

IUT | LICENCE | ÉCOLES D'INGÉNIEURS

SCIENCES SUP

Cours avec
exercices
corrigés

Luc Lasne

Énergie électrique

Électrotechnique – Magnétisme
Machines – Réseaux

3^e ÉDITION

DUNOD

Table des matières

PRÉFACE	v
AVANT-PROPOS	xv
REMERCIEMENTS	xvii
INTRODUCTION	1
1 Qu'est ce que l'énergie électrique ?	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'énergie électrique ?	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) ...	10
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.....	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.....	28
2.7	Facteur de puissance, compensation de la puissance réactive.....	29
2.8	Puissances électriques en régime périodique non-sinusoïdal.....	31
2.9	Mesure des puissances électriques.....	33
	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
6.6	Loi de Lenz et équations générales des couplages magnétiques linéaires	99
6.7	Modélisation générale des couplages linéaires	102
	Exercices	104
CHAPITRE 7 • CIRCUITS MAGNÉTIQUES À AIMANTS PERMANENTS		108
7.1	Point de fonctionnement d'un aimant permanent inséré dans un circuit magnétique	108
7.2	Critère de choix d'un aimant permanent	110
7.3	Caractéristiques particulières des différents types d'aimants et utilisations classiques	111
7.4	Détermination pratique des dimensions d'un aimant permanent...	112

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
6.6	Loi de Lenz et équations générales des couplages magnétiques linéaires	99
6.7	Modélisation générale des couplages linéaires	102
	Exercices	104
CHAPITRE 7 • CIRCUITS MAGNÉTIQUES À AIMANTS PERMANENTS		108
7.1	Point de fonctionnement d'un aimant permanent inséré dans un circuit magnétique	108
7.2	Critère de choix d'un aimant permanent	110
7.3	Caractéristiques particulières des différents types d'aimants et utilisations classiques	111
7.4	Détermination pratique des dimensions d'un aimant permanent	112

Exercice	113
CHAPITRE 8 • ÉNERGIES, PUISSANCES ET FORCES LIÉES AU MAGNÉTISME, MÉTHODE DES TRAVAUX VIRTUELS	114
8.1 Formules générales des énergies d'un matériau aimanté	114
8.2 Variations d'énergie, puissance et force	117
8.3 Principe de réluctance minimale	119
8.4 Méthode des travaux virtuels	120
8.5 Dimensionnement des circuits magnétiques – produit $A_e \cdot S_b$	124
Exercices	130
CHAPITRE 9 • TRANSFORMATEURS	134
9.1 Transformateur monophasé idéal	134
9.2 Mieux comprendre le transformateur	137
9.3 Le transformateur monophasé réel et son modèle	138
9.4 Grandeurs associées au schéma et chute de tension au secondaire	140
9.5 Notions complémentaires associées au transformateur réel	142
9.6 Transformateurs triphasés	145
9.7 Impédances associées aux transformateurs et ordres de grandeur	148
9.8 Transformateurs en parallèle	152
9.9 Autotransformateurs	154
Exercices	155
CHAPITRE 10 • MATÉRIAUX ISOLANTS ET CONDENSATEURS	159
10.1 Introduction	159
10.2 Matériaux isolants	159
10.3 Approche physique du condensateur	161
10.4 Formules courant/tension et énergies	163
10.5 Schéma équivalent et comportement en fréquence	164
10.6 Technologies de construction des condensateurs	165

10.7	Applications classiques du domaine de l'énergie	167
10.8	Supercondensateurs	171
CHAPITRE 11 • CONVERTISSEURS ÉLECTROMÉCANIQUES		174
11.1	Champ d'application et classification	174
11.2	Principes généraux	175
11.3	Les grandes familles de machines électriques	177
11.4	Machines à courant continu (MCC), machines « à collecteur »	177
11.5	Machines synchrones (MS)	180
11.6	Machines asynchrones (MAS) ou « Machines à induction »	185
11.7	Moteurs « pas à pas »	187
11.8	Nombres de « pôles » des machines électriques	190
11.9	Illustrations	193
CHAPITRE 12 • MACHINES À COURANT CONTINU		196
12.1	Principes et relations générales	196
12.2	Fonctionnement en régime permanent continu linéaire	200
12.3	Non-linéarités dues à la saturation du circuit magnétique	202
12.4	Fonctionnement en régime transitoire	204
12.5	Les différents montages des machines à courant continu	208
	Exercices	211
CHAPITRE 13 • ALTERNATEURS ET MACHINES SYNCHRONES		213
13.1	Principes et relations générales	213
13.2	Alternateur indépendant débitant sur charge linéaire	220
13.3	Machine synchrone couplée à un réseau d'énergie infinie	222
13.4	Réaction d'induit d'une machine synchrone	224
13.5	Étude des machines à pôles lisses : diagramme de Potier	226
13.6	Étude des machines à pôles saillants : diagramme de Blondel	228
13.7	Impédances associées réduites, ordres de grandeur	230

13.8	Moteur synchrone.....	232
	Exercices	235
CHAPITRE 14 • MACHINES ASYNCHRONES		238
14.1	Principes et relations générales.....	238
14.2	Fonctionnement à tension et fréquence constantes	244
14.3	Démarrage des moteurs asynchrones	248
14.4	Variation de vitesse des moteurs asynchrones.....	249
14.5	Fonctionnement en génératrice et en frein	255
14.6	Moteurs asynchrones monophasés	256
	Exercices	257
CHAPITRE 15 • TRANSFORMATIONS MATRICIELLES. MODÈLES « D, Q » DES MACHINES À COURANTS ALTERNATIFS TRIPHASÉS		261
15.1	Matrices d'impédances et d'inductances	261
15.2	Transformations matricielles classiques	262
15.3	La transformée de Park et le repère du champ tournant.....	264
15.4	Modèle « d,q » des machines synchrones	267
15.5	Modèle « d,q » des machines asynchrones	272
15.6	Conclusion sur les modèles <i>d,q</i>	276
	Exercices	
CHAPITRE 16 • HARMONIQUES ET RÉGIMES DÉFORMÉS		278
16.1	Bases mathématiques de l'étude des harmoniques.....	279
16.2	Expressions des puissances en régime déformé	285
16.3	Sources, propagation et conséquences des harmoniques.....	288
16.4	Harmoniques pairs et impairs, courant de neutre	289
16.5	Réduction et compensation des harmoniques	292
	Exercices	292

CHAPITRE 17 • LES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES	296
17.1 Introduction	296
17.2 Structure générale des réseaux électriques	296
17.3 Production de l'énergie électrique	297
17.4 Caractéristiques générales du transport et de la distribution	299
17.5 Principes fondateurs des réseaux électriques	302
17.6 Phénomènes liés au fonctionnement des réseaux électriques en AC	306
17.7 Stratégie de fonctionnement des réseaux	311
17.8 Outils de modélisation et d'étude des réseaux électriques	316
17.9 Exemples de calculs liés aux modélisations	321
17.10 Réseaux en haute tension continue – HVDC	325
CHAPITRE 18 • ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE ET BATTERIES	334
18.1 Introduction	334
18.2 Modules solaires photovoltaïques	334
18.3 Installations photovoltaïques et raccordement au réseau	339
18.4 Conclusion portant sur l'énergie photovoltaïque	344
18.5 Batteries d'accumulateur et stockage d'énergie électrique	345
Exercices	350
CONCLUSION	355
BIBLIOGRAPHIE ET LIENS	357
INDEX	359