

L'ESSENTIEL D'

ÉLECTROTECHNIQUE

Dominique BAREILLE

Professeure agrégée de physique appliquée en STS

Laurent MOSSION

Professeur agrégé de physique appliquée en STS

Claude GARNIER

Professeur agrégé de génie électrique Inspecteur Pédagogique Régional
(académie de Versailles)

DUNOD

Tout le catalogue sur
www.dunod.com



Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements



d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du

droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

© Dunod, 11 rue Paul Bert, 92240

Malakoff, 2018

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-078596-4

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Préface	5
----------------	---

Fiches méthodes

Fiche 1.	Chaîne motorisée	7
Fiche 2.	Électronique de puissance	14

Fiches outils

Fiche 3.	Circuit en régime variable	23
Fiche 4.	Circuit en régime sinusoïdal	29
Fiche 5.	Circuit en régime périodique	35
Fiche 6.	Triphasé	41
Fiche 7.	Énergie	47
Fiche 8.	À propos de puissances...	53
Fiche 9.	Éléments de magnétisme	60
Fiche 10.	Dynamique des fluides	66
Fiche 11.	Régime transitoire	73

Synthèses de cours

Fiche 12.	La machine à courant continu	80
Fiche 13.	Le moteur à flux constant	85
Fiche 14.	Hacheur	92
Fiche 15.	Redresseur non commandé	101
Fiche 16.	Redresseur commandé	107
Fiche 17.	Pollution harmonique	116

Fiche 18.	Transformateur monophasé	123
Fiche 19.	Transformateur triphasé	129
Fiche 20.	Onduleur : stratégies de commandes	137
Fiche 21.	Onduleur triphasé	144
Fiche 22.	L'alternateur	150
Fiche 23.	Le moteur synchrone	158
Fiche 24.	La machine asynchrone	165
Fiche 25.	MAS : variation de vitesse	173
Fiche 26.	Régulation et asservissement	179
Fiche 27.	Gradateur	191
Fiche 28.	Électrothermie	197
Annexe		201

Préface

Les métiers de l'électrotechnique connaissent une évolution très importante, la chaîne d'information et la chaîne d'énergie se rapprochent et parfois fusionnent quand la chaîne d'énergie devient support des courants porteurs et vecteur de communication. Les systèmes communiquent, dialoguent, s'adaptent à l'environnement. Dans ce contexte évolutif, les métiers de l'électrotechnique et la formation des techniciens en électrotechnique connaissent également des évolutions significatives. C'est dans cet esprit et ce besoin d'enseigner « autrement » que les Editions Dunod ont imaginé la collection Express BTS. Il faut remercier Dominique Bareille et ses collègues Laurent Mossion et Claude Garnier pour avoir tenté de résumer en 28 fiches les grands thèmes de l'électrotechnique moderne.

Cet ouvrage résume sous forme de fiches totalement indépendantes les principales notions, fondamentales de la discipline et indispensables pour appréhender les systèmes modernes. L'originalité de ce document réside dans la rédaction de chaque fiche qui aborde les différents thèmes en respectant l'histoire et l'évolution technologique. En effet, les moteurs électriques sont abordés, dans un premier temps, de manière traditionnelle ce qui permet de faire le lien avec les cours classiques, mais rapidement les notions modernes liées à la vitesse variable, qui sont maintenant usuelles pour les techniciens, sont abordées de manière synthétique. Les phénomènes fondamentaux en électromagnétisme sont également développés avec les mêmes soucis de précision et de concision des fiches.

Il faut féliciter les auteurs pour la faculté de synthèse dont ils ont fait preuve tout au long des 28 fiches. Il est en effet tentant, pour des professeurs passionnés, de transmettre des savoirs sans limitation mais il est beaucoup plus difficile d'extraire les savoirs essentiels et de se limiter pour « rentrer » le maximum d'informations dans un petit format de 208 pages. La rédaction était d'autant plus difficile que les auteurs n'ont pas voulu sacrifier la démarche pédagogique à la synthèse. Chaque fiche comporte des exemples d'applications industrielles, des descriptions de

systèmes et des exercices qui garantissent une assimilation rapide et une compréhension des phénomènes permettant au lecteur un approfondissement plus aisé et une recherche plus efficace lorsque le besoin se fait sentir. On retrouve dans cet ouvrage la longue expérience acquise par les auteurs et leur passion commune pour cette discipline qui les anime depuis de nombreuses années.

Les lecteurs apprécieront ce concept moderne et trouveront très rapidement réponse aux questions qu'ils se posent.

Claude Bergmann
Professeur des universités
Inspecteur Général de l'Éducation nationale

1. Notion de système

- Pour exécuter un certain nombre de tâches (perçage, positionnement, levage, pompage...) il est nécessaire d'entraîner une charge mécanique en rotation ou en translation.

La démarche de conception de la chaîne doit être ascendante. Le point de départ est le « travail mécanique » à réaliser qui se traduit sous forme de **point(s) de fonctionnement (statiques et/ou dynamiques)** dans le plan couple/vitesse.

De ces contraintes on déduit la motorisation nécessaire, puis les points de fonctionnement associés dans le plan tension/courant. Ces derniers permettent de déterminer l'alimentation électrique appropriée.

On aboutit ainsi à la définition d'un **système** comportant généralement :

- une source d'énergie électrique ;
- un convertisseur permettant d'adapter et/ou de moduler l'énergie absorbée ;
- un moteur électrique qui convertit l'énergie électrique en énergie mécanique ;
- la charge mécanique, comportant ou non un transmetteur mécanique (réducteur, convertisseur rotation-translation...), qui peut être entraînant ou entraînée.

La solution est rarement unique, le choix entre les différentes possibilités devra tenir compte d'arguments techniques mais aussi économiques. Il est indispensable d'affiner le cahier des charges afin d'avoir la connaissance la plus précise possible de la tâche à réaliser et des contraintes associées (variation de vitesse, réversibilité).

2. Point de fonctionnement

Recherche d'un point de fonctionnement mécanique

La loi d'évolution de la vitesse de rotation d'un groupe machine-charge est régie par le **principe fondamental de la dynamique** (PFD). Les couples sont algébriques.

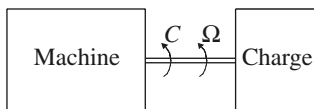
$$J \frac{d\Omega}{dt} = C_u + C'$$

J : moment d'inertie de l'ensemble machine-charge entraînée, en kg m^2 ,

C_u : couple utile disponible sur l'arbre en Nm ,

C' : couple de charge en Nm .

Cette équation est différentielle. Elle traduit le fait que la vitesse de la machine ne peut pas varier instantanément en raison de l'inertie du système.



Conventions de signes

Quelques exemples de charges

Loi de couple	$C' = k = \text{cte}$	$C' = k\Omega$	$C' = k\Omega^2$	$C' = k/\Omega$
Puissance $P' = C'\Omega$	$P' = k\Omega$	$P' = k\Omega^2$	$P' = k\Omega^3$	$P' = k$
Exemples d'applications	Levage, broyeur, pompe à piston ou volumétrique...	Agitateurs, mixeurs.	Pompes et ventilateurs centrifuges, certains compresseurs	Enrouleurs, dérouleurs, machines outils, broches...

Régime permanent

Le point de fonctionnement en régime permanent est caractérisé par le fait :

- que la vitesse est constante ;

- que si elle varie à la suite d'un événement extérieur, elle revient à sa valeur initiale (stabilité).

Algébriquement : $C_u = -C'$

Graphiquement : le point est à l'intersection des courbes $C_u(\Omega)$ et $-C'(\Omega)$

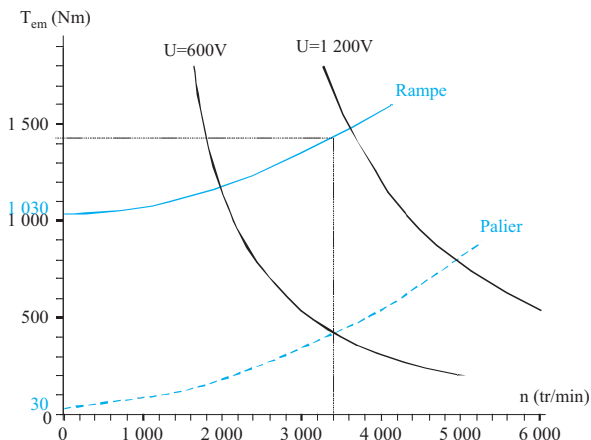
La connaissance du couple C_u et de la vitesse Ω permet ensuite de trouver la valeur des différents paramètres (tension, courant...) d'alimentation de la machine.

EXEMPLE. TGV SUD-EST

Ce TGV comporte 12 moteurs à courant continu série par rame, un par boggie-moteur. Pour une vitesse v de 240 km/h du TGV, la vitesse de rotation des moteurs est de 3 000 tr/min. Elle est contrôlée par la tension U .

Caractéristiques mécaniques :

- de la machine pour $U_1 = 600$ V (C_I) et $U_2 = 1\,200$ V (C_2) ;
- de la charge pour un palier (sol plat) et une rampe (côte).



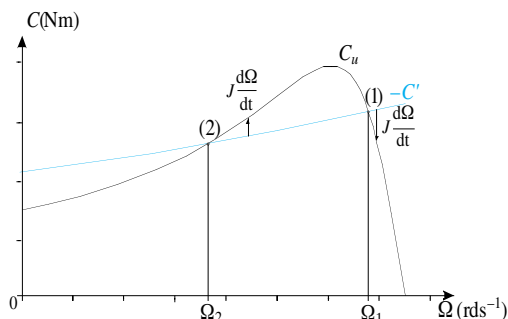
On règle la valeur moyenne de la tension d'alimentation du moteur à 600 V.

Sur un sol plat le point de fonctionnement est à l'intersection de la caractéristique (C_I) et de celle correspondant à un palier : la vitesse de rotation s'établit à $n_1 = 3400$ tr/min, celle du TGV à $v_1 = 272$ km/h.

S'il aborde une côte, le point de fonctionnement est à l'intersection de (C_2) et de celle correspondant à une rampe : la vitesse de rotation s'établit à $n_2 = 2\,000$ tr/min, soit $v_2 = 160$ km/h.

Pour maintenir sa vitesse à la valeur v_1 il faut augmenter U . Avec 1 200 V on obtient $v_2 = 304$ km/h, c'est trop, il faudra adopter un réglage intermédiaire.

■ Stabilité d'un point de fonctionnement



Supposons qu'à la suite d'un évènement extérieur la machine s'écarte de son point de fonctionnement :

- si elle y revient à l'issue d'un régime transitoire, le point de fonctionnement est stable (1) ;
- dans le cas contraire, il est instable (2).

De manière générale, un point de fonctionnement correspondant à la vitesse Ω_0 sera stable si, en ce point, la pente de la caractéristique de la charge entraînée est supérieure à celle de la machine (cas 1).

Graphiquement cette règle se traduit par le fait que la caractéristique du moteur est au-dessus de $-C'(\Omega)$ pour des valeurs de vitesse inférieures à Ω_0 et au-dessous pour des valeurs supérieures à Ω_0 .

■ Démarrage

Quand on démarre une machine, sa vitesse est nulle mais pas son accélération. Il faut donc que $|C_u| \geq |C'|$ pour que le démarrage en charge soit possible.