

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
<b>1. Électronique de puissance .....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1-1 La modulation de l'énergie électrique par l'électronique de puissance .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Les principes de base de l'électronique de puissance .....</b>	<b>3</b>
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
<b>1.2 Les composants électroniques principaux .....</b>	<b>25</b>
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
<b>1.3 La fonction modulation des signaux électriques continus .....</b>	<b>42</b>
1.3.1 Structures de base .....	43
<b>1.4 La fonction redressement .....</b>	<b>59</b>
1.4.1 Redressement, pont de diodes et de thyristors .....	60
1.4.2 Onduleur assisté .....	66
<b>1.5 L'analyse harmonique des signaux .....</b>	<b>67</b>
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
<b>1.6 La fonction onduleur .....</b>	<b>89</b>
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
<b>2. La conversion électromécanique .....</b>	<b>125</b>
<b>CHAPITRE 2-1</b> 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
<b>CHAPITRE 2-2</b> 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
<b>CHAPITRE 2-3</b> 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
<b>2.8</b>	<b>Les moteurs pas à pas .....</b>	<b>226</b>
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
<b>CHAPITRE 2-4</b>	<b>La machine asynchrone triphasée et sa commande .....</b>	<b>240</b>
<b>2.9</b>	<b>La machine asynchrone triphasée.</b>	
	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
<b>2.10</b>	<b>Le moteur asynchrone triphasé.</b>	
	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
<b>3.</b>	<b>Électrotechnique et automatique .....</b>	<b>277</b>
<b>CHAPITRE 3</b>	<b>Régulation et asservissement en électromécanique .....</b>	<b>279</b>
<b>3.1</b>	<b>Le problème de base 1. Asservissement ou régulation de vitesse .....</b>	<b>280</b>
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<sup>re</sup> 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](http://www.editions-eyrolles.com)  
Groupe Eyrolles | Diffusion Geodif

29 €