fil b et le point s .

D'autre part, les spires auxquelles le fil b est rattaché, et qui, tout à l'heure, en 4, avaient un potentiel nul, ont pris, en passant de a en b , une tension + précisément égale à celle perdue sur la portion as ; cette tension contribuera encore à affaiblir la f. é. résultante.

Entre la position 2 et la position 3 existe une position intermédiaire dans laquelle le courant est nul. Dans cette position que montre le n° 7, les fils a et b sont parcourus par des courants égaux et de sens opposé et qui par suite s'annulent. Dans le graphique, cette dernière position de l'anneau correspond au point v .

Remarquons qu'ici les points neutres ne coïncident pas avec le plan TT' comme dans la magnéto : à première vue cela peut prêter à confusion ; mais celle-ci sera vite dissipée, si l'on se donne la peine d'observer combien sont différentes les positions des enroulements de la magnéto et de l'anneau Gramme par rapport à leurs champs magnétiques inducteurs respectifs.

À partir de la position neutre, c'est la deuxième phase qui commence ; le courant induit change donc de sens, il parcourt le circuit extérieur de B en A et il ira en progressant jusqu'en 3 et 4 où il atteint un maximum inverse de celui de la position 4.

De la position 4 le courant induit se remet à décroître jusqu'à

devenir nul quand a et b , ont pris en sens opposé, la position qu'ils occupent en 7. L'anneau est alors au second point neutre, depuis

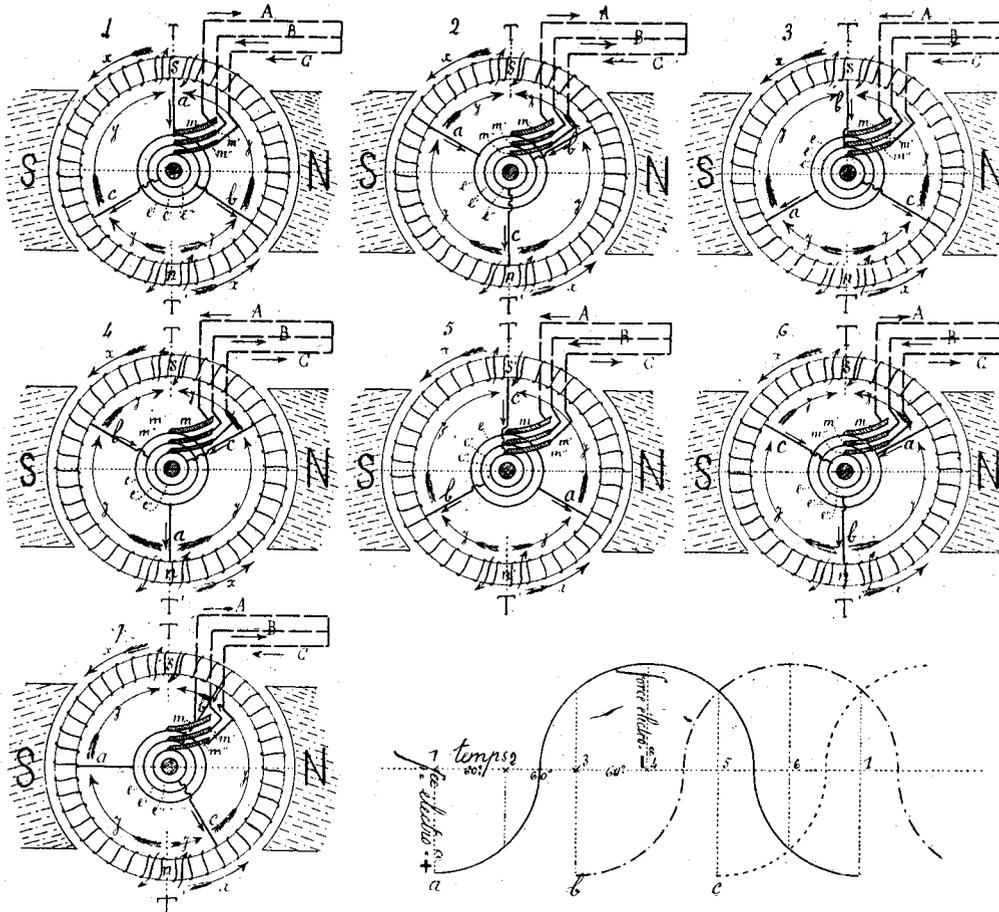


Diagramme des courants triphasés produits dans l'anneau de la position 1 à la position 6.

Fig. 96.

lequel le courant change encore de sens dans le circuit extérieur et ira en augmentant jusqu'à achèvement de la période ; c'est-à-dire jusqu'à ce que l'anneau soit revenu au point de départ dans la position 1.

Ces notions sur la génération des courants monophasés dans l'anneau Gramme établies, occupons-nous de la production des courants triphasés avec ce même anneau.

La figure 96 représente un anneau Gramme disposé à cet effet ;

son enroulement ne diffère en rien avec celui du précédent, on a seulement modifié le mode de communication avec le circuit extérieur.

Trois fils a , b et c ont été soudés sur l'enroulement de l'anneau en trois points, distants entre eux de 120° . Les autres extrémités de ces fils a , b et c sont respectivement soudées à trois disques métalliques e , e' et e'' isolés et solidaires de l'anneau. Chacun de ces disques communique par l'intermédiaire de balais m , m' et m'' avec trois fils de ligne $A B$, et C .

Imaginons cet anneau Gramme, ainsi sectionné en trois bobines, tournant suivant la flèche x , dans le champ magnétique créé par les deux pôles inducteurs N et S . Les courants induits obtenus dans l'intérieur de l'anneau auront le même sens que dans la figure précédente, puisque les sens d'enroulement et du mouvement ainsi que la position des pôles inducteurs sont les mêmes.

Comment ces courants vont-ils sortir de l'anneau ?

En observant la position 1 nous voyons que les *spires* comprises entre les fils a et b , b et c , c et a peuvent être comparées aux *éléments de pile* compris entre les mêmes fils dans le n° 1 de la fig. 97.

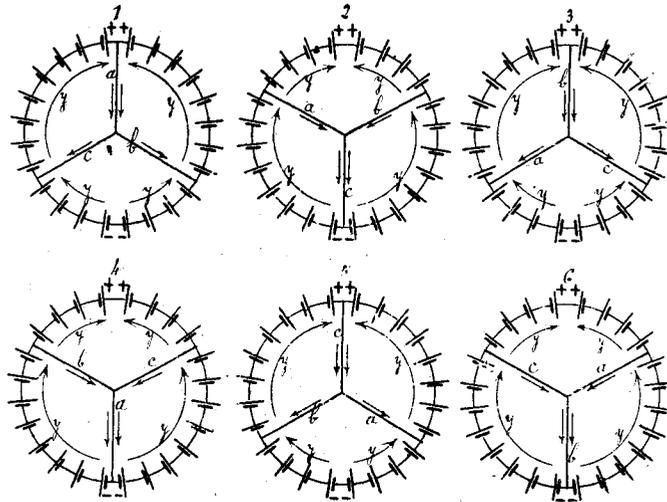


Fig. 97.

Sans être grand clerc en électricité, il apparaît clairement à la simple observation du schéma des piles que le courant va sortir du fil a pour se refermer, par moitié, sur les fils b et c .

Ceci est d'ailleurs facile à analyser .

En effet, on voit (fig. 97) que, sur le fil a convergent les courants des deux batteries de piles comprises entre ba et ca , groupées en quantité (p. 56) et ayant huit éléments chacune.

Sur chacun des fils b et c il y a une batterie de quatre éléments, nb et nc . Si chaque élément a, par exemple, une f. é. de 2 volts, la f. é. au point où est branché le fil a sera de $2 \times 8 = 16$ volts ; celle des points où se trouvent branchés les fils b et c , sera de 8 volts seulement ; il reste donc, en faveur du fil a , une différence de potentiel de $16 - 8 = 8$ volts. Rien de plus naturel alors que les courants sortent de l'anneau par le fil a pour y revenir par les fils b et c après avoir parcouru, dans le sens des flèches, les fils A , B et C , chargés d'amener ces courants aux appareils d'utilisation.

Quant à l'intensité du courant, si on la suppose de 1 ampère sur chacune des deux moitiés de l'anneau, elle sera sur le fil a de 2 ampères et, sur les fils b et c , de 1 ampère.

Ce que l'on vient de dire est d'accord avec les lois suivantes :

1^{re} LOI. La f. é. d'un des trois courants est égale à la somme des f. é. des deux autres, ou autrement :

La somme des f. é. des trois courants est constamment nulle.

2^{me} LOI. L'intensité d'un des trois courants est égale à la somme d'intensité des deux autres ; ou autrement :

La somme des intensités des trois courants est constamment nulle.

Passons maintenant aux positions suivantes 2, 3, 4, 5 et 6, occupées par l'anneau pendant une période, en continuant d'observer simultanément les positions correspondantes de chacune des figures 96 et 97.

En conservant, pour les valeurs de la f. é. et de l'intensité, les données numériques fixées plus haut, on voit que la f. é. sur les fils a et b est de 16 volts, et qu'elle est nulle en c . Les courants induits vont donc sortir de l'anneau par a et b , e et e' , m et m' , A et B , et y feront retour par C , m'' , e'' et c .

Les intensités des courants s'écoulant par a et b , sont celles qui, en 1, passaient par les fils b et c , c'est-à-dire 1 ampère sur chaque fil. Ces intensités s'ajouteront sur le fil c qui sera ainsi parcouru par l'intensité totale, 2 ampères, qui tout à l'heure passait dans le fil a .

Il n'est pas nécessaire, pensons-nous, d'entrer dans les mêmes détails pour chacune des autres positions de l'anneau ; cela nous obligerait à des redites, attendu que les positions impaires, comme les paires, se ressemblent toutes : ce sont seulement les fils qui ont changé de place. Ainsi dans le n° 3, le fil *a* a fait place au fil *b*, et dans le n° 5, c'est le fil *b* qui a fait place au fil *c*. Par conséquent, dans la position 3, c'est le fil *b* qui est devenu positif, alors que les fils *a* et *c* sont devenus négatifs ; dans la position 4, c'est le fil *c* qui est positif et les fils *a* et *b* qui sont négatifs. Enfin dans les n°s 4 et 6, les fils *a* et *b* se trouvent dans des conditions analogues à celles du fil *c* dans le n° 2.

Nous ferons seulement observer que ces changements de position des prises de courants *a*, *b* et *c* amènent nécessairement des changements de direction dans les courants qui parcourent les fils de ligne *A*, *B* et *C*. Chacun de ceux-ci sert tour à tour de fil d'aller et de fil de retour. Quelquefois il y a deux fils d'aller et un fil de retour (positions paires) ; d'autres fois c'est l'inverse (positions impaires).

Un examen comparatif entre les figures 95 et 96 fait ressortir que, dans la machine à courants triphasés, les courants développés par la rotation de l'induit, sont mieux utilisés que dans la machine à courants alternatifs simples. A l'extérieur, ces courants sont plus constants ; on n'a jamais de position où le courant est nul dans le circuit extérieur, comme par exemple dans la position n° 7 de la figure 95. En observant la position correspondante de la figure 96 (n° 7) on voit que l'absence de courant ne peut se produire que sur un seul fil à la fois ; ici c'est le fil *a* qui est soumis à deux courants égaux et opposés ayant une f. é. de 12 volts chacun. Pour s'en rendre compte, il faudrait compléter la figure 97 d'une septième figure correspondant à celle du n° 7 de la figure 96.

Formation des champs inducteurs dans les alternateurs

On emploie deux moyens pour exciter les électro-aimants inducteurs : ou bien on redresse, au moyen d'un système de commutateurs approprié, une partie du courant induit qui est ensuite envoyée dans l'inducteur ; ou on a recours, c'est le cas le plus général, à l'excitation séparée (p. 176) au moyen d'une petite dynamo à courant continu fixée sur l'arbre même de l'alternateur.

Moteurs à Champ tournant

Ces moteurs sont basés sur ce fait que des courants alternatifs simples décalés entre eux d'une fraction déterminée de période, par exemple un tiers, s'il s'agit de courants triphasés, produisent, en traversant des bobines convenablement disposées, un champ magnétique constant et tournant avec une vitesse angulaire égale à leur fréquence. On conçoit sans peine que si, dans ce champ, on place une aiguille aimantée *NS* (fig. 98), mobile autour d'un axe *o*, cette aiguille éprouvera un mouvement de rotation continu dont la période sera rigoureusement égale à celle des courants employés.

Un tel moteur est appelé *moteur à champ tournant synchrone*.

On appelle *moteurs à champ tournant asynchrone* ceux dans lesquels l'organe mobile est formé de conducteurs en cuivre formant circuit fermé. Les cadres constitués par ces conducteurs suivent, comme l'aiguille aimantée, le mouvement du champ tournant, mais avec une vitesse angulaire toujours inférieure à celle du synchronisme, tout en s'en approchant d'autant plus que l'effort résistant à vaincre tend vers zéro.

En d'autres termes, la vitesse de l'organe mobile dans les moteurs asynchrones n'est pas nécessairement liée à la période du courant qui l'actionne.

Dans les moteurs synchrones, au contraire, si l'effort à vaincre est assez considérable pour faire perdre le synchronisme, le moteur s'arrête, *il se décroche*, comme disent les constructeurs. Cet inconvénient rend impossible l'emploi de ces derniers moteurs dans l'industrie où en général le travail demandé aux moteurs est très irrégulier.

Mais si l'on envisage le cas particulier d'un moteur synchrone n'ayant d'autre but que d'actionner la minuterie d'un récepteur horaire, comme l'a imaginé M. Thury, il est certain qu'il n'y a plus à craindre de décrochage, car non seulement l'effort résistant à vaincre est constant, mais on peut admettre que pratiquement, cet effort peut être considéré comme nul à cause du treuil formé par les engrenages réducteurs de vitesse que l'on est obligé de mettre entre l'organe mobile du moteur et les roues supportant les aiguilles.

On peut réaliser un moteur synchrone avec l'alternateur de la fig. 96, celui-ci étant en effet réversible tout comme une dynamo à courant continu. Mais un tel alternateur ne constituerait pas un véritable

champ tournant. On obtiendra un moteur à champ tournant synchrone, sans bagnes ni balais, en laissant l'anneau Gramme fixe et en disposant en son milieu un aimant droit *NS* (fig. 98) susceptible de se mouvoir autour d'un axe *o* se confondant avec le centre de l'anneau.

Les positions 1, 2, 3... de ce moteur (fig. 98) correspondent aux courants triphasés produits dans les six positions 1, 2, 3... de l'alternateur (fig. 96).

Les fils *A, B* et *C* qui aboutissent aux prises de courant *a, b* et *c* sur l'anneau, sont supposés être en relation avec les fils *A, B* et *C* venant de l'alternateur.

Étudions le fonctionnement du moteur en commençant au n° 1.

Nous voyons que le courant venant de la ligne *A* rentre dans l'anneau Gramme en *a*, qu'il se divise en deux parties égales, l'une se

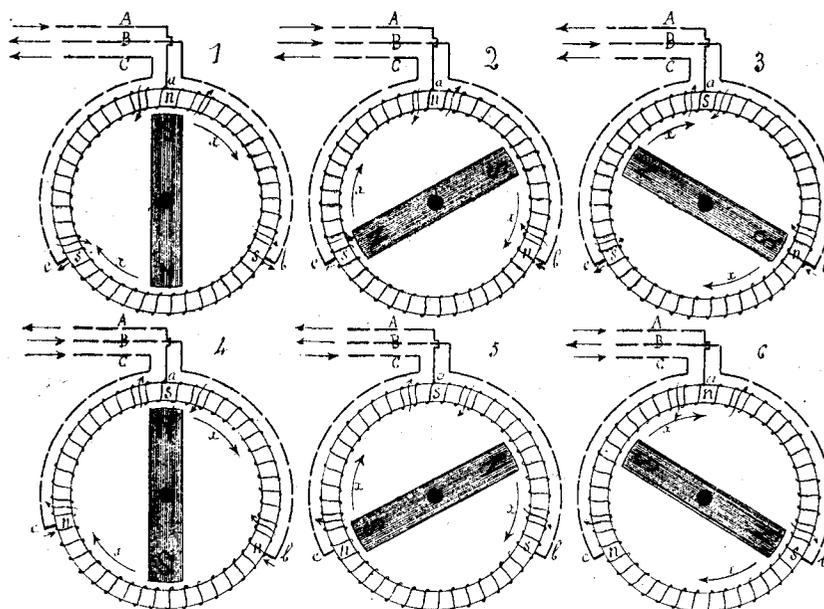


Fig. 98.

dirigeant vers *b* et l'autre vers *c*. Le sens dans lequel le courant circule dans les spires de l'anneau est tel qu'en *a* il produira un pôle nord *n* et en *c* et *b* des pôles sud *s* et *s*.

Théoriquement, en *a*, la force magnétique sera le double qu'en

b et *c*, car au premier point, nous avons deux aimants dont les pôles nord forment un pôle conséquent unique *n*. Dès lors la résultante des forces qui tendront à diriger l'aimant sera suivant le diamètre passant par *a*. Sur ce diamètre viendra donc coïncider la médiane qui passe par le milieu des pôles *N* et *S* de l'aimant mobile.

Lorsque l'alternateur a passé à la position 2 (fig. 96), les courants qu'il débite rentrent dans l'anneau Gramme (n° 2, fig. 98) à la fois par *a* et *b* et sortent par le point unique *c* pour retourner à l'alternateur par *C*. Il se créera donc en *b* un pôle nord *n* comme en *a*, mais cette fois c'est en *c* qu'il s'est formé un aimant composé ; c'est donc par ce point que sera le maximum de force directrice ; ce qui explique que l'aimant *a* tourné dans le sens de la flèche *x* jusqu'à ce que son pôle *N* se soit trouvé en regard du pôle sud conséquent *s*.

Dans la position n° 3 la rentrée du courant ne se fait plus qu'en *b*, la sortie se faisant par *a* et *c* ; c'est donc en *b* que se trouve le principal centre d'attraction, aussi l'aimant a-t-il fait de nouveau une fraction de tour qui s'est limitée au moment où le pôle sud *S* s'est trouvé en regard du pôle nord *n*.

Enfin si nous continuions ce raisonnement, nous arriverions à nous expliquer de la même façon pourquoi l'aimant a cheminé d'un sixième de tour en chacune des positions 3 et 4, 4 et 5 etc.

Telle est en quelques mots la théorie du fonctionnement des moteurs qu'a utilisés M. Thury dans ses horloges secondaires. Pour avoir une idée plus complète de celles-ci, on n'a plus qu'à imaginer sur l'axe de l'aimant mobile un pignon commandant la minuterie.

Description de l'horloge-mère de M. Thury

Les quelques connaissances que nous avons pu acquérir par la lecture des articles précédents nous permettront de comprendre cette intéressante horloge-mère, dont nous avons dû interrompre la description (page 164) pour nous familiariser, tout d'abord, avec les moteurs à courants continus et à champ tournant, ainsi qu'avec les courants polyphasés.

D'après ces explications préliminaires, on pourrait s'attendre à voir figurer dans l'horloge-mère Thury, deux machines distinctes : un moteur et un alternateur.

En réalité, ces deux dernières machines sont condensées dans une machine unique constituant un nouveau type de moteur-transformateur différant totalement de ceux dont nous avons parlé à propos de la charge des accumulateurs, (p. 116.)

Dans l'industrie ces sortes de machines sont encore dénommées *commutatrices*.

Les commutatrices industrielles transforment ordinairement des courants alternatifs monophasés ou polyphasés en courant continu :

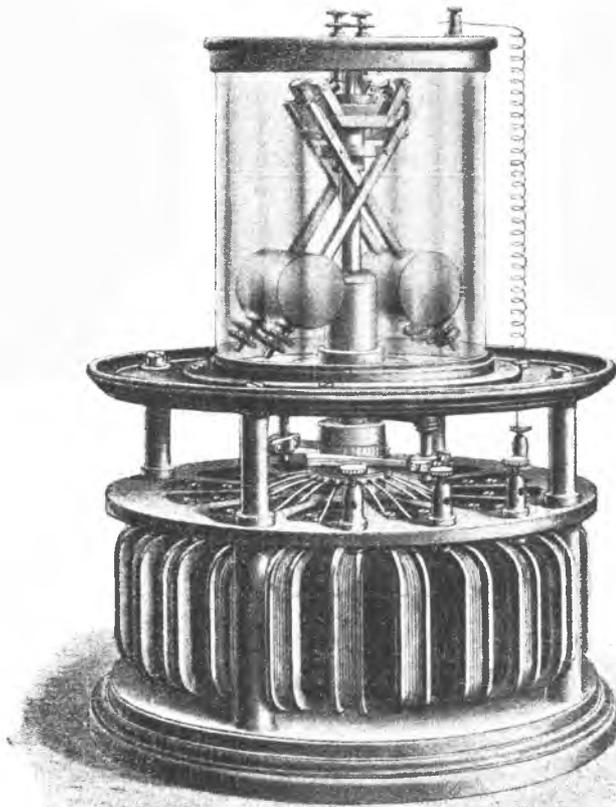


Fig. 99.

tandis que la commutatrice, que nous allons trouver dans l'horlogerie Thury, transforme une partie du courant continu débité par un

ou deux accumulateurs en énergie mécanique, et, l'autre partie, en courants triphasés.

La vue d'ensemble, la coupe et un schéma de l'horloge-mère Thury sont montrés par les figures 99, 100 et 101.

Nous y voyons un moteur du type Gramme excité en dérivation (p. 176) ne présentant, en tant que moteur, sur celui que nous connaissons, que les particularités suivantes :

L'induit *c*, (fig. 100 et 101) qui est constitué par un anneau en tôle découpé intérieurement par 24 alvéoles recevant l'enroulement induit, est fixe ainsi que son collecteur *b* ; c'est l'inducteur *d* et les balais *l* et *l'* qui tournent.

L'inducteur *d* porte deux enroulements *f* et *f'*, dont l'un *f* reçoit d'une manière permanente le courant d'excitation, c'est l'enroulement

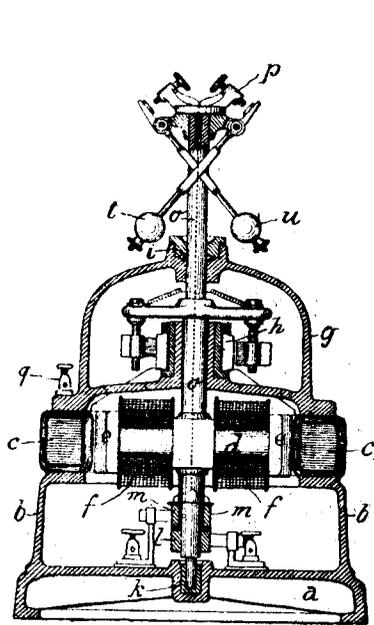


Fig. 100.

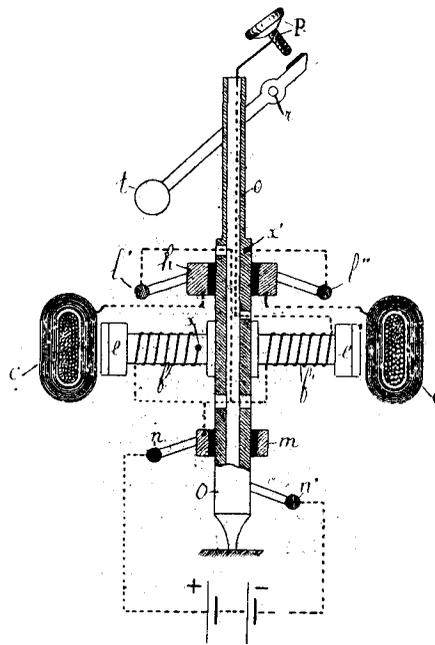


Fig. 101.

normal, et l'autre, *f'*, possédant une bien plus grande résistance que *f* qui ne reçoit du courant que par intermittences. Cet enroulement (*f'*), ainsi que nous le verrons, participe au réglage de la vitesse du moteur.

L'induit *c* est supporté par le socle en fonte *a b* de l'appareil.

La partie supérieure g de ce socle supporte le collecteur h et le coussinet supérieur i , qui guide le haut de l'axe creux o , dont le bas pivote dans un coussinet K , formant crapaudine. Ce coussinet K est monté dans la partie inférieure a du socle.

Voici maintenant l'énumération des pièces qui sont assujetties sur l'axe creux o :

1° un régulateur de vitesse composé d'un pendule conique à deux bras, à suspension croisée, et isochrone sous un angle de 20° environ. Les deux masses t et u qui terminent ces bras sont fort lourdes ; elles jouent en même temps le rôle de volant.

2° un plateau supportant les balais V et V' (fig. 100 et 101) ;

3° l'inducteur d , qui a la forme d'un électroaimant droit, comportant on le sait, deux enroulements, l'un servant à l'excitation normale, et l'autre au réglage de la vitesse du moteur. Les pièces e et e' qui terminent l'inducteur d sont des masses de fer dénommées *plaques polaires*, dont le but est d'embrasser le plus de flux possible par rapport à l'induit, en réduisant l'entrefer à son minimum.

3° deux anneaux l et m , ce dernier isolé, sur lesquels pressent deux balais n et n' .

Communications électriques

Les points d'attache des fils chargés d'amener le courant de la batterie à l'appareil, se font sur les balais n et n' (fig. 101).

De l'anneau isolé m , qui communique par son balai au pôle positif des accumulateurs, le courant rencontre trois dérivations dans lesquelles il va se propager dans des proportions diverses : la première de ces dérivations la plus importante, est celle qui aboutit à l'induit fixe c , en passant par le balai V et le collecteur h ; la seconde va à l'enroulement d'excitation permanente f ; la troisième va à l'enroulement d'excitation intermittente f' .

Le retour du courant dans ces trois dérivations s'effectue par la masse et le frotteur n' qui est relié au pôle négatif de la batterie. A cet effet, le fil de sortie de la bobine f est soudé, sur le noyau d , en x ; et celui qui sort de l'induit c , l'est en x' , sur l'arbre o . Quant au courant de la bobine de réglage f' , il ne se trouve fermé par la masse, dont font partie les bras du pendule conique, que lorsque la vitesse du moteur étant à son minimum, le bras supérieur de la masse t vient

toucher la vis P isolée de la masse et qui communiqué avec le fil de sortie de l'enroulement f' .

Nous faisons remarquer, dès maintenant, que le sens du courant dans la bobine de réglage, n'est pas celui qui conviendrait pour que son action magnétisante s'ajoute à celle de la bobine f' ; *il tend au contraire à affaiblir le champ de cette dernière bobine.*

*Fonctionnement de l'horloge-mère
en considérant seulement la transformation du courant continu
en énergie mécanique,
et la méthode employée pour régler la vitesse du moteur*

Le circuit électrique étant fermé sur l'appareil ainsi qu'on le voit dans le schéma (fig. 101), des pôles magnétiques se développent tant sur les masses polaires e et e' de l'inducteur, que dans l'anneau c . Nous avons vu (page 175), ce qui en résulte. Nous relèverons seulement cette différence déjà signalée que, dans le moteur de l'horloge Thury, c'est l'inducteur qui acquiert un mouvement de rotation. Ceci, nous le comprenons sans peine, ne change en rien le principe du moteur Gramme à courant continu.

Au début de la mise en marche du moteur, les bras du pendule conique sont en contact avec les vis P ; le circuit de la bobine de réglage f' est alors fermé.

Bien qu'à cet instant cette dernière bobine affaiblisse le champ inducteur créé par la bobine f , cela ne suffit pas à empêcher le moteur de démarrer et, à plus forte raison, de continuer à tourner.

Aussitôt que le moteur dépasse une certaine vitesse les bras du pendule s'écartent des vis P et rompent ainsi le courant dans la bobine de réglage f' .

Cette rupture a pour effet *de renforcer le champ magnétique inducteur, et, par suite, de ralentir la vitesse du moteur.*

Si le ralentissement de celui-ci est tel qu'il permette aux bras du pendule conique de reprendre contact avec les vis P , le circuit de la bobine de réglage f' se retrouvant fermé, *le champ inducteur s'affaiblit et la vitesse du moteur s'accélère.*

Ici, une petite digression s'impose :

Il peut paraître singulier que la vitesse de rotation d'un moteur

dynamo se ralentisse quand le champ magnétique inducteur grandit et vice-versa.

C'est que, nous l'avons déjà appris, un induit de moteur en marche développe comme celui d'une génératrice, une f. é. m. qui augmente avec sa vitesse de rotation, puisqu'un circuit fermé s'y déplace à travers un champ magnétique (p. 149). Mais cette f. é. m. est opposée à la f. é. m. principale, c'est-à-dire que c'est une force contre-électromotrice. Aussi la formule de Ohm pour calculer I en ampères absorbée par un moteur à courant continu en fonction doit-elle s'écrire $I = \frac{E - E'}{R}$; E' étant la f. c. é. m.

Quand la vitesse de rotation d'un moteur est maximum, la f. c. é. m. est presque égale à la f. é. m.

Le fait ci-dessus est facile à vérifier en introduisant dans le circuit d'un moteur un ampèremètre; du début de la mise en marche jusqu'au moment où le moteur a atteint sa vitesse normale, la déviation de l'ampèremètre va toujours en décroissant.

La vitesse de rotation d'un moteur dynamo dépend évidemment du champ inducteur; plus celui-ci est faible, plus l'induit ou l'inducteur devrait tourner vite pour que la valeur de E' se rapproche de celle de E . Au contraire, plus le champ sera intense, moins l'induit aura besoin de tourner vite pour amener E' dans le voisinage de E .

Ceci posé, plus rien ne s'oppose à ce que le système de réglage de vitesse de l'horloge-mère Thury soit compris.

On pourrait craindre que les ruptures plus ou moins fréquentes du circuit de la bobine f' , provoquées par les fluctuations dans la vitesse du moteur, n'engendrent des étincelles d'extra-courant capables de produire les effets destructeurs que nous lui connaissons. (p. 8).

Ces étincelles ne peuvent pas se produire, parce que l'extra-courant qui se crée à la rupture dans f' trouve à se neutraliser dans un chemin d'accès facile; ce chemin est celui que lui offre le circuit d'excitation permanente f . Cet amortisseur d'extra-courant, que nous trouvons tout naturellement monté dans l'horloge-mère Thury, est le même que celui montré schématiquement fig. 2 (p. 8).

Avec le mode de réglage que nous venons de décrire, M. Thury est arrivé à obtenir une précision de marche suffisamment grande pour pouvoir comparer son horloge-mère aux meilleures horloges à pendule circulaire et à échappement; et ce, tout en opérant la charge de la batterie fournissant le courant d'excitation, pendant le fonctionnement

Il est incontestable que ces résultats se bonifieraient encore en employant deux batteries dont l'une pourrait être chargée pendant le travail de l'autre ; l'interposition de ces deux batteries s'opérerait soit par un commutateur à main, soit automatiquement en faisant usage d'un commutateur établi dans le principe de celui de la fig. 68 (p. 131). De cette manière, l'excitation se faisant à un potentiel pouvant être rendu aussi constant que possible, les fluctuations de vitesse seraient fort atténuées et par suite la régularité de la transmission plus assurée que jamais.

*Comment on obtient des courants triphasés
dans l'horloge-mère de M. Thury*

On a déjà dit que la totalité du courant continu débité par les accumulateurs n'était pas exclusivement dépensée à faire tourner le moteur proprement dit ; une bonne partie est en effet transformée ou *commutée* en courants triphasés.

C'est pour recueillir ces derniers courants, qui sont ensuite envoyés à travers les fils de lignes et les moteurs synchrones (fig. 98) actionnant les minuteriers des récepteurs horaires, que l'on a greffé sur l'anneau

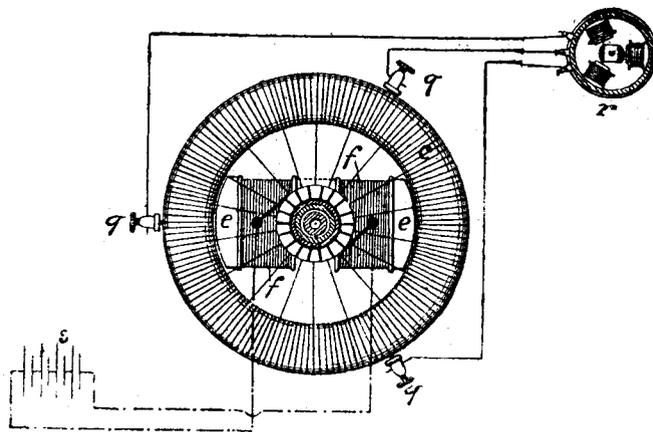


Fig. 102.

Gramme *c*, vu en plan fig. 102, trois prises de courant *q* distantes entre elles de 120° , ce qui rend cet anneau identique à celui de l'alternateur Gramme à courants triphasés (fig. 96). D'ailleurs, les courants, qui pendant la rotation de l'alternateur *d* vont sortir par les bornes *q*,

sont également identiques aux courants sortant des branches a , b et c de l'alternateur Gramme ; ils ne diffèrent que par leur origine.

Dans l'alternateur, ils sont dus à l'induction, tandis que dans l'horloge-mère Thury ils ne sont dus qu'à un effet de commutation, effet purement mécanique réalisé par la rotation de l'inducteur et des balais.

En effet, lorsqu'un moteur à courant continu est en fonction, que ce soit l'inducteur ou l'induit qui tourne, peu importe, les rentrées et les sorties du courant changent constamment de place par le jeu du collecteur (fig. 91, 92 & 93), par conséquent les spires constituant l'anneau passent à tour de rôle par des valeurs positives et négatives.

Ainsi donc, si nous envisageons l'induit c (fig. 102), il apparaît assez clairement que chacune de ses bornes q servira à tour de rôle de porte d'entrée ou de sortie à la portion de courant qui s'échappe de l'induit.

Une observation plus attentive de la figure 102, nous fera même voir que, dans la position occupée par les balais par rapport à la borne inférieure q , c'est cette dernière borne qui est, pour le moment, négative ; les deux autres qui sont à égale distance du deuxième balai étant les positives.

Ces deux dernières bornes se trouvent être dans les mêmes conditions que les branches ab de la fig. 96 (n° 2), ce qui permet de conclure que la direction des courants dans les trois fils de ligne est la même pour la fig. 102 que pour le n° 2 (fig. 96).

Si l'on fractionnait une période du moteur de l'horloge, comme on l'a fait pour l'alternateur, on trouverait évidemment que les courants rentrant et sortant par les trois bornes q sont constamment en retard ou *décalés* d'un tiers de période les uns sur les autres, partant ce sont bien des courants triphasés (p. 178).

Si donc, comme nous l'avons fait prévoir, l'horloge-mère donne un nombre de périodes à la seconde rigoureusement constant, on pourra être sûr que les récepteurs horaires munis de moteur synchrone (fig. 98), qu'elle commandera, indiqueront une heure exacte.

Notons que pour commuter un courant continu en courants triphasés, il n'est pas indispensable de faire usage d'un moteur, on pourrait aussi bien faire tourner l'arbre o (fig. 101) supportant les balais l' et l'' , au moyen d'un mouvement d'horlogerie ou même à la main, quand la question de régularité n'aurait pas d'importance.

On pourrait de la même façon faire tourner l'anneau Gramme, les

balais restant fixes comme dans les moteurs ordinaires, à condition toutefois que les trois issues q (fig. 102) soient au préalable réunies à trois bagues, comme celles e , e' et e'' de l'alternateur de la fig. 96, sur lesquelles on recueillerait, par l'intermédiaire des balais, les courants triphasés.

Récepteurs horaires Thury à moteur à champ tournant

Le premier récepteur établi par M. Thury, pour fonctionner avec les courants triphasés émis par son horloge-mère, était muni d'un moteur synchrone identique à celui dont nous avons donné le schéma (fig. 98).

Depuis, l'inventeur a remplacé l'aimant droit par un aimant en fer à cheval et l'enroulement au lieu d'être fait comme dans l'anneau Gramme, a été réparti sur trois bobines symétriquement disposées en rayon dans l'intérieur de l'anneau.

Ce mode de construction qui ne change aucunement le principe du moteur et qui est représenté en r (fig. 102), provoque un surcroît de puissance dans le moteur.

Le mécanisme qui accompagne le moteur synchrone dans un récepteur horaire n'est ni plus ni moins qu'un simple mouvement d'horlogerie dont on peut faire deux parts : la minuterie ordinaire et un rouage réducteur servant de trait d'union entre celle-ci et le moteur.

Le rapport des vitesses entre le premier et le dernier mobile de ce rouage réducteur dépend du nombre de périodes fait à la seconde par l'horloge-mère : pour 2 périodes, soit 120 périodes par minute, ce rapport sera donc $\frac{1}{120}$; c'est-à-dire que les mobiles du rouage réducteur seront nombrés pour que la chaussée ne fasse qu'un tour pour 120, faits par le moteur.

Nous avons eu l'avantage de voir chez M. Thury de ces minuscules moteurs appliqués à des cadrans de plus de 1 mètre dont les grandes aiguilles étaient entraînées avec la plus grande facilité bien qu'elles fussent munies, à leurs extrémités, de masses représentant une résistance mécanique de beaucoup supérieure à celle que pourrait provoquer le vent le plus violent.

Cette expérience prouve surabondamment que le synchronisme de ces moteurs ne serait pas plus compromis dans les grosses horloges de clocher que dans les petites horloges d'appartement.

Avantages des horloges de M. Thury

Les récepteurs horaires à moteur synchrone ont comme premiers avantages de donner l'heure d'une manière continue et cela sans faire aucun bruit, ce qui n'est pas à dédaigner quand il s'agit d'horloges d'appartement. De plus ils sont, de beaucoup, plus économiques; on le comprendra sans peine, si l'on veut bien suivre notre raisonnement.

Dans tous les autres modes de distribution horaire, la presque totalité de la force des moteurs est dépensée à lancer brusquement le mécanisme des récepteurs et les aiguilles, lesquelles sont à l'état de repos complet entre deux émissions de courant.

Ce travail d'inertie, qui est entièrement perdu, n'a pas à se produire avec le système Thury, puisque les horloges se meuvent d'une façon ininterrompue; ou du moins, il ne se produit, une fois pour toutes, qu'à la mise en fonction du récepteur; seulement, en raison de la faible vitesse du mécanisme ordinaire, l'inertie est complètement négligeable.

De plus, pour 120 périodes à la minute, la puissance du courant émis par une horloge-mère Thury peut être, à rendement égal, 120 fois plus faible que celle du courant émis par tout autre système d'horloge-mère émettant un courant par minute, pendant une demi-seconde, puisque dans ce dernier cas, le courant agit pendant un temps 120 fois plus faible que dans le précédent.

En outre, il est plus facile de faire, au point de vue du rendement, un bon moteur à mouvement continu, qu'un moteur à mouvement saccadé, surtout du fait, qu'en pratique, quand il s'agit de ces derniers moteurs, on laisse passer le courant plus longtemps qu'il n'est nécessaire, par sécurité.

Si donc il y a bonne utilisation de l'énergie pendant que le travail d'avance s'effectue, il y aura par contre, gaspillage aussitôt après.

C'est pour ces motifs faciles à saisir, que les récepteurs horaires Thury arrivent à fonctionner avec des courants infinitésimaux — moins de 1/100^e d'ampère sous 2 ou 3 volts, pour des cadrans de 4 mètres.

Ces courants présentent encore l'avantage de se laisser transformer à volonté. Par exemple si la tension des courants triphasés émis par l'horloge-mère est trop élevée pour certaines horloges réceptrices, on pourra abaisser cette tension au moyen d'un *transformateur d'induction* construit en conséquence. Ces transformateurs, toutes proportions gardées, sont les mêmes que ceux employés dans les installations industrielles à courants alternatifs.

L'inconvénient des trois fils de ligne, exigés avec le système de distribution horaire à courants triphasés, peut être atténué en remplaçant une de ces lignes par la terre, sans que l'on ait à craindre des effets d'électrolyse, comme s'il s'agissait de courants continus.

Enfin si nous ajoutons à cela que les horloges réceptrices de M. Thury peuvent s'établir à bon marché, on aura la conviction que, tôt ou tard, ces horloges rentreront dans la pratique courante.

Distribution de l'heure par la méthode de la télégraphie sans fil

La télégraphie sans fil (T. S. F.) constitue la transmission de l'électricité à travers l'espace sans l'aide de fils conducteurs. Elle se pratique couramment aujourd'hui surtout en mer où elle a déjà rendu de grands services.

Le succès de la télégraphie sans fil devait naturellement engager à l'utiliser dans certains cas particuliers pour la distribution de l'heure. C'est ainsi que depuis deux ou trois ans on a pu lire dans diverses publications que des tentatives de ce genre avaient été faites dans quelques villes d'Europe, notamment à Séville.

A Paris, M. Bigourdan, de l'Académie des sciences, fit l'an dernier des expériences de transmission de l'heure, au moyen d'appareil de T. S. F. mis gracieusement à sa disposition par M. Ducretet, le célèbre constructeur électricien, expériences qui eurent plein succès comme en témoigne un rapport publié dans le Bulletin de l'A. des Sc. de juin 1904.

Grâce encore à l'obligeance du constructeur déjà nommé, qui a bien voulu nous prêter l'une de ses excellentes bobines de Ruhmkorff, nous avons pu renouveler, avec quelque variante, les essais ci-dessus, lesquels, après bien des tribulations, ont eu pleine réussite.

Dans la dernière des expériences que nous avons faites, nous nous étions proposés de faire fonctionner depuis l'École d'horlogerie, qui possède, on le sait, un réseau de distribution horaire ordinaire, un récepteur horaire, installé près de l'Église de Marnaz, commune distante d'environ quatre kilomètres de Cluses ; nous eûmes la satisfaction de voir, à chaque minute, les aiguilles du récepteur entraînées comme par une main invisible.