

DEUX APPAREILS DESTINÉS A MESURER DES COURANTS DE 15.000 AMPÈRES

Pour mesurer des courants de forte intensité, continus ou alternatifs, on emploie universellement des ampèremètres munis de shunts, convenablement dimensionnés pour supporter indéfiniment, sans échauffement notable, la presque totalité du courant, l'ampèremètre lui-même, c'est-à-dire le galvanomètre, n'étant traversé que par une dérivation insignifiante.

Lorsque les courants à mesurer atteignent quelques centaines d'ampères seulement, les shunts n'ont qu'une masse de quelques kilos, ce qui permet de les transporter et de les installer assez commodément; mais lorsqu'il s'agit de plusieurs milliers d'ampères, 10 000, 15 000, par exemple, les

pour que la corrosion électrolytique ne soit pas à craindre, pas plus que la dérivation de courant par l'eau elle-même.

Le shunt ici décrit est destiné à mesurer jusqu'à 15 000 ampères, monté avec son ampèremètre. Ce dernier est du type dit thermique, afin d'être insensible aux champs magnétiques environnants engendrés par ces courants puissants. Il peut mesurer également des courants continus, ou alternatifs, à n'importe quelle fréquence usuelle.

Le shunt est formé de 10 tubes de maillechort, de 30 millimètres extérieur et de 15 millimètres intérieur, dont la longueur utile, comprise entre les prises, ou « têtes », en cuivre rouge, très massives, quoique creuses, est exactement de 323 millimètres. En service, un courant d'eau traverse l'appareil.

Avant la construction, les tubes ont été montés en série, avec un shunt de 1 500 ampères, facile à vérifier, apparte-

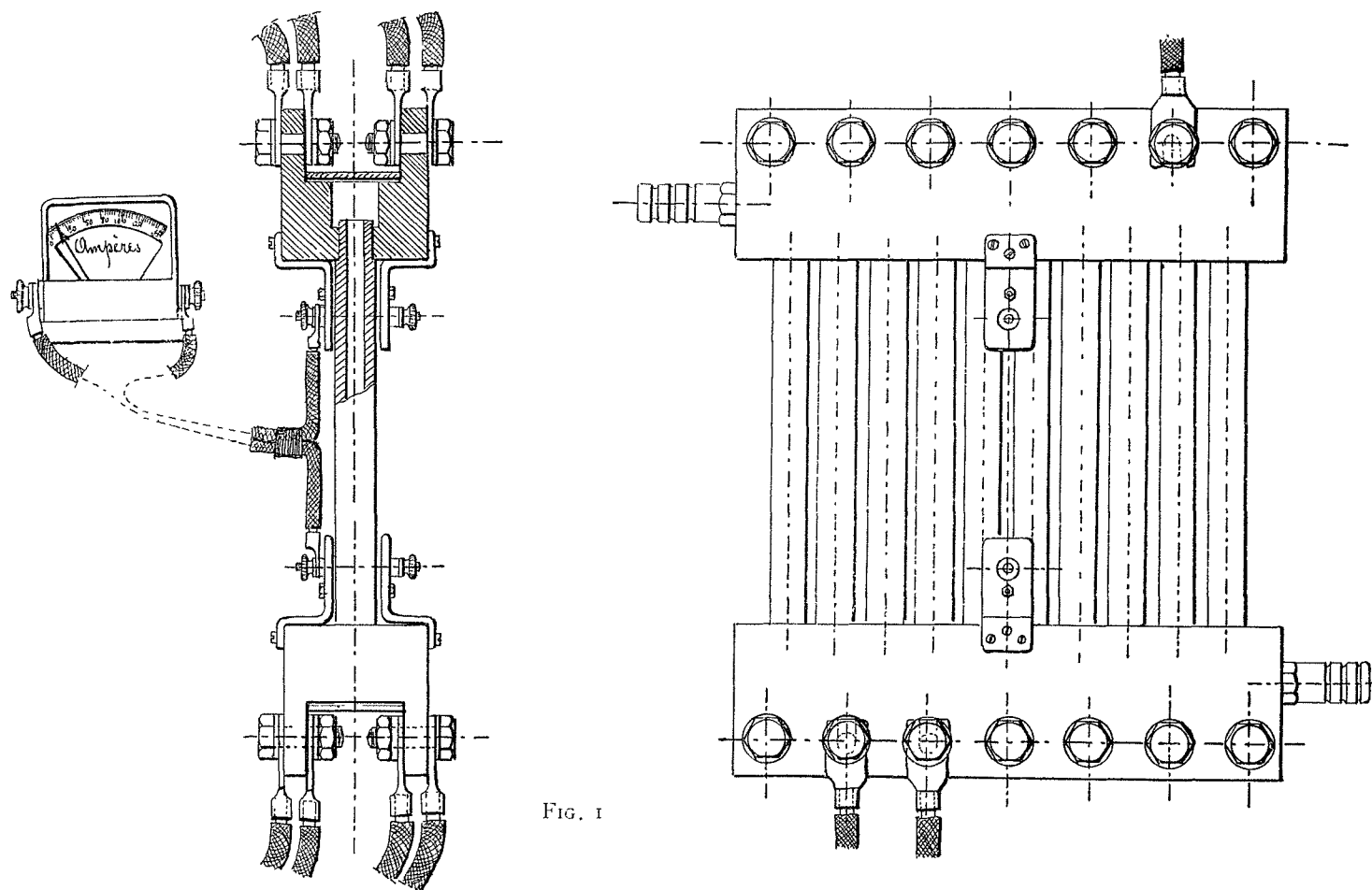


FIG. 1

shunts prennent des proportions considérables, si l'on n'a pas recours à quelque artifice pour faciliter leur refroidissement.

Il faut tout d'abord les former d'un métal, ou alliage, à très faible coefficient de variation de résistance avec la température, comme les maillechorts, ou mieux les alliages à base de manganèse, la manganine, par exemple, dont le coefficient est pratiquement nul.

Malgré cela, il est indispensable de les refroidir. Un premier moyen consiste à les placer dans un violent courant d'air produit, si l'on veut, par un ventilateur électrique, qui peut d'ailleurs être d'assez petites dimensions; mais il est plus simple et plus efficace encore de constituer le shunt par des tubes dans lesquels circule un courant d'eau. La différence de potentiel entre les extrémités, soit, dans les circonstances les plus défavorables, quelques dixièmes de volts, avec les galvanomètres thermiques, est assez faible

nant au même ampèremètre. Un galvanomètre sensible de laboratoire a permis de comparer, pour un courant d'une quarantaine d'ampères, la résistance du shunt, pris comme étalon, à celle d'une même longueur de chacun de ces tubes; on en a déduit, par un calcul facile, la commune longueur qu'il fallait en prendre, pour que, montés en parallèle, leur conductance totale soit précisément égale à dix fois celle du shunt étalon. On a trouvé 323 millimètres.

Les tubes ont été légèrement décollétés au tour, en dehors de cette longueur, étamés, puis soudés soigneusement aux deux extrémités dans les têtes de cuivre rouge. Après achèvement du travail, on a de nouveau vérifié, au moyen du galvanomètre sensible, que la conductance du shunt terminé était réellement égale à dix fois celle du shunt étalon, comme on l'avait calculé.

La figure 1 représente en élévation, et en demi-coupe de profil, l'appareil tout monté.

Devant servir à mesurer également du courant alternatif, on a ramené les prises de l'ampèremètre aussi près que possible des tubes de maillechort, et au centre, c'est-à-dire entre le cinquième et le sixième tube; ce dispositif a pour but d'éviter toute perturbation appréciable due à l'inductance de l'appareil, bien faible pourtant, mais qui serait déjà sensible pour des courants aussi intenses. Pour la même raison, les deux cordons aller et retour de l'ampèremètre sont exactement tendus entre les deux bornes, puis invariablement liés ensemble jusqu'au dit ampèremètre.

La figure 3 représente le deuxième appareil ici décrit (*). C'est un transformateur d'intensité destiné à la même mesure, mais, bien entendu, uniquement pour les courants alternatifs. Ne nécessitant pas un courant d'eau, il est beaucoup plus commode dans ce cas.

Il se compose d'un tore, de section carrée, en tôles de fer des meilleures qualités magnétiques possible, isolées entre elles, comme dans tous les transformateurs, par une mince feuille de papier verni. Il porte un enroulement de 100 spires d'un câble souple, formant deux couches de 50 spires chacune. Chaque couche constitue une sorte d'hélice, à pas parfaitement constant, l'une droite, l'autre gauche. Il s'ensuit qu'un courant traversant ce conducteur engendre un flux de force magnétique *uniquement* à l'intérieur des spires, presque entièrement d'ailleurs canalisé par le fer, sans aucune perte ou perturbation magnétique extérieure. Cet enroulement est donc dépourvu de toute self-inductance parasite. On s'en rend compte aisément en considérant les enroulements schématisés de la figure 2. Lorsqu'on

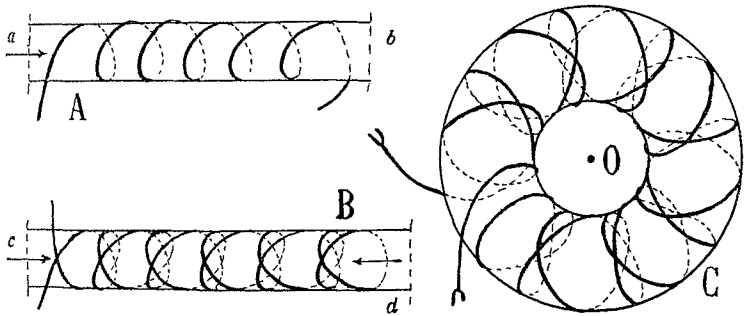


FIG. 2.

enroule une hélice de fil conducteur de courant sur un tube quelconque, comme en A, on engendre, suivant l'axe du tube, à l'intérieur des spires, un flux magnétique principal; mais, en même temps, le système équivaut à un courant rectiligne de *a* à *b*, produisant extérieurement un champ magnétique dont les lignes de force sont des cercles situés dans des plans perpendiculaires à l'axe du tube, et dont les centres sont sur cet axe, qui constitue leur lieu géométrique. Si l'on fait revenir le conducteur au point de départ *c*, figure B, en formant une deuxième hélice de pas contraire, on détruit l'effet parasite en question, et le seul champ magnétique produit est à l'intérieur des spires, si la longueur du tube est indéfinie.

Si le conducteur de courant est enroulé sur un tore, dans le cas d'une hélice unique, le champ magnétique parasite est perpendiculaire au plan moyen du tore, son axe magnétique passant par le point O, le centre: c'est l'équivalent du champ produit par une bobine en cerceau. Mais, si l'on forme une deuxième hélice de pas contraire, on détruit cet effet parasite, absolument comme dans le cas du tube recti-

ligne B. C'est ce que montre le schéma C de bobinage du transformateur.

En service, cet enroulement de 100 spires est en court-circuit sur un ampèremètre quelconque de 150 ampères. En particulier, on peut le monter sur le shunt de 150 ampères S appartenant au même ampèremètre G de précision qui convient au gros shunt de 15 000 ampères décrit plus haut. Si un faisceau de conducteurs, animé par un courant alternatif, traverse la partie centrale du transformateur, il

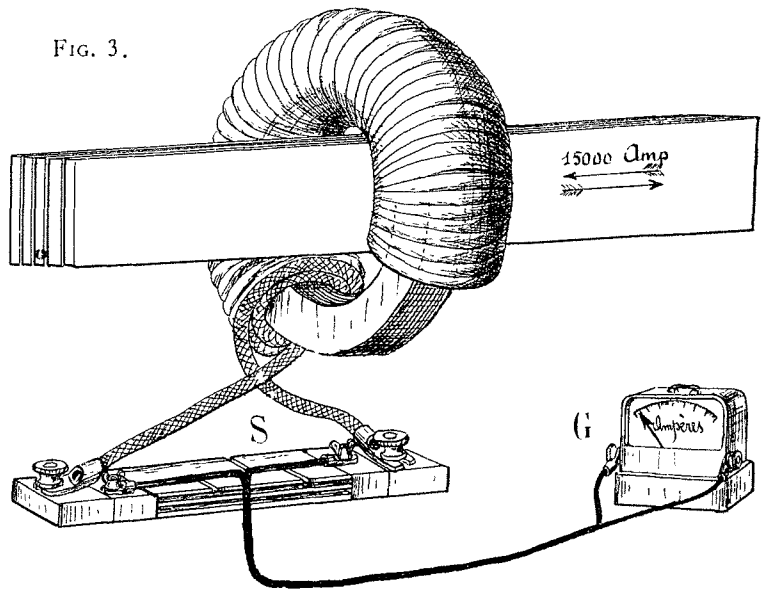


FIG. 3.

en résulte dans l'enroulement secondaire, par induction, un courant alternatif 100 fois moins intense; de sorte que si le courant primaire atteint 15 000 ampères, le petit shunt S est traversé par un courant de 150 ampères seulement, accusé par l'ampèremètre, monté en dérivation comme à l'ordinaire.

Ce transformateur d'intensité étant absolument symétrique, enroulé *régulièrement* et *sans coupure* du fer, tous ses points sont au même potentiel magnétique: il ne présentera donc pas de dérivations magnétiques extérieures. Il peut être disposé d'une façon quelconque sur le conducteur primaire.

Placé dans le même courant alternatif que le gros shunt à circulation d'eau, il donne les mêmes indications; ces deux appareils peuvent donc être utilisés indifféremment en toute sécurité. Théoriquement, le shunt étalonné sur du courant continu doit donner sur l'alternatif une valeur approchée par *excès* — self —; le transformateur, au contraire, ne peut donner qu'une valeur approchée par *défaut* — courants de Foucault dans les masses métalliques et les tôles de fer — l'expérience a montré que ces écarts sont assez faibles pratiquement pour que l'on ne puisse s'en apercevoir.

Une précaution à recommander, lorsqu'on désire utiliser ailleurs le petit shunt de 150 ampères monté sur le secondaire, c'est de le remplacer préalablement par un court-circuit. Sans cela, le fer, sous l'influence du courant primaire, peut travailler jusqu'à saturation. Les tôles ayant une excellente perméabilité magnétique, il peut en résulter, à 50 périodes par seconde, pour un courant de 15 000 ampères, de 150 à 200 volts induits, ce qui donne parfois des surprises désagréables aux personnes qui touchent les extrémités du conducteur; mais le voltage consommé sur le primaire pour traverser l'anneau de fer étant d'environ 1,5 à 2 volts, il en résulte une puissance apparente absorbée, pour 15 000 ampères, de 22 500 à 30 000 voltam-

(*) Ces deux appareils ont été construits par la maison Gindre, Duchavany et C^{ie}, de Lyon. N. D. L. R.

pères, dont une bien faible partie seulement, à la vérité, est wattée. Toutefois, au bout d'un instant, sous l'effet de l'hystérésis et des courants de Foucault, le fer du transformateur s'échaufferait tellement que les isollements et l'enroulement secondaire seraient vite détériorés.

Moyennant cette simple précaution, cet appareil, contrairement au shunt à circulation d'eau, est véritablement, pour les courants alternatifs, un instrument pratique, à la fois de service et de contrôle. Il a le grand avantage de pouvoir fonctionner, comme nous l'avons déjà dit, avec tous les ampèremètres, de sorte que l'on peut utiliser un instrument de précision pour les vérifications, et se contenter en service courant d'un ampèremètre ordinaire, plus robuste et moins coûteux.

C. LIMB

Docteur ès-Sciences, Ingénieur-Electricien.

LES APPAREILS DE MESURE ACTUELS

Communication présentée au Congrès de Marseille, par M. A. DURAND, Chef de travaux au Laboratoire Central d'Electricité

Depuis l'année 1900, on ne peut signaler comme appareils de mesures nouveaux que les wattmètres thermiques, dont les indications sont presque indépendantes de la fréquence et de la forme de la courbe du courant. Les efforts des constructeurs se sont surtout bornés à perfectionner les autres appareils : c'est ainsi que, pour les voltmètres et ampèremètres à aimant et cadre mobile, par exemple, on a, par l'emploi des alliages constants et manganin, diminué, dans une grande proportion, l'erreur due aux variations de la température ambiante ; mais si, pour les courants continus, on paraît arriver à un degré de précision suffisant pour les mesures industrielles, il n'en est pas de même pour les courants alternatifs, où l'emploi de tensions et d'intensités de plus en plus élevées nécessite des transformateurs trop souvent mal étudiés, et qui sont, alors, la cause d'erreurs nouvelles.

Tout le mal, il faut bien le dire, n'est pas imputable au constructeur, mais trop souvent dû à un mauvais emploi de l'instrument. Beaucoup d'appareils, livrés exacts, ont leurs indications faussées, temporairement ou définitivement, par l'influence des courants passant dans les conducteurs voisins.

Mon but, dans ce qui va suivre, n'est pas d'entrer dans les détails de construction, mais, par l'examen des défauts (1) et qualités des différents types d'appareils, de montrer quelle confiance nous pouvons avoir en leurs indications.

I. — CONSIDÉRATIONS SUR LES APPAREILS DE MESURE

En examinant les causes d'incertitude, nous voyons que quelques-unes sont générales et peuvent affecter tous les appareils ; nous commencerons donc par les étudier. Ce sont : 1° Les défauts de graduation, les erreurs de lecture (parallaxe) ; et 2° Les actions mécaniques (pivotage, variation des ressorts, amortissement).

D'autres, au contraire, sont d'ordre électrique et seront signalés pour chaque type d'appareil ; elles sont dues à l'hystérésis, aux courants de Foucault, à l'affaiblissement des aimants, influence des champs magnétiques et électrostatiques, à la forme de courbe, à la fréquence du courant, à la variation des résistances des circuits avec la température, au couples thermo-électriques, etc.

Graduations. — Les dilatactions, dues aux variations hygrométriques de l'air, font restreindre l'emploi du carton pour les cadrans des appareils de mesure ; les divisions sont maintenant, ou gravées sur métal, ou, le plus souvent, tracées sur du papier adhérent à des feuilles métalliques.

(1) Beaucoup de ces défauts constatés, depuis plusieurs années, au Laboratoire Central d'Electricité, ont été signalés aussi dans différentes publications et notamment par MM ARMAGNAT, *Instruments et méthodes de mesures* ; EDGUMBE ET PUNGA, *Journal of the Institution of Electrical Engineers* (1914-1905) ; ROSA, *Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers* (1905) ; HEINRICH ET BERCOVITZ, *Handbuch der Elektrotechnik, Zweiter Band fünfte abteilung*.

Les erreurs de graduation seraient bien faibles, si les divisions étaient égales sur toute l'étendue de l'échelle ; cette dernière condition est rarement remplie ; aussi, la plupart des constructeurs sont-ils obligés de graduer leurs appareils de 10 en 10 par exemple, et de diviser ensuite ces intervalles aussi bien que possible ; mais, à ces causes d'erreurs, vient s'ajouter le changement de forme de la courbe d'étalonnage dû au jeu pris par les vis sous l'influence, et de la chaleur, et des vibrations (surtout en alternatif).

Dans l'état normal, on peut craindre pour la graduation des appareils étalons, des erreurs absolues atteignant 2 millièmes de la graduation maximum ; l'erreur relative ne sera donc pas constante sur toute l'échelle.

Erreurs de parallaxe. — Cette erreur est fortement diminuée dans certains instruments, grâce au miroir placé sous l'aiguille. Le plan vertical de visée est ainsi déterminé par la superposition de l'aiguille et de son image.

Ressorts antagonistes. — Les ressorts, en général en alliages non magnétiques, laissent souvent beaucoup à désirer ; ils présentent une viscosité élastique qui se manifeste par un déplacement du zéro, lorsque l'appareil reste en circuit un certain temps. Pour remédier à cet inconvénient, les constructeurs se servent souvent, comme couple antagoniste, de deux ressorts spiraux agissant en sens inverse, mais cette compensation n'est pas parfaite, les deux ressorts ne travaillant pas de la même façon. Il n'est pas rare de voir l'aiguille dévier du 1/190 de l'échelle maximum, après une mise en service d'une heure aux 8 dixièmes de cette échelle.

Une autre cause d'erreur provient aussi de la diminution du couple des ressorts avec l'élévation de température.

C'est pour remédier au déplacement du zéro, dû à l'inégalité dans les ressorts, que les constructeurs (surtout à l'étranger) munissent les appareils de vis de rappel : ce dispositif serait à généraliser.

Suspension des équipages mobiles. — 1° Suspension par fil métallique ou non. Employée dans le cas où la force agissante est très faible, cette suspension donne lieu à un zéro mal déterminé ; pour éliminer cette erreur due à la viscosité du fil, il est le plus souvent nécessaire de faire des lectures en inversant le sens de la déviation ; aussi ne doit-on compter que sur une approximation de 0,5 pour 100 de la valeur maximum ;

2° Suspension par les ressorts spiraux : employée par lord Kelvin.

3° Suspension par couteaux appuyés sur des surfaces en forme de V (électromètre Kelvin) ;

4° Suspension sur pivots. Les pivots doivent être particulièrement soignés pour ne pas être une cause d'indécision dans les lectures ; ils reposent en général, sur des pierres dures montées, quelquefois sur ressorts ; ce dernier dispositif a pour but d'amortir les chocs. C'est aussi pour ménager les pointes des pivots que les constructeurs font leurs équipages mobiles le plus léger possible.

L'indécision provenant des défauts de pivotage peut atteindre, pour les bons appareils étalons, 2 millièmes de la déviation totale ; cette indécision sera plus grande pour les appareils de tableau qui, souvent, ont une aiguille très longue. L'indécision dépendra, aussi, de la position de l'aiguille (horizontale ou verticale) ; cette dernière disposition étant la plus désavantageuse.

Amortissement. — Les constructeurs devraient apporter une grande attention à une question aussi importante que celle de l'amortissement ; il est, en effet, inadmissible de voir, encore actuellement, les lectures aux appareils rendues impossibles par les oscillations de l'aiguille. Il m'est arrivé, pour des ampèremètres mis brusquement en circuit, sur du courant continu fourni par des accumulateurs, de compter 75 oscillations simples avant l'arrêt de l'aiguille ; la durée totale pour avoir le régime stable était de 45 secondes ! Un tel appareil sera d'autant moins utilisable qu'aux variations de l'intensité du courant viendront s'ajouter les perturbations dues à la résonance qui pourra se produire entre la période d'oscillation de l'aiguille et celle du moteur.

Il est à noter, que, quelque soit le genre d'amortisseur, l'action de la résistance de l'air sur l'aiguille indicatrice pourra se faire sentir (notamment pour les grandes aiguilles).

Un grand amortissement donnera trop d'importance aux défauts de pivotage ; j'estime que deux oscillations simples suffisent pour les appareils étalons et de tableau, avec une durée totale d'oscillations de 2 secondes.