

Daniel GAUDE

ÉLECTROTECHNIQUE

Électronique de puissance
Conversion électromagnétique
Régulation et asservissement

! Cours complet
illustré de 97 exercices résolus

ENSEIGNEMENT
PROFESSIONNEL
&
FORMATION
CONTINUE

EYROLLES



Table des matières

Avant-propos	VIII
Unités du système international	IX
Notations principales	XI
1. Électronique de puissance	1
CHAPITRE 1-1 La modulation de l'énergie électrique par l'électronique de puissance	3
1.1 Les principes de base de l'électronique de puissance	3
1.1.1 La commutation en électronique de puissance	4
1.1.2 Interrupteur et commutation électronique	6
1.1.3 L'association des sources et des charges en électronique de puissance	15
1.1.4 Exercices complémentaires	19
1.1.5 Nomenclature des types de convertisseurs	25
1.2 Les composants électroniques principaux	25
1.2.1 Les semi-conducteurs	25
1.2.2 Les diodes de puissance	29
1.2.3 Les composants de base	35
1.2.4 Schématisation conventionnelle des interrupteurs	42
1.3 La fonction modulation des signaux électriques continus	42
1.3.1 Structures de base	43
1.4 La fonction redressement	59
1.4.1 Redressement, pont de diodes et de thyristors	60
1.4.2 Onduleur assisté	66
1.5 L'analyse harmonique des signaux	67
1.5.1 Analyse de Fourier	67
1.5.2 Le redressement et la pollution harmonique du réseau	74
1.5.3 Généralisations concernant la pollution harmonique	78
1.6 La fonction onduleur	89
1.6.1 La structure de base de l'onduleur monophasé de tension ou de courant	89
1.6.2 Les onduleurs de tension et de courant triphasés	110

1.7 Une application de l'électronique de puissance : la conversion d'énergie photovoltaïque	117
2. La conversion électromécanique	125
CHAPITRE 2-1 Caractères généraux des convertisseurs électromécaniques électromagnétiques	127
2.1 Énergie électromagnétique et électromécanique	130
2.1.1 Variation de l'énergie magnétique lors de la déformation d'un circuit magnétique	130
2.1.2 Coénergie magnétique	137
2.2 Étude technologique des machines électriques	140
2.2.1 Caractères communs aux machines tournantes	140
2.2.2 Le modèle de la conversion électromécanique par l'interaction de deux systèmes de pôles magnétiques tournants (champ magnétique tournant)	143
2.2.3 Le modèle énergétique de la conversion électromécanique dans une machine à deux enroulements	155
2.2.4 Forces électromotrices de la machine	157
2.2.5 La réversibilité électromécanique	159
2.3 Puissances et couples	161
CHAPITRE 2-2 Application aux moteurs à courant continu	163
2.4 Les machines à enroulements pseudo-stationnaires et la commutation électromécanique	163
2.4.1 La structure de base	163
2.4.2 La réaction d'induit	168
2.4.3 La commutation électromécanique	170
2.4.4 Le moteur à courant continu en variation de vitesse	173
2.5 Les moteurs brushless et la commutation électronique	176
2.6 La commande des moteurs à courant continu	181
2.6.1 Montages de commande	182
2.6.2 Schéma -bloc d'un moteur à courant continu	195
CHAPITRE 2-3 Les convertisseurs synchrones et leur commande	204
2.7 Les alternateurs et moteurs synchrones triphasés	204
2.7.1 Descriptions et données de bases	204
2.7.2 Point de fonctionnement d'un alternateur autonome	206

2.7.3	Alternateur et moteur synchrones couplés sur un réseau de très forte puissance	214
2.7.4	Signes des transferts de puissance. Couple électromagnétique	216
2.7.5	Commande d'un moteur synchrone par autopilotage	221
2.8	Les moteurs pas à pas	226
2.8.1	Les types de moteurs pas à pas	226
2.8.2	La structure de l'alimentation de puissance des phases statoriques	231
2.8.3	Données générales concernant les moteurs pas à pas à aimant permanent	234
2.8.4	Exemple d'exploitation des données du catalogue	237
CHAPITRE 2-4	La machine asynchrone triphasée et sa commande	240
2.9	La machine asynchrone triphasée.	
	Étude physique	240
2.9.1	Constitution de la machine	240
2.9.2	Modélisation du moteur asynchrone	245
2.9.3	Démarrage. Déplacement du point de fonctionnement sur la caractéristique mécanique	254
2.9.4	Différents types de cage	255
2.9.5	Freinage	256
2.10	Le moteur asynchrone triphasé.	
	Techniques de commande	257
2.10.1	Variation de vitesse par variation de la tension et de la fréquence du réseau	258
2.10.2	Variation de vitesse et déclassement du moteur asynchrone	265
2.10.3	Pour aller plus loin : la commande vectorielle	266
2.10.4	L'application de la génératrice asynchrone à la conversion de l'énergie du vent	272
3.	Électrotechnique et automatique	277
CHAPITRE 3	Régulation et asservissement en électromécanique	279
3.1	Le problème de base 1. Asservissement ou régulation de vitesse	280
3.1.1	Asservissement et régulation	280
3.1.2	Correction proportionnelle ; bande proportionnelle ; saturation	283
3.1.3	Précision et classe d'asservissement	290

3.2 Le problème de base 2. Asservissement de position d'un groupe tournant	291
3.2.1 Introduction de l'analyse fréquentielle	294
3.2.2 L'action d'un régulateur P.I.	304
3.2.3 Analyse fréquentielle d'un correcteur PI	305
3.2.4 L'amélioration de la correction : les correcteurs P.I.D.	307
3.2.5 Réglage d'un correcteur par la méthode expérimentale de Ziegler et Nichols	308
Bibliographie	311
Index	315

Sommaire de l'autre volume d'électrotechnique

Physique appliquée à la conversion et à la distribution de l'énergie électrique

1. L'échange d'énergie dans les systèmes physiques et technologiques

CHAPITRE 1-1 Énergie et systèmes

- 1.1 L'énergie et la puissance
- 1.2 Énergie et puissance mécanique
- 1.3 Situations problèmes en électromécanique
- 1.4 Énergie et puissance thermiques

CHAPITRE 1-2 Régimes transitoires. Systèmes bouclés

- 1.5 Transmittance et impédance de Laplace
- 1.6 Systèmes en boucle ouverte et en boucle fermée.
Les bases de l'automatique linéaire

2. Énergie électromagnétique

CHAPITRE 2-1 Champs électromagnétiques et matériaux

- 2.1 Notion physique de champ
- 2.2 Champs et matière. Matériaux

Daniel GAUDE

ÉLECTROTECHNIQUE

Électronique de puissance Conversion électromagnétique Régulation et asservissement



Agrégé de physique et docteur en génie électrique, **Daniel Gaudé** enseigne ces disciplines à l'IUT de Lyon-Villeurbanne. D'abord professeur de physique dans le Secondaire, il exerça ensuite à l'université Claude Bernard/Lyon-1 comme enseignant en licence d'ingénierie électrique, en préparation du Capet et de l'agrégation de génie électrique. Ses activités de recherche se sont déroulées au laboratoire Ampère (Centrale Lyon/Lyon-1/Insa). Il a par ailleurs participé à la réalisation d'un didacticiel multimédia d'électricité (Clickelec) ainsi qu'à la rédaction du nouveau programme pédagogique national des IUT.

ENSEIGNEMENT
PROFESSIONNEL
&
FORMATION
CONTINUE

Publics

BTS Électrotechnique

DUT Génie électrique et informatique industrielle (GEII)

Licences professionnelles

Licences sciences & techniques (EEA)

Concours d'entrée des écoles d'ingénieurs

Formation continue (Cnam)

L'électrotechnique est une discipline où la recherche nous apporte périodiquement de nouvelles **applications**, tandis que de nouveaux **besoins** ne cessent de se faire jour.

L'intérêt que suscite cette discipline déjà classique s'en trouve donc constamment stimulé, invitant tous ceux qui souhaitent suivre cette évolution à découvrir ou à redécouvrir ce **domaine porteur d'emplois** et ouvrant aux nombreuses **carrières de techniciens, d'ingénieurs et de chercheurs**.

Par sa polyvalence et sa souplesse, **l'énergie électrique est au cœur des échanges d'énergie**.

Ce manuel permettra aux étudiants inscrits dans les différents premiers cycles de l'enseignement supérieur et aux professionnels en formation continue d'étudier — avec des méthodes actuelles — l'électrotechnique telle qu'on la pratique aujourd'hui; les problèmes reposent donc sur des **données industrielles et techniques**.

La part faite aux **études de cas** et aux **exercices corrigés** constitue un des meilleurs atouts de cet ouvrage où l'on verra que, chaque fois que cela est possible, le problème précède le cours. Toutefois, pour que l'on soit encouragé à le résoudre, la solution est le plus souvent déjà dans l'énoncé. Enfin, pour résoudre les problèmes à la calculatrice ou à l'ordinateur, la **simulation informatique** et les **méthodes de calcul informatisées** sont ici très largement utilisées.

Sommaire

1. Électronique de puissance

La modulation de l'énergie électrique par l'électronique de puissance

2. Conversion électromécanique

Caractères généraux des convertisseurs électromécaniques électromagnétiques
• Application aux moteurs à courant continu • Les convertisseurs synchrones et leurs commandes • La machine asynchrone triphasée et sa commande

3. Électrotechnique et automatique

Régulation et asservissement en électromécanique

Unités du SI • Notations • Bibliographie • Index

Du même auteur : *Électrotechnique : Physique appliquée à la conversion et à la distribution de l'énergie électrique. Cours complet illustré de 96 exercices résolus, 288 p.*

En 1^{re} de couverture, de haut en bas :

Onduleur BT © Eaton. Contrôleur électronique pour moteur asynchrone © Leroy-Somer/Emerson. Moteur asynchrone © ArtisticPhoto/shutterstock.com.

Réalisation de la couverture : Christophe Picaud

Code éditeur : G13920
ISBN : 978-2-212-13920-4



www.editions-eyrolles.com
Groupe Eyrolles | Diffusion Geodif

29 €