

TECHNOSUP

Les FILIÈRES TECHNOLOGIQUES des ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

ÉLECTROTECHNIQUE

Électrotechnique expérimentale

Schémas, graphes et simulations

Christophe HAOUY

ellipses

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE I – Introduction aux asservissements

1. Réponses indicielles	9
1.1. Système électrique.....	9
1.2. Système mécanique.....	13
1.3. Système thermique. Modélisation	14
2. Identification des systèmes du premier et du second ordre.....	16
2.1. Systèmes du premier ordre.....	16
2.2. Systèmes du second ordre	22
3. Exemples d'asservissements.....	26
3.1. Régulation et poursuite de vitesse	26
3.2. Asservissement de position	33
3.3. Asservissement de tension.....	35
3.4. Absorption sinusoïdale et structure cascade.....	37
4. Test.....	38

CHAPITRE II – Les blocs fonctionnels

1. Modélisation du moteur DC et fonctions de transfert	39
1.1. Fonction de transfert théorique.....	39
1.2. Transformée de Laplace	46
2. Etude des asservissements par les blocs fonctionnels	50
3. Retour unitaire.....	56
4. Capteur	62
5. Test.....	66

CHAPITRE III – Les correcteurs

1. Asservissement de vitesse d'un moteur DC.....	67
1.1. Rappel.....	67
1.2. Poursuite.....	68
1.3. Régulation	71
2. Dilemme stabilité / précision – Correction optimale.....	72
2.1. Insuffisance du correcteur proportionnel.....	72
2.2. Effet des différents correcteurs.....	73
3. Diagramme de Black. Marge de gain et marge de phase	77
4. Action des correcteurs dans le plan de Black.....	85
4.1. Le correcteur proportionnel P.....	85
4.2. Le correcteur proportionnel – intégral PI	88
4.3. Correcteur proportionnel - intégrale - dérivée PID	90
5. Réglage d'un correcteur	94
5.1. Réglage expérimental par approximations successives.....	94
5.2. Réglage expérimental par le modèle de Broïda.....	97
5.3. Le réglage théorique.....	99
6. Test.....	100

CHAPITRE IV - Les harmoniques

1. Modélisation d'un système par les harmoniques de courant.....	102
--	-----

2. Création des harmoniques de courant.....	110
3. Inconvénients des harmoniques de courant.....	113
3.1. Surdimensionnement de l'installation électrique, puissance apparente.....	113
3.2. Pollution harmonique.....	116
3.3. Résonance parallèle (anti-résonance).....	119
3.4. Cas particulier de l'harmonique de rang 3 et de ses multiples.....	124
4. Quantification et normes.....	126
5. Test.....	130

CHAPITRE V – Le relèvement du facteur de puissance

1. Le facteur de puissance sous tension sinusoïdale.....	131
1.1. Les différentes puissances.....	131
1.2. FP, $\cos \varphi$ et $\cos \delta$	134
2. Relèvement du $\cos \delta$	139
2.1. Charge équivalente en courant.....	139
2.2. Modèle équivalent en harmonique 3. Filtre passif.....	141
2.3. Filtres actifs.....	147
3. Relèvement du $\cos \varphi$	151
3.1. Condensateurs ou inductances.....	151
3.2. Le statocompensateur.....	156
4. Absorption sinusoïdale.....	159
5. Test.....	161

CHAPITRE VI – La machine synchrone

1. Présentation.....	162
1.1. Bilan des puissances et schéma électrique équivalent.....	162
1.2. Echanges de puissances.....	164
2. Couplage d'une machine sur le réseau.....	165
3. Réversibilité de la machine synchrone.....	167
4. Test.....	175

CHAPITRE VII- Le principe fondamental de la dynamique

1. Définitions et conventions d'orientation.....	176
2. Comportement des charges mécaniques.....	181
3. Inertie et réducteur de vitesse.....	187
4. Test.....	191

CHAPITRE VIII – Les hacheurs

1. Intérêt d'un hacheur.....	193
2. le hacheur de base (hacheur série).....	194
3. Evolution du courant dans une charge R-L-E.....	200
4. Circuits d'aide à la commutation (C.A.L.C.).....	208
4.1. Pertes par commutation.....	208
4.2. Aide au blocage (snubber OFF).....	213
4.3. Aide à la conduction (snubber ON).....	213
5. Quadrants de fonctionnement.....	216
6. Commande d'un moteur.....	231
7. Etat des interrupteurs.....	224
8. Test.....	225

CHAPITRE IX – Les redresseurs non commandés

1. Le montage redresseur.....	227
2. Structure interne d'un redresseur.....	229
2.1. Montage cathodes communes.....	229
2.2. Montage anodes communes.....	230
2.3. Montage complet : le pont de diodes.....	231
3. Redresseur triphasé.....	233
4. Etude des puissances.....	234
4.1. Montage monophasé.....	234
4.2. Montage triphasé.....	236
5. Lissage.....	239
5.1. Lissage en tension.....	239
5.2. Lissage en courant.....	241
5.3. Lissage en courant et en tension.....	243
6. Test.....	244

CHAPITRE X – Les redresseurs commandés

1. Redresseurs commandés PD2 et PD3.....	246
1.1. Redressement PD2.....	246
1.2. Redressement PD3.....	248
2. Influence du retard à l'amorçage - réversibilité.....	250
2.1. Retard à l'amorçage.....	250
2.2. Valeurs moyennes en conduction continue.....	251
3. Facteur de puissance.....	253
4. Transformateur et redresseur.....	254
5. Variation de vitesse d'un moteur DC.....	261
6. Test.....	264

CHAPITRE XI – Les onduleurs

1. Intérêt d'un onduleur.....	265
2. Commandes élémentaires d'un onduleur.....	266
3. Commande M.L.I. intersective.....	270
4. Commande M.L.I. triphasée.....	273
5. Variateurs de vitesse à $V_1/f = \text{constante}$	274
6. Onduleur résonant.....	279
7. Test.....	282

CHAPITRE XII – Les motovariateurs asservis

1. Commande en couple.....	283
1.1. La consigne de couple idéale.....	283
1.2. Production des champs rotorique et statorique optimaux.....	286
2. Application au moteur DC.....	287
2.1. Principe de fonctionnement.....	287
2.2. Contrôle direct du couple par asservissement du courant.....	288
2.3. Asservissement cascade.....	290
3. Les moteurs brushless.....	293
3.1. Les moteurs DC-brushless.....	293
3.2. Asservissement du moteur DC-brushless.....	295
3.3. Moteurs AC-brushless.....	298
4. Le moteur asynchrone.....	300

4.1. Commande scalaire en boucle ouverte.....	301
4.2. Commande scalaire en boucle fermée.....	307
4.3. Contrôle vectoriel.....	308
5. Test.....	314

CHAPITRE XIII – Les gradateurs

1. Gradateur et caractéristiques statiques.....	316
2. Gradateur et moteur asynchrone.....	319
2.1. Démarrage étoile / triangle.....	319
2.2. Le gradateur.....	321
3. Angle de phase et train d'ondes (contacteur statique).....	324
4. Gradateur monophasé à angle de phase.....	327
4.1. Charge résistive R.....	328
4.2. Charge inductive RL série.....	329
5. Gradateur triphasé et modes de conduction.....	333
6. Test.....	337

CHAPITRE XIV – Numérisation d'un signal

1. Echantillonnage puis quantification.....	339
2. Quantification et bruit.....	341
3. Codage et modulation.....	343
4. Fréquence d'échantillonnage.....	348
5. Filtre anti-repliement.....	353
6. Test.....	357

ANNEXE A – Bibliothèque de schémas

1. Variateur de vitesse MLI à commande U/f déterminée.....	359
2. Variateur de vitesse à contrôle vectoriel.....	361
3. Gradateurs.....	362
4. Convertisseurs à absorption sinusoïdale.....	364
5. Caractéristiques mécaniques d'un moteur asynchrone.....	365
6. Caractéristique mécanique des charges usuelles.....	366
7. Démarrage étoile – triangle.....	367
8. Réponse indicielle d'un asservissement de vitesse.....	368
9. Filtres actifs.....	369
10. Module et phase d'une impédance.....	369

ANNEXE B – Mise en œuvre rapide du logiciel Psimdemo

1. Saisir un schéma.....	372
2. Lancer une simulation.....	374
3. Afficher des chronogrammes ou des graphes.....	374

INDEX ALPHABETIQUE.....	376
-------------------------	-----

BIBLIOGRAPHIE.....	379
--------------------	-----

La collection TECHNOSUP dirigée par Claude Chèze est une sélection d'ouvrages dans toutes les disciplines, pour les filières technologiques des enseignements supérieurs.

Niveau A Approche (éléments, résumés ou travaux dirigés)

Niveau B Bases (cours avec exercices et problèmes résolus)

Niveau C Compléments (approfondissement, spécialisation)

IUT - BTS - 1^{er} cycle

IUP - Licence

Écoles d'ingénieurs, Master

L'ouvrage : niveau B (IUP - Licence)

Pour s'affranchir des contraintes pratiques de l'expérimentation, cet ouvrage propose une étude concrète de l'électrotechnique en utilisant les résultats d'un simulateur gratuit et simple d'utilisation, Psimdemo, largement utilisé dans le milieu professionnel.

Le livre traite les thèmes généraux de l'électrotechnique : asservissements, comportement des moteurs face aux charges mécaniques, convertisseurs statiques (hacheurs, redresseurs, onduleurs, gradateurs), harmoniques (facteur de puissance et filtres), comportement et commande des moteurs (variateurs scalaires et vectoriels de vitesse) et numérisation des données.

Chaque chapitre aborde la problématique générale du sujet, puis propose rapidement des expérimentations ou études permettant de s'appropriier les notions traitées. Les expérimentations se présentent sous forme de schémas électriques à analyser, à simuler, ou des graphes et des valeurs numériques à interpréter. Elles sont systématiquement suivies d'une solution, ce qui laisse le choix au lecteur de lire et comprendre simplement le résultat d'une simulation (il n'a donc pas besoin d'ordinateur), ou de saisir lui-même à l'ordinateur un schéma électrique, d'analyser les graphes obtenus, et même de tester une solution que l'auteur n'a pas envisagée. Il peut donc également approfondir, à son propre rythme et de façon ludique, les sujets évoqués.

L'auteur :

Christophe Haouy, ancien élève de l'École Normale Supérieure de Cachan est agrégé de physique appliquée et ingénieur de l'École Supérieure d'Électronique de l'Ouest (E.S.E.O.). Il enseigne l'électrotechnique en STS au lycée Baumont de Saint-Dié-des-Vosges.

Illustration de couverture : Dessin de Léonard de Vinci.



www.editions-ellipses.fr