

f. c. é. m. soit presque égale à la f. é. m agissante, c'est-à-dire à la d. d. p. aux bornes du shunt. Il y aurait égalité, si les frottements étaient nuls, en principe les deux valeurs sont sensiblement les mêmes et l'intensité traversant l'induit est donc très faible (1 milliampère environ). Les résistances de contact dues à l'encaissement du collecteur sont par suite faibles vis-à-vis de la résistance du circuit de l'induit et diminuent les causes de mauvais fonctionnement; le collecteur et les balais sont choisis en or.

place vers le haut le curseur C. Si le compteur tarde, on déplace C vers le bas.

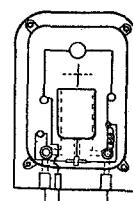


Fig. 1193

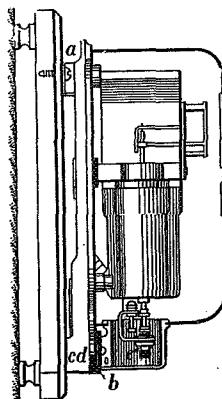


Fig. 1190

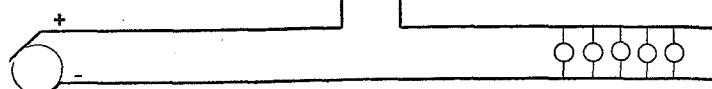


Fig. 1191

Pour un compteur donné, la résistance du shunt étant invariable, quelle que soit l'intensité le traversant, l'enregistrement est bien proportionnel à cette intensité, puisque la d. d. p. agissant aux bornes de l'induit est $u = R I$.

Le compteur est indépendant de la température, car le shunt est en manganin, métal sans coefficient de température.

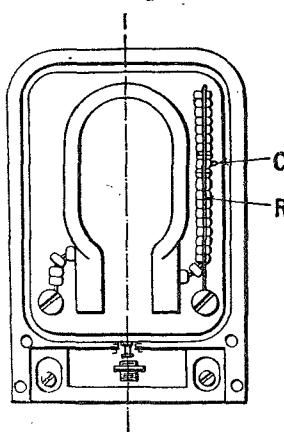


Fig. 1192

2° Réglage. — On règle le compteur en modifiant la place de la prise du circuit de l'induit sur le shunt, de façon à faire varier la d. d. p: u (fig. 1192). Si le compteur avance, on diminue la résistance R aux bornes de laquelle l'induit est branché; à cet effet, on dé-

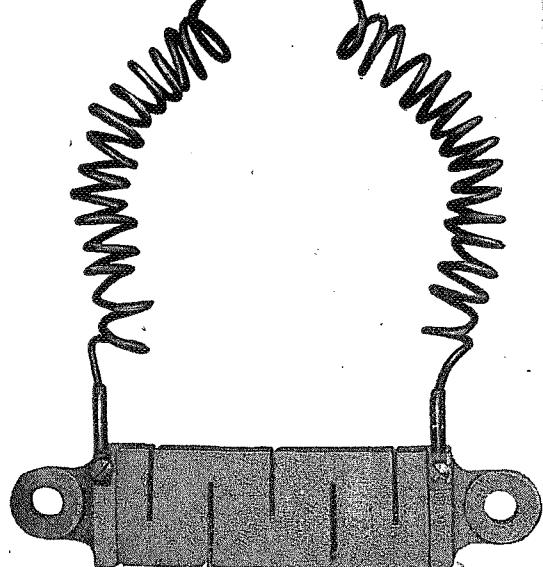
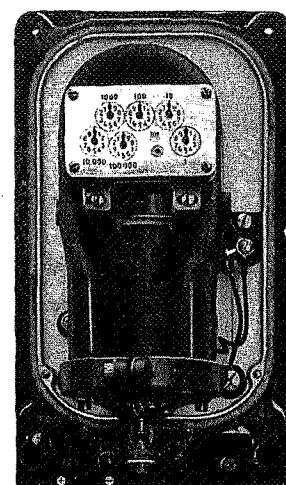


Fig. 1194
Compteur OK branché sur shunt
(Cie pour la fabr. des compteurs)

3° Compoundage. — Pour faciliter le démarrage des compteurs de fort calibre, on em-

pique l'artifice suivant: une dérivation d'intensité très faible, $1/100$ ampère, traverse l'induit d'une façon permanente; le couple ainsi créé sert à équilibrer les différents frottements de

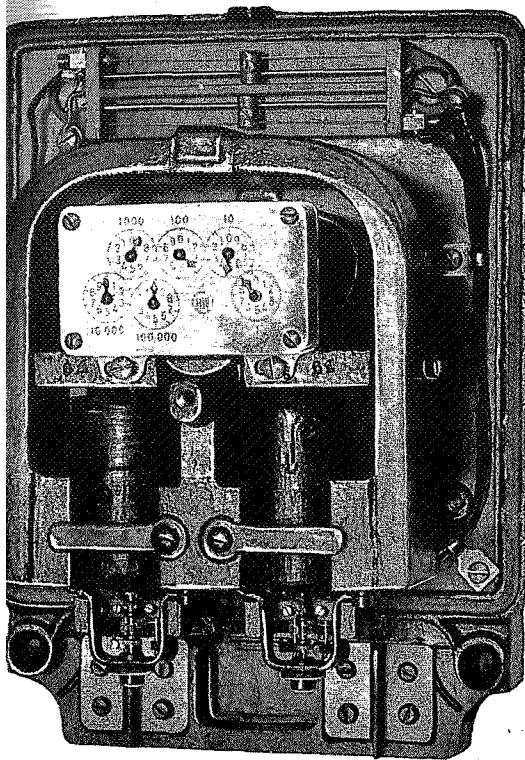


Fig. 1195 a — Compteur OK modèle W
(Cie pour la fabr. des compteurs)

l'appareil, et une petite résistance en série avec l'induit permet de faire le réglage de cette

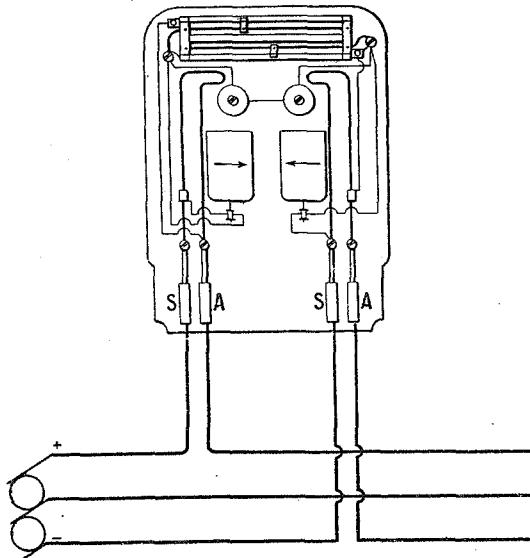


Fig. 1195 b

intensité dans l'induit (fig. 1193). Pour augmenter la sensibilité au démarrage et aux faibles débits, on augmente cette résistance et inversement.

Les compteurs de fort calibre sont généralement branchés sur shunt extérieur (fig. 1194).

4° Applications. — Deux compteurs jumelés, dont les indications sont sommées à l'aide d'un différentiel sur une même horlogerie, s'appliquent aux distributions 3 fils à tensions égales ou inégales (cas des moteurs dont l'excitation est branchée sous une tension différente de celle de l'induit (fig. 1195 a et b).

Les compteurs ordinaires peuvent être gradués pour enregistrer les charges et les décharges d'accumulateurs, donnant ainsi le rendement des batteries. Ils servent également de compteurs de dépôt électrolytique, puisque le poids de métal déposé par la décomposition chimique d'un sel est proportionnel à la quantité d'électricité qui a traversé l'électrolyte.

Enfin, une suspension spéciale permet d'utiliser ces appareils dans les véhicules à traction électrique (fig. 1196).

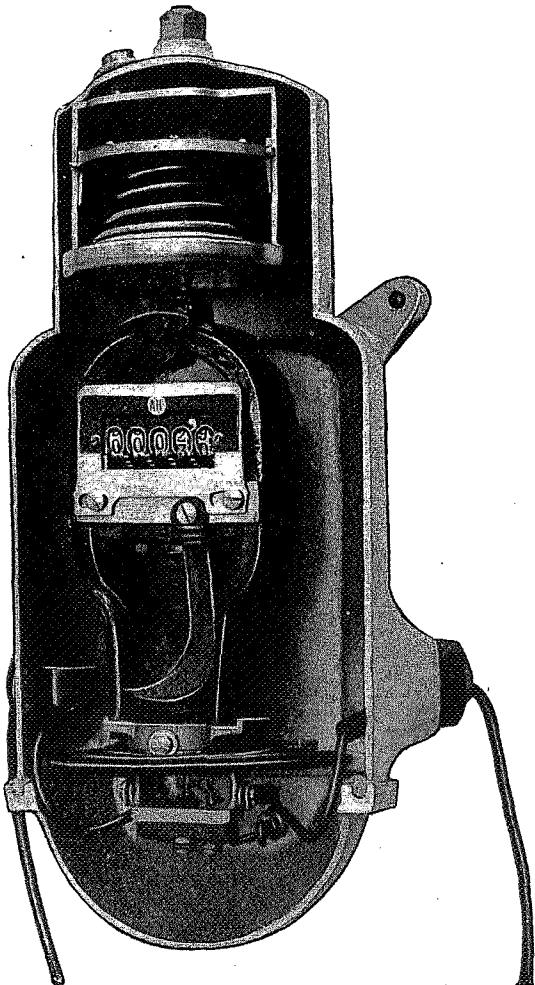


Fig. 1196
Compteur pour véhicules à traction électrique
(Cie pour la fabr. des compteurs)

5° Constantes de fabrication. — Le compteur O'K du modèle R (fig. 1197) a les principales caractéristiques suivantes:

Couple moteur à pleine charge: 26 gr-cm environ,

Poids de l'équipage mobile: 80 gr,

Perte de charge du compteur en volt:
0,6 volt,

Vitesse maximum de l'induit en tours par seconde: 8,

Démarrage au: $\frac{1}{200}$ du calibre,

Intensité dans l'induit: 1,2 milliampères.

6° Autres types. — Les autres principaux types de compteurs ahm sont *tous freinés* et par conséquent ont une forte intensité dans l'induit. Citons les types: A H M de la Compagnie Continentale, Aron, AMT (Ateliers mécaniques de Territet), A E G, Westinghouse. Un type différent de ceux-ci est le compteur moteur à mercure « H G » de la Compagnie pour la fabrication des Compteurs. Un cylindre de cuivre peut tourner à l'intérieur d'un vase contenant du mercure, dans lequel se font l'entrée et la sortie du courant. L'ensemble est entouré par un aimant permanent. Quand le courant passe, il suit les génératrices du cylindre métallique qui se déplace comme tout conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique.

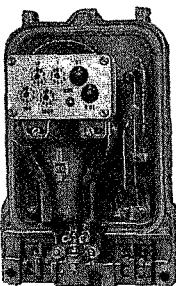


Fig. 1197
Compteur O'K
modèle R

292. WATTHEUREMETRES. — Ces compteurs enregistrent l'énergie électrique $W = U I t$ consommée dans un circuit pendant un temps donné; ils se divisent en compteurs moteurs et en compteurs pendulaires.

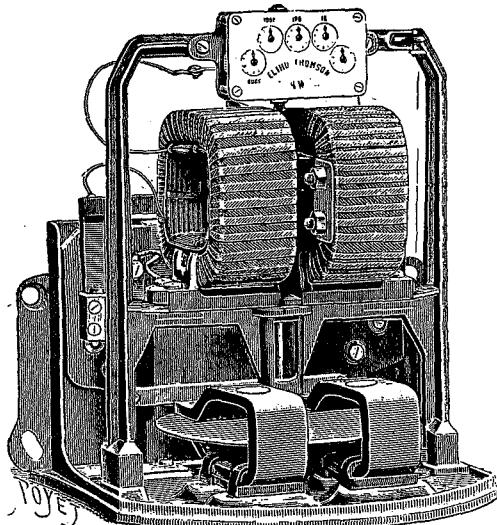


Fig. 1198 — Compteur Thomson

Compteurs moteurs. — **1° Description.** — Le type le plus connu est le « Thomson » (fig. 1198) il est constitué par un petit moteur sans fer, pour éviter les phénomènes d'hystérisis, dont les *inducteurs* (gros fil) sont parcourus par un courant proportionnel à l'intensité I à mesurer, et l'*induit* (fil fin) par un courant proportionnel à la tension U à mesurer. Afin que la vitesse de rotation demeure proportionnelle à la puissance $U I$, ce moteur qui tendrait à s'emballer, est freiné proportionnellement au couple moteur, au moyen d'ai-

mants permanents entre les branches desquels tourne un disque en métal, monté sur l'arbre de l'induit. Les courants de Foucault induits dans le disque, quand il tourne, produisent un champ qui réagit sur le champ des aimants. Ces courants induits sont d'autant plus intenses que la vitesse du disque est plus grande; ils sont nuls, quand la vitesse est nulle. Une horlogerie, entraînée par l'arbre de l'induit, est construite de façon à enregistrer en watt-heures directement.

L'induit est en série avec une résistance additionnelle destinée à limiter la tension aux balais du petit moteur à 20 volts environ; cet induit est enroulé en tambour, il est calé sur un arbre vertical supportant également le disque freinant. L'arbre repose par son pivot inférieur sur un saphir placé dans une crapaudine et appuyé sur un ressort; le pivot supérieur est maintenu dans un guide en laiton.

Le type Thomson ne se fabrique plus sous sa forme primitive; on retrouve dans le type A les mêmes éléments disposés différemment (fig. 1199).

Pour faciliter le démarrage du compteur et pour lui donner une sensibilité suffisante aux très faibles débits, on crée un couple supplémentaire constitué par un enroulement monté en série avec l'induit et réglé de façon à contrebalancer les différents frottements dus au pivot, à la minuterie et aux balais. Cet enroulement appelé *compoundage* (se voit fig. 1198 à gauche) est parcouru d'une façon permanente par le courant dérivé. Quand il n'y a pas de débit dans l'installation, le champ des inducteurs est nul, mais l'induit, excité par le compoundage, constitue un petit moteur série: il a donc tendance à tourner dans un sens bien déterminé, et l'enroulement du compoundage doit être tel que ce sens soit celui de la rotation en fonctionnement normal. Si le compoundage est bien réglé, c'est-à-dire s'il équilibre exactement les frottements, l'induit ne tourne pas, mais est prêt à démarrer pour un très faible débit. En augmentant ou en diminuant la valeur du champ magnétique dû au compoundage on modifie à volonté la sensibilité du compteur. Le réglage doit être fait en s'assurant bien que le compteur ne marche pas à *vide*, ce qui arrive quand l'action du compoundage est trop forte et détermine un couple moteur supérieur au couple résistant dû aux frottements. Remarquons aussi que la tendance à la marche à vide peut être accentuée par l'effet des trépidations extérieures, ce qui nécessite de régler le compoundage avec soin.

De nombreux autres types de compteurs moteurs whm fonctionnent suivant un principe identique.

Influences diverses. — **A. Température.** — En général, la température influence le réglage des compteurs moteurs. La résistance du disque et celle du circuit dérivé varient avec la température, aussi, doit-on compenser ces

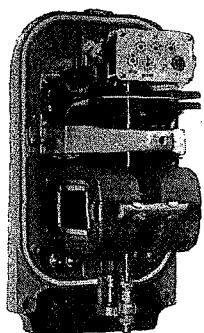


Fig. 1199
Compteur Thomson A

effets: il suffit pour cela de choisir des métaux ayant le même coefficient de température. Mais il faut, d'une part, que le disque soit bon conducteur et par conséquent en cuivre ou en aluminium, métaux à coefficient de température non négligeable, et, d'autre part, il faut que le circuit dérivé ait une résistance invariable pour certaines limites de variation de tension et par conséquent ne varie pas avec la température. Ces deux conditions se contrarient, pourtant on peut arriver à une compensation suffisante et on obtient des compteurs ne variant que de 1% pour 5 degrés et restant juste entre $\pm 10\%$ de variation de tension autour de la tension normale.

B. Champs magnétiques extérieurs et terrestres. — Les champs magnétiques extérieurs viennent s'ajouter ou se retrancher, suivant le cas, au champ inducteur des compteurs; c'est pourquoi, dans les fortes installations comportant des gros câbles, il est nécessaire d'avoir des compteurs astatiques. (Voir N° 32). Aux

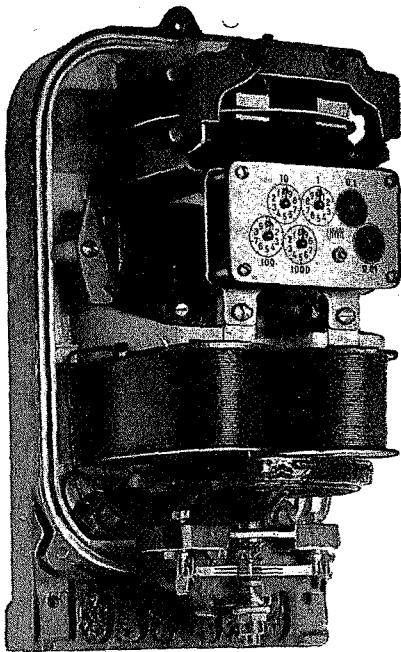


Fig. 1200 a

Compteur modèle B (Cie pour la fabr. des compteurs)

faibles charges jusqu'au $\frac{1}{10}$ du calibre, le champ terrestre augmente ou diminue le compoundage, dont le réglage doit donc être fait sur place; les aimants permanents peuvent également faciliter ou retarder la marche aux petits débits.

Une forme nouvelle de compteur moteur whm rendant cet appareil indépendant du champ terrestre est le modèle B de la Compagnie pour la fabrication des Compteurs (fig. 1200 a et b): l'induit est plat et les inducteurs sont perpendiculaires au champ terrestre.

Courts-circuits. — Les courts-circuits ont l'inconvénient de produire un champ inducteur anormal capable de désaimanter les aimants permanents et de faire avancer ainsi le

compteur; on remédie en partie à cet inconvénient à l'aide d'un écran magnétique placé entre les inducteurs et les aimants.

2° Réglage. — Le réglage au grand débit s'obtient en éloignant ou en rapprochant de l'axe les aimants permanents, de façon à embrasser une surface du disque plus ou moins grande; dans la plupart des nouveaux types, le réglage se fait progressivement en shuntant magnétiquement les aimants à l'aide de vis en fer;

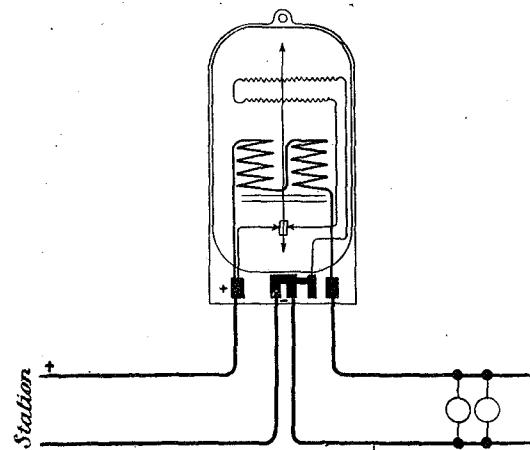


Fig. 1200 b

aux petits débits, aux $\frac{1}{10}$ et $\frac{1}{20}$, le compoundage doit être ajusté, soit en l'approchant ou en l'éloignant, soit en modifiant son champ par le déplacement d'une tige de fer. A gauche de la figure 1200, on voit cette petite tige de fer, dont la hauteur est fixée par le serrage d'une vis. La pression des balais sur le collecteur influence le démarrage et les faibles charges: les compteurs modernes ont leurs balais réglés avec une pression totale de 0,5 à 1 gramme.

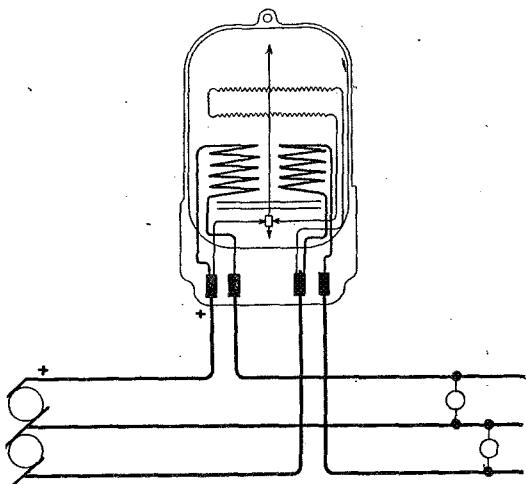


Fig. 1201

3° Applications. — Le Compteur «Trois fils», employé dans les distributions à 3 fils, est semblable au compteur deux fils, mais chaque inducteur mesure l'intensité passant dans le pont.

correspondant: l'induit est branché entre les fils extrêmes (fig. 1201) et mesure la tension moyenne $\frac{U_1 + U_2}{2}$; le compteur enregistre donc la quantité:

$$\frac{(U_1 + U_2)}{2} \times (I_1 + I_2)$$

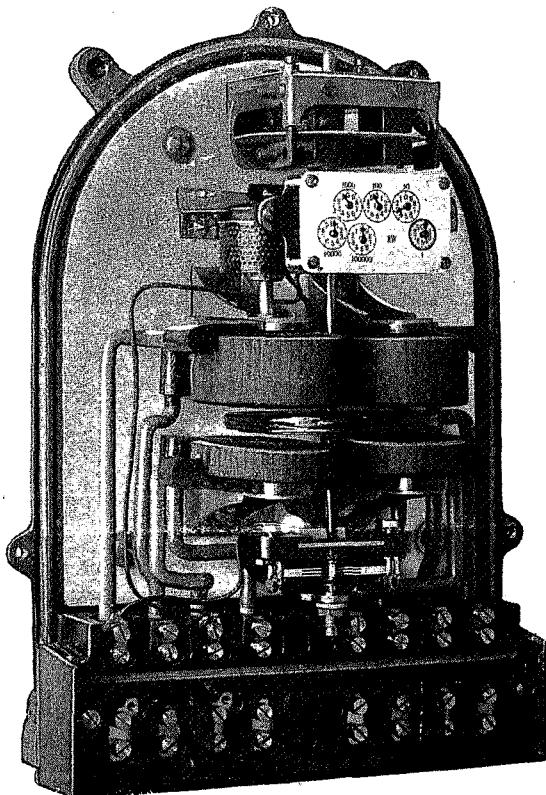


Fig. 1202 a — Compteur B cinq fils
(Cie pour la fabrication des compteurs)

Si $I_1 = I_2$, on mesure la consommation exacte $U_1 I_1 + U_2 I_2$ égale à $2 U_1 I_1$, quand les ponts sont également chargés.

Le Compteur 5 fils pour distribution à 5 fils est composé (fig. 1202 a et b) d'un induit mesurant la tension d'un pont U_1 et de quatre inducteurs. Les inducteurs des conducteurs extrêmes 1 et 5 ont un enroulement double des inducteurs mesurant les intensités des fils 2 et 4. De cette façon, l'enregistrement de deux ponts consécutifs également chargés est donné par exemple par $U_1 \times (2 I_1)$, puisque l'inducteur 2 est parcouru par un courant nul. L'enregistrement du premier pont est donné par $U_1 (2 I_1 - I_2)$, car le courant dans le fil 2 est alors de sens contraire à celui dans le fil 1; l'enregistrement du 2e pont est donné par $U_1 I_2$, enfin, l'enregistrement total pour les quatre ponts également chargés est: $2 U_1 (I_1 + I_3)$, car il passe un courant nul dans les trois fils intermédiaires 2, 3, 4.

4° Autres types. — Beaucoup de compteurs sont basés sur le même principe que le compteur Thomson et ne diffèrent que par des détails de construction. Citons les types: Aron, A E G moteur et oscillant, Schuckert, Vulcain et F, Westinghouse, Garnier, Mars, etc.

Dans le type oscillant A E G, l'induit oscille de droite à gauche au lieu de tourner complètement comme dans les autres compteurs.

5° Constantes de fabrication. — Les données intéressantes des compteurs moteurs sont suivant les types :

Couple moteur en grammes-centimètres	6 à 8
Poids de l'équipage mobile en grammes	80 à 270
Consommation du fil fin en watts à	
110 volts	2 à 3,8
Perte de charge dans le compteur en volts	0,9 à 1,5
Vitesse en tours par seconde à pleine charge	0,6 à 1
Poids du compteur en kilos	5 à 10
Tension aux balais en volts	12 à 25
Pression des balais en grammes	0,5 à 1,2
Nature des balais	argent
Nature du collecteur	argent
Augmentation de température créant 1% avance à pleine charge	3° à 6°
Influence de 20 % de variation de tension, au $\frac{1}{100}$ du calibre en %	2 pour les compteurs récents

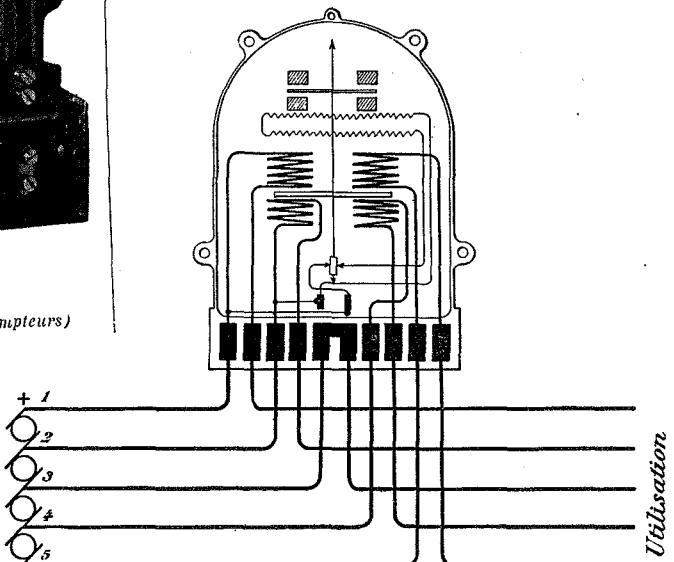


Fig. 1202 b
Schéma d'un compteur pour circuit à 5 fils

Compteur O'K' wattheuremètre à «shuntelet» ⁽¹⁾. — Ce compteur est une modification apportée par M. O'KEEAN à son compteur ampèreheuremètre, de façon à obtenir l'enregistrement des wattheures consommés. L'appareil comprend (fig. 1203 a, b, c) un shunt principal E, un sous-shunt AB, un circuit ABC pris aux bornes du sous-shunt, un induit I connecté entre C et D, enfin une résistance

⁽¹⁾ Voir «Compteur O'K' wattheuremètre à entretien réduit pour courant continu» par C. Ed. O'Keenan (Revue Générale de l'Électricité du 19 Août 1922, p. 257).

tance R branchée aux bornes de la tension U à mesurer. Le circuit ABC comporte une branche AC de résistance r_1 appelée *shuntelet froid* et une branche CB de résistance r_2 appelée *shuntelet chaud*. La résistance R entoure r_2 et

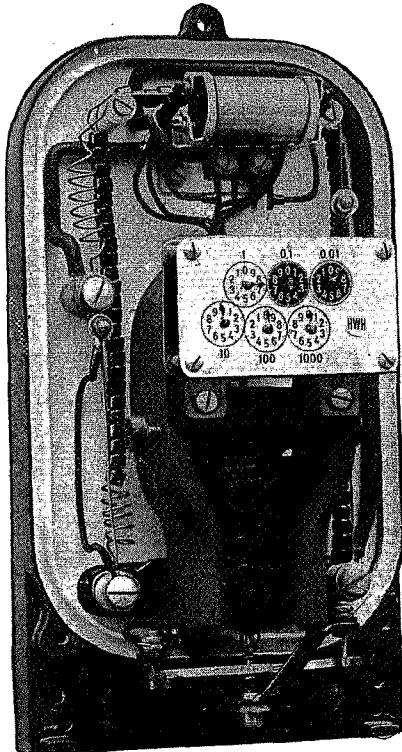


Fig. 1203 a — Compteur O'K à shuntelet
(Cie pour la fabr. des compteurs)

son échauffement variable avec la tension du réseau modifie la température de la résistance r_2 ainsi que sa résistance. La d. d. p. entre les points C et B varie donc ainsi avec la tension

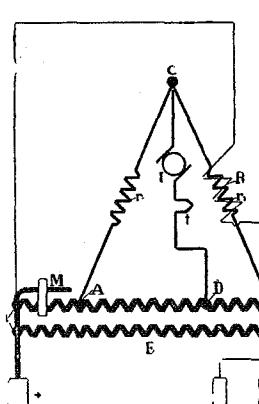


Fig. 1203 b

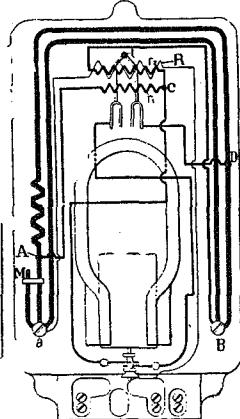


Fig. 1203 c

du réseau. L'induit I se trouve alors soumis à une d. d. p. qui, d'une part, est proportionnelle à l'intensité du courant pour une même tension, et qui, d'autre part, est proportionnelle à la tension du réseau pour un même dé-

bit: la proportionnalité exacte étant obtenue en prenant l'induit un peu en arrière du point B, en un point D bien déterminé et qui dépend des constantes de construction.

La résistance R est appelée *chaufferette*; on profite de l'élévation de température qu'elle détermine autour d'elle pour chauffer un couple thermo-électrique t qui permet de compoudrer le compteur plus ou moins, afin d'obtenir la sensibilité convenable.

Ce compteur présente tous les avantages du compteur O'K.

Compteurs pendulaires. — (Compteurs Aron à balanciers.) — 1° *Description.* — Ces compteurs se composent de deux mouvements d'horlogerie distincts munis de balanciers terminés par des bobines faisant partie du circuit voltmétrique (fig. 1204). Les balanciers oscillent au-dessus d'autres bobines fixes parcourues par le courant principal. Les deux mouvements sont réunis à une même horlogerie par l'intermédiaire d'un différentiel d' f e g. Ils sont actionnés séparément par un autre différentiel commandé par un système de remontage.

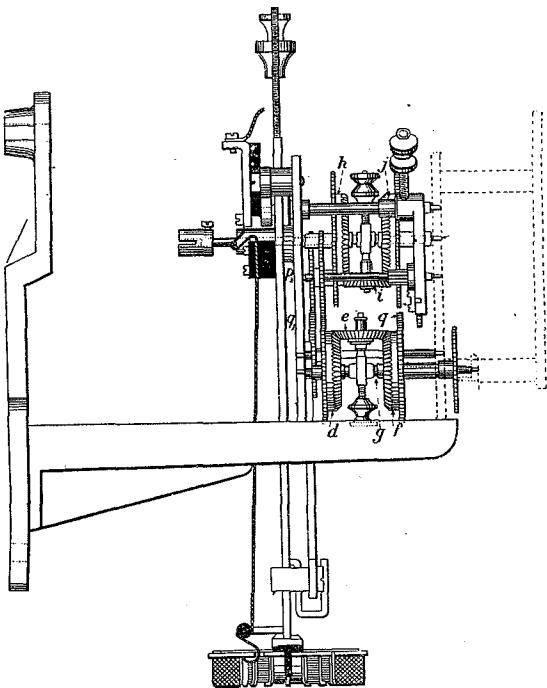


Fig. 1204
Vue de profil du rouage, le remontage automatique enlevé

Dans le cas de balanciers longs, quand il ne passe pas de courant dans les bobines fixes ou inducteurs, les oscillations de ces pendules sont synchrones. Quand le courant passe dans les bobines fixes, les champs magnétiques correspondants exercent sur ceux des bobines mobiles des forces attractives ou répulsives suivant qu'ils sont de même sens ou de sens contraire. L'action de la pesanteur se trouve ainsi soit augmentée, soit diminuée, et modifie le nombre des oscillations des balanciers pendant un temps donné. Les connexions des bobines mobiles sont telles que le nombre des

oscillations d'un des balanciers augmente, tandis que celui de l'autre balancier diminue de la même quantité. La différence des oscillations, proportionnelle à la puissance à mesurer, est enregistrée à la minuterie par le planétaire du différentiel d f e g.

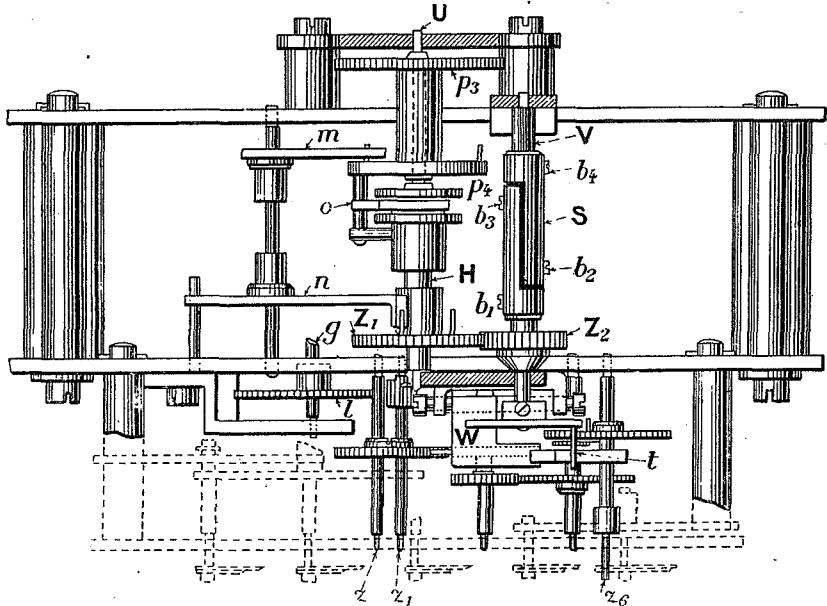


Fig. 1205 a — Appareil d'inversion

Pour réduire l'encombrement et faciliter le démarrage automatique, on a été conduit à se servir de balanciers très courts, de 10 cm de longueur environ, mais il est alors pratiquement impossible d'obtenir à vide la marche

Le défaut de synchronisme se manifeste tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, et il y a compensation, annulant l'erreur. Le dispositif de compensation est dénommé appareil d'inversion: il se compose d'un inverseur de courant commandé par le mouvement (fig. 1205, a, b) et qui brusquement, effectue un demi-tour toutes les 10 minutes environ. Le dispositif est complété par une série de roues dentées (fig. 1205 b), permettant à la minuterie d'enregistrer toujours dans le même sens, malgré le renversement périodique du courant dans les balanciers: à cet effet, un mécanisme spécial déplace brusquement une pièce portant des roues dentées en la poussant soit à droite soit à gauche et ceci, chaque fois que l'inverseur effectue un demi-tour. L'engrenement d'une roue ou bien celui d'une autre, se produi alors pour l'une ou l'autre des deux positions de sorte que la minuterie enregistre toujours dans un seul sens.

L'oscillation permanente des balanciers est assurée par le planétaire d'un engrenage différentiel, planétaire recevant l'effort moteur par l'intermédiaire d'un ressort à boudin, terminé par un toc qu'entraîne un axe à goupille (fig. 1204). La rotation de cet axe s'obtient par un système de remontage électro-automatique (fig. 1206): la bobine B d'un électro-aimant E mis en circuit automatiquement, fait

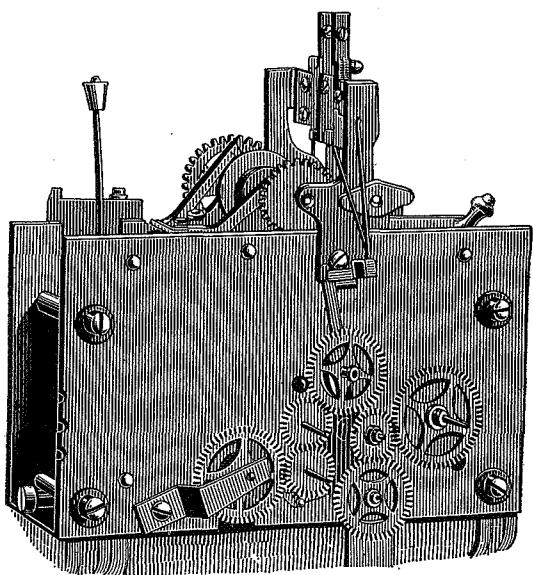


Fig. 1205 b — Détails de l'inverseur mécanique ou balançoire

synchrone des balanciers. On annule l'erreur qui en résulte en intervertisant le sens du courant dans les balanciers qui, périodiquement, sont disposés, soit pour avancer, soit pour retarder.

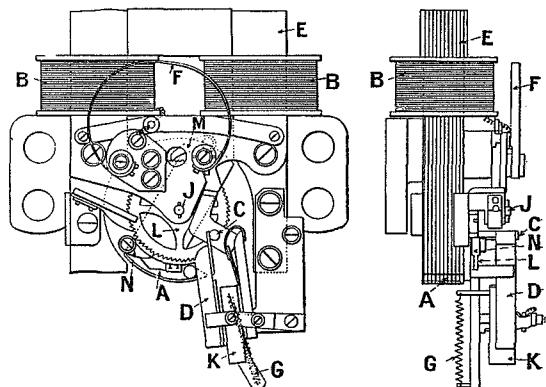


Fig. 1206 — Remontage électro-automatique

déplacer une armature A, qui arme un ressort F: le courant cesse alors de passer dans l'électro-aimant et l'armature revient lentement à sa position primitive par détente progressive du ressort armé. Puis le circuit de l'électro-aimant se ferme à nouveau, et ainsi de suite. Le remontage s'effectue ainsi toutes les trente secondes environ, et le courant ne passe à chaque fois dans l'électro-aimant qu'un instant très court, le circuit du remontage est branché en dérivation sur la ligne.

Les premiers compteurs pendulaires dits «à grands balanciers» étaient lancés à la main: les oscillations des pendules étaient synchrones, en raison de leur grande longueur. Les premiers compteurs construits étaient des ampèremètres: l'un des balanciers por-

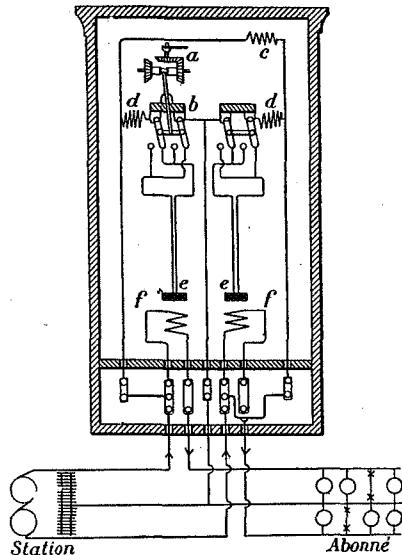


Fig. 1207 — Compteur Aron, 3 fils

tait une masse influencée simplement par l'action de la pensée, l'autre était muni d'un aimant permanent oscillant au-dessus d'une bobine fixe parcourue par l'intensité du courant principal.

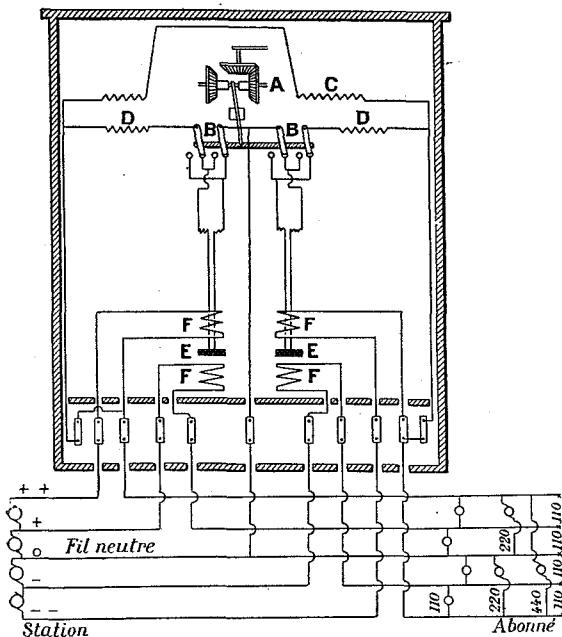


Fig. 1208 — Compteur Aron, 5 fils

2° Particularités. — Dans les compteurs pendulaires, le mécanisme moteur étant indépendant de l'organe de mesure, le compteur peut être juste depuis la plus petite charge, à la condition que le mouvement n'ait aucune marche à vide moyenne.

La dépense dans le circuit fil fin est d'environ 1 watt,5 par 110 volts.

La disposition du compteur le rend astatique, c'est-à-dire non influençable par les champs extérieurs, placés à égales distances des balanciers.

La grande résistance additionnelle du circuit dérivé faite d'un métal sans coefficient de température, permet au compteur de n'être pas influençé par la température.

3° Réglage. — Le réglage se fait d'abord en modifiant la position respective des balanciers et des bobines fixes, ensuite, s'il y a lieu, par le réglage de la résistance du circuit dérivé, sans toutefois descendre au-dessous de 5.000 ohms par 100 volts.

4° Applications. — Ces compteurs s'adaptent aux distributions à 3 et 5 fils (fig. 1207 et 1208). Dans le compteur 3 fils, chacune des bobines fixes mesure l'intensité d'un pont et chacun des balanciers la tension respective de chaque pont. Dans les compteurs 5 fils, deux bobines fixes sont placées l'une au-dessus, l'autre au-dessous de chaque balancier, et l'un des enroulements est le double de l'autre comme dans les compteurs moteurs; chacun des balanciers mesure la tension moyenne de deux ponts consécutifs.

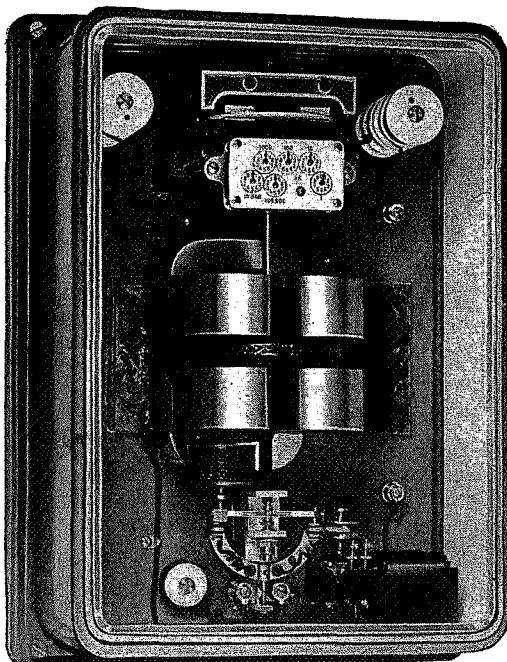


Fig. 1209
Compteur B de tableau, muni du dispositif démarreur
(Cie pour la fabr. des compteurs)

293. COMPTEURS DE TABLEAUX. — Les compteurs correspondant à des forttes intensités de courant, sont souvent branchés sur shunt. Ce procédé permet de manipuler plus facilement les compteurs et de leur donner la sensibilité désirée. Le dispositif démarreur (fig. 1209) permet de réaliser le démarrage à un débit très faible ($1/500$ de la pleine charge). Il a pour but de compenser les frottements des balais sur le collecteur; à cet effet, on im-

430 — Compteurs pour courant alternatif

prime aux balais un mouvement horizontal de va-et-vient de vitesse supérieure à la vitesse périphérique du collecteur, par l'action d'un petit moteur commandant le porte-balais au moyen d'un excentrique. Le petit moteur consomme 2 W, 5 environ par 100 volts.

Les figures 1209 et 1210 montrent un compteur modèle B et un compteur O'K wattheuremètre, munis du démarreur.

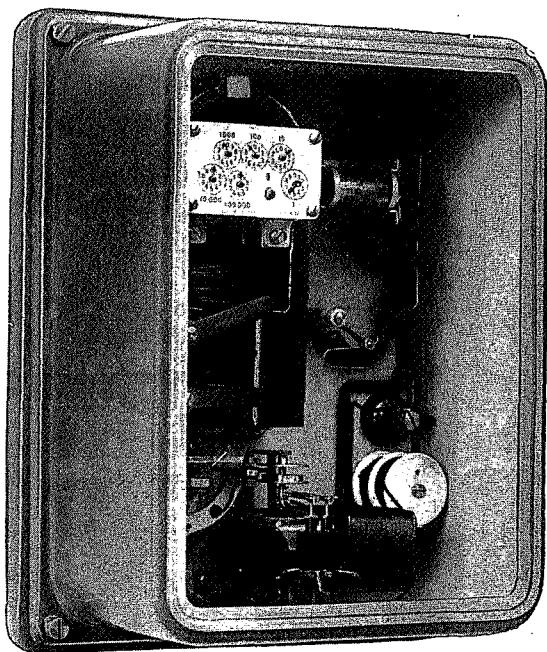


Fig. 1210

Compteur O'K à shuntelet, muni du dispositif démarreur
(Cie pour la fabr. des compteurs)

Les compteurs pendulaires de tableaux à courant continu devraient avoir des inducateurs de très grandes dimensions, aussi préfère-t-on brancher l'appareil aux bornes d'un shunt. L'intensité dérivée ainsi du courant principal passe dans les balanciers et les bobines fixes sont des électro-aimants parcourus par le courant de tension: le système d'inversion se trouve sur le circuit, pour éviter d'introduire des résistances de contact dans le circuit ampèremétrique.