



EGEM

électronique – génie électrique – microsystemes

**Identification et observation
des actionneurs électriques 1**

mesures et identification

*sous la direction de
Bernard de Fornel
Jean-Paul Louis*

hermes

Lavoisier

Table des matières

Introduction	15
Bernard DE FORNEL et Jean-Paul LOUIS	
Chapitre 1. Identification en régime permanent	21
Edouard LAROCHE et Jean-Paul LOUIS	
1.1. Introduction	21
1.2. Les modèles	22
1.2.1. Modèle dynamique de la machine asynchrone	22
1.2.2. Etablissement des modèles à quatre paramètres	23
1.2.2.1. Modèle à fuites totalisées au rotor	23
1.2.2.2. Modèle à fuites totalisées au stator	24
1.2.2.3. Equivalence des modèles à fuites totalisées	26
1.2.3. La saturation du circuit magnétique	27
1.2.4. Les pertes fer.	29
1.2.5. Le régime permanent sinusoïdal	30
1.2.6. Récapitulatif des différents modèles	31
1.2.7. Mesures.	33
1.2.8. Exploitation de la plaque signalétique	34
1.3. Méthodes classiques à partir d'un nombre limité de mesures	36
1.3.1. Mesure de la résistance du stator	36
1.3.2. Modèle à fuites totalisées au rotor	36
1.3.2.1. Méthode classique	36
1.3.2.2. Utilisation de deux mesures quelconques	39
1.3.3. Modèles à fuites totalisées au stator	40
1.3.4. Caractéristique de saturation	40
1.3.5. Résultats expérimentaux	41
1.3.5.1. Modèle à fuites totalisées au rotor	41
1.3.5.2. Modèle à fuites totalisées au stator	42
1.3.5.3. Saturation	42

1.4. Estimation par minimisation d'un critère portant sur l'admittance	44
1.4.1. Estimation des paramètres par minimisation d'un critère	44
1.4.2. Choix du critère	45
1.4.3. Mise en œuvre	45
1.4.4. Analyse des erreurs d'estimation	46
1.4.4.1. Méthode d'estimation des erreurs	47
1.4.4.2. Choix du jeu de mesure	48
1.4.4.3. Effet des erreurs de mesure	48
1.4.4.4. Effet des erreurs de modèle	50
1.4.4.5. Discussion	51
1.4.5. Résultats expérimentaux	52
1.4.6. Planification d'expérience	53
1.4.6.1. Principe	53
1.4.6.2. Minimisation de l'effet des bruits de mesure	53
1.4.6.3. Minimisation de l'effet combiné du bruit de mesure et des pertes fer	53
1.4.7. Conclusion sur la méthode	54
1.5. Estimation linéaire	55
1.5.1. Principe	55
1.5.2. Cas du modèle à cinq paramètres	56
1.5.3. Etude de précision	57
1.5.3.1. Erreurs de mesure	58
1.5.3.2. Erreur sur la résistance du stator	59
1.5.3.3. Discussion	61
1.5.4. Résultats expérimentaux	61
1.5.4.1. Système expérimental	61
1.5.4.2. Méthode non linéaire	61
1.5.4.3. Méthode linéaire	62
1.5.4.4. Comparaison	62
1.5.5. Conclusion sur la méthode « linéarisante »	62
1.6. Conclusion	63
1.7. Annexes	65
1.7.1. Expression des sensibilités	65
1.7.2. Caractéristiques des machines utilisées	65
1.8. Bibliographie	67
Chapitre 2. Modélisation et détermination des paramètres de la machine synchrone saturée	69
Ernest MATAGNE et Emmanuel DE JAEGER	69
2.1. Modélisation de la machine synchrone : théorie générale	69
2.1.1. Description de la machine étudiée et hypothèses générales de la modélisation	69
2.1.2. Lois fondamentales des circuits pour l'étude des machines électriques	72
2.1.3. Equations de la machine en variables abc	74
2.1.4. Transformation de Concordia : équations de la machine en variables $\alpha\alpha\beta$	79
2.1.5. Transformation de Park : équations de la machine en variables $0dq$	87
2.1.6. Connexion de la machine à une liaison triphasée	93
2.1.7. Réduction des circuits rotoriques au stator	93
2.1.8. Unités relatives (per-unit)	102
2.2. Modèles et essais classiques	104
2.2.1. La machine synchrone en régime non saturé	104
2.2.1.1. Modèle linéaire classique (modèle de Park)	104
2.2.1.2. Schémas équivalents	104
2.2.1.3. Réactances opérationnelles en régime non saturé	105
2.2.1.4. Paramètres internes et paramètres externes en régime non saturé	105
2.2.2. Essais classiques généraux	107
2.2.2.1. Essai de la machine synchrone en régime permanent de faible charge	108
2.2.2.2. Essais de la machine synchrone en régime transitoire	113
2.2.2.3. Essais de la machine à l'arrêt	116
2.2.3. Méthode de Potier	118
2.2.3.1. Insuffisance de la théorie linéaire	118
2.2.3.2. Modèle de Potier	118
2.2.3.3. Détermination expérimentale des paramètres du modèle de Potier	120
2.2.3.4. Nécessité d'une théorie plus générale en présence de saturation et de saillances magnétiques	121
2.3. Modèles avancés : la machine synchrone en régime saturé	122
2.3.1. Eléments de la théorie de von der Embse des machines électriques en régime saturé : circuits inductifs en présence de saturation magnétique	122
2.3.2. Etude générale des couplages magnétiques en présence de saturation	123
2.3.2.1. Couplage par effet de transformateur	123
2.3.2.2. Couplage par saturation croisée	127
2.3.3. Mise en œuvre du modèle	135
2.3.3.1. Flux de fuite	135
2.3.3.2. Réactances opérationnelles en régime saturé	137
2.3.3.3. Transitoires de grande amplitude	138
2.4. Bibliographie	138

Chapitre 3. Estimation en ligne des paramètres des machines asynchrones	141
Luc LORON	
3.1. Introduction	141
3.2. Objectifs de l'estimation des paramètres	143
3.2.1. En commande	143
3.2.2. En diagnostic	145
3.3. Problèmes fondamentaux	147
3.3.1. Identifiabilité, paramétrisation et validation du modèle	147
3.3.1.1. Identifiabilité et paramétrisation du modèle	147
3.3.1.2. Validation du modèle	148
3.3.1.3. Identifiabilité et paramétrisation du modèle électrique de la MAS	149
3.3.2. Choix de la période d'échantillonnage et problèmes numériques	150
3.3.2.1. Cas général	150
3.3.2.2. Discretisation du modèle dynamique de la MAS	151
3.3.3. Supervision et analyse informationnelle	154
3.3.3.1. Problème de la supervision	154
3.3.3.2. Analyse informationnelle et identification globale	156
3.4. Méthodes de type moindres carrés	161
3.4.1. Principe des moindres carrés et des variables instrumentales	162
3.4.1.1. Moindres carrés et moindres carrés récursifs	162
3.4.1.2. Variables instrumentales	163
3.4.1.3. Supervision et incertitude paramétrique	164
3.4.2. Application à la MAS	165
3.4.2.1. Modèle linéaire par rapport aux paramètres	166
3.4.2.2. Mise en œuvre des moindres carrés	167
3.4.2.3. Résultats expérimentaux	168
3.5. Filtre de Kalman étendu	170
3.5.1. Principe	172
3.5.2. Réglage des matrices de variance-covariance Q et R	173
3.5.3. Application à la MAS	175
3.5.3.1. Modèle direct d'ordre complet de la MAS	175
3.5.3.2. Modèle inverse d'ordre réduit de la MAS	176
3.5.3.3. Réglage des matrices de covariance	177
3.5.3.4. Initialisation et redémarrage du filtre	178
3.5.3.5. Résultats	178
3.6. Observateur de Luenberger étendu	183
3.6.1. Principe	184
3.6.1.1. Observateur-correcteur en temps discret	184
3.6.1.2. Observateur étendu	184
3.6.1.3. Réglage (placement de pôles)	185
3.6.2. Estimation de la vitesse de la machine asynchrone	186
3.6.2.1. Modèle de la machine	187
3.6.2.2. Observateur de Luenberger étendu	188
3.6.2.3. Filtre de Kalman étendu	191
3.6.2.4. Comparaison entre filtre de Kalman et observateur de Luenberger	192
3.7. Conclusion	193
3.8. Annexe : caractéristiques des machines	194
3.9. Bibliographie	194
Chapitre 4. Estimateurs et observateurs linéaires d'une machine asynchrone (MA)	201
Martin PUTERZAK-DAVID, Bernard de FORNEL et Alain BOUSCAYROL	
4.1. Introduction	201
4.2. Modèles d'estimation pour la machine asynchrone	202
4.2.1. Modèle de Park de la machine asynchrone	202
4.2.1.1. Un modèle dynamique en vue de l'observation	202
4.2.1.2. Les changements de repère	203
4.2.1.3. Le modèle dans le repère général	204
4.2.2. Différents modèles d'état en vue de l'estimation de flux	205
4.2.2.1. Représentation d'état d'une machine asynchrone	205
4.2.2.2. Vecteur d'état composé des courants statoriques et des flux statoriques	206
4.2.2.3. Vecteur d'état composé des courants statoriques et des flux rotoriques	207
4.2.2.4. Vecteur d'état composé des flux statoriques et des flux rotoriques	207
4.2.3. Différents repères de travail en vue de l'estimation de flux	208
4.2.3.1. Différents repères de travail	208
4.2.3.2. Repères basés sur la connaissance des angles a priori	209
4.2.3.3. Repères basés sur la connaissance des angles a posteriori	210
4.2.3.4. Bilan sur les différents repères appropriés à l'estimation des flux	210
4.3. Estimation du flux	210
4.3.1. Introduction	210
4.3.2. Estimateur du flux statorique	211
4.3.3. Estimateur du flux rotorique	213
4.4. Observation du flux	214
4.4.1. Observateur déterministe d'ordre complet	214
4.4.1.1. Principe	214
4.4.1.2. Equation d'état de l'observateur	217

4.4.1.3. Observabilité	218
4.4.1.4. Calcul du gain de l'observateur	219
4.4.1.5. Exemple de robustesse de l'observateur	221
4.5. Observateurs stochastiques linéaires – Filtres de Kalman-Bucy	222
4.5.1. Introduction	222
4.5.2. Modèle du filtre de Kalman-Bucy	223
4.5.3. Convergence du filtre de Kalman	226
4.5.4. Résultats de simulation et résultats expérimentaux	228
4.6. Structures séparées d'estimation et d'observation de la vitesse de rotation	234
4.6.1. Introduction	234
4.6.2. Principes généraux	235
4.6.3. Méthodes d'estimation et d'observation de la vitesse	236
4.6.3.1. Calcul de la vitesse par la relation d'autopilotage	236
4.6.3.2. Association d'un observateur mécanique à l'estimateur par addition de fréquences	238
4.6.3.3. Mécanisme adaptatif (MRAS)	240
4.6.3.4. Mécanisme adaptatif associé à un observateur mécanique	246
4.7. Observateur adaptatif	249
4.7.1. Introduction	249
4.7.2. Détermination des gains de l'observateur	251
4.7.3. Loi d'adaptation de la vitesse	253
4.7.3.1. Vérification de la troisième condition de la théorie d'hyperstabilité	253
4.7.3.2. Paramètres k_1 et L_1	254
4.7.4. Résultats de simulation et résultats expérimentaux	256
4.8. Observateur mécanique à structure variable (OMSV)	259
4.8.1. Principe de base	259
4.8.2. Construction de l'observateur mécanique à structure variable – OMSV	262
4.8.3. Détermination des gains de l'observateur à structure variable	263
4.8.4. Présentation des performances de l'observateur	264
4.8.4.1. Le phénomène de <i>shattering</i>	264
4.8.4.2. Fonctionnement à vitesse nominale	267
4.8.5. Fonctionnement aux faibles vitesses	269
4.8.6. Robustesse par rapport aux variations paramétriques	271
4.8.6.1. Variations des paramètres mécaniques	271
4.9. Conclusion	273
4.10. Bibliographie	274
Index	277

GÉNIE ÉLECTRIQUE

Le traité Electronique, Génie Electrique, Microsystèmes répond au besoin de disposer d'un ensemble de connaissances, méthodes et outils nécessaires à la maîtrise de la conception, de la fabrication et de l'utilisation des composants, circuits et systèmes utilisant l'électricité, l'optique et l'électronique comme support.

Conçu et organisé dans un souci de relier étroitement les fondements physiques et les méthodes théoriques au caractère industriel des disciplines traitées, ce traité constitue un état de l'art structuré autour des quatre grands domaines suivants :

Electronique et micro-électronique

Optoélectronique

Génie électrique

Microsystèmes

Chaque ouvrage développe aussi bien les aspects fondamentaux qu'expérimentaux du domaine qu'il étudie. Une classification des différents chapitres contenus dans chacun, une bibliographie et un index détaillé orientent le lecteur vers ses points d'intérêt immédiats : celui-ci dispose ainsi d'un guide pour ses réflexions ou pour ses choix.

Les savoirs, théories et méthodes rassemblés dans chaque ouvrage ont été choisis pour leur pertinence dans l'avancée des connaissances ou pour la qualité des résultats obtenus.

hermes
Science
— publications —

www.hermes-science.com

978-2-7462-1544-3



9 782746 215443