

Daniel GAUDE

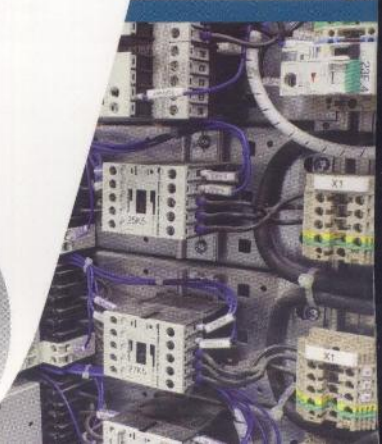
ÉLECTROTECHNIQUE

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

| Cours complet
illustré de 96 exercices résolus

ENSEIGNEMENT
PROFESSIONNEL
&
FORMATION
CONTINUE

EYROLLES



ECT 83/T₁

Daniel Gaude

057910

(3)

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



EYROLLES

Table des matières



Avant-propos	VIII
Unités du système international	X
Notations principales	XII
1. L'échange d'énergie dans les systèmes physiques et technologiques	1
CHAPITRE 1-1 Énergie et systèmes	3
1.1 L'énergie et la puissance	3
1.1.1 Énergie et systèmes	3
1.1.2 Transfert et stockage d'énergie	4
1.1.3 Énergie et puissance électrique	8
1.2 Énergie et puissance mécanique	15
1.2.1 Translation rectiligne	16
1.2.2 Rotation d'un solide autour d'un axe fixe	21
1.2.3 Phases d'un mouvement	26
1.2.4 Charge entraînée ou résistante, charge entraînante ou motrice	27
1.3 Situations problèmes en électromécanique	28
1.3.1 Action mécanique exercée par une charge en mécanique	28
1.3.2 Couple et inertie d'une charge ramenés à l'arbre moteur	28
1.3.3 Mécanismes et machines simples	38
1.3.4 Irréversibilité d'un mécanisme	41
1.3.5 Mouvements de fluides	47
1.4 Énergie et puissance thermiques	57
1.4.1 La chaleur	58
1.4.2 Classes et régimes thermiques des moteurs	62
1.4.3 Modélisation thermique du moteur	64
CHAPITRE 1-2 Régimes transitoires. Systèmes bouclés	67
1.5 Transmittance et impédance de Laplace	68
1.5.1 La transformation de Laplace d'une fonction du temps et ses propriétés	68
1.5.2 Transmittance de Laplace – Impédance de Laplace	71
1.6 Systèmes en boucle ouverte et en boucle fermée. Les bases de l'automatique linéaire	76

1.6.1	Exercice corrigé 1-31 : Régulation thermique	76
1.6.2	Fonctions de transfert	80
1.6.3	Modélisation des systèmes	80
1.6.4	Stabilité absolue des systèmes bouclés	90
1.6.5	Identification expérimentale	90
2.	Énergie électromagnétique	93
CHAPITRE 2-1	Champs électromagnétiques et matériaux	95
2.1	Notion physique de champ	95
2.1.1	Qu'est-ce qu'un champ ? Le cas de l'électromagnétisme	95
2.1.2	Forces en électrostatique et en magnétostatique	99
2.2	Champs et matière. Matériaux	103
2.2.1	Excitation et induction magnétique. Matériau magnétique	103
2.2.2	Excitation et induction électrique. Matériau diélectrique	108
2.2.3	Matériaux magnétiques	110
2.2.4	Matériaux diélectriques. Champ disruptif	111
2.2.5	Tableau de comparaison entre électrostatique et magnétisme	112
CHAPITRE 2-2	Les lois physiques de l'électromagnétisme	113
2.3	Grandeurs et lois physiques intégrales et locales	114
2.3.1	Comment en est-on venu à s'intéresser au flux et à la circulation d'un vecteur champ ?	114
2.3.2	Topologie des contours et des surfaces, circulation et flux	115
2.3.3	Un exemple simple, les lois d'Ohm locale et intégrale	117
2.3.4	Lois des flux des inductions (régimes statiques)	119
2.3.5	Loi de la circulation des champs d'excitation (régimes statiques)	123
2.4	Énergie stockée dans un champ électrostatique ou magnétostatique	130
2.4.1	Exercice corrigé 2-13 : Densité d'énergie (utilisable) stockée dans un espace champ électrique	131
2.4.2	Densité d'énergie élémentaire en électrostatique	132
2.4.3	Densité d'énergie élémentaire en magnétostatique	134
2.5	Circuits magnétiques en magnétostatique	137
2.5.1	Étude qualitative d'une bobine d'induction. Circuit magnétique parfait	138
2.5.2	Analogie circuit électrique-circuit magnétique	142
2.5.3	L'inductance propre, de la physique à l'électrotechnique	145
2.5.4	Relation flux totaux-courants	153
2.6	Les modifications des lois intégrales de circulation en régime dynamique	155

2.6.1	L'induction électromagnétique	156
2.6.2	La loi de Faraday et la loi de Lenz	160
2.6.3	La répartition d'un courant dans un conducteur en régime variable	162
2.6.4	Le théorème d'Ampère en régime variable	163
2.6.5	Pour aller plus loin : La propagation des champs électriques et magnétiques	164
3.	La distribution de l'énergie électrique	169
CHAPITRE 3-1	Régimes alternatifs sinusoïdaux	171
3.1	Puissances en régime alternatif sinusoïdal	171
3.1.1	Les grandeurs électriques intensité et tension en régime variable	172
3.1.2	Grandeurs instantanées sinusoïdales, vocabulaire, étude mathématique	173
3.1.3	Le comportement des charges linéaires en régime alternatif sinusoïdal. Conventions pour $u(t)$ et $i(t)$	177
3.1.4	Puissances en régime sinusoïdal	178
3.1.5	Bilan des relations utiles	184
3.1.6	Mesure de la puissance active : le wattmètre	185
3.1.7	Facteur de qualité et facteur de résonance et d'un circuit RLC série	186
3.2	Le régime alternatif sinusoïdal triphasé	189
3.2.1	Lignes triphasées	190
3.2.2	Couplages sur la ligne triphasée de récepteurs ou générateurs identiques	190
3.2.3	Puissances en régime alternatif sinusoïdal triphasé équilibré	193
3.2.4	Schéma équivalent monophasé	196
3.2.5	Circuits triphasés déséquilibrés	197
CHAPITRE 3-2	Circuits magnétiques en régime dynamique. Transformateurs	203
3.3	Bobine d'induction en régime dynamique	203
3.3.1	Exercice corrigé 3-12 : Évolution de l'énergie dans une bobine en régime transitoire	203
3.3.2	Bobine saturable et hystérétique en régime variable	206
3.3.3	Simulation d'une bobine en régime variable	208
3.4	Transformateurs	212
3.4.1	La structure de base d'un transformateur à deux enroulements et la réalité technologique	212
3.4.2	Le transformateur en régime sinusoïdal et en monophasé	218
3.4.3	Autotransformateur	228

3.4.4	Le transformateur en régime alternatif sinusoïdal triphasé	229
3.4.5	Pour aller plus loin : Transformateurs triphasés et régimes déséquilibrés	239
CHAPITRE 3-3	Technologie de la distribution	249
3.5	Protection des biens	250
3.5.1	Appareillage électrique. Définition et symbolisation	250
3.6	Protection des personnes physiques	261
3.6.1	Les dangers du courant électrique	261
3.6.2	Régimes de neutre ou système de liaison à la terre S.L.T.	264
	Bibliographie	268
	Index	271

Sommaire de l'autre volume d'électrotechnique

Électronique de puissance conversion électromécanique régulation et asservissement

1. Électronique de puissance

CHAPITRE 1-1 La modulation de l'énergie électrique par l'électronique de puissance

- 1.1 Les principes de base de l'électronique de puissance
- 1.2 Les composants électroniques principaux
- 1.3 La fonction modulation des signaux électriques continus
- 1.4 La fonction redressement
- 1.5 L'analyse harmonique des signaux
- 1.6 La fonction onduleur
- 1.7 Une application de l'électronique de puissance :
la conversion d'énergie photovoltaïque

2. La conversion électromécanique

CHAPITRE 2-1 Caractères généraux des convertisseurs électromécaniques électromagnétiques

- 2.1 Énergie électromagnétique et électromécanique
- 2.2 Étude technologique des machines électriques
- 2.3 Puissances et couples

CHAPITRE 2-2 Application aux moteurs à courant continu

- 2.4 Les machines à enroulements pseudo-stationnaires et la commutation électromécanique
- 2.5 Les moteurs brushless et la commutation électronique
- 2.6 La commande des moteurs à courant continu

CHAPITRE 2-3 Les convertisseurs synchrones et leur commande

- 2.7 Les alternateurs et moteurs synchrones triphasés
- 2.8 Les moteurs pas à pas

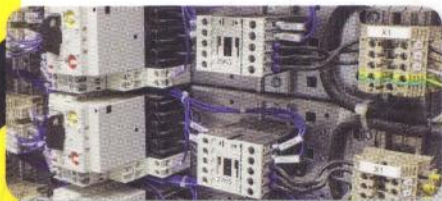
CHAPITRE 2-4 La machine asynchrone triphasée et sa commande

- 2.9 La machine asynchrone triphasée. Étude physique
- 2.10 Le moteur asynchrone triphasé. Techniques de commande

3. Électrotechnique et automatique

CHAPITRE 3 Régulation et asservissement en électromécanique

- 3.1 Le problème de base 1. Asservissement ou régulation de vitesse
- 3.2 Le problème de base 2. Asservissement de position d'un groupe tournant



Agrégé de physique et docteur en génie électrique, **Daniel Gaude** 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 (Clickélec) ainsi qu'à la rédaction du nouveau programme pédagogique national des IUT.

Daniel GAUDE

ÉLECTROTECHNIQUE

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

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

Énergie et systèmes • Régimes transitoires. Systèmes bouclés

2. L'énergie électromagnétique

Champs électromagnétiques et matériaux • Lois physiques de l'électromagnétisme

3. La distribution de l'énergie électrique

Régimes alternatifs sinusoïdaux • Circuits magnétiques en régime dynamique. Transformateurs • Technologie de la distribution

Unités du SI • Notations • Bibliographie • Index

Du même auteur : *Électrotechnique : Électronique de puissance, conversion électromagnétique, régulation et asservissement. Cours complet illustré de 97 exercices résolus, 328 p.*

En 1^{re} de couverture, de haut en bas :
Pylônes électriques haute tension © hxdyl/shutterstock.com. Poste de transformation HTA/BT © CIMOE. Tableau électrique BT de commande © emel82/shutterstock.com.

Réalisation de la couverture : Christophe Picaud

ENSEIGNEMENT
PROFESSIONNEL
&
FORMATION
CONTINUE

Publics

BTS Électrotechnique

**DUT Génie électrique et
informatique industrielle (GEII)**

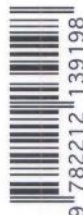
Licences professionnelles

**Licences sciences & techniques
(EEA)**

**Concours d'entrée des écoles
d'ingénieurs**

Formation continue (Cnam)

Code éditeur : G13919
ISBN : 978-2-212-13919-8



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

29 €