

mum quand on aura $E' = E - E'$, ou $E' = \frac{E}{2}$, ou enfin $n' = \frac{n}{2}$. — On voit donc que, dans ce cas, pour obtenir le plus grand rendement possible, on devra régler les machines-outils actionnées par la réceptrice, de manière que la vitesse de la réceptrice soit la moitié de celle de la génératrice. — La valeur du rendement sera alors $\rho = \frac{E'}{E} = \frac{n'}{n} = \frac{1}{2}$ (*).

900. Transmission de l'énergie électrique à grande distance, par courants alternatifs. — Transformateurs. — Lorsqu'on se propose de transmettre, à grande distance, l'énergie électrique développée dans une machine d'induction, actionnée par une force motrice disponible en un lieu déterminé, on est obligé d'employer, pour former le circuit, des fils métalliques dont la section ne soit pas trop considérable, afin que l'établissement de la ligne ne soit pas trop dispendieux. Il est aisé de voir que cette condition, d'après laquelle la résistance R de ces fils est déterminée, et d'autant plus grande que la distance est plus considérable, a pour conséquence la nécessité de choisir d'une manière particulière la machine qui produira le courant.

En effet, soient P la puissance mécanique, en watts, du moteur qui actionne la machine génératrice des courants, E la force électromotrice en volts, et i l'intensité en ampères : si l'on néglige les frottements qui interviennent dans le jeu de la machine, la puissance P , dépensée sur la machine génératrice,

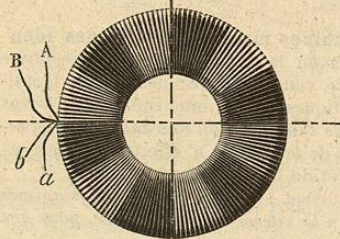


Fig. 668 et 669. — Transformateur.

est égale à l'énergie électrique développée par seconde : $P = Ei$. — Or, si l'on désigne par R la résistance du circuit en ohms, l'énergie électrique dissipée, par seconde, sous forme de chaleur, est Ri^2 . Pour que la transmission d'énergie soit avantageuse, il faut que cette perte ne soit qu'une petite fraction de P : la résistance R étant supposée très grande, il faut que l'intensité i soit très petite, et que, par suite, la force électromotrice E , ou $\frac{P}{i}$,

soit très grande. — Pour obtenir une transmission économique de l'énergie électrique, il faudra donc faire choix d'une machine qui, actionnée par un moteur de puissance donnée P , produise un courant de *très faible intensité* et de *très grande force électromotrice* ; c'est précisément là le caractère d'une machine dynamo-électrique à courants alternatifs (889).

Mais, d'autre part, de pareils courants ne seraient généralement pas utilisables, d'une manière avantageuse. Pour l'éclairage électrique, par exemple, il importe surtout d'obtenir des courants d'assez grande intensité. — On

(*) Ce résultat ne s'applique pas aux machines dynamo-électriques, dans lesquelles l'intensité du champ magnétique croît avec l'intensité du courant, en sorte que, pour une vitesse de rotation constante de la génératrice, la force électromotrice E n'est pas constante, et varie avec l'intensité du courant.

intercale alors dans le circuit, aux points où les courants doivent être utilisés, des appareils servant à les transformer en courants de force électromotrice beaucoup plus petite, mais d'intensité beaucoup plus grande. Ces appareils ont reçu le nom de *transformateurs*.

Un transformateur n'est autre chose qu'une bobine d'induction, dans laquelle, à l'inverse de ce qui a lieu dans la bobine de Ruhmkorff, le *fil inducteur est très fin et très long*, tandis que le *fil induit est gros et court*. Par exemple, sur un noyau formé par des fils annulaires de fer doux, isolés les uns des autres par un vernis, s'enroulent le fil inducteur AB et le fil induit ab (fig. 669), de manière qu'un secteur du fil inducteur alterne avec un secteur du fil induit. — La génératrice fournissant, dans le circuit inducteur, des courants alternatifs de grande force électromotrice et de faible intensité (20 000 volts et 25 ampères, par exemple), il se développe, dans le circuit induit, des courants alternatifs secondaires, de même fréquence, mais de force électromotrice beaucoup plus faible et d'intensité beaucoup plus grande (soit 100 volts et 500 ampères). — Ce sont ces courants secondaires qu'on utilise pour l'éclairage électrique, toutes les fois que les sources de lumière doivent être placées à une grande distance du point où la machine génératrice est installée.

901. Emploi de trois fils de ligne : courants triphasés. — Dans tout ce qui précède, nous avons supposé que l'énergie électrique des courants produits par les machines d'induction était transmise par deux fils de ligne, reliant les deux balais de la machine aux deux extrémités du circuit dans lequel on devait utiliser l'énergie du courant.

Dans le cas des machines magnéto-électriques ou dynamo-électriques, analogues aux machines de Gramme (fig. 656, 659), on peut employer *trois fils de ligne*, en faisant subir à la machine une modification qui a pour effet de supprimer les balais, ainsi que le collecteur.

Le fil induit est formé de trois hélices identiques, enroulées sur l'anneau dans le même sens : désignons ces hélices par s_1, s_2, s_3 . L'axe de rotation

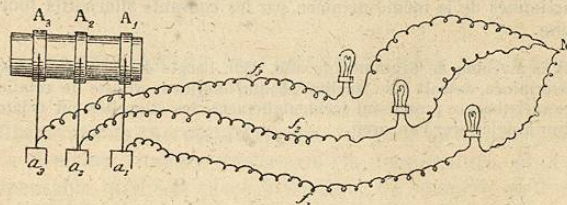


Fig. 670. — Courants triphasés.

porte trois viroles A_1, A_2, A_3 (fig. 670), isolées les unes des autres, et sur lesquelles appuient constamment les trois ressorts a_1, a_2, a_3 . Les deux extrémités du fil de la première hélice s_1 sont soudées respectivement aux viroles A_2 et A_3 ; celles de l'hélice s_2 , aux viroles A_3 et A_1 , et enfin, celles de l'hélice s_3 , aux viroles A_1 et A_2 . Quand on fait tourner l'anneau dans le champ de l'inducteur, la théorie montre que chacune des hélices est le siège d'une force électromotrice d'induction, qui est tantôt positive (dans le sens de l'enroulement), tantôt négative (en sens contraire de l'enroulement); elle passe périodiquement par les valeurs $0, +E, 0, -E, 0, +E$, etc. Mais, au même instant, les trois forces électromotrices e_1, e_2, e_3 , dans les trois hélices, sont

telles que l'on a : $e_1 + e_2 + e_3 = 0$; c'est-à-dire que l'une d'elles est toujours égale et contraire à la somme des deux autres. — Adaptons, aux trois ressorts a_1, a_2, a_3 , trois conducteurs identiques, f_1, f_2, f_3 , aboutissant au point M ; et mettons la machine en mouvement. — En appliquant le théorème de Kirchoff (806, *Remarque*), on trouve, pour les valeurs des intensités i_1, i_2, i_3 , des courants alternatifs qui passent dans les trois fils f_1, f_2, f_3 , au même instant :

$$i_1 = \frac{e_2 - e_3}{\rho + 3r}, \quad i_2 = \frac{e_3 - e_1}{\rho + 3r}, \quad i_3 = \frac{e_1 - e_2}{\rho + 3r},$$

en désignant par ρ la résistance de chacune des hélices, par r celle de chacun des conducteurs, et en ne tenant pas compte de l'accroissement de résistance produit par la self-induction.

Chacune des expressions $e_2 - e_3$, $e_3 - e_1$ et $e_1 - e_2$, alternativement positive et négative, varie périodiquement, mais, au même instant, chacune d'elles est égale et contraire à la somme des deux autres ; en effet, on a identiquement :

$$e_2 - e_3 + e_3 - e_1 + e_1 - e_2 = 0,$$

et par suite, en faisant la somme algébrique des intensités,

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0;$$

ce qui revient à dire que le courant, arrivant au point M par deux des fils, retourne à la machine par le troisième. — C'est la disposition qu'on désigne sous le nom de *courants triphasés*. Elle a l'avantage de se prêter, sans perte d'énergie par étincelles (*), aux variations de vitesse que peut éprouver la machine, si la puissance motrice qui l'actionne vient à subir elle-même quelques variations.

On peut, par exemple, installer des appareils d'éclairage électrique sur chacun des trois conducteurs f_1, f_2, f_3 , vers l'extrémité M ; ces trois appareils seront actionnés de la même manière, par les courants alternatifs fournis par la machine.

(*) Dans la machine de Gramme (*fig.* 636, 639), l'angle de calage, réglé pour une vitesse déterminée, devrait être modifié chaque fois que la vitesse de rotation varie. Quand ces variations se produisent accidentellement, les étincelles qui éclatent peuvent arriver à détériorer l'appareil.

LIVRE SIXIÈME

MÉTÉOROLOGIE

902. — La *météorologie* a pour objet l'étude des phénomènes qui s'accomplissent à la surface de notre globe et dans notre atmosphère.

Ces phénomènes sont généralement très complexes : il est parfois difficile de discerner le degré d'influence de chacune des causes qui les produisent. D'ailleurs, comme il est impossible de faire varier méthodiquement les conditions dans lesquelles ils s'accomplissent, le météorologiste doit se contenter de comparer le plus grand nombre possible d'*observations*, faites dans des circonstances diverses et telles que les lui offre la nature ; enfin, ces observations elles-mêmes présentent encore des lacunes, pour les points du globe sur lesquels on n'a que des données météorologiques incomplètes. C'est en raison de ces difficultés, que les progrès de la météorologie ont été beaucoup plus lents que ceux des autres parties de la science. — Nous nous bornerons à l'exposé des résultats qui présentent actuellement un caractère de certitude suffisante (*).

I. — RÉPARTITION DE LA TEMPÉRATURE A LA SURFACE DE LA TERRE.

903. *Observations thermométriques.* — Pour qu'un thermomètre, installé à demeure, indique réellement la température de l'air, il est indispensable qu'il soit placé à l'ombre, de manière qu'il ne reçoive pas directement les rayons du soleil. Il est nécessaire, en outre, de disposer des écrans autour de lui, afin de le garantir encore de la chaleur rayonnante qui pourrait lui être envoyée par le sol échauffé, par des murs frappés par le soleil, etc. — Quand ces précautions ne sont pas observées, il peut arriver que des thermomètres, placés à des expositions diverses, indiquent au même instant des températures très différentes (**).

(*) Pour la météorologie, la plupart des modifications par lesquelles nos dernières éditions diffèrent des précédentes sont dues à M. E. Nouel, qui a bien voulu mettre à notre disposition ses connaissances spéciales sur cette partie de la science.

(**) Pour déterminer, avec précision, la température de l'air à un instant déterminé,