

EGEM

Génie électrique

Machines électriques non conventionnelles

*sous la direction de
Abderrezak Rezzoug
Mohammed El-Hadi Zaïm*

EGEM

Hermès

Lavoisier

Table des matières

Introduction	15
Abderrezak REZZOUG, Mohammed El-Hadi ZAÏM	
Chapitre 1. Outils théoriques et matériaux pour les machines électriques	19
Abderrezak REZZOUG, Mohammed El-Hadi ZAÏM	
1.1. Outils théoriques	19
1.1.1. Electromagnétisme et machines tournantes	19
1.1.2. Mécanique des machines tournantes	26
1.1.3. Thermique des machines tournantes	28
1.2. Les matériaux	33
1.2.1. Isolants	33
1.2.2. Conducteurs	38
1.2.3. Matériaux magnétiques	41
1.2.3.1. Matériaux doux	41
1.2.3.2. Matériaux durs (aimants permanents)	44
1.2.3.3. Poudres	48
1.2.3.4. Amorphes-Verres métalliques	48
1.3. Bibliographie	50

Chapitre 2. Machines lentes à couplage dentaire	53
Daniel MATT, Abdel Mounaïm TOUNZI, Mohammed El-Hadi ZAÏM	
2.1. Introduction	53
2.2. Positionnement du problème. Ebauche des limites de faisabilité	55
2.2.1. Définition	55
2.2.2. Performances massiques ou volumiques des machines électriques.	57
2.2.3. Influence de la fréquence de conversion électromécanique	58
2.2.3.1. Couplage dentaire	61
2.2.3.2. Couplage harmonique	62
2.2.4. Densité d'effort électromagnétique	64
2.2.5. Valeurs limites du couple massique.	70
2.2.6. Comparaison avec l'usage d'un moto-réducteur	73
2.3. Machines à bobinage dentaire et à plots dentés.	75
2.3.1. MRV à bobinage dentaire.	75
2.3.2. MRV à plots dentés.	79
2.3.3. Machines à plots dentés excitées	82
2.3.3.1. Machine à plots dentés excitée à double saillance	82
2.3.3.2. Machine à plots dentés excitée et inversion de flux	87
2.4. Machines à bobinage réparti et effet vernier.	91
2.4.1. Machine à réluctance variable	91
2.4.1.1. MRV non excitée.	97
2.4.1.2. MRV excitée.	101
2.4.2. Machine vernier à aimants	109
2.5. Bibliographie	117
Chapitre 3. Machines électriques rapides	123
Mohammed El-Hadi ZAÏM, Hamid BEN AHMED, Nicolas BERNARD	
3.1. Intérêt du fonctionnement à haute vitesse de rotation	123
3.2. Critères et contraintes d'une machine haute vitesse	127
3.2.1. Tenue mécanique	127
3.2.2. Pertes magnétiques	131
3.2.2.1. Tôles ferromagnétiques et poudres de fer.	131
3.2.2.2. Pertes magnétiques.	132
3.2.3. Pertes aérodynamiques.	138
3.2.4. Système de guidage.	140
3.2.5. Conséquences et performances limites.	143
3.3. Types de machines électriques	146
3.3.1. Machine à induction	146
3.3.2. Machines synchrones.	148
3.3.2.1. Machines à aimants permanents.	148
3.3.2.2. Machines synchrones à réluctance variable	151
3.3.3. Machine à réluctance variable à double saillance (MRVDS)	155
3.4. Exemples d'applications	156
3.4.1. Usinage à grande vitesse (UGV).	157
3.4.2. Pompage et compression à très grande vitesse	162
3.4.3. Stockage électromécanique d'énergie	164
3.5. Problématique d'optimisation des machines rapides	173
3.5.1. Modélisation	173
3.5.1.1. Puissance électromagnétique.	174
3.5.1.2. Pertes cuivre	175
3.5.1.3. Pertes fer	176
3.5.1.4. Pertes aérodynamiques	177
3.5.1.5. Contrainte thermique	178
3.5.2. Optimisation	178
3.5.2.1. Formulation du problème.	178
3.5.2.2. Maximisation de la puissance électromagnétique.	181
3.5.2.3. Maximisation de la puissance volumique	181
3.5.2.4. Optimisation avec pertes aérodynamiques	186
3.5.3. Conclusion sur la maximisation de la puissance volumique.	187
3.6. Bibliographie	188

Chapitre 4. Machines à supraconducteurs	195
Abderrezak REZZOUG, Jean LÉVÊQUE, Bruno DOUINE	
4.1. Introduction.....	195
4.2. Les matériaux supraconducteurs en électrotechnique.....	196
4.2.1. La supraconductivité.....	196
4.2.2. Grandeurs critiques.....	198
4.2.2.1. Température critique.....	198
4.2.2.2. Champs magnétiques critiques.....	198
4.2.2.3. Densité de courant critique.....	202
4.3. Les matériaux supraconducteurs utilisés dans les machines électriques.....	204
4.3.1. Les supraconducteurs BTC.....	205
4.3.1.1. Structures des conducteurs BTC.....	205
4.3.1.2. Exemples de conducteur BTC.....	206
4.3.2. Les supraconducteurs HTC.....	207
4.3.2.1. Structures des matériaux supraconducteurs HTC.....	207
4.3.2.2. Grandeurs critiques.....	209
4.3.2.3. Champ magnétique d'irréversibilité.....	210
4.3.2.4. Champ magnétique transverse et parallèle.....	211
4.3.2.5. Supraconducteurs HTC massifs.....	211
4.3.2.6. Rubans et fils supraconducteurs, technologie PTT.....	213
4.3.2.7. Films supraconducteurs.....	213
4.4. Pertes en champ propre dans les supraconducteurs.....	215
4.4.1. Origine des pertes et modèle de Bean.....	215
4.4.2. Bilan des pertes.....	216
4.5. Environnement cryogénique.....	218
4.5.1. Propriétés mécaniques des matériaux à basse température.....	219
4.5.2. Fluides cryogéniques.....	221
4.5.3. Obtention du froid.....	225
4.5.3.1. Cycle de Joule-Thomson.....	225
4.5.3.2. Cycle de Brayton.....	228
4.5.4. Cryostat.....	232
4.5.5. Techniques de vide.....	236
4.6. Machines à supraconducteurs.....	236
4.6.1. Machine synchrone à inducteur supraconducteur.....	238
4.6.1.1. Principe.....	238
4.6.1.2. Exemples de réalisation.....	240
4.6.2. Moteur homopolaire.....	244
4.6.2.1. Principe d'une machine acyclique.....	244
4.6.2.2. Exemples.....	246
4.6.3. Moteur à écrans supraconducteurs.....	247
4.6.4. Moteur à barrière de flux.....	249
4.6.5. Moteur à hystérésis.....	250
4.6.6. Moteur à aimants froids.....	252
4.7. Bibliographie.....	253
Index	259