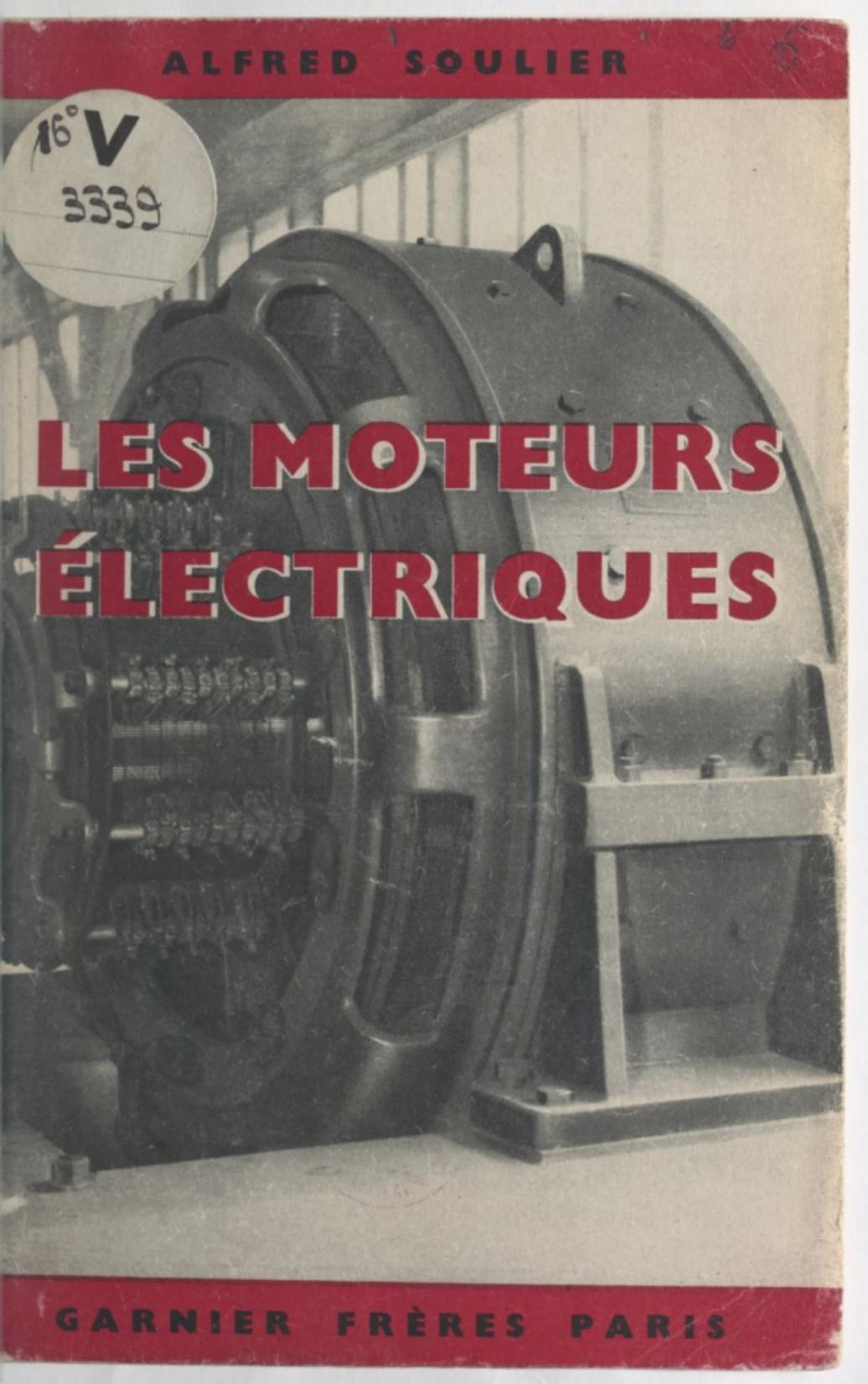


ALFRED SOULIER

16° V

3339



**LES MOTEURS
ÉLECTRIQUES**

GARNIER FRÈRES PARIS

LES MOTEURS ÉLECTRIQUES

160 V
3339

DL 28 7 1952 09344

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR :

Traité pratique d'électricité. — 154^e mille. — Sonneries, téléphones, éclairage, rayons X, T. S. F., dictionnaire des mots techniques. 1 vol. 18 cm × 12 cm, illustré, broché.

Les installations électriques (à basse et à haute tension). — 135^e mille. — Outillage. Appareillage. Installations sous moulures, sous tubes, sur taquets, etc. Installations à haute tension. Transformateurs. Mesures électriques. Données pratiques pour le calcul des fils, Calcul simple d'une installation de chauffage. 1 v. 19cm×14cm, illustré, broché.

Machines dynamos-électriques (Manuel de l'électricien). — 88^e mille. — Principe, construction des machines, installation, entretien, dérangements, alternateurs, etc., 1 vol. 18 cm × 12 cm, illustré, broché.

Recueil de plans de pose et schémas d'électricité industrielle. — 50^e mille. — Sonneries, téléphones, lumières, minuterie, dynamos et moteurs à courant continu, moteurs à courants alternatifs, commandes à distance par contacteurs, postes de transformation, commandes synchrones, etc., 1 vol, 22 cm × 17 cm, cartonné.

Le courant continu. — 50^e mille. — Le courant électrique, l'énergie atomique, les piles, les accumulateurs, les aimants, le circuit magnétique. 1 vol. 18 cm × 12 cm, illustré, broché.

Les courants alternatifs. — 46^e mille. — Notions fondamentales, calcul des appareils à courants alternatifs, courants alternatifs polyphasés. 1 vol. 18 cm × 12 cm, illustré, broché.

L'électricité sans algèbre, — 44^e mille. — Cours complet et pratique accessible à tout le monde. 1 vol. 18 cm × 12 cm, illustré, cartonné.

Les accumulateurs électriques. — 36^e mille. — Comment ils sont faits, comment on les recharge, comment on les entretient. 1 volume 18 cm × 12 cm, illustré, broché.

Traité de galvanoplastie. — 27^e mille. — Chromage, nickelage, cuivrage, argenture, dorure, reproduction des objets, moulages, recettes pratiques, etc., 1 vol. 18 cm × 12 cm, illustré, broché.

Manipulations d'électricité. — 11^e mille. — Recueil d'expériences faciles à réaliser concernant le courant continu et les courants alternatifs, etc., 1 vol. 18 cm × 12 cm, illustré, broché.

Formulaire pratique d'Électricité. — Recueil de données et de règles techniques concernant les installations électriques et les conditions d'utilisation du matériel électrique courant. 1 vol., 18 cm × 12 cm, illustré, cartonné.

L'Electricité dans l'industrie. — Production industrielle des courants électriques (Usines électriques), transmission et distribution de l'énergie électrique (Lignes de transmission à haute tension), applications industrielles de l'électricité (Moteurs électriques, traction électrique, électro-chimie, électrothermie). 1 vol., 19 cm × 14 cm, illustré, broché.

L'Electricité dans l'automobile. — 1 vol., 19 cm × 14 cm, illustré, broché (en préparation).

ALFRED SOULIER

Ingénieur-Électricien

Rédacteur en Chef de la Revue générale de l'Électricité

LES
MOTEURS
ÉLECTRIQUES

MOTEURS A COURANT CONTINU. — MONTAGE. —
ENTRETIEN. — MISE EN MARCHÉ. — MOTEURS A
COURANTS ALTERNATIFS. — BOBINAGE. — RÉPA-
RATION. — ADAPTATION DES MOTEURS ÉLECTRIQUES
AUX MACHINES-OUTILS. — TRACTION ÉLECTRIQUE. —
CALCUL DES COURANTS ABSORBÉS PAR LES MOTEURS

QUINZIÈME ÉDITION

entièrement refondue et augmentée d'un chapitre
sur la commande électronique des moteurs



PARIS

ÉDITIONS GARNIER FRÈRES

6, RUE DES SAINTS-PÈRES. 6

REVISED EDITION
OF
MOTORS
ELECTRICAL

BY
W. H. C. BAKER
Author of "The Principles of Electricity"
and "The Principles of Magnetism"
LONDON
LONGMANS, GREEN & CO., LTD.
1914



PRINTED AND BOUND BY
RICHARD CLAY AND COMPANY, LTD.,
BUNGAY, SUFFOLK

PRÉFACE

Le moteur électrique a eu dans l'industrie des débuts plutôt difficiles. Avant la découverte du principe de la réversibilité des machines dynamo-électriques, Froment avait imaginé un premier moteur formé d'une série de palettes de fer doux que des électro-aimants faisaient tourner en les attirant, mais cette machine n'avait qu'une puissance insignifiante et un mauvais rendement, ce qui fit dire à des savants de l'époque que le moteur électrique ne serait jamais pratique.

Que de pas ont été faits depuis cette époque ! C'est d'abord l'utilisation de la dynamo à courant continu comme moteur, ainsi qu'on le vit dans les premières expositions, puis l'apparition des courants polyphasés, et enfin le retour au moteur série, désigné sous le nom de « moteur universel », employé aujourd'hui pour actionner un grand nombre d'appareils électrodomestiques ainsi qu'en traction électrique.

A côté de ces importantes utilisations, il est d'autres cas où le moteur électrique a été appelé à jouer un rôle important, en particulier dans

la transformation de l'atelier moderne. Aujourd'hui, nous voyons disparaître peu à peu les transmissions mécaniques par courroies, lourdes et encombrantes; par deux ou trois câbles à peine visibles, l'énergie électrique se faufile partout, jusque dans la chambre de l'ouvrier, apportant, en même temps qu'une force motrice souple et régulière, une lumière belle et hygiénique. Peu à peu, le moteur électrique s'est introduit dans nos villes et nos campagnes; c'est lui qui est l'âme de notre industrie.

Devant un tel essor, il n'était pas sans intérêt de rassembler en quelques pages ce qui concerne ce précieux auxiliaire qu'est le moteur électrique; c'est ce que nous avons cherché à faire en suivant toujours notre programme habituel qui est de donner des renseignements essentiellement pratiques et de faire toucher du doigt les points importants de ces nouvelles questions. Examinant d'abord le fonctionnement des moteurs à courant continu, nous avons passé en revue les divers modes de montage, donnant en même temps que les schémas corrects ceux qui occasionnent des accidents, afin de prévenir le débutant.

Passant aux moteurs à courants alternatifs dont l'usage se répand de plus en plus, nous avons cherché à en expliquer la marche sans calculs, tout en indiquant leurs avantages et leurs inconvénients.

Enfin, les principales applications de ces divers moteurs ont également été envisagées; puissent-elles montrer à nos lecteurs que ce court aperçu aura intéressé tous les avantages qu'ils pourront retirer du moteur électrique.

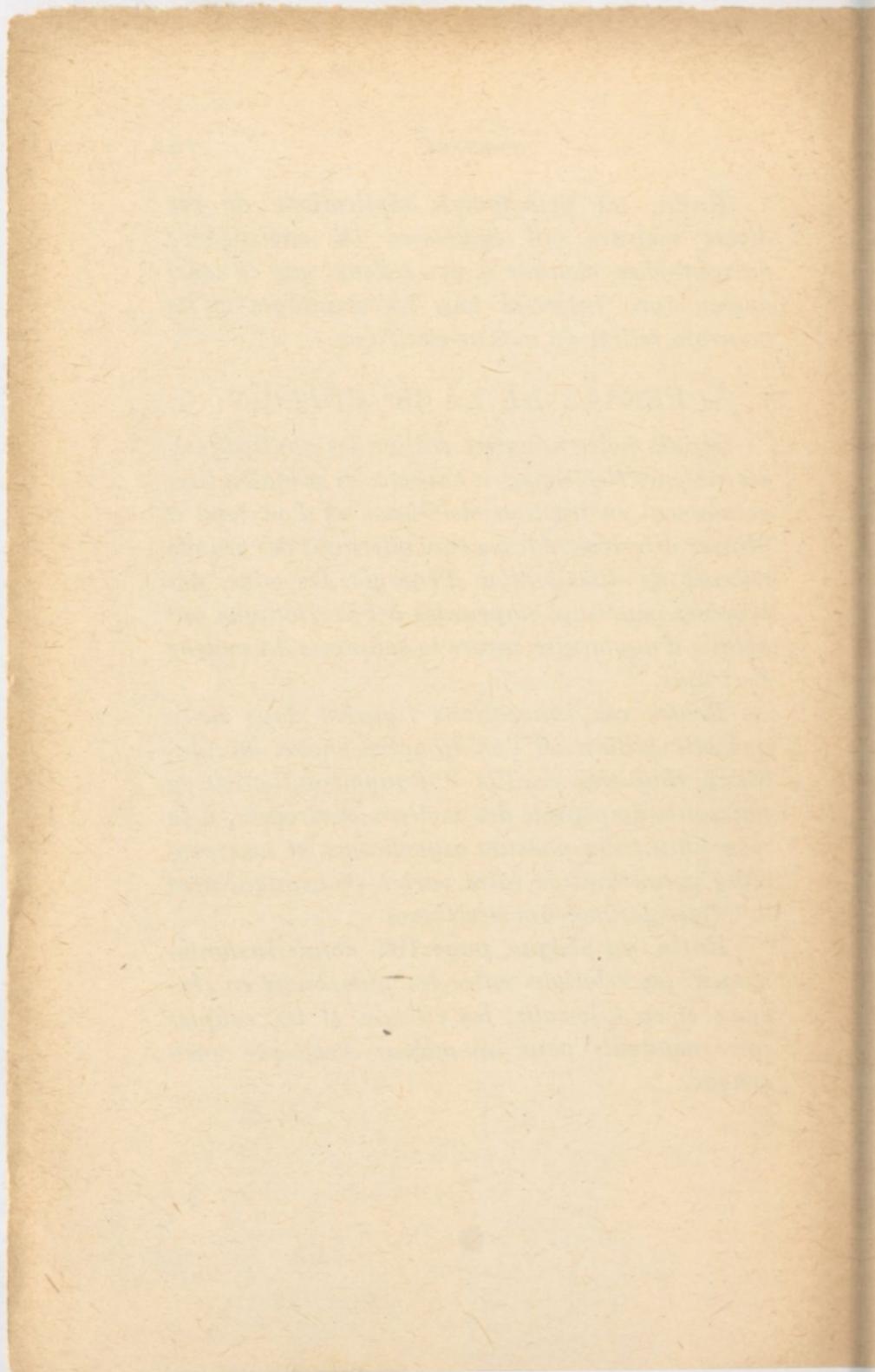
PRÉFACE DE LA 15^e ÉDITION

Depuis notre première édition les applications des moteurs électriques n'ont cessé de se multiplier, notamment en traction électrique où l'on tend à utiliser directement le courant alternatif des grands réseaux de distribution d'énergie. De plus, des procédés nouveaux empruntés à l'électronique ont permis d'augmenter encore la souplesse du moteur électrique.

Toutes ces innovations figurent dans notre nouvelle édition où l'on trouvera encore de nouveaux chapitres relatifs à l'augmentation de la puissance disponible des moteurs électriques, à la réversibilité des moteurs asynchrones et aux procédés permettant de faire varier économiquement la vitesse des moteurs électriques.

Enfin, un abaque, page 192, donne instantanément les relations entre les puissances en chevaux et en kilowatts, les vitesses et les couples correspondants pour un moteur électrique quelconque.

A. S.



LES MOTEURS ÉLECTRIQUES

PREMIÈRE PARTIE

MOTEURS A COURANT CONTINU

CHAPITRE PREMIER

RÉVERSIBILITÉ

DES MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES

Principe. — Depuis longtemps, on a constaté que si l'on relie par des fils conducteurs les balais de deux machines magnéto-électriques à courant continu, à anneau de Gramme, par exemple, il suffit de faire tourner un des induits, soit à la main, soit par une courroie, pour voir l'induit de l'autre machine se mettre en mouvement.

Cette expérience a été le point de départ de l'emploi des machines électriques comme moteurs, soit qu'on veuille utiliser l'énergie électrique transmise de très loin par de simples fils conducteurs, soit pour remplacer dans une usine les transmissions par courroie reconnues universellement aujourd'hui comme défectueuses à beaucoup de points de vue.

Le phénomène qui se passe quand on envoie du courant continu dans l'induit d'une machine magné-

to-électrique peut s'expliquer de plusieurs façons, comme on va le voir :

1° On sait qu'une aiguille aimantée, librement suspendue, se met en croix avec un courant passant dans le voisinage, et, inversement, une bobine mobile parcourue par un courant s'oriente en présence d'un aimant d'une façon analogue.

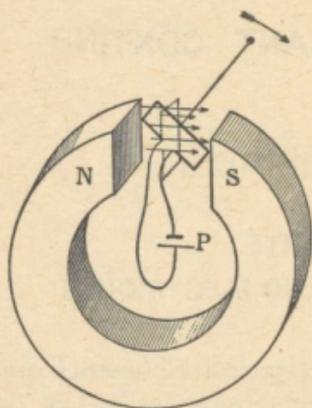


FIG. 1.
Principe des moteurs.

Cette propriété a été utilisée dans les ampèremètres et voltmètres à cadre mobile, très répandus aujourd'hui, de la façon suivante :

Entre les pôles d'un aimant NS (fig. 1) dont les lignes de force vont du pôle N au pôle S en suivant les flèches de la figure, on dispose un cadre mobile formé d'une ou plusieurs spires de fil isolé que l'on relie à une pile ou à une

source quelconque de courant continu.

Si la bobine est suffisamment mobile, montée sur pivots par exemple, elle se déplace aussitôt de façon à embrasser le plus possible de lignes de force.

Cette déviation est mise à profit dans les appareils de mesure pour indiquer sur un cadran la valeur du courant qui traverse la bobine ; mais, dans ce cas, le cadre entraîne des ressorts antagonistes, en sorte qu'il s'établit vite un équilibre entre l'effort dû au courant et celui dû aux ressorts.

On conçoit très bien que sans ces ressorts la bobine

continuerait son chemin et tendrait à se mettre dans la position indiquée en pointillé. Si, à ce moment, on dispose une autre bobine traversée par le courant et placée dans la position qu'occupait la première bobine au début de l'expérience, elle va tendre à tourner, elle aussi, d'un quart de tour, et si on admet que ces deux bobines sont solidaires et munies d'un dispositif qui leur communique successivement le

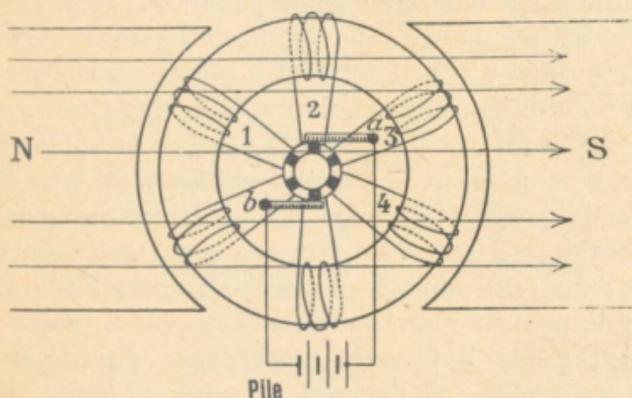


FIG. 2. — Moteur à courant continu à anneau Gramme.

courant, on aura une rotation continue, d'autant plus régulière qu'il y en aura un plus grand nombre.

2^o Considérons un anneau Gramme disposé entre les pièces polaires d'un aimant ou d'un électro-aimant NS (fig. 2).

L'anneau étant au repos, relierons ses balais *a*, *b* à une source de courant continu : pile, machine ou réseau, et examinons ce qui va se passer.

La bobine 1, par exemple, qui est en partie traversée par le flux magnétique de l'aimant dont les lignes de force vont de N vers S, recevant le courant

fourni par la pile, par l'intermédiaire du collecteur, aura une tendance à se redresser, en particulier si le flux que produit le courant au centre de cette bobine concorde avec le flux de l'aimant NS.

Une des lois fondamentales de l'induction dit, en effet, que lorsque deux champs magnétiques sont en présence, les organes qui les produisent tendent à s'orienter de façon à ce que le champ magnétique résultant soit aussi grand que possible¹.

Toutes les bobines de l'anneau Gramme seront donc le siège d'efforts tendant à rendre maximum le flux à l'intérieur de ces bobines, la bobine 1 sera, par exemple, sollicitée à prendre la place de la bobine 2 ; mais, à ce moment, le courant changera de sens par suite du passage du balai sur les lames correspondantes du collecteur. Le flux changera également de sens dans cette bobine, ce qui l'entraînera à tourner jusqu'à présenter sa face arrière au pôle S, position pour laquelle il y aura concordance du nouveau flux avec celui de l'aimant, et ainsi de suite. En tournant, toutes les bobines occuperont successivement les positions de la bobine 1, les effets s'ajouteront et l'anneau Gramme tournera d'une façon continue.

3^o On peut, enfin, expliquer encore ce phénomène d'une façon plus claire encore (fig. 3) :

Soit un conducteur formé d'une barre A en cuivre rouge, disposé à la surface d'un cylindre de fer doux tournant (dans le sens de la flèche courbe) dans un champ magnétique, problème que nous avons envi-

1. A. SOULIER, *L'Électricité sans algèbre*, p. 191. Garnier frères, éditeurs.

sagé dans l'étude des machines dynamo-électriques ¹. Si ce conducteur est entraîné dans le sens de la flèche courbe, il coupe les lignes de force allant de N vers S, et nous savons en appliquant la règle des trois doigts qu'il sera le siège d'une force électromotrice déterminant un courant allant d'avant en arrière : il suffit, en effet, de mettre le pouce de la main droite dans le sens du déplacement, (en étendant le bras droit), l'index dans le sens des lignes de force, pour

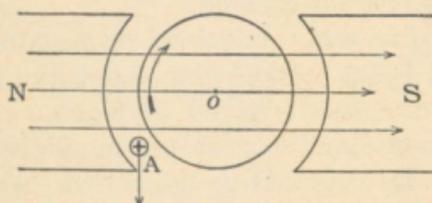


FIG. 3. — Conducteur parcouru par un courant et soumis à un champ magnétique.

voir tout de suite le troisième doigt, ou médium, indiquer un courant allant de l'observateur vers le papier. Ce courant n'est obtenu qu'au prix d'un certain *effort* employé à couper les lignes de force. Par conséquent, on peut dire que l'effort mécanique qu'il faut faire pour maintenir le conducteur en mouvement dans le sens indiqué par la flèche courbe est destiné à vaincre la résistance offerte par les lignes de force que ce conducteur doit couper. Cet effort résistant s'exerce en sens inverse de la rotation, représentons-le par une flèche fixée en A.

Supposons que l'on maintienne le courant dans le

1. Voir le *Manuel de l'Électricien*, par A. SOULIER, librairie Garnier frères, p. 36.

conducteur A, en l'empruntant à une pile ou à toute autre source à courant continu, et diminuons peu à peu l'effort mécanique que nous exerçons pour faire tourner le cylindre dans le sens de la flèche courbe, la force appliquée en A l'emportera puisque nous maintenons le courant dans le conducteur, ce qui lui permet de continuer à subir l'action des lignes de force du champ magnétique, et le conducteur sera entraîné en sens inverse. C'est là toute la théorie du moteur électrique à courant continu.

Au lieu d'un seul conducteur, nous en disposerons plusieurs et l'effet produit sera augmenté ; pour cela, nous pourrions nous arranger de façon à ce que les conducteurs passant sous un même pôle soient parcourus par des courants de même sens, d'arrière en avant sous le pôle N, et d'avant en arrière sous le pôle S.

Pour arriver à ce résultat, il suffit de prendre un enroulement en anneau ou en tambour avec un collecteur et une paire de balais, ainsi qu'il est facile de le voir (fig. 4).

Force contre-électromotrice. — Laissons tourner notre anneau Gramme sous l'action de la pile ou de l'accumulateur qui lui fournit le courant et examinons ce qui se passe lorsque nous intercalerons un ampèremètre dans le circuit. Disposons également un voltmètre entre les balais de notre machine fonctionnant comme moteur (fig. 4).

Au moment précis où nous établissons le courant en agissant sur l'interrupteur I, nous verrons l'aiguille de l'ampèremètre dévier brusquement et marquer un chiffre d'ampères élevé.

Si nous observons en même temps l'aiguille du voltmètre, nous ne la verrons pas bouger tant que l'induit ne se sera pas mis en mouvement.

A mesure que l'induit tournera, on verra la déviation de l'ampèremètre diminuer peu à peu, tandis que celle du voltmètre ira en augmentant.

Enfin, quand notre machine tournera à pleine

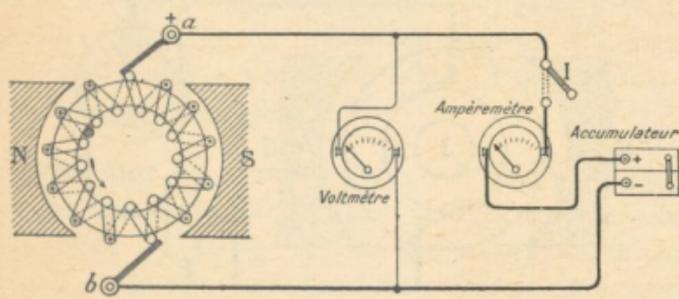


FIG. 4. — Expérience montrant la présence de la force contre-électromotrice.

vitesse, c'est à peine si l'ampèremètre marquera, tandis que le voltmètre déviara au maximum.

Que se passe-t-il et que signifient les indications des deux appareils de mesure ?

Tant que l'induit est au repos, le courant de l'accumulateur passe librement, car il n'a à vaincre que la résistance très faible de l'ampèremètre et des fils de l'induit; il circule alors une intensité de courant élevée.

Sous l'effet du courant circulant dans l'anneau, courant qui réagit, comme nous l'avons vu, sur le champ NS de l'inducteur, l'induit se met en mouvement et tourne dans le champ magnétique. Mais dès l'instant qu'il tourne, quelle que soit la cause qui le met en mouvement, il va se développer dans l'enroulement

une force électromotrice ; c'est le principe même de la production du courant dans les dynamos. En appliquant la règle des trois doigts, il est facile de voir que ce courant est de sens inverse de celui qui produit la rotation, d'où le nom de *force contre-électromotrice* à la cause qui lui a donné naissance. Voilà pourquoi, à mesure que la vitesse de la machine s'accroît, on voit

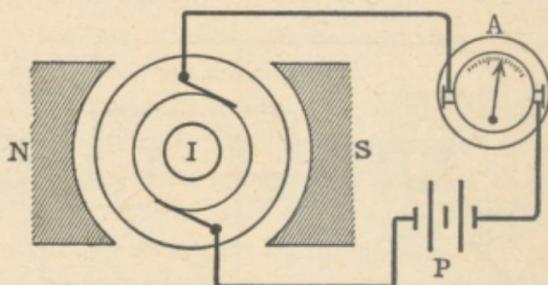


FIG. 5. — Machine à courant continu fonctionnant en moteur.

les indications du voltmètre augmenter peu à peu ; cet appareil nous indique la présence de la force contre-électromotrice que le raisonnement nous avait fait trouver.

Les indications de l'ampèremètre diminuent pour la même raison ; on peut dire qu'au courant de démarrage se superpose un autre courant de sens inverse provoqué par la rotation et qui a une tendance à annuler le premier.

On constate ainsi qu'à vide, c'est-à-dire sans charge, c'est à peine si le moteur laisse passer quelques ampères, tandis que si on fait frein sur la poulie, on voit aussitôt cette consommation augmenter. Cela tient à ce que, par le freinage, on diminue la vitesse de l'induit, la force contre-électromotrice

faiblit aussi, et le courant de la source, n'étant plus contre-balancé, circule avec une intensité plus grande¹.

Il en résulte que si on arrivait à caler le moteur et si on l'empêchait de tourner, il recevrait tout le courant de la source et s'échaufferait dangereusement. C'est ce qui pourrait se produire à la mise en marche, lorsque l'induit est au repos ; aussi, pour éviter un accident de ce genre, prévoit-on pour les moteurs un peu puissants (à partir de 500 à 1 000 watts) un rhéostat de démarrage.

Rhéostat de démarrage. — Prenons un moteur de 30 chevaux, fonctionnant à 110 volts. Si nous mesurons au repos la résistance de l'induit entre balais, nous trouvons dans les environs de *deux centièmes* d'ohm (0,02), par conséquent, si sur cet induit au repos nous appliquons les 110 volts de la canalisation sans précaution, il passera, en vertu de la loi d'Ohm, un courant $I = \frac{E}{R} = \frac{0,02}{110} = 5\,500$ ampères.

Ce courant énorme ne pouvant être supporté par les fils, le moteur pourra arriver à brûler, si toutefois la canalisation peut elle-même fournir cette intensité.

1. La présence de la force contre-électromotrice se décèle facilement dans l'expérience précédente en interrompant en I (fig. 4) le courant d'alimentation, une fois l'induit en pleine vitesse. On voit à ce moment le voltmètre marquer quoique le circuit de la source soit interrompu en I, il est alors évident que ses indications sont fournies par le déplacement de l'induit, du reste l'aiguille du voltmètre revient au zéro sitôt que l'induit est arrêté.

Pour diminuer cet afflux de courant, tant que le moteur est au repos, on intercale dans le circuit une *résistance* ou *rhéostat* que l'on appelle rhéostat de démarrage destiné, comme son nom l'indique, à être retiré du circuit lorsque le moteur a pris sa vitesse. La figure 6 montre comment on dispose ce rhéostat dans le circuit dans le cas le plus simple : celui d'un

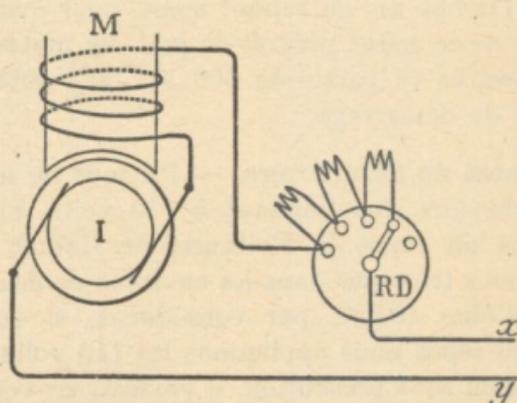


FIG. 6. — Démarrage d'un moteur-série.

moteur à excitation série ; nous verrons plus loin comment on procède avec des moteurs excités en dérivation.

Ainsi donc, en admettant le courant sur un moteur électrique à travers une résistance de démarrage, on voit peu à peu l'induit se mettre en mouvement, puis à mesure que la vitesse augmente on arrive, par la manœuvre de la manette du rhéostat, à diminuer progressivement cette résistance.

Lorsque le moteur a atteint sa vitesse, on peut supprimer complètement le rhéostat. En effet, à ce moment, la vitesse est telle que la force contre-élec-

tromotrice que développe le moteur en tournant est presque égale à la tension de la source. Nous disons presque égale, parce qu'elle n'arrive jamais à être égale ou supérieure, et cela se comprend, car dans ce dernier cas le moteur fournirait du courant, ce qui serait contraire au principe de la conservation de l'énergie. Nous avons vu qu'il circule à vide un courant faible qui sert simplement à entretenir la rotation, à vaincre la résistance de l'air et le frottement des balais. Si on charge le moteur, il ralentit ; sa force contre-électromotrice diminue et il circule un courant dû à la différence entre la tension de la source E et la force contre-électromotrice e du moteur.

L'intensité I de ce courant peut s'écrire : $I = \frac{E - e}{R}$,
 R étant la résistance de l'induit.

Ce courant qui circule dans l'induit crée l'effort qui s'exerce entre chaque spire et le champ inducteur, c'est lui qui donne le *couple* moteur ; grâce à lui la machine arrive à surmonter la charge qu'on lui applique.

Prenons le cas du moteur précédent, dont la résistance était entre balais de 0,02 ohm ; supposons que par suite de la charge la vitesse diminue et passe de 900 tours par minute à 891 tours par minute, soit de 1 pour 100, la force contre-électromotrice diminuera dans le même rapport, et de 110 volts passera à 109 volts ; il en résulte que le moteur absorbera un courant.

$$I = \frac{110 - 109}{0,02} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ ampères.}$$

Ces 50 ampères multipliés par 110 volts représentent une puissance $P = EI = 110 \times 50 = 5\,500$ watts.

Or, comme 736 watts correspondent à une puissance de 1 cheval-vapeur, la puissance absorbée par le moteur sera de $P = \frac{5\,500}{736} = 7,4$ chevaux

Si on supprime la charge, la vitesse redevient ce qu'elle était auparavant, la force contre-électromotrice reprend sa valeur voisine de 110 volts et le courant absorbé tend vers zéro, la consommation étant alors nulle ou à peu près.

Ainsi donc, le moteur électrique est le moteur idéal qui règle automatiquement sa consommation suivant l'effort mécanique qu'on lui demande. Alors que dans les turbines, les machines à vapeur, les moteurs à gaz on est obligé de prévoir un régulateur de vitesse, dans le moteur électrique, aucun organe compliqué, pas de dépense à vide ou presque, sans parler de la facilité de mise en marche et d'arrêt par la seule manœuvre d'une poignée ; c'est là, on le comprend, ce qui a fait le grand succès du moteur électrique.

1. Voir dans le *Formulaire Pratique d'Électricité*, par A. SOULIER (Garnier frères, éditeurs), le calcul d'un rhéostat de démarrage, p. 230.

CHAPITRE II

LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES D'EXCITATION DES MOTEURS A COURANT CONTINU

Comme dans les dynamos, génératrices, les inducteurs des moteurs à courant continu peuvent recevoir trois sortes d'enroulements :

- 1° Un enroulement en série ;
- 2° Un enroulement en dérivation ;
- 3° Un enroulement compound ou composé.

1° **Moteurs-série.** — Dans le moteur-série, comme son nom l'indique, l'enroulement inducteur est *en série* ou en tension avec l'induit ; de cette façon, il est traversé par *tout* le courant de l'induit.

Très employé dans les tramways électriques, chemins de fer électriques, les appareils ménagers, etc., le moteur-série possède des avantages et des inconvénients que nous allons examiner.

Avantages. — Ainsi qu'on le voit au seul aspect de la figure 6, l'enroulement inducteur étant traversé par le courant total de l'induit, l'excitation ou l'aimantation sera d'autant plus énergique que ce courant sera plus intense.

Il en résulte que l'effort exercé par l'induit au

moment du démarrage pourra être considérable, et cela se conçoit, puisque en somme l'électro-aimant inducteur et l'enroulement induit peuvent être assimilés à deux électro-aimants en présence, traversés par le même courant. Augmentons ce courant, et l'effort augmentera bien plus rapidement que le courant lui-même, puisque cet effort sera le résultat de l'attraction produite par l'inducteur sur l'induit augmenté de l'attraction de l'induit sur l'inducteur, chacun de ces enroulements étant considéré comme s'il était seul¹.

C'est cette remarquable propriété qui a fait le succès de la traction électrique ; en installant un moteur-série sur une voiture, on constate que si on double le courant qui l'alimente l'effort devient *quadruple* ; si on triple le courant, l'effort devient 9 fois plus grand, et ainsi de suite. Dans ces conditions, le moteur peut donner des coups de collier excessivement énergiques qui permettent au véhicule d'aborder des rampes très fortes à des vitesses relativement grandes, mieux que ne le ferait aucun autre système de traction.

Un autre avantage du moteur-série est d'être moins coûteux que les autres, l'enroulement à gros fil étant moins cher à poids égal qu'un enroulement à fil fin ; pour cette raison aussi, il est plus robuste ; enfin, il peut vaincre des surcharges considérables sans danger, si l'effort exceptionnel qu'on lui demande est de courte durée.

1. On résume la chose en disant que dans le moteur-série le couple est proportionnel au *carré* du courant, mais cette propriété n'est applicable qu'autant que le fer n'est pas saturé de lignes de force magnétiques.

Inconvénients. — A vide, le moteur-série *s'emball*e, et la raison en est simple si l'on veut bien se reporter à ce que nous avons dit au sujet de la force contre-électromotrice. Admettons que nous alimentions par une canalisation à tension constante de 110 volts un moteur-série dont la poulie ne portera pas de courroie ou n'actionnera aucun organe, que va-t-il se passer ?

Tout d'abord, le moteur démarrera très rapidement, et si nous intercalons un ampèremètre dans le circuit, on verra l'intensité, grande au début, diminuer bien vite par suite de ce que l'induit tournant dans le champ magnétique fourni par les inducteurs développe une force contre-électromotrice qui croît avec la vitesse.

Mais si le courant diminue, l'excitation de l'inducteur diminue aussi, puisque cet enroulement est traversé par le courant de l'induit ; le champ magnétique étant affaibli, l'induit doit tourner plus vite pour produire la même force contre-électromotrice.

Comme le moteur n'entraîne aucune charge, le courant qu'il absorbe est très faible et le champ magnétique de ses inducteurs aussi, il en résulte qu'il doit tourner à vide à une vitesse considérable pour que sa force contre-électromotrice arrive à contre-balancer la force électromotrice du réseau, il pourra arriver que cette vitesse soit telle que l'induit *éclate* sous l'effet de la force centrifuge ; on évitera donc de laisser marcher à vide des moteurs-série, en ne les employant que sur des tramways électriques ou pour conduire des ventilateurs qui réclament un effort croissant avec la vitesse et qui éviteront tout emballement.

Au contraire, lorsque l'on charge un moteur-série, sa vitesse diminue rapidement, sa force contre-élec-

tromotrice aussi, au point qu'elle ne contre-balance plus la force électromotrice du réseau ; il en résulte qu'un courant plus intense circule dans les enroulements, venant augmenter automatiquement l'effort que le moteur doit fournir.

Si donc l'on se sert d'un moteur-série pour actionner une grue électrique, on constatera que les objets légers seront enlevés rapidement, tandis que l'allure

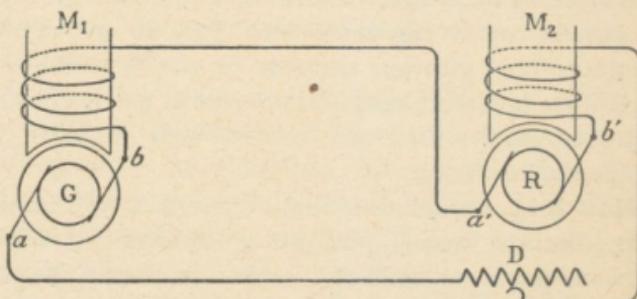


FIG. 7. — Transmission d'énergie par machines-série à courant continu.

sera plus lente pour les lourds fardeaux ; le moteur-série remplace la vitesse par un effort plus grand, réalisant ainsi un merveilleux changement automatique de vitesse.

Si l'on désire obtenir une vitesse constante du moteur-série pour différentes charges, on est conduit à employer un rhéostat (fig. 6) analogue, en somme, à un rhéostat de démarrage, et dont on fait varier la position du curseur suivant la vitesse à obtenir. Mais ce système, qui conduit à dépenser de l'énergie en pure perte dans les résistances, peut être remplacé par le suivant qui constitue, en somme, un système de transmission de force motrice.

Alimentons le moteur série R par une dynamo G également à excitation également série (fig. 7) ; supposons, par exemple, que cette dynamo-là soit mise en mouvement par une turbine. Cette dernière machine étant en marche, démarrons le moteur R en intercalant une résistance D, pour éviter un à-coup ; nous la supprimerons ensuite progressivement.

Si les machines sont identiques, elles tourneront à la même vitesse ; en effet, à faible charge, le moteur R n'absorbe que peu de courant, mais comme ce courant traverse les inducteurs de la dynamo génératrice, il ne donnera lieu qu'à une faible force électromotrice.

Au contraire, si nous chargeons le moteur R, il demandera un courant plus intense, ce qui aura pour effet de renforcer la force électromotrice produite par la génératrice et de maintenir la vitesse du moteur R qui tendrait à diminuer sous l'effet de la charge.

La transmission de l'énergie par moteurs-série est, on le voit, le système le plus simple que l'on puisse imaginer ; entièrement auto-régulateur, il ne demande pas d'appareils compliqués et peut être confié à un personnel peu expérimenté.

On a utilisé la distribution par moteurs-série en Suisse et dans les Alpes, où ce système a porté le nom de son inventeur, M. Thury. Des chutes d'eau de plusieurs milliers de chevaux ont pu être ainsi utilisées, le seul inconvénient de ce procédé est de nécessiter des collecteurs, aussi bien pour les moteurs que sur les génératrices ; or, ces organes ne peuvent pratiquement supporter des tensions de plus de 1 000 à 1 500 volts ; pour produire ou utiliser des tensions élevées, on a été conduit à employer plusieurs machines en

serie, ce qui complique un peu l'installation et augmente l'entretien ; néanmoins, ce système a fonctionné jusqu'ici d'une façon très satisfaisante.

2^o Moteurs en dérivation. — Ces moteurs ne sont autres que des dynamos à excitation en dérivation ou shunt, c'est-à-dire des machines dont les inducteurs sont alimentés par une dérivation prise sur les balais. Le courant que reçoit un tel moteur se divise en deux parties : l'une d'elles, très petite, alimente les électro-aimants inducteurs, l'autre circule dans l'induit.

Le champ magnétique que fournissent les inducteurs est toujours le même, puisqu'il est obtenu par un courant, constant puisé directement sur le réseau ; il n'est donc plus sous la dépendance du courant de l'induit. Il en résulte que la vitesse du moteur excité en dérivation et alimenté sous tension constante est également sensiblement constante. Il prend, en effet, une vitesse telle que la force contre-électromotrice contre-balance la tension du réseau, et comme le champ ne varie pas, la vitesse ne varie pas non plus. Ce moteur ne peut pas s'emballer tant que le champ inducteur existe, car ce dernier maintient la force contre-électromotrice à une valeur toujours la même, comme si l'on avait affaire à un aimant permanent. A vide, par exemple, la vitesse est telle que l'induit développe, grâce au champ magnétique constant qui l'entoure, une force contre-électromotrice presque égale à celle du réseau.

Si on fait varier le champ inducteur, si on le diminue, par exemple, en intercalant un rhéostat, on voit qu'il faudra que le moteur tourne plus vite pour obtenir

la même force contre-électromotrice ; il y aura donc là un moyen de faire varier la vitesse, mais il ne faudrait pas aller trop loin dans cette voie, car le champ inducteur diminuant, la réaction produite sur les inducteurs par le courant qui circule dans l'induit pourrait devenir très importante et la ligne neutre se déplacerait, ce qui provoquerait des étincelles aux balais.

Avantages. — Ce qui fait rechercher¹ surtout le moteur en dérivation pour beaucoup d'applications, c'est sa vitesse pratiquement constante lorsqu'il est alimenté sous tension constante. Ainsi, par exemple, pour actionner des machines-outils, telles que des fraiseuses, perceuses, etc., dont la vitesse ne doit pas diminuer, si l'effort demandé augmente, on emploiera le moteur en dérivation, de même pour actionner une scie à ruban, et aussi pour toutes les machines de précision.

Le démarrage seul demande certaines précautions ; on ne peut plus, en effet, intercaler purement et simplement un rhéostat comme dans le cas du moteur-série ; si on procédait ainsi, on aurait un mauvais démarrage. En effet, pour provoquer un effort énergétique, il faut que l'attraction de l'induit par les inducteurs soit aussi grande que possible ; on devra donc exciter en plein les inducteurs, et pour cela les brancher *avant* le rhéostat (en K, fig. 8), ce dernier sera intercalé dans l'induit seulement pour le protéger contre un afflux de courant trop considérable.

Inconvénients. — L'enroulement à fil fin du moteur shunt réclame un isolement plus grand que celui du moteur-série ; il est plus facilement vulnérable et coûte plus cher à poids égal. Le couple au démarrage

dans un moteur shunt est moins élevé à courant égal que dans un moteur-série, car dans le moteur shunt le champ inducteur est constant ; seul, le courant de l'induit peut être augmenté. Il en résulte que l'on pourra avoir dans l'induit un courant plus grand que dans un moteur-série exerçant le même effort, car dans ce dernier moteur l'accroissement de courant se

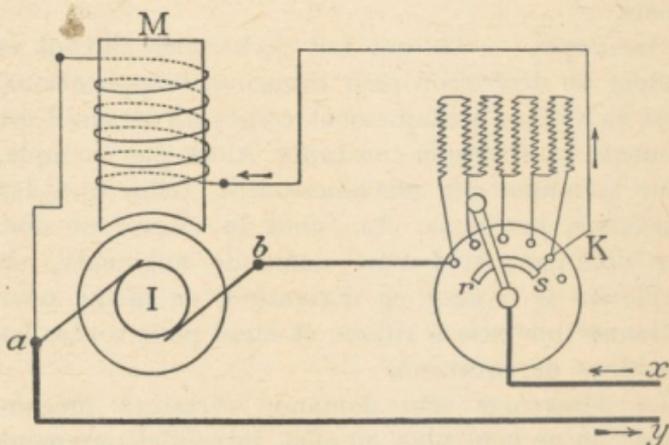


FIG. 8. — Montage d'un rhéostat de démarrage.

fait sentir aussi sur le champ inducteur, ce qui augmente le couple pour la même intensité de courant.

Ainsi, par exemple, un moteur-série dont le champ magnétique inducteur sera le même que celui d'un moteur shunt pour un courant de 30 ampères dans l'induit, exercera un effort plus grand que ce même moteur shunt si le courant devient de 60 ampères, car dans ce cas les 60 ampères circulent aussi dans le bobinage inducteur et contribuent à renforcer le champ, tandis que ce dernier reste constant dans le cas du moteur shunt.

Nous verrons plus loin, à propos des rhéostats de démarrage, que le moteur-série démarre avec un simple rhéostat intercalé dans le trajet, de l'un quelconque des deux fils qui l'alimentent, tandis que le moteur shunt exige que l'on ramène un fil spécial pour l'excitation qui doit être prise *avant* le rhéostat.

Malgré ces ennuis, le moteur shunt est très en faveur pour la commande électrique des machines-outils ; on l'a même employé pour la traction à la place du moteur-série, quoique démarrant moins facilement que ce dernier. Le moteur shunt permet de faire automatiquement de la *récupération* ; ainsi, lorsqu'un tramway équipé avec un moteur shunt descend une pente, sa vitesse s'accélère et le moteur tournant toujours plus vite dans le champ magnétique constant de ses inducteurs est le siège d'une force contre-électromotrice *plus grande* que la force électromotrice du réseau ; il devient alors générateur et fournit du courant à la ligne, en faisant frein sur la voiture ; ce phénomène se produit automatiquement, sans que le conducteur n'ait à toucher à rien ; il suffit simplement que la vitesse dépasse celle du régime habituel.

3° Moteur compound. — L'excitation appelée compound (d'un mot anglais, qui veut dire composé) est en somme la combinaison d'une excitation série et d'une excitation en dérivation.

Si les liaisons des bobines inductrices d'un moteur ainsi constitué sont telles que le champ magnétique qu'elles produisent, chacune prise séparément, s'ajoutant, on obtient un moteur qui a les avantages du moteur-série sans en avoir les inconvénients.

Moteurs à courant alternatif.....	250
Réglementation des moteurs électriques....	251
Démarrage des gros moteurs triphasés.....	252
Freinage des moteurs triphasés.....	253
CHAPITRE VI. — Comment faire varier la	
vitesse des moteurs électriques.....	255
Moteurs à courant continu.....	255
Moteurs à courants alternatifs.....	256
CHAPITRE VII. — Commande électronique	
des moteurs.....	259
Fonctionnement des tubes redresseurs....	260
Effet de grillé.....	262
Commande par thyratrons.....	263
Utilisation des deux alternances du courant	266
Emploi de thyratrons.....	269
Organisation d'une commande électronique de moteurs électriques.....	271
CHAPITRE VIII. — Progrès dans l'augmen-	
tation de la puissance disponible des	
moteurs.....	275
Enroulements à la soie de verre imprégnée de vernis aux silicones.....	276
Élévation de la température admissible dans les enroulements.....	276
CHAPITRE IX. — Réversibilité des moteurs	
asynchrones.....	278
Fonctionnement.....	279
Applications.....	280
<i>Abaque donnant les relations entre les puis-</i> <i>sances, les couples et les vitesses d'un</i> <i>moteur quelconque.....</i>	<i>192</i>



Participant d'une démarche de transmission de fictions ou de savoirs rendus difficiles d'accès par le temps, cette édition numérique redonne vie à une œuvre existant jusqu'alors uniquement sur un support imprimé, conformément à la loi n° 2012-287 du 1^{er} mars 2012 relative à l'exploitation des Livres Indisponibles du XX^e siècle.

Cette édition numérique a été réalisée à partir d'un support physique parfois ancien conservé au sein des collections de la Bibliothèque nationale de France, notamment au titre du dépôt légal. Elle peut donc reproduire, au-delà du texte lui-même, des éléments propres à l'exemplaire qui a servi à la numérisation.

Cette édition numérique a été fabriquée par la société FeniXX au format PDF.

La couverture reproduit celle du livre original conservé au sein des collections de la Bibliothèque nationale de France, notamment au titre du dépôt légal.

*

La société FeniXX diffuse cette édition numérique en vertu d'une licence confiée par la Sofia – Société Française des Intérêts des Auteurs de l'Écrit – dans le cadre de la loi n° 2012-287 du 1^{er} mars 2012.

Avec le soutien du

