

Luc Lasne



Électrotechnique et énergie électrique

2^e édition

IUT/BTS
Licences
Écoles d'ingénieurs
CAPES/CAPET

DUNOD

ECT 84

ÉLECTROTECHNIQUE ET ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

057973

③



Luc Lasne

Professeur agrégé à l'université de Bordeaux 1

Préface de

Jean-Claude Gianduzzo

Enseignant-chercheur en physique et électrotechnique
à l'université de Bordeaux 1

2^e édition

DUNOD

Table des matières



| | |
|---|-----|
| PRÉFACE | v |
| AVANT-PROPOS | xv |
| REMERCIEMENTS | xvi |
| INTRODUCTION | 1 |
| 1 Qu'est ce que l'électrotechnique ? | 1 |
| 2 Quelle est aujourd'hui la place de l'énergie électrique parmi les autres énergies ? | 2 |
| 3 Quels sont les domaines concernés par l'électrotechnique ? | 3 |
| 4 Quels sont les programmes universitaires liés à l'ingénierie électrotechnique ? | 3 |
| 5 Comment tester ses connaissances ? | 4 |
| CHAPITRE 1 • RAPPELS ET GRANDEURS SINUSOÏDALES | 5 |
| 1.1 Lois de base et conventions des dipôles électriques | 5 |
| 1.2 Récepteurs électriques linéaires | 6 |
| 1.3 Régime continu et régimes variables | 7 |
| 1.4 Valeurs caractéristiques des grandeurs périodiques quelconques | 8 |
| 1.5 Le régime sinusoïdal et sa représentation complexe (vectorielle) | 9 |
| 1.6 Généralisation du théorème de Thévenin | 16 |
| Exercices | 17 |
| CHAPITRE 2 • LES PUISSANCES ÉLECTRIQUES | 20 |
| 2.1 Énergie et puissance | 20 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 2.2 | Généralités sur la notion de puissance en électrotechnique..... | 22 |
| 2.3 | La puissance active en régime continu..... | 23 |
| 2.4 | Puissances électriques en régime alternatif sinusoïdal..... | 23 |
| 2.5 | Puissance apparente complexe, puissances associées aux récepteurs communs rencontrés en électrotechnique..... | 26 |
| 2.6 | Théorème de Boucherot et triangle des puissances..... | 27 |
| 2.7 | Facteur de puissance, compensation de la puissance réactive..... | 28 |
| 2.8 | Puissances électriques en régime périodique non-sinusoïdal..... | 30 |
| 2.9 | Mesure des puissances électriques..... | 32 |
| | Exercices..... | 34 |
| CHAPITRE 3 • CIRCUITS À COURANTS ALTERNATIFS TRIPHASÉS..... | | 37 |
| 3.1 | Introduction..... | 37 |
| 3.2 | Système de tensions triphasé équilibré direct (TED)..... | 38 |
| 3.3 | Générateur triphasé et différents couplages des phases..... | 40 |
| 3.4 | Charges triphasées, équilibre et déséquilibre..... | 42 |
| 3.5 | Puissances en triphasé..... | 44 |
| 3.6 | Équivalence de charges, transformations « Y/D »..... | 46 |
| 3.7 | Neutre, neutre fictif et schéma équivalent monophasé..... | 46 |
| 3.8 | Mesures de puissances en triphasé..... | 49 |
| | Exercices..... | 50 |
| CHAPITRE 4 • SYSTÈMES TRIPHASÉS DÉSÉQUILIBRÉS, RÉOLUTIONS MATRICIELLES ET COMPOSANTES SYMÉTRIQUES..... | | 52 |
| 4.1 | Notion de déséquilibre local et charges à neutre relié..... | 52 |
| 4.2 | Déséquilibre local sur charge à neutre non relié..... | 54 |
| 4.3 | Exemple : Charge déséquilibrée et rupture de neutre..... | 57 |
| 4.4 | Problématique générale des déséquilibres..... | 59 |
| 4.5 | Présentation des composantes symétriques..... | 59 |
| 4.6 | Constructions graphiques et remarques importantes..... | 62 |

| | |
|--|------------|
| 4.7 Composantes symétriques des grandeurs triphasées | 64 |
| 4.8 Applications des composantes symétriques | 66 |
| Exercices | 70 |
| CHAPITRE 5 • MAGNÉTISME, MATÉRIAUX ET CIRCUITS MAGNÉTIQUES | 73 |
| 5.1 Le magnétisme : le phénomène et ses grandeurs | 73 |
| 5.2 Classification des matériaux magnétiques | 74 |
| 5.3 Les matériaux ferro-magnétiques | 75 |
| 5.4 Notions incontournables et théorème d'Ampère | 78 |
| 5.5 Les circuits magnétiques | 82 |
| 5.6 Limites de la théorie des C.M. et logiciels de calcul de flux | 87 |
| Exercices | 89 |
| CHAPITRE 6 • CIRCUITS MAGNÉTIQUES EN RÉGIME ALTERNATIF SINUSOÏDAL | 91 |
| 6.1 Introduction | 91 |
| 6.2 Relations importantes en régimes alternatifs | 91 |
| 6.3 Pertes et particularités liées aux matériaux réels | 93 |
| 6.4 Notions complémentaires | 95 |
| 6.5 Modèle linéaire d'une bobine à noyau de fer | 98 |
| Exercice | 99 |
| CHAPITRE 7 • CIRCUITS MAGNÉTIQUES À AIMANTS PERMANENTS | 101 |
| 7.1 Point de fonctionnement d'un aimant permanent inséré dans un circuit magnétique | 101 |
| 7.2 Critère de choix d'un aimant permanent | 103 |
| 7.3 Caractéristiques particulières des différents types d'aimants et utilisations classiques | 104 |
| 7.4 Détermination pratique des dimensions d'un aimant permanent ... | 105 |
| Exercice | 106 |

| | |
|--|-----|
| CHAPITRE 8 • ÉNERGIES, PUISSANCES ET FORCES LIÉES AU MAGNÉTISME, MÉTHODE DES TRAVAUX VIRTUELS | 107 |
| 8.1 Formules générales des énergies d'un matériau aimanté | 107 |
| 8.2 Variations d'énergie, puissance et force | 110 |
| 8.3 Principe de réluctance minimale | 112 |
| 8.4 Méthode des travaux virtuels | 113 |
| Exercices | 117 |
| CHAPITRE 9 • TRANSFORMATEURS | 120 |
| 9.1 Transformateur monophasé idéal | 120 |
| 9.2 Mieux comprendre le transformateur | 123 |
| 9.3 Le transformateur monophasé réel et son modèle | 124 |
| 9.4 Grandeurs associées au schéma et chute de tension au secondaire | 126 |
| 9.5 Notions complémentaires associées au transformateur réel | 128 |
| 9.6 Transformateurs triphasés | 131 |
| 9.7 Impédances associées aux transformateurs et ordres de grandeur | 134 |
| 9.8 Transformateurs en parallèle | 138 |
| 9.9 Autotransformateurs | 140 |
| Exercices | 141 |
| CHAPITRE 10 • MATÉRIAUX ISOLANTS ET CONDENSATEURS | 145 |
| 10.1 Introduction | 145 |
| 10.2 Matériaux isolants | 145 |
| 10.3 Approche physique du condensateur | 147 |
| 10.4 Formules courant/tension et énergies | 149 |
| 10.5 Schéma équivalent et comportement en fréquence | 150 |
| 10.6 Technologies de construction des condensateurs | 151 |
| 10.7 Applications classiques du domaine de l'énergie | 153 |
| 10.8 Supercondensateurs | 157 |

| | |
|--|-----|
| CHAPITRE 11 • CONVERTISSEURS ÉLECTROMÉCANIQUES | 160 |
| 11.1 Champ d'application et classification | 160 |
| 11.2 Principes généraux | 161 |
| 11.3 Les grandes familles de machines électriques | 163 |
| 11.4 Machines à courant continu (MCC), machines « à collecteur » | 163 |
| 11.5 Machines synchrones (MS)..... | 166 |
| 11.6 Machines asynchrones (MAS) ou « Machines à induction » | 171 |
| 11.7 Moteurs « pas à pas » | 173 |
| 11.8 Nombres de « pôles » des machines électriques | 176 |
| 11.9 Illustrations | 179 |
| CHAPITRE 12 • MACHINES À COURANT CONTINU | 182 |
| 12.1 Principes et relations générales..... | 182 |
| 12.2 Fonctionnement en régime permanent continu linéaire | 186 |
| 12.3 Non-linéarités dues à la saturation du circuit magnétique | 188 |
| 12.4 Fonctionnement en régime transitoire | 190 |
| 12.5 Les différents montages des machines à courant continu | 194 |
| Exercices | 197 |
| CHAPITRE 13 • ALTERNATEURS ET MACHINES SYNCHRONES | 199 |
| 13.1 Principes et relations générales..... | 199 |
| 13.2 Alternateur indépendant débitant sur charge linéaire | 206 |
| 13.3 Machine synchrone couplée à un réseau d'énergie infinie | 208 |
| 13.4 Réaction d'induit d'une machine synchrone | 210 |
| 13.5 Étude des machines à pôles lisses : diagramme de Potier | 212 |
| 13.6 Étude des machines à pôles saillants : diagramme de Blondel | 214 |
| 13.7 Impédances associées réduites, ordres de grandeur | 216 |
| 13.8 Moteur synchrone..... | 218 |
| Exercices | 221 |

| | |
|---|-----|
| CHAPITRE 14 • MACHINES ASYNCHRONES | 224 |
| 14.1 Principes et relations générales..... | 224 |
| 14.2 Fonctionnement à tension et fréquence constantes..... | 230 |
| 14.3 Démarrage des moteurs asynchrones | 234 |
| 14.4 Variation de vitesse des moteurs asynchrones..... | 235 |
| 14.5 Fonctionnement en génératrice et en frein | 241 |
| 14.6 Moteurs asynchrones monophasés..... | 242 |
| Exercices | 243 |
| CHAPITRE 15 • TRANSFORMATIONS MATRICIELLES. MODÈLES « D, Q » DES MACHINES À COURANTS ALTERNATIFS TRIPHASÉS | 247 |
| 15.1 Matrices d'impédances et d'inductances | 247 |
| 15.2 Transformations matricielles classiques | 248 |
| 15.3 La transformée de Park et le repère du champ tournant..... | 250 |
| 15.4 Modèle « d,q » des machines synchrones | 253 |
| 15.5 Modèle « d,q » des machines asynchrones | 258 |
| 15.6 Conclusion sur les modèles <i>d,q</i> | 262 |
| CHAPITRE 16 • HARMONIQUES ET RÉGIMES DÉFORMÉS | 264 |
| 16.1 Bases mathématiques de l'étude des harmoniques..... | 265 |
| 16.2 Expressions des puissances en régime déformé | 271 |
| 16.3 Sources, propagation et conséquences des harmoniques..... | 274 |
| 16.4 Harmoniques pairs et impairs, courant de neutre | 275 |
| 16.5 Réduction et compensation des harmoniques | 278 |
| Exercices | 278 |
| CHAPITRE 17 • LES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES | 282 |
| 17.1 Introduction | 282 |
| 17.2 Structure générale des réseaux électriques..... | 282 |

| | |
|---|------------|
| 17.3 Production de l'énergie électrique..... | 283 |
| 17.4 Caractéristiques générales du transport et de la distribution..... | 285 |
| 17.5 Principes fondateurs des réseaux électriques..... | 288 |
| 17.6 Phénomènes liés au fonctionnement des réseaux électriques..... | 292 |
| 17.7 Stratégie de fonctionnement des réseaux..... | 297 |
| 17.8 Outils de modélisation et d'étude des réseaux électriques..... | 302 |
| 17.9 Exemples de calculs liés aux modélisations..... | 307 |
| CONCLUSION | 311 |
| BIBLIOGRAPHIE ET LIENS | 313 |
| INDEX | 315 |

Luc Lasne

Électrotechnique et énergie électrique

Cet ouvrage est un cours complet d'électrotechnique qui fait le lien entre notions théoriques et applications industrielles. Le but de ce cours est d'accompagner le lecteur, depuis l'apprentissage des notions de base jusqu'aux notions utilisées dans le domaine professionnel.

Le contenu traite des grandeurs alternatives sinusoïdales, des circuits à courants alternatifs triphasés, des systèmes déséquilibrés et des composantes symétriques, du magnétisme et des circuits magnétiques, des transformateurs, des convertisseurs électromécaniques, machines à courant continu, machines synchrones, machines asynchrones, des modèles matriciels, des harmoniques et régimes déformés et enfin des réseaux électriques.

Cette deuxième édition s'enrichit de deux nouveaux chapitres. L'un permet d'appréhender les matériaux isolants, le stockage temporaire de l'énergie électrique dans les condensateurs ou les « supercondensateurs », ainsi que leurs technologies de fabrication et quelques utilisations classiques. L'autre propose un exposé sur les réseaux électriques, leur origine, leurs particularités et leurs principes de fonctionnement et de gestion.

Chaque chapitre se termine par des exercices destinés à valider les acquis du cours.

Ce livre est destiné aux étudiants de BTS, d'IUT, de fin de Licence, de début de Master et d'écoles d'ingénieurs, ainsi qu'à tous ceux qui préparent les concours de l'enseignement CAPET, CAPES et Agrégation.

-  MATHÉMATIQUES
-  PHYSIQUE
-  CHIMIE
-  SCIENCES DE L'INGÉNIEUR
-  INFORMATIQUE
-  SCIENCES DE LA VIE
-  SCIENCES DE LA TERRE

2^e édition

Luc Lasne

est professeur agrégé à l'université de Bordeaux I et ancien élève de l'École normale supérieure de Cachan.



9 782100 598922

6215396
ISBN 978-2-10-059892-2



DUNOD
dunod.com