

**Description de quelques  
Nouveaux Instruments de Mesure  
WESTON**

WATTMÈTRES, SYNCHRONOSCOPE, FRÉQUENCÉMÈTRE

INDICATEUR DU FACTEUR DE PUISSANCE

ET

APPAREIL A LECTURE DIRECTE POUR LA LOCALISATION DES DÉFAUTS

AVEC

**Projections et Démonstration expérimentale  
du Synchronoscope**

PAR

**PAUL SAMUEL**

INGÉNIEUR ÉLECTRICIEN

Extrait du *Bulletin mensuel de la Société belge d'Electriciens*  
Aveil 1913.

BRUXELLES

ÉTABLISSEMENTS ÉMILE BRUYLANT

*Société anonyme d'éditions juridiques et scientifiques*

57, RUE DE LA REGENCE

1912

David

Repro het MOT, Grimbergen  
Repro het MOT, Grimbergen  
Repro het MOT, Grimbergen  
Repro het MOT, Grimbergen

## Description de quelques Nouveaux Instruments de Mesure

WESTON

WATTMÈTRES, SYNCHRONOSCOPE, FRÉQUENCÉMÈTRE,  
INDICATEUR DU FACTEUR DE PUISSANCE

ET

APPAREIL A LECTURE DIRECTE POUR LA LOCALISATION DES DÉFAUTS

AVEC

Projections et Démonstration expérimentale du Synchronoscope (1).

PAR

PAUL SAMUEL

Ingénieur électricien.

MESSIEURS,

Les appareils dont nous nous entretiendrons d'abord appartiennent à la série d'instruments industriels que la Compagnie Weston a créés pour la mesure des courants alternatifs. Il s'agit d'instruments de tableau, non d'appareils de laboratoire. La série comprend des *voltmètres*, des *ampèremètres*, des *wattmètres monophasés* et *polyphasés*, le *synchronoscope*, l'*indicateur du facteur de puissance* et des *fréquencémètres*. Ils ont la forme circulaire consacrée, avec des boîtiers de mêmes dimensions et de même aspect extérieur afin de faciliter et d'harmoniser la composition des tableaux de distribution.

---

(1) Conférence donnée à la Société Belge d'Électriciens en séance du 15 mars 1913.

Bien que ces instruments soient déjà répandus dans l'industrie, les détails de leur construction sont en général peu connus, comme aussi la théorie de quelques-uns d'entre eux, par exemple : le *synchronoscope*, l'*indicateur du facteur de puissance*, les *fréquence-mètres*. Il y a là des renseignements très intéressants ; l'on sera même surpris des efforts de persévérance et d'ingéniosité qu'il a fallu dépenser pour obtenir cette précision, cette constance dans les indications et cette longue résistance à l'usage que l'on exige à présent également des instruments industriels.

Vous vous souviendrez certainement qu'il n'y a pas longtemps encore on considérait comme irréalisable l'établissement de bons instruments industriels pour le courant alternatif, comme on en possédait pour le courant continu. Déjà pour ces derniers, on s'était trouvé devant des difficultés sérieuses. Ici, le problème se complique par suite des réactions engendrées dans les enroulements, des courants de Foucault induits dans les masses métalliques ; par le fait surtout que la grandeur de ces perturbations varie avec la fréquence et avec le décalage des phases ; par suite encore des phénomènes de résonance harmonique.

Tandis qu'avec le courant continu on pouvait utiliser des aimants permanents et des masses de fer pour avoir des champs magnétiques d'une certaine puissance, avec le courant alternatif ceci était interdit. Il fallait donc réaliser beaucoup plus, tout en disposant de ressources moindres ; se soustraire à un grand nombre d'influences nuisibles, bien qu'il ne fût possible de faire usage pour le fonctionnement de l'appareil que de forces relativement réduites.

Aussi, au début, les constructeurs échouèrent.

A cette époque, Weston avait déjà créé les beaux instruments électrodynamométriques de laboratoire que chacun connaît : voltmètres, ampèremètres et wattmètres de haute précision. Quand les applications du courant alternatif commencèrent à se généraliser, il songea naturellement à établir des types industriels pour les tableaux de distribution. Quelle ne fût pas sa surprise de voir que malgré son expérience, ses ressources, son habileté, il ne pouvait aucunement y parvenir. Par le simple fait que le système mobile ne pivotait plus sur une de ses pointes, et qu'il était disposé horizontalement, des



frottements complémentaires intervenaient détruisant l'exactitude. Un instrument de tableau, en service sans interruption, devait présenter d'ailleurs des qualités de robustesse et de résistance à une usure prématurée des pivots que l'on ne demandait pas à un type d'étude pour laboratoire.

Mais un Américain ne se tient jamais pour battu ; je vais vous exposer la très curieuse organisation du travail et des recherches que le D<sup>r</sup> Weston a instituée dans les laboratoires de son usine et grâce à laquelle il a pu se rendre maître de toutes les difficultés et produire les instruments irréprochables qui font l'objet du présent entretien.

Lorsqu'il s'agit de créer un type d'appareil, le premier point est de fixer sur quel principe son fonctionnement sera basé. C'est là surtout une question de flair, de tact, d'instinct ; Weston y excelle. Nous ne le verrons jamais se laisser arrêter ou éblouir par une originalité théorique : il ira droit au procédé simple et sûr dont il a pressenti les avantages et les ressources. Une fois le principe adopté, on ne s'en éloignera plus jusqu'à ce qu'il soit mis au point. Cette mise au point représente un travail qui ne trouve pas son équivalent en Europe.

On dresse un tableau complet de tous les éléments entrant dans la composition de l'instrument et pouvant exercer une influence quelconque sur sa marche et sa précision. Habituellement ces divers éléments sont au nombre de cinquante ou soixante pour un appareil. On les étudie chacun séparément, c'est-à-dire que l'on fait varier, dans les limites admissibles, sur des modèles d'expérimentation soit leurs dimensions, soit leur disposition, soit leur composition selon l'occurrence, et l'on note les conséquences qui en résultent. Quand on est en possession de ces données complètes, on en extrait l'ensemble des dispositions qu'il y aurait lieu de réaliser pour atteindre au maximum de la perfection. On se trouve alors toujours en présence de contradictions et d'incompatibilités nombreuses.

Ayant déterminé les limites de tolérance admissibles, on procède d'abord aux concessions permises. Ceci épuisé, s'il reste encore des impossibilités à résoudre, comme, par exemple, de réunir dans un même corps des propriétés physiques qu'aucun produit ne renferme simultanément, on procède alors vraiment à l'américaine : c'est-à-dire que ce corps ou ce pro-

duit qui n'existe pas on l'invente. Weston a ainsi composé quelque chose comme 3.000 ou 4.000 produits et alliages pour les besoins de ses instruments. Ces recherches secondaires ont même donné lieu à plusieurs découvertes importantes parmi lesquelles on peut citer la manganine connue sous le nom de « métal sans coefficient de température » et dont l'usage s'est rapidement vulgarisé.

Telle est la méthode à laquelle nous devons la série d'instruments que nous allons examiner.

Ceux-ci se répartissent en deux groupes : les *wattmètres*, le *synchronoscope*, l'*indicateur du facteur de puissance* qui sont des électrodynamomètres plus ou moins modifiés ; le *fréquencemètre*, le *voltmètre* et l'*ampèremètre* qui sont des instruments électromagnétiques, c'est-à-dire à fer doux. Si l'on y ajoute le système à aimant permanent des appareils à courant continu, on voit que Weston s'est limité au choix de trois procédés généraux pour établir la série complète de ses instruments de mesure.

#### Les wattmètres industriels Weston.

Nous étudierons avec quelques détails les wattmètres de tableau monophasés, car on y rencontre les principaux organes caractéristiques entrant dans la composition des autres types de la série. Ces organes méritent l'attention, étant le résultat de ce genre de recherches dont nous avons parlé, qui, dans le cas présent, ont demandé plusieurs années.

Le wattmètre Weston consiste essentiellement en deux enroulements concentriques, l'un fixe, l'autre mobile. C'est en somme la disposition de l'électrodynamomètre classique de Weber, avec cette différence qu'au lieu d'être suspendu, l'enroulement mobile est monté sur pivots. L'enroulement fixe est ici à gros fil ; l'enroulement mobile à fil fin. Cet arrangement est la reproduction de celui des wattmètres primitifs Weston de laboratoire. La figure 1 montre l'intérieur d'un de ces premiers instruments (1); les deux enroulements fixe et mobile y sont visibles. On avait adopté pour ceux-ci, dès le

(1) Le premier type de ce modèle était un voltmètre.

principe, la forme circulaire; elle a été conservée parce qu'elle est, mathématiquement et pratiquement, la plus avantageuse.

Ces modèles de laboratoire sont à lecture à plat avec l'aiguille horizontale; pour les tableaux, au contraire, il faut que l'échelle soit dans un plan vertical ainsi que l'index. C'est là l'origine des principales difficultés mécaniques que l'on a rencontrées. Pour les vaincre il fallait à la fois *alléger* et *renforcer* l'équipage mobile.

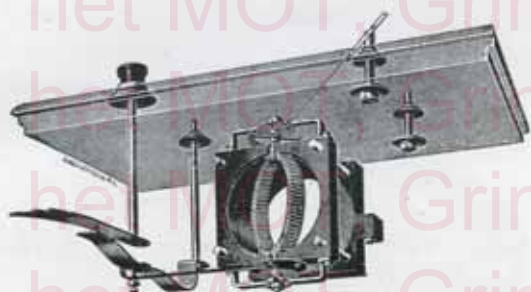


FIG. 1.

La qualité mécanique primordiale d'un instrument de mesure est, en effet, la légèreté de son système mobile, avec une répartition des masses donnant le plus petit moment d'inertie relativement au couple moteur lequel doit être aussi élevé que possible. Dire d'un instrument qu'il possède un grand couple moteur n'est en aucune façon faire son éloge si ceci est obtenu au détriment de sa légèreté. Car plus le poids du système mobile est grand, plus rapidement pivots et pierres seront mis hors d'usage; leur usure marque, en effet, la fin d'un instrument (1). Avec un poids élevé, le moment d'inertie sera élevé de même, d'où une paresse à suivre les fluctuations du régime, paresse augmentée par les frottements sur les pierres. Ce qui compte donc, c'est la proportion du couple moteur au moment d'inertie de l'équipage mobile. Il faut encore, malgré la légèreté, qu'il y ait un système amortisseur presque instantané, c'est-à-dire énergétique.

(1) La durée d'un instrument de ce genre varie sensiblement en raison inverse du carré du poids de l'équipage mobile.



La figure 2 donne la vue intérieure d'un wattmètre monophasé industriel Weston où ces conditions si difficiles à concilier ont été réalisées avec un succès exceptionnel.

On reconnaît les deux enroulements concentriques circulaires du wattmètre primitif. Tout le système électrodynamométrique (en réalité l'appareil) est monté sur un support unique boulonné sur le fond de la boîte. Cela forme un

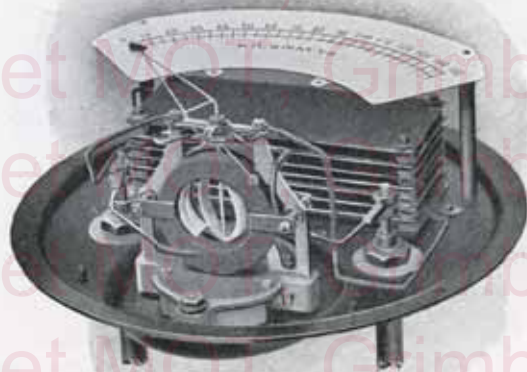


FIG. 2.

ensemble que l'on peut sortir d'une pièce du boîtier, soit pour un réglage, soit pour une vérification, sans qu'il y ait à démonter l'instrument ou les connexions du tableau. Sous le cadran on a logé les résistances.

La figure 3 montre le groupe électrodynamométrique isolé de son boîtier. Celui que l'on voit représenté dans la figure 3 appartient non à un wattmètre, mais à un indicateur du facteur de puissance. Il y a une légère différence dans la forme des bobines fixes qui sont oblongues, tandis qu'elles sont rondes dans le wattmètre. Une autre différence existe dans l'enroulement mobile; on y reviendra plus loin à propos de l'indicateur du facteur de puissance.

Le groupe d'ensemble de la figure 3 se décompose en plusieurs parties. Nous allons considérer séparément : 1° les

enroulements fixes; 2° le support des bobines; 3° l'index; 4° l'enroulement mobile; 5° l'amortisseur; 6° le pont supérieur et les ressorts.

*Les enroulements fixes.* — Ceux-ci n'offrent rien de spécial sinon qu'ils sont formés de deux bobines, séparées l'une de l'autre de l'épaisseur du support, laissant juste le passage

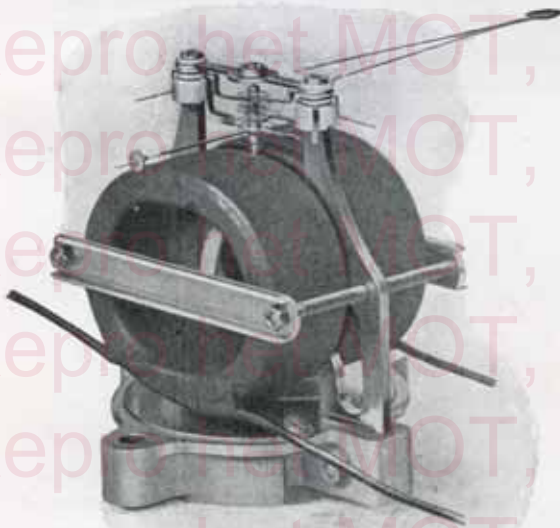


FIG. 3.

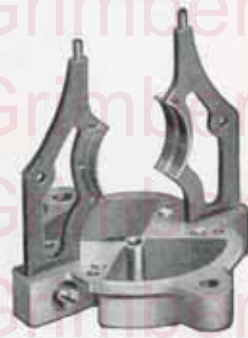


FIG. 4.

de l'axe pivotant. Elles sont rigoureusement calibrées et non moins rigoureusement centrées sur les supports grâce à des brides concentriques. Elles sont dépourvues de carcasse.

*Le support.* — La figure 4 montre comment le support est constitué de deux pièces solidement fixées par une vis dans une mortaise ménagée dans le socle. On voit les brides servant à centrer les bobines fixes; dans le haut il y a deux goujons destinés à maintenir le pont.

Ces deux pièces de support présentent un point très intéressant: l'alliage dont elles sont composées, qui est une combinaison due à Weston.



On s'était heurté ici à une de ces incompatibilités auxquelles nous avons fait allusion. L'épaisseur de ces supports ne devait pas excéder celle de l'axe pivotant, afin d'écartier les bobines fixes le moins possible. Ces supports devaient cependant présenter une grande rigidité et indéformabilité, étant les pièces fondamentales de la construction. L'emploi du métal s'imposait de préférence à toute autre matière. Mais le métal donnait lieu à des courants de Foucault; d'où des perturbations très sensibles en intensité et en décalage par les champs magnétiques parasites ainsi engendrés. Comment sortir de cette difficulté? La solution fut apportée sous la forme d'un alliage nouveau



FIG. 5.

d'une résistance électrique extrêmement élevée, de sorte que les courants induits dans la masse perdaient toute valeur appréciable; et d'une dureté et rigidité si grande que pour ajuster les tenons des supports dans leur mortaise on est forcé d'y souder des joues d'un métal plus tendre pour pouvoir limer. Les deux demi-supports sont estampés dans des tôles calibrées faites du dit alliage. Grâce à ces qualités de rigidité on a pu non seulement donner aux supports une faible épaisseur, mais par surcroît, y ménager des fenêtres afin de diminuer encore les effets d'induction.

*L'index ou aiguille.* — La figure 5 représente la forme et les dispositions que le D<sup>r</sup> Weston a données à l'aiguille indicatrice de ses instruments industriels pour courant alternatif. A première vue, cette forme semble compliquée pour un organe dont le rôle se borne à marquer les déplacements de l'enroulement mobile. Le corps de l'aiguille est constitué par un triangle tubulaire métallique, celui-ci est relié par deux tubes

coudés à un petit disque central monté sur l'axe pivotant. Nous remarquons encore trois contrepoids réglables, l'un sur une tige filetée en prolongement de l'index, les deux autres perpendiculairement pour assurer l'équilibre latéral.

Le sommet du triangle porte une flèche en métal noirci fort mince.

Ces détails ont leur raison d'être. Les courants alternatifs engendrent un phénomène spécial : la résonance, ayant pour effet de mettre l'aiguille en vibration harmonique avec les périodes, rendant ainsi indécises les lectures. On corrige assez facilement ces vibrations pour une fréquence; elles réapparaissent dès que le nombre de périodes change. La nouvelle forme d'aiguille donne ce résultat de supprimer complètement les résonances, quelle soit la fréquence, entre 15 et 900 périodes. Ceci constitue un très réel progrès.

Bien que beaucoup plus résistantes que les aiguilles ordinaires, les nouvelles ne pèsent que 0,12 gr, y compris la flèche et les contrepoids. Le réglage de l'équilibre, autant que la légèreté, joue un rôle important; ajoutons que le pas du filetage du contrepoids principal est inférieur à 1/10 de millimètre, ce qui donne des déplacements presque insensibles de la masse. Le dérèglement de cette masse n'est pas à craindre : un petit manchon taraudé la prolonge et, étant fendu, forme ressort sur la tige.

*L'enroulement mobile.* — Celui-ci a la forme d'un petit anneau cylindrique constitué par un certain nombre de spires de fil fin isolé à la soie et très méthodiquement enroulées sur elles-mêmes, sans carcasse. Deux petites ouvertures ont été ménagées dans les couches de fils, lors du bobinage, pour le passage de l'axe.

Le côté original de cet enroulement réside dans le ciment spécial servant à agglomérer les spires et qui donne à l'ensemble une rigidité surprenante. Le ciment sert encore à fixer l'enroulement sur l'axe, grâce à l'ingénieuse disposition que voici : dans ce ciment, on a noyé deux petites plaques métalliques qui recouvrent, à l'intérieur de l'anneau, les deux passages de la tige pivotante. Celle-ci traverse également les petites plaques qui portent deux minuscules oreilles repliées à angle droit. On passe alors deux imperceptibles broches de part en part des deux oreilles et de l'axe. L'enroulement est,

de la sorte, absolument solidaire de l'axe pivotant et rigoureusement repéré.

Quant à l'entrée et à la sortie du fil, elles aboutissent à deux légers ressorts en spirale fixés d'autre part au pont supérieur : il en sera question plus loin.

*Le système amortisseur.* — Dans un instrument de mesure électrique, l'importance d'un bon amortisseur des oscillations est capitale. C'est de la valeur de ce système que dépendra la fidélité avec laquelle l'aiguille suivra les variations brusques du régime qu'elle a à contrôler. Il n'y a pas



FIG. 6.

de bon instrument de mesure sans un amortisseur de premier ordre. Aussi pouvons-nous remarquer que Weston a porté tous ses soins à créer un amortissement parfait pour ses appareils.

A défaut d'un aimant permanent comme il en est dans les instruments de mesure à courant continu, on a fait choix d'un amortisseur à air. Celui-ci, tout en agissant énergiquement, ne devra comporter que des pièces mobiles d'une grande légèreté et à moment d'inertie faible. Ces conditions se trouvent heureusement remplies par l'agencement que voici :

Dans la figure 6, représentant l'ensemble de l'équipage mobile, on remarque deux ailettes rectangulaires symétriques fixées à l'axe, à l'opposé de l'aiguille. Ces ailes formées de deux fines tôles d'aluminium gaufrées pour leur donner de la raideur et dont on a encore replié les bords à angle droit, sont rivées sur une barrette solidaire de l'axe. Elles se



meuvent dans deux logements en forme de secteurs ou d'éventail qui ont été simplement ménagés dans la fonte du socle et qui sont visibles dans la figure 4; on les ajuste dans ces logements de manière à presque toucher le fond et les deux parois circulaires. Ces deux parois sont même un peu coniques se rapprochant vers le fond, de sorte que les ailettes entrent comme un coin dans leur secteur respectif et qu'on peut sans peine les introduire et les sortir.

Remarquons en passant, dans cette figure 4, une cavité circulaire au centre des deux secteurs. Elle est destinée à recevoir l'une des pierres sur lesquelles le système mobile pivote; l'autre pierre est fixée au pont supérieur ainsi qu'on le verra.

Le dit système mobile étant ainsi mis en place, les deux secteurs sont fermés par deux couvercles bien hermétiques, avec un seul petit jour du côté du centre pour le passage de la barrette portant les deux ailes. Lors du déplacement de ces ailes, il se produit un laminage d'air entre elles et les parois, d'où un amortissement énergique et presque instantané.

Voici une expérience significative :

Si l'on applique brusquement la pleine charge sur un de ces wattmètres, l'aiguille étant au zéro, celle-ci ne dépasse le maximum de l'échelle que de 3 p. c. et y revient sans oscillation. En une seconde et demie, elle est au repos.

On pourrait à la rigueur obtenir un amortissement encore plus élevé, mais il est utile de laisser un petit dépassement à cause des légers frottements qui existent forcément dans le système.

C'est là un résultat d'autant plus remarquable que le poids de l'ensemble de l'équipage mobile d'un wattmètre monophasé de 110 volts par exemple, n'est que de 1,84 gr. bobine, ressorts, ailettes, tout compris.

*Le pont, les ressorts et les pivots.* — Nous voudrions pouvoir nous étendre plus longuement sur ces détails qui ont été tout aussi minutieusement étudiés; nous devons nous borner à retenir les points suivants :

Le pont sert d'entretoise aux deux demi-supports des bobines fixes. En son centre il porte une vis munie de la deuxième pierre. Celle-ci est donc réglable; ce réglage est un point délicat et important. Le pont est constitué, dans les wattmètres, de deux pièces isolées auxquelles aboutissent les

extrémités externes des deux ressorts en spirale. La pièce isolée supérieure est garnie d'une fourche pivotant sur un manchon qui traverse, sans la toucher, la pièce du dessous et où se fixe l'extrémité de l'un des deux ressorts. On peut déplacer la fourche de l'extérieur du boîtier à l'aide d'un petit excentrique pour remettre l'aiguille à zéro si un déplacement venait à se produire. Les ressorts en spirale répondent à un double but : 1° amener le courant à l'enroulement mobile; et 2° équilibrer le couple dynamo-moteur. Ils sont composés d'un alliage particulier qui leur assure une parfaite constance d'action malgré les perturbations ambiantes.

Les pivots sont constitués par deux pointes d'acier trempées extra dur, polies avec le plus grand fini et enclâssées dans les deux extrémités de l'axe pivotant. Ces pointes reposent sur deux saphirs taillés en forme de cuvette et qui ont reçu également un poli parfait. La forme de cuvette est celle qui convient le mieux pour les équipages légers des instruments Weston et qui assure à ceux-ci leur constance primitive même après un très long usage. Nous avons dit que l'usure des pivots et des pierres est la cause qui limite la durée des instruments. C'est pourquoi les appareils Weston à équipage exceptionnellement léger, conservent leur exactitude et leurs qualités pendant un temps exceptionnellement long.

Plus l'équipage est léger, plus le réglage des pivots devient délicat. On a vu que l'une des pierres est fixe et l'autre montée au bout d'une vis. Cette vis soigneusement réglée, il s'agit de la maintenir en position exactement. Un contre-écrou ordinaire, agirait brutalement et dérangerait le réglage. Weston a adopté le petit artifice suivant qui peut encore convenir à d'autres applications : au centre du pont il enchâsse une pièce portant un rebord en forme de disque. Cette pièce est taraudée pour recevoir la vis munie du saphir. On donne perpendiculairement au taraudage un trait de scie dans le disque de la pièce centrale de façon à le séparer en deux épaisseurs mais sans toutefois dépasser de beaucoup le taraudage. Une vis ordinaire permet de rapprocher les deux lèvres formées par le trait de scie. Il suffit alors d'un léger coup de tournevis pour serrer ces lèvres dont la supérieure, formant contre-écrou, maintient à demeure, sans la dérégler aucunement, la vis centrale portant la pierre.

*Boîtiers.* — Nous pouvons compléter les renseignements ci-dessus en ajoutant que les boîtiers sont en acier coulé, d'une composition et d'une disposition spéciales qui met les instruments à l'abri, dans une très large mesure, des influences magnétiques et inductives extérieures. Des conducteurs de 700 ampères alternatifs placés à 90 centimètres d'un côté des instruments n'occasionnent que des perturbations inférieures à 1 p. c. Placés à 30 centimètres de part et d'autre de l'instrument, des conducteurs de 2,800 ampères alternatifs peuvent être tolérés dans les mêmes conditions.

Quant aux courants continus extérieurs, ils sont sans aucune action sensible.

*Bornes de l'instrument.* — Elles sont d'une disposition nouvelle et pratique, étant montées au centre des boulons servant à la fixation de l'instrument sur le marbre. Ces boulons sont, en effet, formés de tubes de fer filetés à l'extérieur et isolés à l'intérieur pour le passage des tiges portant les bornes de raccordement. Le nombre des trous à percer dans le marbre est ainsi limité à celui des bornes; on peut aussi, sans devoir prendre des précautions d'isolement, fixer l'instrument sur une ferrure, le passage des fils se trouvant déjà protégé par le boulon.

#### Les wattmètres polyphasés.

La figure 7 montre l'intérieur d'un wattmètre double ou polyphasé servant à marquer l'énergie totale d'un réseau triphasé à phases inégalement chargées. Comme on le voit, ces instruments sont constitués par deux wattmètres monophasés superposés, l'équipage mobile étant monté sur un axe commun avec une seule aiguille et un seul amortisseur (fig. 8).

Ces instruments sont connectés suivant la méthode de Franke dérivée de celle de Aron, et qui rend les deux systèmes magnétiquement indépendants l'un de l'autre (1).

La construction de ces wattmètres est la même que celle du type monophasé. Les deux demi-supports des bobines ayant

(1) Voir pour l'exposé de la méthode, l'article du D<sup>r</sup> Franke, *Electrotechnische Zeitschrift*, 1907, p. 269.



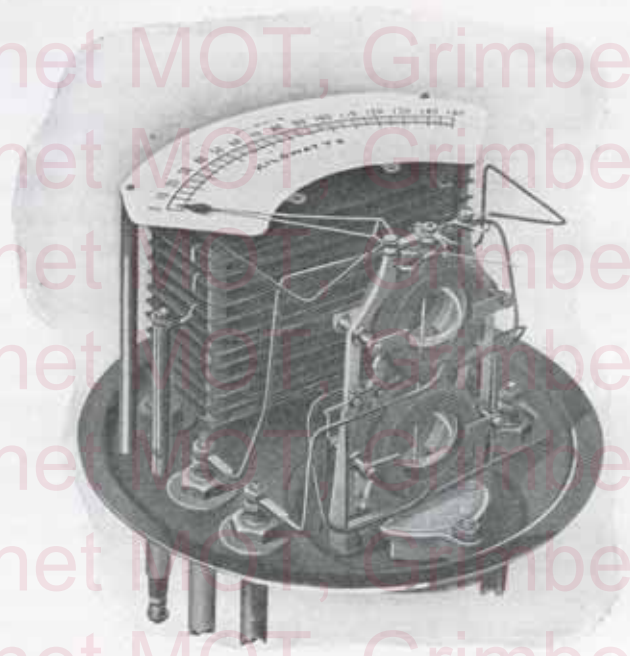


FIG. 7.



FIG. 8.

double hauteur sont simplement renforcés à la base par une jambe de force (fig. 9). Il y a trois ressorts en spirale au lieu de deux. Le reste est pareil.



FIG. 9.

Ce type faisant plus saillie que les autres de la série, on le construit aussi pour semi-encastrement dans le marbre. Dans ce cas les boulons tubulaires sont supprimés et les bornes se trouvent à fleur du fond de la boîte.

Les *wattmètres mono- et polyphasés* de cette construction se distinguent par les qualités que nous résumons ci-après :

1° L'échelle est très ouverte et les divisions sont parfaitement régulières sur toute l'étendue;

2° Leur consommation propre est faible : un modèle monophasé de 110 volts absorbe 3 à 4 watts dans le fil fin et 0,75 watt (5 ampères) dans l'enroulement fixe, à pleine charge. Le modèle polyphasé absorbe 2,5 watts à pleine charge dans chacun des enroulements mobiles ;

3° Les circuits peuvent supporter en permanence un courant double du maximum prévu. Ils ne chauffent pas encore sous un courant triple. Il s'ensuit qu'ils peuvent admettre un facteur de puissance en dessous de 0,50 et être encore précis ;

4° Ils conviennent pour le courant continu aussi bien que pour l'alternatif, sans différences sensibles même aux plus basses fréquences;

5° Nous avons vu en outre combien ils sont aperiodiques;

6° La légèreté de la partie mobile leur assure une grande précision et une longue durée de service;

7° Ils sont indépendants, dans la plus large mesure, de la température, des influences d'induction, de la fréquence, de la forme des ondes et du facteur de puissance;

8° Les aiguilles sont sans résonance mécanique à toute fréquence.

En un mot, ces instruments forment le digne pendant de leurs aînés pour le courant continu, auxquels ils ne le cèdent en rien comme précision et comme robustesse.

#### Le synchronoscope Weston.

La mise en parallèle d'un alternateur est toujours une opération délicate. Je sais de bons électriciens qui avouent ne pouvoir l'exécuter sans éprouver à chaque fois une nouvelle appréhension, surtout s'il s'agit de grosses unités. Avec 40 ou 50 périodes par seconde, qui sont les fréquences habituelles, c'est à quelques millièmes de seconde qu'il s'agit de synchroniser un groupe pour l'adjoindre au réseau. Tout écart peut donner lieu à des perturbations graves. Les instruments indicateurs du synchronisme sont donc de la plus haute importance pour la conduite d'une centrale.

Pour le réglage du synchronisme, il ne se construit qu'un petit nombre de types d'instruments spéciaux; ce sont, en dehors des lampes de phase, principalement le zérovoltmètre, le voltmètre double, l'indicateur à feux tournants, l'indicateur tournant à induction. Ces instruments sont bien loin d'atteindre la perfection; ceux qui en font usage en connaissent les côtés faibles. On a soin, le plus souvent, d'y adjoindre des fréquencemètres, afin de suppléer à l'imprécision de leurs indications.

La mise en parallèle d'un alternateur exige de la dextérité; il faut guetter le moment précis où les phases se trouvent en concordance et où les vitesses sont presque identiques. Le principal inconvénient est d'avoir à observer simultanément deux



instruments, sans compter qu'il ne faut pas quitter du regard les voltmètres, celui de la machine qu'on règle et celui des barres de distribution, car les voltages doivent évidemment rester égaux.

L'originalité du nouveau synchronoscope Weston, est de réunir dans le même instrument toutes les indications nécessaires au réglage du synchronisme. De plus, ces indications présentent une netteté et une précision que l'on n'avait pas encore obtenues auparavant. Quand on fait usage du synchronoscope Weston il suffit d'y adjoindre les deux voltmètres

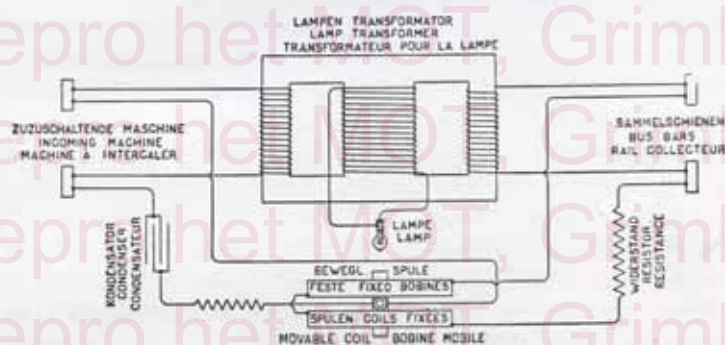


FIG. 10.

obligatoires pour compléter entièrement le groupe de synchronisation.

Le synchronoscope se compose d'une lampe de phase et d'un wattmètre du type perfectionné que nous venons de décrire, mais dont les deux enroulements sont à fil fin. Ces deux organes se trouvent réunis dans un même boîtier et ils agissent simultanément et complémentaires.

La figure 10 indique la disposition schématique.

Un petit transformateur à trois branches actionne, par son secondaire, la lampe de phase. Il y a deux enroulements primaires : celui de droite relié à deux des barres de distribution, c'est-à-dire à une phase; l'enroulement de gauche relié à la phase correspondante de la machine.

L'enroulement secondaire est calculé pour qu'on puisse se servir d'une lampe à bas voltage plus résistante et de plus longue durée. L'action des deux primaires s'ajoutant directe-

ment, la lampe brûle donc de son éclat normal quand les périodes, de part et d'autre, sont en concordance.

Passons au wattmètre-électrodynamomètre : on voit que la double bobine fixe est en dérivation sur le primaire de droite, c'est-à-dire connectée à une phase du tableau et que la bobine mobile est connectée, comme le primaire de gauche, à la phase correspondante de la machine.

Dans le circuit de l'enroulement fixe on intercale une résistance légèrement inductive; dans celui de l'enroulement mobile, un condensateur (1). On règle les valeurs de la résistance et du condensateur de façon qu'il y ait un décalage de 90° dans les deux enroulements, quand la machine à ajouter est en synchronisme avec celle ou celles qui sont en marche. Les phases étant en quadrature dans les deux enroulements, le couple moteur est par conséquent nul dans l'électrodynamomètre. On règle l'équipage mobile pour que l'aiguille se trouve, dans ce cas, verticalement au milieu de l'instrument.

S'il y a discordance de périodes entre la machine et le tableau, le couple moteur de l'instrument prendra au contraire une certaine valeur, positive ou négative, suivant qu'il y a avance ou retard. L'aiguille s'inclinera alors soit vers la droite, soit vers la gauche.

Le synchronoscope présente l'aspect extérieur que montre la figure 11. L'échelle est remplacée par un verre opalin portant, pour les pays français, les inscriptions suivantes : ACCÉLÉRER-RALENTIR (2) se rapportant aux manœuvres à faire à la machine. Un rectangle noir sépare les deux inscriptions. L'aiguille n'est pas visible; elle se trouve derrière le verre opalin, mais elle apparaît par transparence quand la lampe de phase est allumée.

Lorsque l'aiguille apparaît immobile derrière le rectangle noir, il y a concordance et synchronisme parfaits, et l'on peut connecter la machine sans hésitation (3).

---

(1) La construction de ce condensateur a été étudiée pour que sa capacité reste rigoureusement indépendante des variations de température.

(2) En allemand : *Schneller-Langsaner*.

(3) Dans la pratique on connecte généralement la machine quand l'aiguille tourne très lentement, et au moment précis où elle passe devant le rectangle.

La figure 12 montre l'intérieur de l'instrument; on y reconnaît les dispositions du wattmètre; on voit représentée en



FIG. 11.

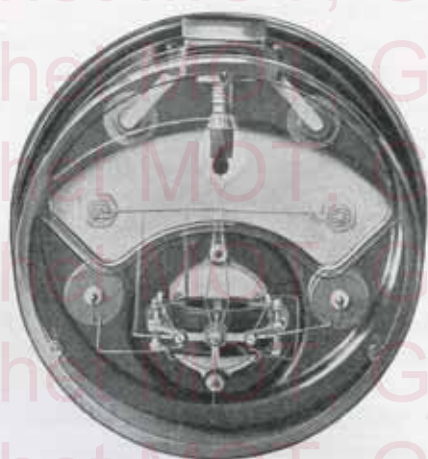


FIG. 12.

transparence, la flèche noire de l'aiguille derrière le rectangle; on distingue aussi la lampe.

Voyons maintenant comment, pendant la période du réglage, l'instrument va se comporter.



Pour simplifier, considérons d'abord le cas théorique où les deux fréquences sont identiques, c'est-à-dire où la machine a exactement la vitesse voulue, mais avec un décalage fixe en avant ou en arrière. Ceci se réalise d'ailleurs quelquefois, du moins approximativement, pendant un petit moment quand le régime est presque atteint.

S'il y a opposition de phases la lampe ne s'éclaire pas; aucune fausse manœuvre n'est donc à craindre. S'il y a concordance, même incomplète, la lampe s'éclaire et l'aiguille deviendra visible. Suivant le décalage elle prendra une position plus ou moins inclinée, à *droite* si les périodes de la machine sont en avance, à *gauche* si elles sont en retard.

Dans la réalité, le cas qui se présente est celui où la vitesse de la machine à ajouter est trop grande ou trop faible. La lampe du synchronoscope s'allume alors et s'éteint périodiquement à la façon d'une lampe de phase ordinaire. Simultanément l'index exécutera des mouvements d'aller et de retour sur toute l'étendue de l'échelle.

Il se produit, dans ces conditions, une illusion d'optique dont Weston a tiré le plus heureux parti : les allumages et les extinctions de la lampe coïncident avec les déplacements de l'aiguille dans un sens ou dans l'autre. Ainsi, pendant tous les mouvements de gauche à droite, par exemple, l'aiguille sera éclairée; et elle restera invisible pendant les retours de droite à gauche. Il s'ensuit que l'on *s'imaginera voir tourner* l'aiguille de gauche à droite, alors qu'elle n'exécute que des battements.

Quand elle tourne de la sorte de gauche à droite cela signifie que la machine en réglage va trop vite et qu'il faut *ralentir* comme la flèche l'indique. Semble-t-elle tourner en sens opposé, c'est qu'il faut *accélérer*, conformément à l'inscription de gauche.

Plus cette vitesse apparente de rotation est grande, plus considérables sont les écarts de la machine. La figure 13 explique très clairement ce fonctionnement du synchronoscope.

Cette figure comprend trois épures. Dans celle du haut on a représenté deux trains d'ondes, dont les unes sont en avance sur les autres. C'est l'image très amplifiée des discordances entre les périodes des machines en marche et celle de la machine à ajouter en parallèle. Si nous additionnons les ordonnées de ces courbes en respectant leur signe, nous obtiendrons

la courbe résultante des forces électromotrices aux bornes secondaires du transformateur à trois branches de la lampe. Cette courbe résultante est tracée en pointillés; elle est à une échelle quelconque.

On a hachuré verticalement une zone limitée par deux lignes parallèles; cette zone est celle des forces électromo-

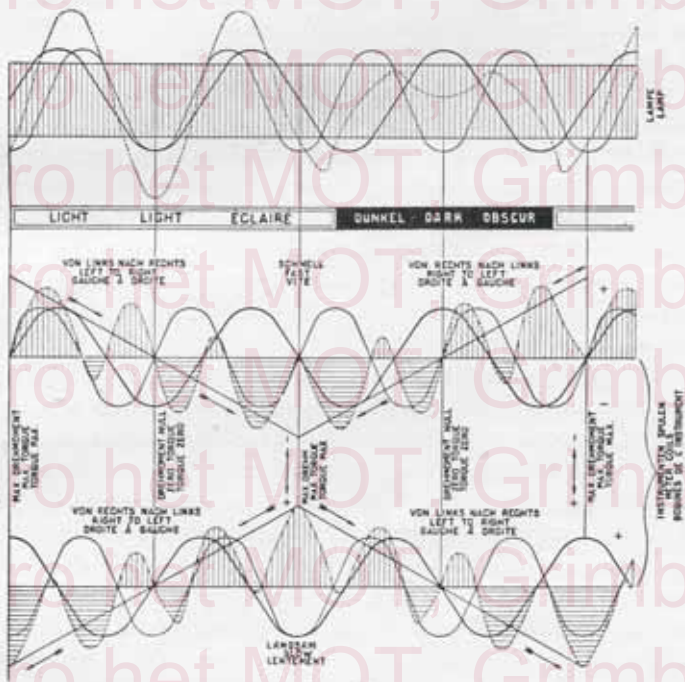


FIG. 13.

trices trop faibles pour rendre la lampe lumineuse. Cette dernière ne s'allume donc qu'aux époques où les sommets de la résultante sortent de la zone; elle est obscure aux autres moments. Les deux primaires du petit transformateur étant symétriques et identiquement connectés, la lampe se comporte de la même façon, quel que soit celui des groupes auquel appartient l'avance ou le retard. C'est pourquoi il n'y avait pas de distinction à faire.

Au contraire, cette distinction s'impose pour étudier le fonctionnement de l'électrodynamomètre de l'instrument.

Dans l'épure du milieu on a supposé la nouvelle machine tournant trop vite; dans l'épure du bas, qu'elle tourne trop lentement.

*Premier cas : la machine tourne trop vite.* — Les ondes les plus lentes appartiennent donc aux machines déjà en marche; elles sont sensiblement en concordance avec les ondes dans l'enroulement fixe de l'électrodynamomètre. On les a donc reproduites sans décalage relativement à l'épure du haut.

Par contre, les ondes dans l'enroulement mobile, sont, à cause du condensateur, en avance de  $90^\circ$  sur celles de la machine en observation. Dans l'épure II on a par conséquent reproduit les ondes plus rapides de l'épure I, avec une avance de un quart de période.

De ces deux tracés, il est facile de déduire la courbe résultante des actions électrodynamométriques dans l'instrument. Le trait pointillé représente cette résultante qui marque les variations du couple moteur.

Nous pouvons négliger les petits sommets de la courbe, qui sont absorbés par l'inertie du système. On voit que le couple moteur, d'abord positif (c'est-à-dire avec les sommets au-dessus de la ligne zéro), décroît, passe par zéro, devient négatif et augmente négativement. Il en résulte un déplacement de l'aiguille de l'extrême-gauche du cadran à l'extrême-droite. Le mouvement coïncide avec l'éclaircissement de la lampe ainsi qu'il ressort de l'épure I. Ensuite, le couple moteur négatif décroît, repasse par zéro, devient positif et augmente positivement; de là le retour de l'aiguille jusqu'à l'extrême-gauche, retour rendu invisible par l'extinction de la lampe.

*Second cas : la machine tourne trop lentement.* — Ici, ce sont les ondes les plus rapides de l'épure I, qui sont reproduites sans décalage et les ondes les plus lentes qui sont tracées avec une avance de un quart de période. La courbe électrodynamométrique résultante montre que les battements de l'aiguille sont à présent inversés relativement aux périodes d'éclairage et d'extinction de la lampe. C'est donc dans son mouvement de droite à gauche que l'aiguille est visible et dans les retours vers la droite qu'on ne la voit pas.

Si le synchronoscope Weston est pratique et précis à l'usage, sa théorie aussi présente un intérêt d'originalité.



Il reste à faire remarquer que c'est le seul instrument du système tournant, c'est-à-dire renseignant sur l'état relatif des vitesses des machines, pouvant fonctionner sur du courant monophasé aussi bien que sur du polyphasé. Il présente encore cette particularité de ne pas nécessiter de connexions préalables de la machine au tableau avant la mise en parallèle; la machine et les transformateurs de mesure restent électriquement isolés du réseau. Enfin, ses indications n'offrent, comme on l'a dit, aucune ambiguïté d'interprétation, et lorsque l'aiguille est visible au repos derrière le rectangle noir, c'est que les phases sont à la fois en parfaite concordance et de même périodicité (1).

#### L'indicateur du facteur de puissance Weston.

Pour la conduite d'une centrale à courants alternatifs, il est nécessaire de savoir à tout moment la valeur du décalage de l'intensité par rapport à la tension. On peut, jusqu'à un certain point, compenser ce décalage et éviter ainsi une trop forte production de courants déwattés. En vue de ces déterminations, on a imaginé des indicateurs du facteur de puissance (2) donnant par lecture directe sur un cadran divisé, la valeur de cosinus  $\varphi$ , c'est-à-dire le cosinus de l'angle de décalage.

Les indicateurs du facteur de puissance, construits par Weston, se rapprochent de la disposition de ses wattmètres monophasés. Nous avons déjà vu que les enroulements fixes sont elliptiques au lieu d'être circulaires; l'enroulement mobile se distingue par ceci, qu'il est constitué par deux bobines au lieu d'une seule. Celles-ci sont montées à angle droit rigoureusement. Une machine spéciale opère le bobinage de ces deux enroulements d'une manière nouvelle par couches alternativement croisées. Au lieu d'être grossièrement superposés en croix, ces enroulements ont leurs spires enchevêtrées couches par couches; leur symétrie est parfaite géométriquement et

(1) L'instrument a sa plus grande sensibilité précisément aux environs du rectangle correspondant à la synchronisation. Cette sensibilité est de 13 millimètres de déplacement de la pointe de l'aiguille pour un décalage de phases de  $5^{\circ}$ .

Sa consommation propre est de 15 volt-ampères sous 110 volts  $\gamma$  compris la lampe.

(2) Improprement dénommés parfois : Indicateurs de phases.

par suite leurs champs magnétiques résultants sont rigoureusement égaux pour un même courant. La figure 14 montre l'aspect de ces doubles bobines toutes montées, les enroulements fixes étant enlevés.

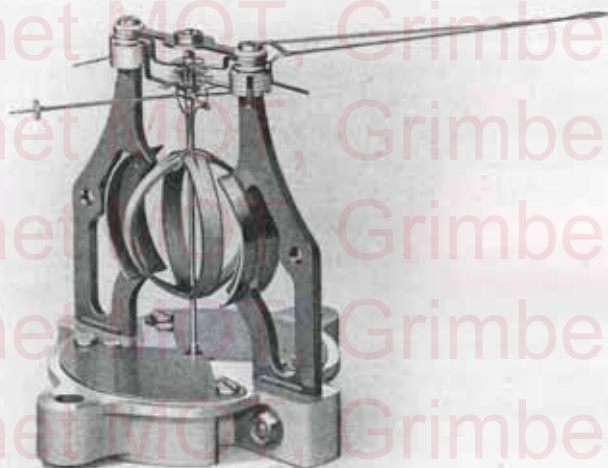


FIG. 14.

La légèreté des bobines mobiles est très grande, ainsi que leur indéformabilité.

L'instrument est conçu pour fonctionner normalement sur trois phases. S'il doit servir avec du courant monophasé, on dédouble la phase à l'aide d'une bobine de réaction.

L'enroulement fixe de l'indicateur est à gros fil ; il est parcouru par le courant d'une des barres de distribution, courant réduit par un transformateur de mesure au delà de 100 ampères. Les deux enroulements mobiles sont à fil très fin et sont montées en dérivation sur deux phases ; c'est-à-dire qu'ils sont connectés d'une part en commun sur la barre alimentant le gros fil, d'autre part respectivement à l'une et à l'autre des deux autres barres triphasées. Néanmoins, l'indicateur ne donne l'angle de décalage que pour une phase : celle comprise entre la barre contenant le gros fil et la barre suivante prise dans l'ordre du champ tournant.

Trois petits ressorts en spirale, pesant moins de 2 milligrammes, amènent le courant aux bobines mobiles sans exercer d'influence sensible sur le système, grâce à leur faible élasticité. Ces bobines se comportent donc comme si elles étaient libres. Sous l'action du champ magnétique engendré par l'enroulement fixe, chacune des deux bobines mobiles tend à se placer parallèlement aux spires de gros fil. Quand l'intensité et la tension sont en coïncidence parfaite, ces bobines sont également sollicitées à tourner, l'une à droite, l'autre à gauche, par suite du sens de leur enroulement et parce que les deux décalages des phases triphasées sont, par construction, symétriques par rapport aux courants du gros fil. L'aiguille marquera donc une position d'équilibre au milieu de l'échelle correspondant à  $\cos \varphi = 1,00$ .

Mais si, sur le réseau, le courant prend de l'avance ou du retard sur la force électromotrice, les ondes dans l'enroulement fixe à gros fil seront alors décalées d'un angle différent par rapport aux ondes dans l'une et dans l'autre bobine mobile à fil fin. L'égalité des deux couples moteurs n'existera plus; l'un des enroulements mobiles sera plus sollicité que l'autre et l'index s'inclinera proportionnellement selon le cas soit à droite, soit à gauche, jusqu'à une nouvelle position dissymétrique d'équilibre. Cet index se déplace devant une échelle graduée selon les valeurs du cosinus de l'angle d'avance ou de retard de l'intensité, autrement dit selon les valeurs du facteur de puissance.

La figure 15 montre l'aspect extérieur et la figure 16 l'intérieur du cos-phy-mètre Weston. On remarquera immédiatement que l'échelle ne porte qu'une seule graduation et non plusieurs superposées correspondant à divers régimes d'intensité. La raison en est que l'indicateur Weston présente ce très grand perfectionnement d'être exact à 1 p. c. près pour des intensités variant de la pleine charge au cinquième de celle-ci, c'est-à-dire d'être en somme pratiquement indépendant de la charge (1). Ceci constitue un progrès notable.

Les instruments sont généralement gradués de 0,50 avance à 0,50 retard; on peut cependant les établir à partir de

(1) L'instrument donne des indications directement proportionnelles à  $\cos \varphi$  et non à  $I \sin \varphi$ ; il est donc indépendant de l'intensité  $I$ .



$\cos \varphi = 0,30$ . Les divisions sont très régulières sauf dans les environs de la valeur 1,00 où la sensibilité est plus grande



FIG. 15.

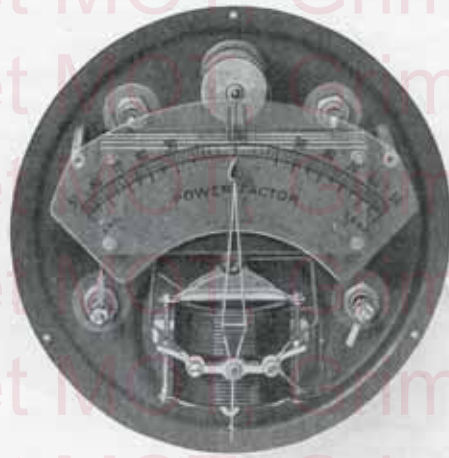


FIG. 16.

(8,5 mm de déviation de l'aiguille pour un décalage de  $5^\circ$ ).  
La consommation de l'indicateur est de 2,5 watts (5 amp.)  
dans le gros fil et de 6 watts (110 volts) dans le fil fin.



Fac-simile de l'échelle de l'Indicateur du Facteur de puissance Weston  
avec gradation jusqu'à  $\pm 0,30$ .



**FREQUENCY.**  
CYCLES PER SECOND.

N°

P. TRANS. RATIO.

VOLTS.

Fac-simile d'une échelle de Fréquencemètre.



L'indicateur Weston *monophasé* est aussi précis que l'autre, malgré l'emploi d'une bobine de réaction. Celle-ci présente une particularité intéressante; elle comporte deux entrefers à l'intérieur des enroulements; on élimine par cette disposition les dispersions variables du champ magnétique et les erreurs qui en résulteraient pour l'instrument. Toutefois, la présence de cette bobine de réaction fait que, pour le courant monophasé, l'indicateur n'est convenable que pour une seule fréquence. On établit normalement des modèles monophasés pour 15, 25, 40, 50, 60, 125 et 135 périodes au choix (1). Mais les indicateurs triphasés conviennent pour toutes périodes.

#### Le fréquencemètre Weston.

Alors que les fréquencemètres habituellement en usage sont à lamelles harmoniques, celui de Weston est à cadran et à index comme les autres instruments de la série. Les indications par une aiguille sont incontestablement préférables. La lecture est franche et facile; les erreurs pouvant intervenir par le jeu des lames si le tableau est sujet lui-même à des vibrations, ou si l'on se trouve sur un navire, n'existent pas ici. De même, on n'est pas exposé à la rupture des lames qui se produit parfois à la longue. Quant à la sensibilité, elle est bien plus grande grâce à la faculté de pouvoir lire les fractions de subdivisions du cadran. C'est ainsi, à titre d'exemple, qu'un fréquencemètre Weston, gradué de 40 à 60 périodes, équivaut à un instrument à lamelles qui aurait 200 lames. La figure 17 représente extérieurement l'instrument; la figure 18 en montre l'intérieur.

Les fréquencemètres Weston doivent être classés parmi les instruments à fer doux. Ils sont constitués par deux enroulements fixes en croix, composés chacun de deux bobines

(1) L'indicateur monophasé peut servir éventuellement pour une fréquence anormale moyennant correction par la formule

$$\operatorname{tg} \Phi (\text{réel}) = \frac{n_1}{n} \operatorname{tg} \varphi (\text{lecture}).$$

$n_1$  = fréquence anormale.

$n$  = fréquence normale du modèle.

jumelles. A l'intérieur de celles-ci pivote une aiguille en composition de fer à très faible hystérésis. L'axe pivotant porte encore un index et un amortisseur. L'amortisseur se trouve du



FIG. 17.

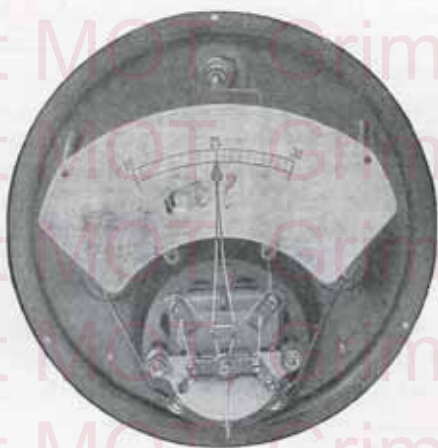


FIG. 18.

même côté que l'index et non à l'opposé. Le système mobile est entièrement libre; l'index, l'aiguille de fer et l'ailette prennent d'eux-mêmes une position à peu près verticale. La position rigoureusement verticale correspond, dans la gradua-

tion, à la fréquence normale de la machine. Si la fréquence augmente, l'aiguille s'incline à droite; il s'incline à gauche, si elle diminue.

La disposition schématique de l'instrument est représentée figure 19.

En dérivation sur une phase avec une résistance intercalée pour étouffer les harmoniques supérieures, on monte une sorte de pont de Wheatstone dont le galvanomètre serait court-circuité.

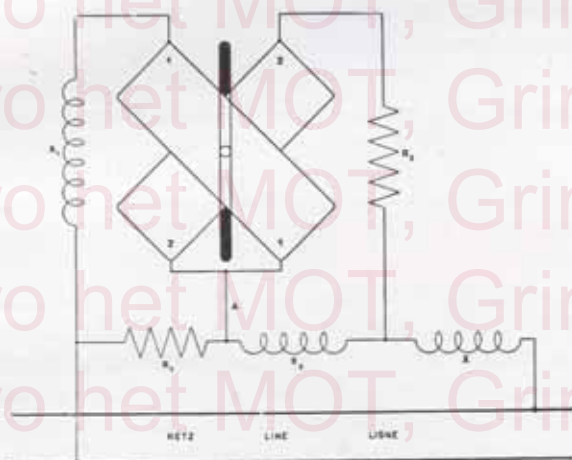


FIG. 19.

cuité. Les deux enroulements fixes du fréquencemètre occupent les deux branches supérieures du losange du pont. Le losange comprend encore dans ses quatre branches, quatre résistances dont deux inductives et deux non inductives. Les deux résistances inductives se trouvent dans les branches gauche du haut et droite du bas. Les non inductives dans les deux autres. Il y a, en série, avec l'un des enroulements fixes une résistance inductive et en série avec l'autre une résistance non inductive.

Ceci établi, on règle les valeurs de ces résistances pour que, à fréquence normale, l'action des deux enroulements sur l'aiguille de fer s'égalise. Mais si la fréquence augmente, la réaction des résistances inductives augmentera aussi; l'équilibre du pont sera rompu et la bobine de droite sollicitera l'aiguille



de fer plus fortement que l'autre. L'index s'incline à droite et d'autant plus que le nombre de périodes sera plus élevé. L'inverse a lieu si la fréquence descend en dessous de la normale. On remarquera que les divisions de l'échelle sont régulières.

Ces fréquencemètres se construisent pour 15, 25, 40, 50, 60, 125 et 500 périodes normales.

Leur exactitude est pratiquement indépendante de la tension; ainsi, pour des écarts de 75 à 150 volts, par exemple, les différences sont inférieures à 1,5 p. c. Ces instruments sont parfaitement aperiodiques. Leur consommation est de 100 volts-ampères à 120 volts.

#### **Voltmètres et ampèremètres Weston pour courant alternatif.**

Ces instruments sont également du type électromagnétique à fer doux. Leur disposition diffère toutefois de celle du fréquencemètre.

Dans le champ d'un électro-aimant à axe horizontal se trouvent deux feuilles en fer, dont l'une est fixe et enroulée suivant la surface intérieure de la bobine; l'autre, parallèle à la première, est mobile et calée sur l'axe de l'instrument.

La figure 20 représente cette disposition. C'est la répulsion de ces deux petites masses de fer qui déplace l'aiguille indicatrice.

L'exactitude de ces instruments est remarquable, les erreurs étant inférieures à 0,3 p. c. Cette exactitude n'est influencée, dans les limites industrielles, ni par le nombre de périodes, ni par les variations de la température, ni par la durée de la lecture. Le D<sup>r</sup> Weston a ainsi montré que, grâce à une étude minutieuse et suivie de tous les détails de la construction, il était possible de créer des instruments industriels à fer doux de grande précision et de long usage.

#### **Nouvel appareil à lecture directe pour la localisation des défauts.**

Cet appareil est dû à Stephenson. Il repose sur un principe fort simple, que nous allons exposer en peu de mots.

La plupart des appareils portatifs à localiser les défauts d'un

conducteur fonctionnent selon le pont de Wheatstone et possèdent un fil divisé dont on déplace le curseur jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre soit revenue au zéro. De là, deux lectures et deux estimations : celle du galvanomètre et celle du fil divisé. Stephenson supprime le fil divisé et la lecture du

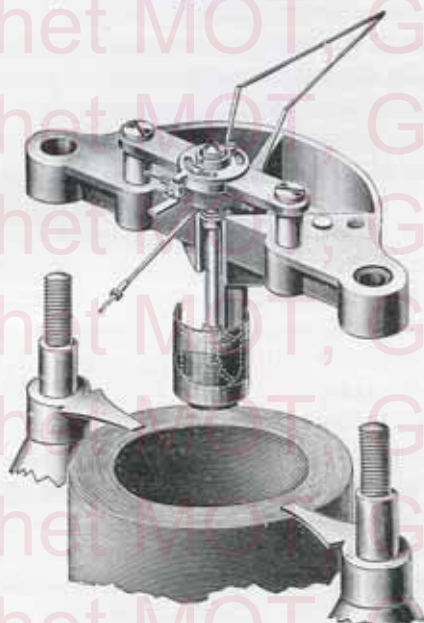


Fig. 20.

déplacement du curseur qui présente toujours plus ou moins d'incertitude, et il opère uniquement par lecture sur le galvanomètre. Dans ce but, la méthode du pont est remplacée par celle du potentiomètre, comprise de la façon suivante :

Ayant formé une boucle avec le câble ou le conducteur défectueux et un conducteur de retour de même section, on relie les deux bouts de la boucle aux bornes d'un élément d'accumulateur. A l'aide du galvanomètre de l'appareil, qui est un millivoltmètre Weston à cadran à miroir, on mesure successivement la tension : 1° aux bornes de la boucle ; 2° entre la tête du câble défectueux et le point où se trouve la perte à la terre, en reliant, à cet effet, une des bornes du galvanomètre artificiellement à la terre.

Connaissant la longueur de la boucle qui comprend le câble avarié et celui de retour, on peut, par le rapport des deux lectures, déterminer la distance du défaut.

Ce calcul est rendu inutile grâce à un rhéostat à divisions arbitraires, intercalé dans le circuit du galvanomètre. En effet, lors de la première lecture (celle de la tension aux bornes de la boucle) il suffit de déplacer les manettes du rhéostat jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre indique sur son cadran le nombre connu de mètres de la longueur de la boucle. Cela se fait avec la plus grande rapidité. La deuxième lecture donne alors directement sur le cadran la distance du défaut *en mètres*.

On peut, d'une manière analogue, trouver la longueur de la boucle (si on ne la connaissait pas) en comparant les deux lectures : 1° aux bornes de la boucle ; 2° aux bornes d'un bout de quelques mètres (mesurés) de ce même câble ou d'une résistance équivalente à 10 mètres, par exemple, d'une section égale à celle du câble.

Cet appareil, fort pratiquement agencé, rend de réels services par la facilité et la rapidité de ses opérations.

Dans les réseaux de tramways, avec retour par les rails, où les feeders d'alimentation sont uniques, on se sert, pour compléter la boucle, du fil de trolley, le courant de service y étant supprimé. Pour ce cas particulier, la méthode est un peu modifiée, en ce sens que l'on doit faire deux mesures, une à chacune des deux extrémités du câble où la perte s'est déclarée.

Cet instrument est connu sous la dénomination de Appareil F. O. B. I. Il donne des indications précises pourvu que la résistance de la perte à la terre soit inférieure à 10 000 ohms. Il convient également pour la recherche des défauts dans les câbles triphasés.

Telles sont les nouveautés que j'ai voulu vous signaler. Je serais heureux, Messieurs, si, par ce trop rapide exposé, j'étais parvenu à vous en faire saisir l'originalité et l'intérêt.

---