EGEM

Génie électrique

Les entraînements électriques

méthodologie de conception

Marcel Jufer

EGEM

537-52.1

Hermes Lavoisier

Table des matières

Chapitre 1. Introduction – Composants d'un entraînement électrique 15
1.1. Définition 15
1.2. Composants d'un entraînement électrique 16

Chapitre 2. Organes entraînés 19
2.1. Fonction de l'organe entraîné 19
2.2. Régime nominal ou de référence 19
2.3. Comportement transitoire 20
2.4. Cahier des charges 21
2.4.1. Données de base 21
2.4.2. Caractéristiques de réglage 22
2.4.3. Caractéristiques de démarrage et de freinage 22
2.4.4. Caractéristiques transitoires 23
2.4.5. Caractéristiques des éléments périphériques 24
2.4.6. Aspect thermique 24
2.4.7. Contraintes 25
2.4.8. Liste type 26

Chapitre 3. Transmission 29
3.1. Types de transmissions et caractérisation 29
3.1.1 . Transmissions tournantes-tournantes 29
3.1.2. Transmissions tournantes-linéaires 31
3.2. Résolution 35

3.2.1. Caractérisation 35
3.2.2. Critères de choix 35
3.2.3. Limites 36
3.3. Adaptation de vitesse 36
3.4. Comportement dynamique 37
3.4.1. Objectif 37
3.4.2. Equations dynamiques 37
3.4.3. Constante de temps mécanique 42
3.4.4. Accélération 44
3.5. Couple pulsant 46
3.5.1. Objectif 46
3.5.2. Lissage des oscillations de vitesse 46
3.5.3. Couple impulsionnel 48
3.6. Transfert de position 51
3.6.1. Objectif 51
3.6.2. Profil de vitesse 52

Chapitre 4. Moteurs 57
4.1. Caractérisation 57
4.2. Moteurs tournants et linéaires 58
4.3. Moteurs asynchrones 58
4.3.1. Structure 58
4.3.2. Schéma équivalent 60
4.3.3. Caractéristiques de courant et de couple à fréquence constante 60
4.3.4. Moteur à deux vitesses, couplage Dahlander 64
4.3.5. Caractéristiques de courant et de couple à fréquence variable 66
4.3.6. Moteur asynchrone à rotor bobiné 68
4.3.7. Moteur asynchrone monophasé 71
4.3.8. Domaines d'application 71
4.4. Moteurs à courant continu 72
4.4.1. Structure 72
4.4.2. Schéma équivalent 74
4.4.3. Caractéristiques de courant et de couple 74
4.4.4. Moteur à collecteur 80
4.4.5. Applications 81
4.5. Moteurs synchrones 81
4.5.1. Structure 81
4.5.2. Schéma équivalent 84

4.5.3. Caractéristiques de couple à courant imposé 85
4.5.4. Caractéristiques de couple à tension imposée 86
4.5.5. Mode autocommuté 87
4.5.6. Adaptation de l'angle ε en alimentation à tension constante 90
4.5.7. Applications 93
4.6. Moteurs à réluctance variable. 93
4.6.1. Structure et caractéristiques 93
4.6.2. Alimentation et applications 95
4.7. Variantes linéaires. 96
4.7.1. Moteurs asynchrones. 96
4.7.2. Moteurs synchrones 97
4.7.3. Moteurs à bobine mobile 98
4.8. Moteurs et actionneurs piézo-électriques 103
4.8.1. Moteur piézo-électrique 103
4.8.2. Applications 104
4.8.3. Actionneurs piézo-électriques 106

Chapitre 5. Moteurs – Caractérisation 107
5.1. Caractéristiques 107
5.1.1. Typologie 107
5.1.2. Rôle des lois de similitude 108
5.2. Lois de similitude 109
5.2.1. Pertes Joule. 109
5.2.2. Résistances et inductances 109
5.2.3. Echauffement 110
5.2.4. Moteurs à réluctance et asynchrone 111
5.2.5. Moteurs à aimants permanents. 112
5.2.6. Exemple. 114
5.3. Formulation paramétrique 116
5.3.1. Couple 116
5.3.2. Comparaison 117
5.3.3. Inertie 117
5.3.4. Accélération 118

Chapitre 6. Conception globale d'un entraînement électrique 119
6.1. Introduction 119
6.2. Equations dynamiques 120
6.2.1. Transfert de position 120

6.2.2. Equation de mouvement avec transmission. 121
6.2.3. Résolution 123
6.3. Exemple 124
6.3.1. Données 124
6.3.2. Entraînement choisi par le constructeur 125
6.3.3. Nouveau dimensionnement de l'entraînement avec le même type de moteur 128
6.3.4. Dimensionnement de l'entraînement avec un moteur d'un type donné 131
6.3.5. Moteur à performances élevées 132
6.3.6. Moteur à performances moyennes 133
6.3.7. Conclusion 134

Chapitre 7. Echauffement et limites thermiques 135
7.1. Importance de l'échauffement 135
7.2. Equations thermiques. 136
7.2.1. Conduction 136
7.2.2. Convection et rayonnement. 136
7.2.3. Phénomène résultant 137
7.2.4. Résolution 138
7.2.5. Mesure. 140
7.2.6. Démarrage 140
7.2.7. Régimes variables. 141
7.3. Energie dissipée au démarrage 143
7.3.1. Conditions de démarrage 143
7.3.2. Démarrage direct à vide – moteur asynchrone 143
7.3.3. Démarrage direct à vide – moteur à courant continu 144
7.3.4. Démarrage à fréquence variable – moteur asynchrone 145
7.3.5. Démarrage à tension variable – moteur à courant continu 146
7.3.6. Démarrage d'un moteur à courant continu sans collecteur 147
7.4. Modes de refroidissement 147
7.4.1. Techniques utilisées 147
7.4.2. Refroidissement à air. 147
7.4.3. Refroidissement à eau 150

Chapitre 8. Périphériques électriques 153
8.1. Adaptation 153
8.2. Sources 153
8.3. Adaptation de tension 154
8.3.1. Principe 154
8.3.2. Autotransformateur 155
8.3.3. Démarrage étoile-triangle 159
8.4. Dispositifs d'adaptation de courant 160
8.4.1. Principe 160
8.4.2. Résistance de démarrage 160
8.4.3. Inductance de démarrage 161
8.4.4. Exemple 163

Chapitre 9. Périphériques électroniques 165
9.1. Electronique de puissance 165
9.2. Interrupteur simple 166
9.2.1. Schéma de base 166
9.2.2. Interrupteur actif 166
9.3. Pont en H 168
9.3.1. Schéma de base 168
9.3.2. Pont en H actif 168
9.3.3. Pont en demi H 169
9.4. Pont à six éléments 170
9.4.1. Schéma de base 170
9.4.2. Pont actif à six transistors 171
9.4.3. Commutation à 120 degrés 172
9.4.4. Commutation à 180 degrés 174

Chapitre 10. Capteurs 177
10.1. Fonctions et types 177
10.1.1. Fonctions 177
10.1.2. Position et vitesse 178
10.1.3. Types de capteurs 178
10.2. Capteurs de position optiques 179
10.2.1. Principe 179
10.2.2. Performances 180
10.3. Sondes de Hall 181
10.3.1. Principe 181
10.3.2. Applications 181

10.4. Capteurs de position inductifs. 182
10.4.1. Principe 182
10.4.2. Applications – capteur simple à inductance propre variable. 183
10.4.3. Capteur linéaire à transformateur différentiel. 184
10.5. Capteurs tournants inductifs sans contact de type Resolver . . . 187
10.5.1. Principe 187
10.6. Autres capteurs de position 189
10.6.1. Capteurs Inductosyn 189
10.6.2. Capteurs capacitifs 192
10.6.3. Capteurs potentiométriques. 194
10.7. Le moteur comme capteur de position 194
10.7.1. Principe 194
10.7.2. Tension induite de mouvement 195
10.7.3. Mesure de l'état de saturation 196
10.7.4. Détection de l'harmonique 3 198
10.8. Emplacement des capteurs. 200
10.8.1. Problématique 200
10.8.2. Jeux. 200
10.8.3. Elasticité. 201
10.9. Capteurs de courant 201
10.9.1. Principe 201
10.9.2. Résistance de mesure. 201
10.9.3. Transformateur d'intensité 202
10.9.4. Mesure de courant par sonde de Hall. 202
10.10. Capteurs de protection 203
10.10.1. But 203
10.10.2. Surintensités et surtensions 204
10.10.3. Suréchauffement. 204
10.10.4. Autres protections 205

Chapitre 11. Entraînements directs 207
11.1. Performances limites 207
11.1.1. Méthodologie. 207
11.1.2. Force surfacique. 208
11.1.3. Moteur à aimants permanents 209
11.1.4. Moteur à induction 211
11.1.5. Comparaison 215
11.1.6. Moteur linéaire à aimants permanents 216
11.1.7. Conclusion 219

11.2. Moteur à rotor extérieur 220
11.2.1. Spécificités 220
11.2.2. Couple 221
11.3. Exemple 224
11.3.1. Cahier des charges 224
11.3.2. Moteur-roue à rotor externe 224
11.3.3. Moteur classique avec réducteur 225
11.3.4. Choix 225

Chapitre 12. Entraînements intégrés 227
12.1. Principe 227
12.2. Réalisation 228
12.2.1. Moteur et électronique 228
12.2.2. Système 229
12.2.3. Intégration de la transmission 231
12.2.4. Applications 232

Bibliographie 235

Index 237

Symboles 241

Indices 245