

§ 4. — FARADISATION

Considérations préliminaires. — Bobines médicales. — Rhéostat à liquide. — Interrupteurs automatiques. — Galvano-faradisation. — Appareils magnéto-faradiques. — Courants sinusoïdaux. — Courants triphasés. — Transformateur inverseur. — Excitateurs faradiques.

67. *Considérations préliminaires.* — On donne spécialement le nom de *courant faradique* au courant induit qui prend naissance dans le circuit secondaire d'une bobine de Ruhmkorff. Cette épithète de *faradique*, adoptée en souvenir de l'illustre physicien auquel est due la découverte des phénomènes d'induction, devrait, à notre avis, être généralisée pour ce motif et s'étendre à tout courant variable dont la production repose sur l'induction magnétique ou électrodynamique. On pourrait alors désigner par le mot *faradisation* l'emploi médical des courants intermittents en général.

Ayant précédemment indiqué la nature du courant de la bobine de Ruhmkorff (n° 43), nous allons seulement rappeler ici les faits essentiels. Le courant induit *de fermeture* est *inverse*, c'est-à-dire en sens contraire du courant primaire, tandis que le courant induit *de rupture* est *direct* (fig. 93). La quantité d'électricité induite est la même dans ces deux courants, mais le courant induit de rupture a moins de durée et plus d'intensité que celui de fermeture; il en résulte que les effets du premier de ces courants sur l'organisme sont plus puissants que ceux du second; la différence de ces effets est assez grande pour que les électrophysiologistes regardent souvent comme

négligeable l'action du courant induit de fermeture. Si l'on introduit dans le circuit secondaire un excitateur dont les deux boules puissent recevoir un écartement variable

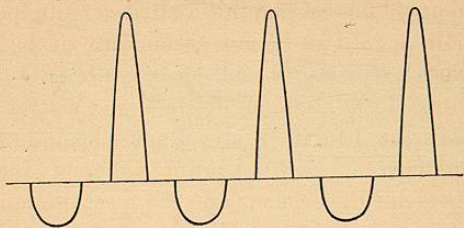


Fig. 93.

à volonté, on augmentera d'autant plus la prédominance du courant induit de rupture que l'on rendra plus grande la longueur de l'étincelle jaillissant entre les deux boules ; le courant inverse, dont la force électromotrice est moindre que celle du courant direct, finira même par disparaître complètement pour un écartement déterminé, en sorte que l'intervalle d'air compris entre les deux boules de l'excitateur se comportera comme une sorte de filtre arrêtant

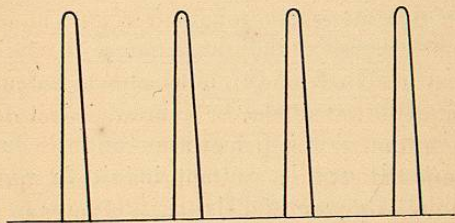


Fig. 94.

les courants inverses. Ainsi réduit aux ondes induites correspondant aux ruptures périodiques du circuit primaire, le courant induit, représenté graphiquement par la figure 94, peut être assimilé à un courant voltaïque

saccadé, de haute tension, dont les courts passages seraient séparés par des intervalles de repos relativement longs. C'est en considérant seulement les courants induits de rupture que l'on est conduit à attribuer un pôle positif et un pôle négatif au circuit secondaire de la bobine de Ruhmkorff.

Le choix d'une bobine destinée aux usages thérapeutiques est assez difficile à faire d'après les indications des praticiens, parce que ces indications sont peu concordantes. Le Congrès des Electriciens de 1881 a recommandé le type de bobine que nous allons décrire et qui doit être actionné par un élément Daniell.

Bobine primaire : longueur 88 millimètres, diamètre extérieur 36 ; composée de 300 tours, répartis sur quatre couches de fil de cuivre de 1 mm. de diamètre. Nous trouvons, d'après ces données, que le fil primaire a environ 30 mètres de longueur et 0,60 ohm de résistance

Bobine secondaire : longueur 65 millimètres, diamètre extérieur 68 ; composée de 5.000 tours, répartis sur quatre couches de fil de cuivre de 0 mm. 25 de diamètre. Nous trouvons, d'après ces données, que le fil secondaire a environ 875 mètres de longueur et 283 ohms de résistance.

La cavité cylindrique, intérieure à la bobine primaire, dans laquelle doit se placer le noyau de fer doux a environ 25 millimètres de diamètre.

Aucune indication n'est donnée au sujet du trembleur ; mais nous pouvons rappeler que, d'après la plupart des praticiens, il convient que le nombre des vibrations par seconde, soit inférieur à 80.

Il est évident que le courant induit de cette bobine doit avoir une haute tension et un faible débit. Au Congrès de l'Association Française pour l'avancement des Sciences tenu à Tunis en 1896, M. le docteur Bordier a émis cet

avis que le fil de la bobine secondaire devrait être gros et non pas fin ; d'après ce praticien distingué, le fil induit de la bobine que nous venons de décrire devrait avoir un diamètre de 1 mm. 2 à 1 mm. 3 (plus grand que celui du fil primaire) et une longueur de 60 à 100 mètres seulement ; ce serait là le moyen d'obtenir de bonnes contractions musculaires sans faire souffrir le patient. Nos lecteurs ne manqueront pas de remarquer que la bobine ainsi modifiée donnerait un courant induit dont la tension ne serait certainement pas supérieure à celle du courant primaire ; il serait, par conséquent, plus pratique de renoncer à l'emploi de ce transformateur impuissant, et d'utiliser directement le courant de la pile rendu intermittent par un interrupteur périodique quelconque.

On peut dans une bobine d'induction destinée aux applications médicales supprimer le condensateur, si l'on veut rendre moins brusque l'excitation produite par le courant induit direct. Si la tension secondaire prise dans sa plénitude est trop élevée, on y remédie d'une manière simple en adjoignant à la bobine un *graduateur* qui permet de la réduire à volonté. Deux dispositions principales permettent d'atteindre ce but. La première, réalisée dans les *appareils à chariot*, dont le type est dû à Dubois-Raymond, consiste à rendre la bobine induite mobile sur la primaire, de manière à faire varier à volonté le nombre des spires soumises à l'action inductrice. La seconde, imaginée par Duchenne de Boulogne, consiste à glisser entre le circuit primaire et le noyau de fer doux, un tube de cuivre, qui affaiblit l'action inductrice en absorbant une partie de l'énergie électrique sous forme de courants de Foucault. L'adjonction d'un graduateur à une bobine de Ruhmkorff permet au médecin d'obtenir par un tâtonnement méthodique la tension secondaire qui lui paraît strictement utile ; il n'y a pas alors d'inconvé-

nient à ce que la bobine puisse donner trop de tension, il y en aurait à ce qu'elle ne fut pas capable d'en donner assez.

Les contractions musculaires que produisent les courants faradiques sont plus fortes lorsque le courant agit sur le nerf moteur d'un muscle que lorsque ce courant agit sur le muscle lui-même. Le rapide passage d'un courant induit direct provoque une secousse musculaire simple dont la représentation graphique, en prenant le temps pour abscisse et la contraction du muscle pour ordonnée, est donnée par une courbe analogue à celle qu'indique la figure 95, la montée est plus rapide que la

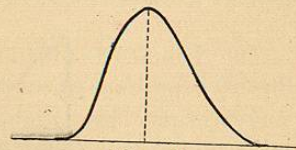


Fig. 95.

chute, la durée totale est généralement inférieure à un dixième de seconde (1). La succession rapide de plusieurs excitations, ne laissant pas au muscle le temps de se relâcher, produit cet état particulier, auquel on donne le nom de *tétanos physiologique* ; le muscle conserve un certain degré de raccourcissement, autour duquel il oscille, pour ainsi dire, par un tremblement convulsif. La tétanisation d'un muscle exige pour se produire une vingtaine d'excitations par seconde ; si l'on prolonge suffisamment l'application du courant, le muscle finit par se relâcher, par suite de fatigue. La contraction tétanique augmente

(1) On divise théoriquement la secousse en trois périodes : 1^o Excitation latente, de 0^o004 à 0^o01 ; 2^o Energie croissante, de 0^o03 à 0^o04 ; 3^o Energie décroissante, de 0^o04 à 0^o06.

avec le nombre des vibrations, mais seulement jusqu'à une certaine limite qui, d'après M. d'Arsonval, est comprise entre 2.500 et 5.000 excitations par seconde.

Quant aux effets sensitifs du courant faradique, ils varient suivant l'intensité de ce courant depuis le picotement et le fourmillement jusqu'à une intolérable sensation de brûlure. On provoque facilement les phénomènes vasomoteurs.

68. *Bobines médicales.* — Voici, à titre de renseignements, quelques-uns des types de bobines d'induction que divers constructeurs tiennent à la disposition des médecins. Figure 96. Appareil à glissière du docteur Du Bois Rey-

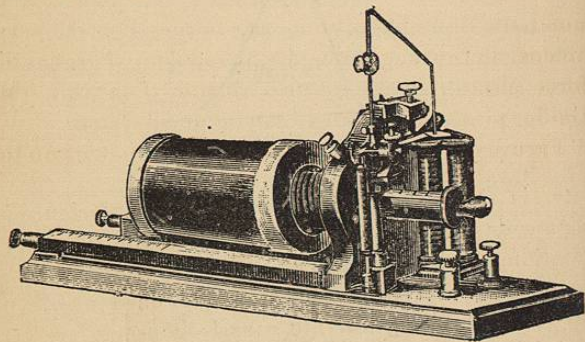


Fig. 96.

mond, avec régulateur interrupteur à boules; on peut capter à volonté le courant primaire ou le courant secondaire (Maison Genisson et Vaast, prix indiqué par le catalogue 65 francs).

L'appareil doit être actionné par un élément Leclanché, dont la force électromotrice est d'environ 1,45 volt.

Figure 97. Appareil à chariot (petit modèle), dont la

coulisse est divisée en deux parties pouvant se replier l'une sur l'autre afin que l'on puisse renfermer l'appareil dans

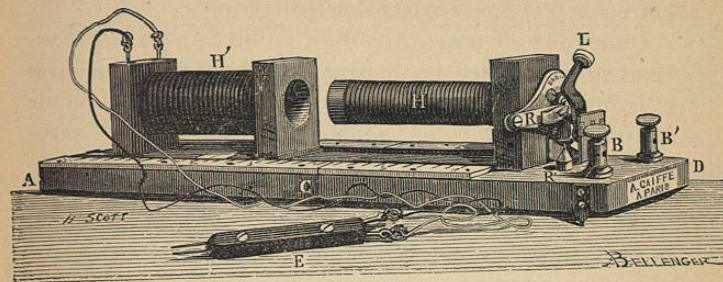


Fig. 97.

une boîte de faible volume. Les bornes B et B' servent à amener le courant d'une pile au chlorure d'argent dont la force électromotrice est très voisine d'un volt. (Maison Gaiffe, prix indiqué par le catalogue 55 francs).

Figure 98. Appareil ayant comme graduateur un tube de

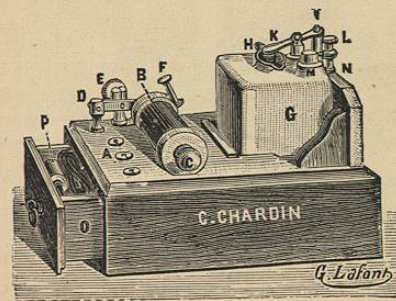


Fig. 98.

cuiivre C qui se glisse entre la bobine primaire et le noyau de fer doux. Le trembleur, dont le ressort est attaché en D,

peut être immobilisé en agissant sur le bouton E ; dans ce cas le bouton F permet de produire à volonté les intermittences. Les bornes A servent à recueillir le courant induit. La bobine primaire reçoit le courant d'une pile au bichro-

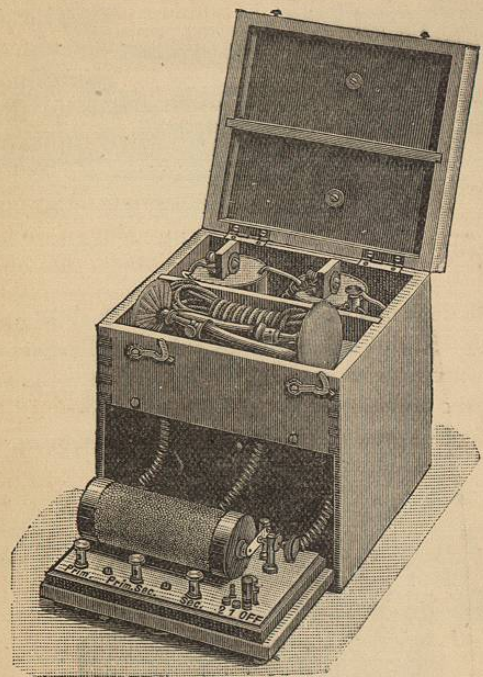


Fig. 99.

mate G, ayant une force électromotrice d'environ 2 volts. Pour mettre cette pile en activité il suffit de prendre la cathode de zinc L et de l'immerger dans le liquide par l'orifice que ferme le bouchon en caoutchouc N. (Maison Charadin, prix indiqué par le catalogue 20 francs). Un appareil

portatif du même genre, renfermé dans une boîte en acajou, est coté 35 francs.

Figure 99. Appareil transportable, renfermé dans une boîte en noyer verni. La bobine primaire est actionnée par deux piles sèches qu'un commutateur permet de prendre ensemble ou séparément. Une case spéciale renferme les deux manches et diverses électrodes nécessaires pour les applications médicales du courant (Maison Richard, Ch. Heller et Cie, prix indiqué par le catalogue 50 francs).

69. *Rhéostat à liquide*. — Les moyens de graduation du courant faradique qui résultent de l'emploi du chariot ou de celui du tube de cuivre ont été critiqués, comme insuffisants, par quelques praticiens dont la sévérité sur ce point est peut être excessive. Quoiqu'il en soit, nous croyons

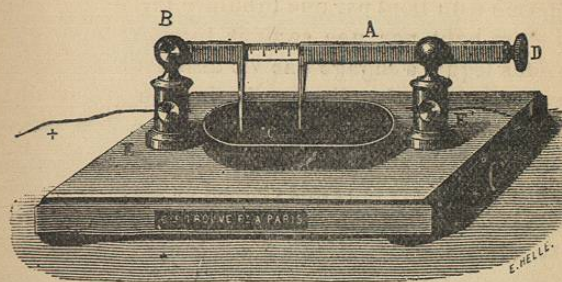


Fig. 100.

utile d'indiquer, comme moyen de graduation *extérieur à la bobine*, l'emploi d'un rhéostat dont la résistance doit être assez considérable. Dans le *rhéostat à liquide* de M. Trouvé (fig. 100), la résistance variable est représentée par l'épaisseur d'un milieu liquide ; deux bras métalliques coudés A et B, glissant à frottement dans les deux colonnettes E et E', qui s'introduisent au moyen de leurs bornes

dans le circuit extérieur de la bobine induite, baignent leurs tiges verticales dans le liquide peu conducteur que contient la cuve C ; l'écartement de ces bras règle et mesure la résistance auxiliaire ainsi introduite dans le circuit. On peut ainsi faire varier en plus ou en moins l'intensité du courant ; il n'est pas nécessaire que la bobine soit munie d'un graduateur.

M. Trouvé, dont la grande ingéniosité est si connue, a imaginé un autre rhéostat très simple et bien facile à construire. En mélangeant de la poudre fine de charbon de corne avec la moitié de son poids de gélatine chaude ou colle forte, on forme une sorte de galette de deux à trois millimètres d'épaisseur, dans laquelle on découpe à l'emporte-pièce des rondelles d'environ 25 millimètres de diamètre ; ces disques sont ensuite empilés dans un tube de verre fermé à un bout par une tubulure métallique simple et à l'autre bout par une seconde tubulure munie d'un écrou dans lequel s'engage une vis destinée à presser plus ou moins fortement les disques de charbon et gélatine les uns contre les autres. Ce rhéostat est basé sur la diminution considérable que la pression fait subir à la grande résistance qu'offre le mauvais contact de corps superposés. Un appareil de ce genre permet d'introduire dans le circuit une résistance variable depuis 5.000 jusqu'à 20.000 ohms, en passant par toutes les valeurs intermédiaires ; il est peu coûteux et très portatif.

70. Interrupteurs automatiques. — Le trembleur de Neef, pour l'interruption périodique du courant primaire d'une bobine d'induction, se compose ordinairement d'une lame élastique fixée par une de ses extrémités et terminée par une petite masse de fer doux, qui oscille entre le bout du noyau de fer inducteur et une pointe métallique, servant d'enclume, dont l'extrémité est platinée afin de diminuer

ses chances de fusion. Gaiffe a modifié cette forme de l'interrupteur en remplaçant la lame élastique par une lame de fer mobile autour d'un axe horizontal et s'appuyant au repos sur l'une des branches d'un levier coudé que l'on peut faire tourner autour d'un axe horizontal ; il suffit de faire varier la position de ce levier pour augmenter ou pour diminuer la course de la lame et, par suite, le nombre des intermittences par seconde. On arrive, en somme, à donner des limites plus ou moins étendues à la fréquence des interruptions, mais sans régler ni déterminer exactement leur nombre.

M. Trouvé munit ses appareils d'induction d'un très ingénieux interrupteur spécial, dit à *pendule horizontale extensible*, qui permet au praticien de faire varier, à volonté et avec une grande exactitude le nombre des inter-

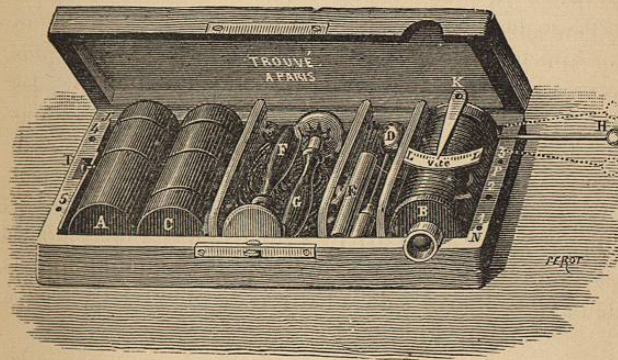


Fig. 101.

mittences du courant depuis 3 jusqu'à 50 par seconde ; une aiguille mobile sur un limbe gradué donne l'indication de ce nombre. La figure 101 représente un petit appareil d'induction muni de ce trembleur-régulateur, que

nous nous bornons à mentionner sans le décrire ; indiquons seulement qu'il est d'un maniement simple et qu'il ne coûte qu'une trentaine de francs.

71. Galvano-faradisation. — Ce procédé d'électrisation consiste à mélanger ensemble, pour les conduire aux mêmes électrodes appliquées sur le corps du malade, un courant faradique et un courant galvanique. A cet effet, la bobine induite d'un appareil faradique est introduite en tension dans le circuit extérieur d'une batterie de piles. On peut faire en sorte que les courants induits directs soient du même sens que le courant voltaïque ; la représentation graphique du courant total ou résultant peut alors être indiquée par la figure 93, dans laquelle on abaisserait l'axe horizontal des temps d'une quantité égale à l'intensité du courant de la pile. On peut aussi, en renversant le sens d'attelage de la bobine, faire en sorte que les courants induits directs soient en sens contraire du courant voltaïque ; la représentation graphique correspondante s' imagine aisément. Remarquons cependant que le mélange des deux courants n'est pas tout à fait simple, car il y a réaction du courant faradique sur celui de la pile et réaction du courant de la pile sur les phénomènes d'induction. L'opérateur peut faire varier à son gré les proportions du mélange des deux courants, suivant qu'il rend plus ou moins grande la force électromotrice de la batterie de piles relativement à celle de la bobine induite.

72. Appareils magnéto-faradiques. — Les types de ces appareils sont la machine de Clarke et celle de Page. Une armature de fer doux tournant rapidement devant les pôles d'un aimant permanent en fer à cheval détermine des variations du champ magnétique ; il en résulte que des courants d'induction prennent naissance dans les bobines

qui entourent soit les extrémités de l'armature de fer doux (machine de Clarke) soit les extrémités polaires de l'aimant permanent (machine de Page).

La figure 102 représente un appareil Gaiffe, dans lequel des bobines sont enroulées et sur l'armature et sur l'aimant.

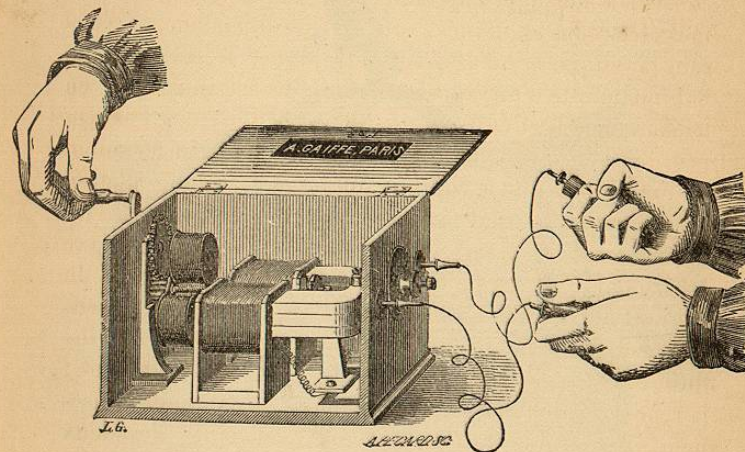


Fig. 102.

Un commutateur placé sur l'axe de l'armature relie les deux paires de bobines, et permet de capter la somme de leurs courants. Chacune des bobines porte deux fils, l'un fin et long, pour les courants de tension, l'autre gros et court, pour les courants de quantité. La rotation de l'armature s'obtient au moyen d'une manivelle et d'un engrenage multiplicateur de la vitesse. Une vis de rappel permet de déplacer l'aimant de manière à faire varier à volonté la distance de ses extrémités polaires à l'armature tournante ; on obtient ainsi la graduation du courant. Cet appareil est catalogué au prix de 100 francs.

La figure 103 représente un appareil de Clarke, modifié

par Gaiffe, qui l'a doté d'un organe servant à la fois d'interrupteur, de modérateur et de redresseur de courants (catalogué au prix de 80 francs).

Les appareils magnéto-faradiques sans commutateur

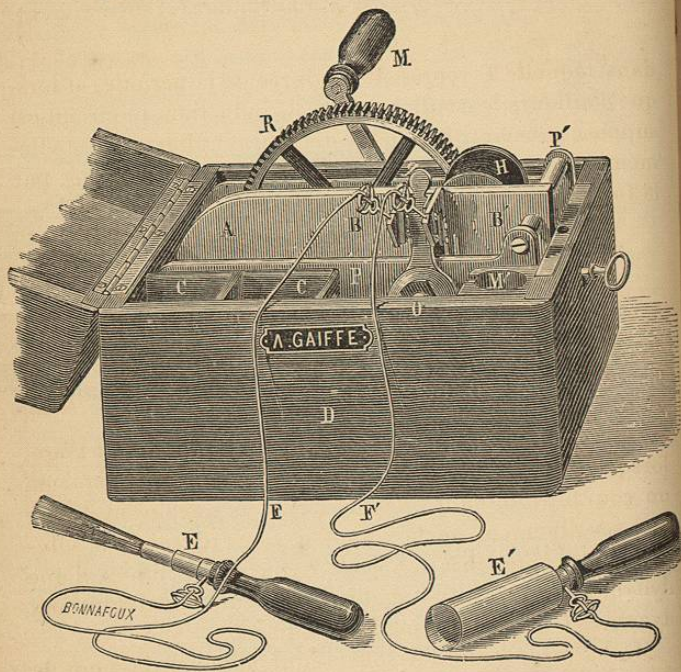


Fig. 103.

donnent des courants alternatifs dont la forme présente quelque analogie avec celle des courants sinusoïdaux. Avec le commutateur on obtient des courants tous dirigés dans le même sens, dont l'ensemble produit un courant ondulatoire et saccadé.

73. *Courants sinusoïdaux.* — Lorsque la force électromotrice créée dans une dynamo à courants alternatifs par le champ magnétique inducteur est une fonction sinusoïdale du temps déterminée par la formule

$$e = E \sin 2\pi \frac{t}{T},$$

dans laquelle T représente la durée de la période, et lorsque d'ailleurs le coefficient de self-induction du circuit est supposé constant, l'intensité du courant alternatif est elle-même une fonction sinusoïdale du temps, déterminée par la formule

$$i = I \sin 2\pi \frac{t - \theta}{T},$$

dans laquelle θ représente un laps de temps qui dépend de la self-induction et de la résistance de l'induit. Nous avons précédemment indiqué (n° 37) la représentation graphique du courant sinusoïdal.

Une machine magnéto-électrique de Clarke ou de Page, lorsqu'elle n'est pas munie d'un commutateur donne bien un courant alternatif, mais la forme de ce courant diffère très sensiblement de la sinusoïde. Pour obtenir une solution plus approchée, on peut recourir à l'emploi d'une dynamo avec électro-aimants inducteurs, analogue aux dynamos Gramme, Siémen's ou Edison.

M. le professeur d'Arsonval qui a donné le nom de *voltatisation sinusoïdale* aux applications électrothérapeutiques des courants sinusoïdaux, emploie le dispositif que représente la figure 104.

Un moteur électrique, actionné par un courant dont le circuit contient un rhéostat de réglage, commande par un accouplement flexible une dynamo transformatrice. L'excitation de cette dynamo est indépendante et se fait

généralement aux bornes d'arrivée du courant qui actionne le moteur; dans ces conditions le voltage (continu, sinusoïdal ou ondulatoire) dépend uniquement de la vitesse

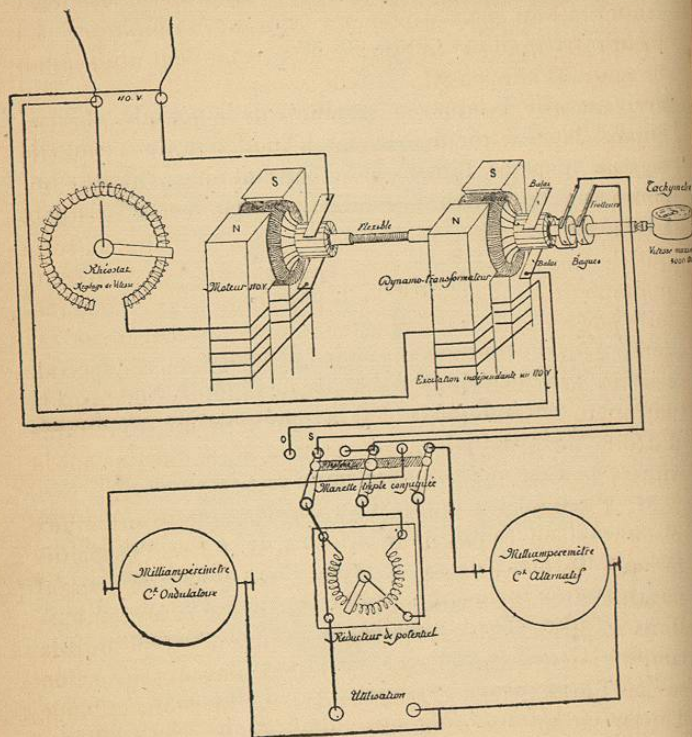


Fig. 104.

de rotation, le champ magnétique restant constant. La dynamo-transformatrice est munie d'un collecteur de dix-huit lames, dont les deux balais permettraient de capter un courant *continu*. Deux bagues isolées, commu-

niquant respectivement avec deux lames du collecteur, permettent, d'autre part, de capter par les frotteurs qui leur correspondent, un courant *sinusoïdal*. Entre l'un quelconque des deux balais et l'un quelconque des deux frotteurs, on peut capter un courant *ondulatoire*. La figure schématique indique comment on peut utiliser soit le courant sinusoïdal, soit le courant ondulatoire, qui arrivent aux gouttes d'une manette triple conjuguée. Quand la manette de gauche est en S (position qu'elle occupe dans la figure), les deux bornes d'arrivée du courant au réducteur de potentiel (qui sert à régler la fréquence) communiquent avec les deux frotteurs, en sorte que le courant capté est sinusoïdal. En poussant cette manette de gauche en O, on capterait un courant ondulatoire par un balai et un frotteur. Comme chacun de ces deux genres de courant exige un galvanomètre spécial, c'est la manette de droite qui opère automatiquement la permutation des galvanomètres. Un tachymètre, indiqué à droite de la figure, fait connaître à chaque instant la vitesse de rotation.

M. d'Arsonval a constaté que les courants sinusoïdaux n'impressionnent pas douloureusement les nerfs sensitifs lorsque leur fréquence est faible. Ce genre de courant paraît activer la nutrition des tissus ainsi que les combustions respiratoires. La voltaïsation sinusoïdale produit la contraction des fibres lisses, en restant souvent sans action sur les fibres striées. D'après le docteur Apostoli, ce mode d'électrisation exerce une action sédative très efficace contre certaines affections douloureuses de l'utérus et de ses annexes.

74. *Courants triphasés*. — Il est possible de répartir en trois séries les bobines élémentaires de l'induit d'un alternateur Gramme et d'établir entre ces bobines les con-

nexions convenables pour créer trois circuits distincts fournissant ce que l'on appelle trois courants alternatifs triphasés.

La figure 105 représente schématiquement les trois circuits induits a, a', a'' couplés en étoile ; on prend un des bouts de chacun de ces circuits et on réunit ces trois bouts au point P ; les trois autres bouts A, A', A'' forment les

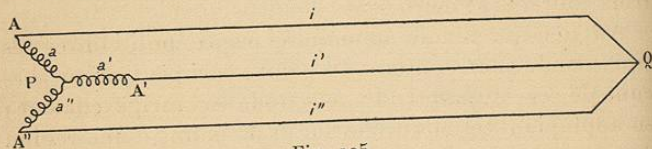


Fig. 105.

origines des conducteurs destinés à recevoir respectivement les trois courants triphasés, dont les intensités ont pour valeurs

$$\begin{aligned} i &= I \sin mt \\ \tilde{i} &= I \sin \left(mt + \frac{2\pi}{3} \right) \\ i'' &= I \sin \left(mt + \frac{4\pi}{3} \right). \end{aligned}$$

Ces courants sinusoïdaux ont tous les trois la même intensité maximum et la même période, mais ils n'ont pas les mêmes phases, c'est-à-dire que leurs intensités respectives ne s'annulent pas ensemble ; ils sont *déphasés* ou *décalés* à un tiers de période. Pour que ces courants circulent, il suffit de réunir en un point Q les extrémités libres des trois conducteurs. Imaginons, en effet, que l'on ferme le circuit en faisant communiquer métalliquement les points P et Q, au moyen d'un conducteur auxiliaire ; les trois courants passant ensemble dans ce conducteur produiraient un courant total dont l'intensité

serait égale à la somme $i + \tilde{i} + i''$ de leurs intensités respectives ; or, on démontre par calcul que *cette somme est constamment nulle*, en sorte qu'aucun courant n'existe en réalité dans notre conducteur auxiliaire ; la conséquence de cette remarque, c'est que ce conducteur auxiliaire est parfaitement inutile pour fermer le circuit. Les points P et Q sont deux points *neutres*, en chacun desquels les trois courants se détruisent.

Au lieu de réunir au point Q les extrémités libres des trois conducteurs partant du point P, on peut munir chacune de ces extrémités d'une électrode servant d'excitateur ; en appliquant ces électrodes sur trois points d'une région du corps humain, on obtiendra la fermeture du circuit ; telle est la manière d'employer les courants triphasés en électrothérapie. M. le docteur Guimbail, préconise l'emploi de ces courants pour guérir ou tout au moins améliorer l'hypertrophie de la prostate.

75. Transformateur inverseur. — Un courant alternatif à fréquence suffisante ne doit produire aucun phénomène d'électrolyse s'il est rigoureusement sinusoïdal ; sa représentation graphique montre, en effet, que les ondes positives (courbes supérieures à l'axe du temps) sont superposables aux ondes négatives ; les actions antagonistes des deux sens du courant doivent donc se compenser ou s'annihiler complètement quant aux effets électrolytiques. Si quelques effets de cette nature se produisent parfois, ainsi que l'on constaté plusieurs praticiens, il convient d'en attribuer la cause à une certaine dissymétrie du courant alternatif employé, courant qu'il est difficile d'obtenir sous la forme rigoureusement sinusoïdale.

L'un des auteurs de cet ouvrage, M. Félix Lucas a pensé qu'il serait utile et intéressant de transformer un courant continu en un courant alternatif qui, sans être assujéti à

présenter la forme sinuoïdale proprement dite, posséderait cependant la symétrie nécessaire pour supprimer toute aptitude électrolytique, et dont la fréquence pourrait être réglée au gré de l'opérateur.

La schéma ci-contre (fig. 106) permet de saisir aisément le principe et le mode de fonctionnement de ce petit appareil auquel on peut donner le nom de *transformateur inverseur*.

Considérons deux roues de cuivre A et B identiques entre elles et montées avec isolement sur un arbre métal-

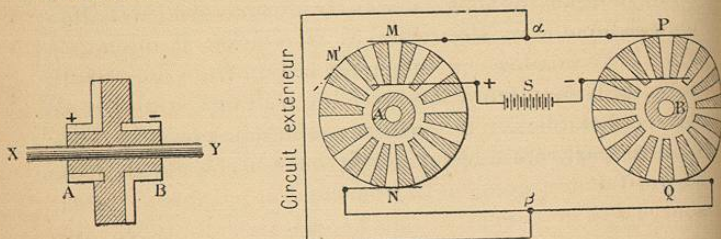


Fig. 106.

lique XY. Chacune d'elles se compose d'un moyeu cylindrique portant vers l'une de ses extrémités un nombre quelconque de rayons ou secteurs (quinze, par exemple), faisant entre eux des angles égaux et laissant entre eux des secteurs vides égaux aux pleins. Ces deux roues ont des orientations antagonistes, c'est-à-dire que, parallèlement à l'axe de rotation, il y a correspondance entre les secteurs pleins de l'une d'elles et les secteurs vides de l'autre. Une pièce d'ébonite interposée entre les deux roues projette des saillies qui viennent remplir leurs secteurs vides ou entre-rayons et isole, d'autre part, leurs moyeux de cuivre de l'arbre métallique XY. Les deux roues de cuivre et la pièce d'ébonite ainsi disposées forment ensemble une large roue munie de deux moyeux de cuivre en saillie A

et B et dont la surface cylindrique soigneusement tournée présente à droite comme à gauche une succession régulière de parties en cuivre et de parties en ébonite, tandis que l'ébonite intervient seule au milieu.

Cela posé, reportons-nous au schéma des connexions dans lequel les deux roues cuivre-ébonite sont représentées de face et posées sur un même plan. Les secteurs munis de hachures représentent l'ébonite, tandis que les secteurs intermédiaires représentent les rayons de cuivre. L'antagonisme des orientations des deux roues est nettement indiqué sur cette figure. Deux balais frotteurs, diamétralement opposés, M et N, desservent la première roue ; la seconde est de même desservie par les balais P et Q ; des communications métalliques α et β sont respectivement établies, d'une part, entre les balais M et P et, d'autre part, entre les balais N et Q ; le circuit extérieur s'établit entre α et β . Le courant continu fourni par la source S (dynamo ou batterie d'accumulateurs) est envoyé aux moyeux A et B par deux balais frotteurs, respectivement positif et négatif.

Le jeu de la machine est facile à comprendre. Lorsque les roues sont dans les positions indiquées sur la figure, le balai M, qui touche une surface de cuivre, reçoit l'électricité positive de la source, tandis que le balai N, en contact avec l'ébonite, ne reçoit rien ; d'autre part, le balai Q, touchant une surface de cuivre, reçoit l'électricité négative de la source, tandis que le balai P, touchant l'ébonite, ne reçoit rien ; les bornes positive et négative de la source S se trouvent ainsi reportées respectivement en α et en β , en sorte que, dans le circuit extérieur, le courant doit aller de α en β . Supposons maintenant que les deux disques aient tourné simultanément de la fraction de tour nécessaire pour que sur chacune des roues il y ait permutation entre le cuivre et l'ébonite (cette rotation doit être, par exemple,