

RECHERCHE • TECHNOLOGIE • APPLICATIONS

Génie électrique

Conception systémique pour la conversion d'énergie électrique 1

gestion, analyse et synthèse

sous la direction de
Xavier Roboam

 **Hermès**

Lavoisier

Table des matières

Avant-propos	15
Chapitre 1. Introduction à la démarche systémique de conception	21
Stéphan ASTIER, Alain BOUSCAYROL et Xavier ROBOAM	
1.1. Système et systémique	23
1.1.1. Notions premières sur les systèmes et la systémique	23
1.1.2. Une brève histoire de la systémique	27
1.1.3. Systémique et artefacts.	30
1.2. Modèle et systémique	33
1.3. Systèmes énergétiques : propriétés partagées et spécifiques	37
1.3.1. L'énergie et ses propriétés.	37
1.3.2. Entropie et qualité de l'énergie	42
1.3.3. Conséquences pour les systèmes énergétiques	46
1.4. Conception systémique des systèmes énergétiques	49
1.4.1. Le contexte de la conception systémique en technologie.	49
1.4.2. Le processus de conception : vers une conception intégrée	51
1.5. Conclusion : quels objectifs pour une conception intégrée des systèmes de conversion d'énergie ?	55
1.6. Lexique de conception systémique	57
1.7. Bibliographie	60
Chapitre 2. Le formalisme <i>Bond Graph</i> pour une approche énergétique et dynamique de l'analyse et la synthèse des systèmes multiphysiques	63
Xavier ROBOAM, Eric BIDEAUX, Geneviève DAUPHIN-TANGUY, Bruno SARENI et Stéphan ASTIER	
2.1. Résumé des principes et éléments de base du formalisme	65
2.1.1. Eléments de base	65

10	Conversion d'énergie électrique 1	
	2.1.2. Les phénomènes élémentaires	67
	2.1.3. La causalité dans les <i>Bond Graphs</i>	67
	2.2. Le <i>Bond Graph</i> : « un formalisme passe frontière »	70
	2.2.1. Conversion électro-électrique	71
	2.2.2. Conversion électromécanique	76
	2.2.3. Conversion électrochimique	77
	2.2.4. Exemple de modèle multiphysique causal : l'actionneur EHA	80
	2.3. Le <i>Bond Graph</i> , outil d'analyse systémique	81
	2.3.1. Analyse des propriétés des modèles	81
	2.3.2. Modèles linéaires à temps invariant (LTI)	83
	2.3.3. Simplification de modèles	86
	2.4. Conception des systèmes par inversion des modèles <i>Bond Graph</i>	94
	2.4.1. Problèmes inverses associés à une démarche de conception	96
	2.4.2. Inversion des systèmes modélisés par <i>Bond Graph</i>	98
	2.4.3. Exemple d'application aux problèmes de conception	105
	2.5. Bibliographie	112
	Chapitre 3. Formalismes graphiques pour la commande des systèmes énergétiques multiphysiques : des GIC à la REM.	117
	Alain BOUSCAVYROL, Jean-Paul HAUTIER et Betty LEMAIRE-SEMAIL	
	3.1. Introduction	117
	3.2. Quelle démarche pour la commande d'un système énergétique ?	118
	3.2.1. Commande d'un système énergétique	118
	3.2.2. Différentes approches de commande d'un système	119
	3.2.3. Modélisation et commande d'un système énergétique	120
	3.2.4. Vers l'utilisation de formalismes graphiques de représentation	122
	3.3. Le GIC (graphe informationnel causal)	124
	3.3.1. Description par GIC	124
	3.3.2. Structure de commande par inversion du GIC	128
	3.3.3. Exemple élémentaire : commande d'un entraînement à courant continu	133
	3.4. La REM (représentation énergétique macroscopique)	136
	3.4.1. Description par REM	136
	3.4.2. Structure de commande par inversion de la REM	141
	3.4.3. Exemple élémentaire : commande d'un véhicule électrique	142
	3.5. Complémentarité des approches et extensions	146
	3.5.1. Différences et complémentarités	146
	3.5.2. Exemple : commande d'un enrouleur/dérouleur de bande	146
	3.5.3. Autres applications et extensions	148
	3.6. Bibliographie	149
	Chapitre 4. La robustesse : une nouvelle approche pour l'intégration des systèmes énergétiques	155
	Nicolas RETIERRE, Delphine RIU, Matthieu SAUTREUIL et Olivier SENAME	
	4.1. Introduction	155
	4.2. Faire face au dimensionnement dynamique des systèmes électriques	156
	4.2.1. Le dimensionnement dynamique : un problème d'intégration	156
	4.2.2. Le contrôle au cœur du dimensionnement dynamique	161
	4.2.3. L'analyse de la robustesse	165
	4.3. Application à un système de génération embarqué	171
	4.3.1. Présentation du système nominal	171
	4.3.2. Modélisation et analyse dynamique du système nominal	177
	4.3.3. Analyse de robustesse	184
	4.4. Conclusion	185
	4.5. Bibliographie	185
	Chapitre 5. Qualité et stabilité des réseaux de puissance embarqués en tension continue	187
	Hubert PROUET, Nicolas ROUX, Babak NAHID-MOBARAKEH, Serge PIERREDEBERTI, Pierre MAGNE et Jérôme FAUCHER	
	5.1. Introduction	187
	5.1.1. Enjeux de la maîtrise de la qualité	188
	5.1.2. Problématique de la stabilité	189
	5.2. Génération des réseaux continus – Qualité de l'énergie distribuée	193
	5.2.1. Architectures électriques mixtes et dédiées	194
	5.2.2. Convertisseurs AC/DC	195
	5.2.3. Etudes des interactions AC/DC	196
	5.2.4. Modélisation simplifiée du réseau HVDC	198
	5.2.5. Méthodes d'analyse causale des interactions AC/DC	199
	5.3. Caractérisation des impédances/admittances d'entrée des équipements	202
	5.3.1. Caractérisation analytique de l'impédance d'entrée des principaux dispositifs électrotechniques	203
	5.3.2. Caractérisation expérimentale et simulée	219

5.4. Analyse de la stabilité asymptotique <i>via</i> des méthodes basées sur des spécifications d'impédance	222
5.4.1. Introduction	222
5.4.2. Principe : cas de deux dispositifs disposés en cascade	223
5.5. Analyse de la stabilité asymptotique <i>via</i> le critère de Routh-Hurwitz	240
5.5.1. Présentation du critère de Routh-Hurwitz	240
5.5.2. Exemple, notion d'abaques de dimensionnement	241
5.5.3. Analyse des architectures de réseaux par rapport à la stabilité	245
5.6. Outils d'analyse de la stabilité globale asymptotique – Comportement dynamique d'un réseau HVDC soumis à des perturbations de grandes amplitudes	250
5.6.1. Introduction	250
5.6.2. Outils d'analyse de la stabilité large signal	251
5.6.3. Conclusion	254
5.7. Conclusion	254
5.8. Bibliographie	255
Chapitre 6. Gestion de l'énergie dans les systèmes électriques hybrides avec stockage	259
Christophe TURPIN, Stéphane ASTIER, Xavier ROBOAM, Bruno SARENI et Hubert PIQUET	
6.1. Introduction à l'hybridation énergétique par l'exemple des automobiles hybrides	260
6.1.1. Généralités sur les architectures d'automobiles hybrides	260
6.1.2. Architecture parallèle : sommation des puissances mécaniques	261
6.1.3. Architecture série : sommation des puissances électriques	263
6.1.4. Architecture série-parallèle	264
6.2. Gestion de l'énergie dans les systèmes hybrides à jonction électrique avec stockage d'électricité	265
6.2.1. Stockage, propriétés essentielles, invertibilité en puissance, pertes	265
6.2.2. Systèmes hybrides à jonctions électriques, nœud électrique	270
6.2.3. Système hybride générique à un nœud électrique avec stockage; gestion des flux d'énergie	271
6.2.4. Stratégie de partition fréquentielle des puissances par filtrage actif	274

6.2.5. Nœud électrique et degrés de liberté énergétiques	276
6.2.6. Synthèse sur la gestion de l'énergie dans les systèmes hybrides multi-sources à jonction électrique avec stockage : stratégie de gestion	279
6.3. Indicateurs, critères et données pour la conception des systèmes hybrides	282
6.3.1. Propriétés des organes de stockage pour une hybridation	282
6.3.2. Propriétés de la mission, indicateurs énergétiques	284
6.4. Exemples dans différents domaines applicatifs	288
6.4.1. Exemple 1. Simple hybridation : groupe de secours pour avion basé sur une éolienne hybridée par des supercondensateurs	288
6.4.2. Exemple 2. Simple hybridation : groupe de secours pour avion basé sur une pile à combustible hybridée par des supercondensateurs	295
6.4.3. Exemple 3. Double hybridation : groupe motopropulseur d'une locomotive basé sur un moteur thermique hybridé par des batteries et des supercondensateurs	307
6.4.4. Exemple 4. Double hybridation : lissage d'une production photovoltaïque par un tandem électrolyseur/pile à combustible (batterie H ₂ /O ₂) et une batterie au plomb	315
6.5. Conclusion sur la gestion d'énergie dans les systèmes hybrides	323
6.6. Bibliographie	325
Chapitre 7. Approche stochastique appliquée au dimensionnement des chaînes et réseaux d'énergie	329
Patrick GUÉRIN, Geoffroy ROBLLOT et Laurence MIÈGEVILLE	
7.1. Introduction	329
7.2. Principe usuel du bilan de puissances	332
7.2.1. Courant maximal	332
7.2.2. Facteur d'utilisation Ku	333
7.2.3. Coefficient de simultanéité Ks	333
7.2.4. Facteur d'accroissement Ka	334
7.2.5. Application	334
7.3. Approche stochastique	336
7.3.1. Observation	336
7.3.2. Principe de l'approche stochastique	338
7.4. Modélisation des charges	340
7.4.1. Différents types de charges	341
7.4.2. Modélisation à partir d'un cahier des charges	343

14 Conversion d'énergie électrique 1

7.4.3. Modélisation à partir de relevés expérimentaux	344
7.5. Simulation des flux de puissance	346
7.5.1. Méthode analytique.	346
7.5.2. Méthode de Monte-Carlo	348
7.5.3. Application à un réseau d'énergie « embarqué »	350
7.6. Approche dynamique et probabiliste	355
7.6.1. Modélisation des charges ou des grandeurs électriques associées	357
7.6.2. Simulation des flux de puissance	361
7.6.3. Application au réseau embarqué	362
7.7. Conclusion	364
7.8. Bibliographie.	366

**Chapitre 8. Approche probabiliste pour la sûreté
de fonctionnement des systèmes énergétiques** 369

Yvon BESANGER et Jean-Pierre ROGNON

8.1. Eléments de contexte	369
8.2. Concepts de base de la simulation Monte-Carlo	375
8.2.1. Méthode de Monte-Carlo	375
8.2.2. Simulation	375
8.2.3. Concepts et définitions de base de la statistique	375
8.2.4. Simulation Monte-Carlo	377
8.3. Réduction de la variance	385
8.3.1. Justification et principes	385
8.3.2. Etude comparative des méthodes de réduction de la variance	388
8.4. Exemple d'illustration	410
8.5. Conclusion	414
8.6. Bibliographie.	415

Index	419
------------------------	------------