

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