

SOMMAIRE

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS & RAPPELS FONDAMENTAUX

1 ÉQUATIONS DE BASE DE L'ÉLECTROMAGNÉTISME	9
1.1 Les relations constitutives	9
1.2 Les équations de Maxwell	14
1.3 Les équations de Laplace et de Poisson	18
1.4 Conditions aux limites à la surface de séparation de deux milieux	20
1.5 Relation d'Oumov-Poynting	22
1.6 Cas d'un champ sinusoïdal	24
2 APPLICATIONS A L'ÉLECTROTECHNIQUE	27
2.1 Application du théorème d'Ampère à une seule source magnétique	27
2.2 Circuits magnétiques et énergie associée	29
2.3 Application de la loi de Lenz-Faraday	34
2.4 Actions magnétiques : force de Laplace, force portante d'un aimant	36
3 PARTICULARITÉS DES MATÉRIAUX FERROMAGNÉTIQUES	40
3.1 Matériaux ferromagnétiques	41
3.2 Etude d'une bobine à noyau ferromagnétique sous régime périodique	45
3.3 Etude des circuits couplés à noyaux: le transformateur	53
3.4 Equations établies à partir des inductances et mutuelles-inductances	56
4 NOTIONS ÉLÉMENTAIRES D'ÉLECTROMÉCANIQUE	57
4.1 Rôle des machines tournantes	57
4.2 Notions de paramètres nominaux et caractéristiques des machines	57
4.3 La puissance électrique	58
4.4 La puissance mécanique	59
4.5 Entraînement des machines	60
5 EXERCICES RÉSOLUS	66

CHAPITRE II : FMM ET FEM DANS LES MACHINES TOURNANTES À COURANT ALTERNATIF

1 PRINCIPES GÉNÉRAUX	75
1.1 Champ créé par une bobine, dans l'entrefer d'une machine tournante	76
1.2 Champ créé par plusieurs bobines dans l'entrefer	79
1.3 Cas particulier d'une alimentation triphasée-Champ tournant	80
2 CONSTITUTION DES ENROULEMENTS	83
2.1 Aspect descriptif bobines dans l'entrefer	84
2.2 Définitions	85
2.3 Réalisation du bobinage d'un enroulement régulier à une couche	87
2.4 Enroulement à nombre fractionnaire d'encoches par pôle et phase	90
2.5 Enroulement à deux couches	91
3 FACTEUR DE BOBINAGE	93
3.1 Hypothèses et outils de travail	93
3.2 Distribution du champ dans l'entrefer d'une bobine diamétrale	93
3.3 Facteur de distribution	96
3.4 Facteur de raccourcissement	98
3.5 Facteur d'inclinaison (vrillage)	101
3.6 Coefficient de bobinage ou facteur d'enroulement	102
4 FMM CRÉÉES PAR UNE ARMATURE TRIPHASÉE	103
4.1 Fmm d'une armature monophasée	103
4.2 Fmm d'une armature triphasée	103
4.3 Champs tournants harmoniques	109

5 FLUX ET FORCES ÉLECTROMOTRICES -----	112
5.1 Relation entre le flux par pôle et les inductions moyenne et fondamentale -----	113
5.2 Fem créée dans une spire plongée dans un champ non sinusoïdal tournant -----	114
5.3 Fem créée dans une section plongée dans un champ non sinusoïdal -----	116
5.4 Fem créée par pôle dans le cas d'un champ non sinusoïdal -----	116
5.5 Fem créée par phase dans le cas d'un champ non sinusoïdal -----	116
5.6 Application : calcul de la matrice-inductance d'une machine à pôles lisses -----	117
6 EXERCICES RÉSOLUS -----	123
 CHAPITRE III : MACHINES ASYNCHRONES	
1 DESCRIPTION -----	137
1.1 Allure globale -----	137
1.2 Principaux éléments de la machine -----	138
1.3 Principaux types de rotor -----	139
1.4 Boite à bornes -----	140
1.5 Plaque signalétique -----	141
2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT EN MOTEUR -----	141
2.1 Création du champ tournant -----	141
2.2 Création du couple au rotor -----	142
2.3 Glissement -----	143
2.4 Pulsations des courants rotoriques, vitesses relatives des deux champs -----	143
3 LES ÉQUATIONS ÉLECTRIQUES DE LA MACHINE -----	144
3.1 Equation électrique au stator -----	144
3.2 Equation électrique au rotor -----	145
3.3 Equation des Ampères-tours -----	145
3.4 Schéma équivalent du moteur ramené au stator -----	147
4 DIAGRAMME ÉNERGÉTIQUE ET PUISSANCES MISES EN JEU -----	148
4.1 La puissance mécanique à partir du schéma équivalent -----	148
4.2 Bilan énergétique total et rendement -----	150
5 DÉTERMINATION DU COUPLE ÉLECTROMAGNÉTIQUE -----	150
5.1 Couple électromagnétique et couple utile -----	150
5.2 Caractéristique $\Gamma_{em}(g)$ à E_{r1} constant -----	151
5.3 Caractéristique $\Gamma_{em}(g)$ à V_s constant -----	153
5.4 Couples instantané et moyen à partir de la force de Laplace -----	154
6 CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU MOTEUR ASYNCHRONE -----	156
6.1 Principaux paramètres de fonctionnement -----	156
6.2 Couple utile -----	156
6.3 Courant absorbé -----	157
6.4 Facteur de puissance -----	157
6.5 Rendement -----	157
7 DÉMARRAGES DU MOTEUR ASYNCHRONE -----	158
7.1 Problématique du démarrage -----	158
7.2 Démarrages des moteurs à rotors bobinés (rotor à bagues) -----	158
7.3 Démarrage direct des rotors à cage -----	159
7.4 Démarrages indirects des rotors à cage -----	164
8 VARIATION DE LA VITESSE -----	165
8.1 Principes -----	165
8.2 Action sur le nombre de paires de pôles -----	166
8.3 Action sur le glissement -----	167
8.4 Action sur la fréquence -----	167
9 FONCTIONNEMENT EN GÉNÉRATRICE ET EN FREIN -----	172
9.1 Principe de fonctionnement en génératrice -----	172

9.2 Autres types de fonctionnement en génératrice -----	173
9.3 Fonctionnement en frein (freinage à contre-courant) -----	174
9.4 Fonctionnement de la machine à g entre - $\infty + \infty$ -----	177
10 ESSAIS DES MOTEURS ASYNCHRONES -----	177
10.1 Introduction -----	177
10.2 Essais directs en charge avec mesure du couple utile -----	177
10.3 Essais en charge avec évaluation des pertes -----	179
10.4 Essais à puissance réduite -----	180
11 UTILISATION DU DIAGRAMME DU CERCLE -----	181
11.1 Introduction -----	181
11.2 Schéma équivalent en Γ et diagramme du cercle -----	182
11.3 Exploitation du diagramme -----	183
12 LE MOTEUR ASYNCHRONE MONOPHASÉ -----	185
12.1 Introduction -----	185
12.2 Description -----	185
12.3 Principe -----	186
12.4 Equations -----	187
12.5 Performances et démarrage -----	188
13 EXERCICES RÉSOLUS -----	189
 CHAPITRE IV : MACHINES SYNCHRONES	
1 NOTATIONS ET CONVENTIONS -----	213
2 DESCRIPTION -----	214
2.1 Le stator -----	214
2.2 Le rotor -----	214
3 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT -----	217
3.1 Fonctionnement en alternateur -----	217
3.2 Fonctionnement en moteur -----	217
4 ALTERNATEURS À PÔLES LISSES EN RÉGIME LINÉAIRE -----	219
4.1 Expression de la fem induite à vide -----	219
4.2 Réaction d'induit -----	220
4.3 Sens de la fem en charge au stator -----	221
4.4 Courant induit et flux résultant selon la charge -----	221
4.5 Expression de la fem en charge en régime linéaire -----	225
4.6 Coefficient d'équivalence pour une machine à pôles lisses -----	226
4.7 Equation électrique en régime linéaire -----	227
4.8 Détermination de la réactance synchrone : méthode de Behn-Eschenburg -----	228
5 ALTERNATEURS À PÔLES LISSES EN RÉGIME SATURÉ -----	230
5.1 Diagramme de Behn-Eschenburg en régime saturé -----	230
5.2 Diagramme de Potier -----	231
5.3 Méthode de Potier pour la détermination de α et $\ell\omega$ -----	233
5.4 Détermination des coefficients de Potier -----	234
6 ALTERNATEURS À PÔLES SAILLANTS EN RÉGIME LINÉAIRE -----	236
6.1 Champ inducteur et réaction d'induit : diagramme à deux réactions -----	236
6.2 Expression de la fem en charge en régime linéaire -----	238
6.3 Coefficients d'équivalence αd et αq -----	238
6.4 Equation électrique en régime linéaire -----	240
6.5 Détermination expérimentale de X_d et X_q -----	240
6.6 Détermination du courant d'excitation pour un régime donné -----	241
7 ALTERNATEURS À PÔLES SAILLANTS EN RÉGIME SATURÉ -----	242
8 CARACTÉRISTIQUES DES ALTERNATEURS AUTONOMES -----	244

9 DIAGRAMME ÉNERGÉTIQUE DE LA MACHINE SYNCHRONE -----	245
9.1 Bilan des puissances en jeu -----	245
9.2 Bilan de puissance pour le fonctionnement en alternateur -----	246
9.3 Bilan de puissance pour le fonctionnement en moteur -----	247
9.4 Mesures du rendement : Méthode des trois essais -----	247
10 MACHINE SYNCHRONE COUPLÉE A UN RÉSEAU PUISSANT -----	248
10.1 Introduction -----	248
10.2 Procédures de couplage -----	249
10.3 Diagramme bipolaire et lecture des puissances -----	250
10.4 Diagramme bipolaire simplifié : couple électromagnétique et angle interne -----	253
10.5 Caractéristiques en charge de la MS couplée au réseau -----	254
10.6 Particularité de la machine à pôles saillants couplée au réseau -----	257
11 STABILITÉ ET OSCILLATIONS DES MS COUPLÉES AU RÉSEAU -----	259
11.1 Stabilité statique -----	259
11.2 Stabilité dynamique -----	259
11.3 Couple synchronisant pour les petites oscillations -----	260
11.4 Équation du mouvement sans amortissement -----	261
11.5 Équation du mouvement avec amortissement -----	263
11.6 Stabilité pour les grandes variations de l'angle interne -----	264
11.7 Oscillations forcées -----	266
12 DÉMARRAGE ET VARIATION DE VITESSE DU MOTEUR SYNCHRONE	268
12.1 Démarrage en asynchrone -----	268
12.2 Démarrage avec un variateur de fréquence -----	269
12.3 Moteur synchrone autopiloté -----	269
13 EXERCICES RÉSOLUS -----	269
CHAPITRE V : NOTIONS DE CONVERSION ÉLECTROMÉCANIQUE DE L'ÉNERGIE	
1 CONVERTISSEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE À UNE EXCITATION -----	295
1.1 Energie et co-énergie d'un circuit magnétique non déformable -----	295
1.2 Energie et co-énergie d'un circuit magnétique déformable -----	297
1.3 Couple électromagnétique -----	298
1.4 Interprétation graphique -----	299
1.5 Application aux convertisseurs non saturés -----	300
1.6 Equations dynamiques du convertisseur non saturé -----	300
2 CONVERTISSEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE A N EXCITATIONS -----	301
2.1 Couple électromagnétique d'un système à n excitations -----	301
2.2 Equations dynamiques d'un système à n excitations -----	303
3 MODÉLISATION DES MACHINES TOURNANTES USUELLES -----	303
3.1 Eléments de la matrice-inductance de la machine à pôles lisses -----	303
3.2 Eléments de la matrice-inductance de la machine à pôles saillants -----	305
4 EXEMPLES D'APPLICATIONS -----	307
4.1 Convertisseur à quatre circuits couplés à pôles lisses -----	307
4.2 Machine à réluctance variable élémentaire -----	311
5 EXERCICES RÉSOLUS -----	316
ANNEXES -----	325
INDEX -----	347
BIBLIOGRAPHIE -----	351