HAL
open science

Ondographe

E. Hospitalier

▶ **To cite this version:**

E. Hospitalier. Ondographe. J. Phys. Theor. Appl., 1902, 1 (1), pp.409-417. 10.1051/jphystap:019020010040900 . jpa-00240623

HAL Id: jpa-00240623

https://hal.science/jpa-00240623v1

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ONDOGRAPHE[1] ;

Par M. E. HOSPITALIER.

L'ondographe est un appareil qui a pour objet d'enregistrer directement, à l'encre, sur une bande de papier, en fonction du temps, les courbes représentatives d'un phénomène électrique périodiquement et rapidement variable (force électromotrice, différence de potentiel, intensité, puissance, etc.).

Il est basé, en principe, sur une combinaison de la méthode par points successifs de M. Joubert, de la méthode stroboscopique et des appareils enregistreurs électriques.

Il se compose essentiellement :

1° D'un *moteur synchrone* à courants alternatifs simples actionné directement, ou après transformation convenable, par la source électrique dont on veut obtenir le tracé des variations périodiques des éléments ;

2° D'un *train d'engrenages* ayant pour objet d'imprimer à un coupleur ou commutateur tournant une vitesse angulaire telle que, lorsque le moteur a effectué un certain nombre de tours, ce commutateur en effectue un nombre égal (ou un multiple) *augmenté* ou *diminué* de 1. Il est préférable, pour que l'inscription de la courbe se trace dans le même sens que l'écoulement du temps, que le coupleur tourne moins vite que le moteur. Ce retard ou cette avance, essentiel au système, évite d'imprimer une rotation réelle aux balais du moteur ;

3° D'un *coupleur* ou commutateur automatique formé d'un noyau cylindrique en matière isolante portant un tube de cuivre ou de laiton convenablement découpé contre lequel appuient *trois* balais. Cet ensemble a pour objet de mettre un condensateur successivement en connexion avec : *a*. deux points des circuits où se passe le phénomène périodiquement variable à enregistrer ; *b*. un appareil de mesure. Dans la première opération, le condensateur se charge ; il se décharge dans l'appareil de mesure dans la seconde opération. Pour le tracé de la puissance, le coupleur se réduit à une simple barre conductrice fermant périodiquement le circuit une fois par tour sur

[1] Communication faite à la Société française de Physique. Séance du 20 décembre 1901.

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jphystap:019020010040900

la bobine à fil fin de l'enregistreur, par l'intermédiaire des deux balais. La *fig.* 1 montre le couplage des appareils dans le cas où l'on utilise un condensateur ;

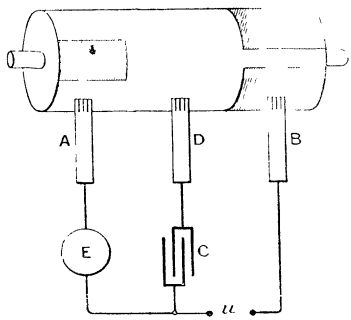

Fig. 1. — Couplage de l'ondographe dans le cas de l'emploi d'un condensateur. A, B, D, balais. — C, condensateur à capacité variable. — E, appareil enregistreur. — *u*, points d'application de la différence de potentiel périodique à enregistrer.

4° D'un *condensateur* dont la capacité peut être constante ou variée à volonté par des fiches, afin de régler la sensibilité de l'appareil ;

5° D'un *appareil de mesure* approprié au phénomène à enregistrer.

Pour les différences de potentiel et les intensités, l'enregistreur est un appareil à cadre mobile de sir William Thomson, type différences de potentiel et des intensités, ce qui supprime l'emploi du Deprez-d'Arsonval, Weston, Chauvin et Arnoux, Meylan, etc., disposé horizontalement ou verticalement.

Pour les puissances, l'enregistreur est un wattmètre ordinaire : le courant périodique traverse la bobine primaire fixe d'une façon continue, tandis que la bobine mobile à fil fin est placée dans le circuit périodiquement fermé par le coupleur rotatif sur la différence de potentiel définissant le second facteur de la puissance. Le réglage se fait par l'introduction de résistances dans le circuit à fil fin.

La méthode directe peut s'appliquer également à l'inscription du condensateur ; mais le condensateur présente certains avantages pratiques pour le réglage de la sensibilité.

Le wattmètre permet également l'enregistrement des courbes des

différences de potentiel, en faisant traverser ses bobines fixes par un courant constant emprunté à une batterie d'accumulateurs.

Dans tous les cas, l'équipage mobile de l'appareil enregistreur reçoit une série d'impulsions dont la fréquence est égale à celle du courant à enregistrer. Il présente une inertie et un amortissement calculés pour que la position du cadre mobile à chaque instant corresponde à celle que lui ferait prendre le courant moyen correspondant à la quantité d'électricité qui le traverse pendant une période ;

6° D'un *enregistreur* cylindrique ou continu, commandé directement à la vitesse convenable par le moteur synchrone. L'enregistrement peut être quelconque : à la plume, à la roulette, au papier chimique, au papier fumé, etc. Le papier peut être monté sur un cylindre tournant, se dérouler sur des rouleaux, ou se déplacer longitudinalement dans le sens des génératrices d'un cylindre ayant pour axe celui de l'appareil de mesure et pour rayon la distance de la plume à l'axe.

Dans le modèle définitif représenté *fig.* 2 et construit par la *Compagnie pour la fabrication de compteurs et matériel d'usines à gaz*, à Paris, le moteur synchrone est constitué par un croisillon en fer doux lamellé se mouvant entre les jambes d'un électro-aimant en U dont la culasse porte un enroulement traversé par une dérivation du courant alternatif à étudier. Ce moteur absorbe 0,2 à 0,3 ampère sous 110 volts, mais avec un cos φ très petit.

Le moteur est lancé à la manivelle en utilisant un jeu d'engrenages qui permet d'atteindre facilement la vitesse angulaire correspondant au synchronisme. On constate que ce synchronisme est atteint en observant l'effet stroboscopique d'arrêt apparent d'un disque tournant portant un nombre convenable de secteurs alternativement blancs et noirs. Après l'accrochage, la manivelle se dégage automatiquement, par un dispositif analogue à celui de la manivelle d'un moteur d'automobile.

Le moteur commande le commutateur par un jeu convenable d'engrenages, combiné de telle façon que, lorsque le moteur a fait n tours, correspondant à n périodes, le commutateur fasse $(n - 1)$ tours seulement, avec un glissement régulier et uniforme.

Le train d'engrenages est combiné de telle façon que le retard soit de $\frac{1}{1000}$; c'est-à-dire que l'on inscrit l'onde alternative en un temps

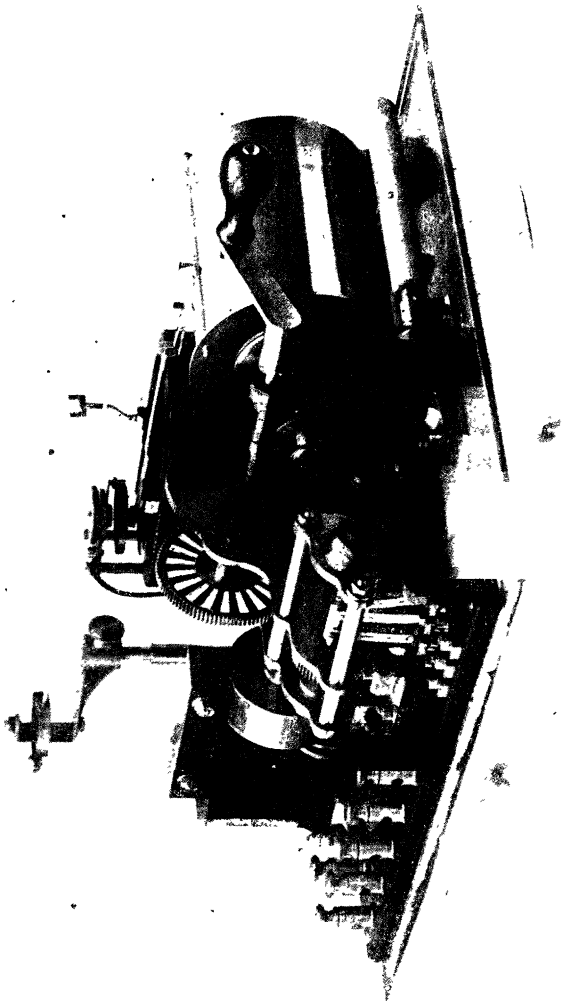

Fig. 2. — Vue d'ensemble.

1000 fois plus long que sa durée, soit 25 secondes, par exemple, pour un courant alternatif de fréquence 40.

Le condensateur peut être quelconque, en papier paraffiné ou en mica, et sa capacité n'a pas besoin d'être exactement connue : il suffit qu'elle reste constante pendant une expérience.

L'enregistreur est du type bien connu de M. Meylan à aimant normal, mais la commande de la plume présente un dispositif original et nouveau qui pourra recevoir des applications aux enregistreurs d'un système quelconque.

En effet, avec la plupart des enregistreurs à tracé direct, on est obligé de réduire la longueur de l'aiguille commandant la plume, afin que le frottement de la plume contre le papier ne fausse pas l'enregistrement d'une façon sensible ; l'emploi d'une aiguille courte commandant la plume à la manière ordinaire, emploi nécessité par la faiblesse du couple directeur et le frottement de la plume, présente plusieurs inconvénients :

1° Les ordonnées curvilignes ont un rayon de courbure relativement petit, et la courbe enregistrée subit, de ce fait, une déformation souvent gênante ;

2° La trajectoire curviligne décrite par la plume l'empêche de porter bien exactement sur tous les points du cylindre enregistreur, dont elle décrirait une génératrice si le rayon était infini. Dans ces conditions, une plume bien réglée inscrit par points dans certaines parties, appuie fortement sur le papier dans d'autres parties, et n'appuie plus du tout sur les parties correspondant aux plus longues ordonnées ;

3° La tige portant la plume devait être à la fois *rigide* pour la direction et *flexible* pour l'inscription ; il est difficile de réunir dans un même organe ces deux qualités contradictoires.

Pour réduire ces inconvénients dans une large mesure, nous employons un dispositif qui consiste, en principe, à séparer, tout en les laissant solidaires, l'organe de direction et l'organe d'inscription, et à réaliser, avec un système directeur de faible rayon, un enregistrement dont les ordonnées ont un rayon assez grand pour que l'inscription se rapproche sensiblement de celle que donnerait un enregistreur dont la plume décrirait un arc de cercle de rayon infini.

L appareil d'enregistrement se compose de deux organes distincts : l'aiguille directrice et la plume d'inscription.

L'aiguille directrice est un levier rigide monté sur l'appareil de

mesure, et dont l'extrémité la plus éloignée de l'axe de rotation se termine par une tige qui vient s'engager dans le levier portant la plume. Cette tige décrit, pendant l'enregistrement, le chemin que décrirait la plume de l'enregistreur ordinaire pendant la rotation du cylindre portant le papier.

La plume d'inscription est constituée par un levier de grande longueur, dont l'une des extrémités pivote autour d'un axe vertical parallèle à celui de l'enregistreur, mais en est éloigné d'une distance sensiblement égale à la différence des longueurs des deux leviers. Son autre extrémité se termine par une coulisse dans laquelle vient s'engager la tige de l'aiguille directrice, et se termine par la plume inscrivante, qui peut d'ailleurs être quelconque.

Dans ces conditions, pendant que la fourche décrit un arc de cercle de petit rayon, la plume décrit un arc de grand rayon : en donnant au levier qui la porte une longueur suffisante, cet arc peut, dans les limites de la longueur du cylindre, se confondre sensiblement avec la tangente en son milieu. Le point de contact de la plume avec le papier s'éloigne ainsi fort peu d'une génératrice, et l'inscription se fait avec une égalité parfaite dans toute l'étendue du cylindre. La plume et son levier peuvent donc être proportionnés pour satisfaire aux conditions de souplesse et de réglage de l'inscription, et de l'inscription seule, puisque la direction de la plume est confiée à un autre organe auquel on donne, de son côté, toute la rigidité nécessaire pour remplir exactement cette fonction directrice.

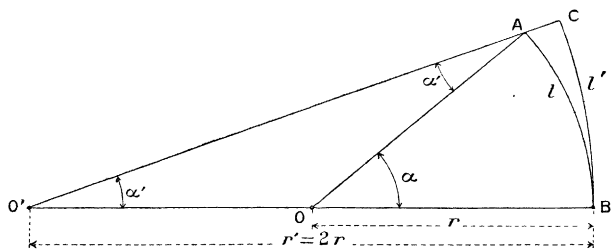

Fig. 3. — Redressement des ordonnées d'un tracé d'enregistreur.

Le levier portant la plume est articulé à son attache par un joint à la Cardan qui permet à la plume de se déplacer librement et d'exercer sur le papier une pression constante réglée par son propre poids

en partie équilibré par son poids à vis mobile à volonté. L'axe vertical permet les déplacements pour la direction ; l'axe horizontal, les légers déplacements en hauteur nécessités par le mouvement de la plume sur le cylindre enregistreur.

Dans l'appareil réalisé, le levier directeur a 18 centimètres de longueur, tandis que le levier commandant la plume a une longueur double, soit 36 centimètres. Dans ces conditions, il est facile de démontrer que la différence de longueur entre les deux ordonnées curvilignes, l'une correspondant à la valeur théorique, pour l'aiguille de 18 centimètres, et l'autre à l'ordonnée redressée de 36 centimètres de longueur, est absolument nulle. En effet, si l'angle α décrit par l'appareil de mesure est proportionnel à la grandeur à mesurer, il est facile de voir sur la figure qu'en faisant $OO' = r = \frac{r'}{2}$, le triangle OO'A est isocèle ; il en résulte que :

$$\alpha = 2\alpha'.$$

L'arc AB de longueur l est égal à l'arc BC de longueur l', et l'appareil reste rigoureusement proportionnel.

L'inscription de la courbe se fait presque rigoureusement sur la génératrice du cylindre enregistreur, et la plume, plus indépendante et plus facilement réglable, ne produit plus aucun raté d'inscription. Le dispositif sera utilisé avec avantage pour tous les enregistreurs qui exigent une grande légèreté de plume pour donner des indications exactes pratiquement et indépendantes du frottement de la plume sur le papier.

Dans l'appareil destiné à tracer la courbe de la puissance instantanée, courbe qu'aucun appareil n'avait tracée directement jusqu'à ce jour, nous employons, aux lieu et place de l'appareil de mesure à aimant, un compteur Thomson monté en wattmètre : l'axe est soumis à l'action des deux ressorts en spirale qui amènent le courant à l'induit mobile, ce qui supprime les balais. Le courant principal traverse les bobines fixes, et la bobine mobile à fil fin est mise en dérivation, une fois par période et pendant un instant très court, par l'intermédiaire du commutateur et des balais, avec la différence de potentiel définissant la puissance à mesurer. A cet effet, le commutateur tournant est constitué par un cylindre en ébonite dans lequel est incrustée, suivant une génératrice, une simple bande de laiton de longueur convenable.

Sous l'influence des impulsions successives que la bobine reçoit, par le fait des courants intermittents qui la traversent et du courant alternatif principal, la bobine fait avec sa position d'équilibre un angle proportionnel à la puissance, à chaque instant de la période définie par la position du commutateur, et elle entraîne directement ou indirectement la plume de l'enregistreur.

Cette proportionnalité résulte du fait que l'angle décrit par la bobine mobile autour de sa position d'équilibre ne dépasse jamais 10 à 12° de chaque côté du zéro ; dans ces conditions, l'enroulement en tambour du wattmètre peut être considéré comme n'ayant subi aucun déplacement au point de vue des actions électrodynamiques.

Le disque d'aluminium du compteur sert à donner au système l'inertie et l'amortissement nécessaires au fonctionnement de l'appareil. Ce fonctionnement normal correspond, d'une part, à l'amortissement critique, et, d'autre part, à une durée d'oscillation comprise entre la période du phénomène à enregistrer et la durée de l'enregistrement d'une période.

L'ondographe actuellement réalisé est établi pour tracer une période complète en utilisant 1000 périodes successives. Le cylindre enregistreur inscrit exactement trois périodes en un tour ; la quatrième se superpose à la première, la cinquième à la deuxième, etc.

La superposition des courbes est un indice certain du bon fonctionnement de l'appareil, bien qu'il puisse se produire quelquefois des écarts provenant d'un changement du régime survenu entre les 3000 périodes qui séparent deux passages successifs de la même génératrice du cylindre enregistreur sous la plume. La superposition des courbes montre ces écarts et fournit une indication utile sur la régularité de marche de l'appareil étudié à l'ondographe.

On peut aussi inscrire les courbes sur une bande continue d'une longueur de plusieurs mètres. Pour le faire commodément, il suffit d'attacher l'extrémité d'un rouleau de papier sur le cylindre enregistreur et de le laisser s'enrouler sur le cylindre en le tendant par un léger freinage.

Avec l'appareil actuel, et à la fréquence de 40 périodes par seconde, une courbe complète occupe une longueur de 96 millimètres et s'inscrit en 25 secondes. Une bande de 6 mètres de longueur porte donc 60 périodes et inscrit le phénomène pendant vingt-cinq minutes, ce qui est bien suffisant, en général.

L'appareil se prête également à l'étude des courants redressés ou

continus. Il suffit, pour cela, de substituer au moteur synchrone une commande directe en établissant une liaison mécanique invariable entre l'arbre de la machine à étudier et l'ondographe. L'appareil est étudié en vue de rendre le montage facile et rapide.

Il permet également l'inscription des phénomènes non périodiques, en les rendant périodiques par répétition à l'aide d'un moteur synchrone commandant l'organe répétiteur. C'est ainsi que nous avons vu tracer des courbes de décharges oscillantes de condensateur, d'établissement de courant dans un circuit présentant de la self-induction, etc.

En réalisant l'*ondographe*, — ou, pour les puristes, le *cymatographe* — nous avons eu pour but de répondre à un besoin purement industriel et d'enseignement. L'appareil est robuste, d'un prix relativement peu élevé, d'un maniement facile, plus exact que la méthode par points, moins délicat et plus rapide que l'oscillographe ou le rhéographe, sans cependant prétendre au degré de précision atteint par ces derniers appareils.

L'ondographe sera surtout utile aux constructeurs de dynamos, de moteurs et de transformateurs ; aux usines centrales pour courants alternatifs ; aux fabricants de câbles à haute tension, qui ont un si grand intérêt à connaître la forme des courants alternatifs auxquels leurs câbles sont soumis ; aux écoles industrielles et aux laboratoires de recherches et aux laboratoires d'enseignement, pour lesquels ils rendront visibles et immédiats des faits dont l'explication est souvent si difficile et si pénible.

Bien qu'il n'ait aucune prétention scientifique, l'ondographe est un appareil pratique et qui rendra, nous en avons la conviction intime, de nombreux et utiles services à l'industrie électrique [1].

---

[1] *Antériorités.* — L'application de la méthode des points successifs à l'étude des alternateurs est due à M. Joubert (*).

Le condensateur a été appliqué par nous, en 1885, pour l'étude des dynamos à courant redressé de M. Anatole Gérard (**).

A la séance du 20 mars 1891 de la *Société française de Physique*, M. G. Weiss a dit qu'il utilisait un appareil pour déterminer par points ou d'une façon continue la forme de l'onde d'une machine dynamo : mais il n'a pas décrit l'appareil. M. P. Janet a annoncé, à la même séance, qu'il entreprenait des recherches du même genre, sans décrire davantage aucun dispositif.

M. Blondel a revendiqué la création d'un appareil enregistreur qui a été cons-

(*) J. Joubert, Etudes sur les machines magnéto-électriques (*Annales de l'Ecole normale supérieure* t. X, p. 151 ; 1881).

(**) E. Hospitalier, Les Machines à courant périodique et leur mesure (*l'Électricien* du 19 décembre 1885).