

RECHERCHE • TECHNOLOGIE • APPLICATIONS

Génie électrique

Conception systémique pour la conversion d'énergie électrique 2

approche intégrée par optimisation

sous la direction de
Xavier Roboam

 **hermes**

Lavoisier

Table des matières

Avant-propos	17
Chapitre 1. Traitement de la mission et des données environnementales	23
Amine JAAFAR, Bruno SARENI et Xavier ROBOAM	
1.1. Introduction.	23
1.2. Etat de l'art de la prise en compte de la mission et des variables environnementales	25
1.2.1. Représentation de la mission par un point de fonctionnement nominal	26
1.2.2. Extraction d'un chronogramme temporel dimensionnant	26
1.2.3. Représentation d'une variable environnementale ou d'une mission à l'issue d'une analyse statistique	27
1.2.3.1. Exploitation des distributions statistiques des variables environnementales.	27
1.2.3.2. Utilisation de méthodes de classification.	27
1.3. Nouvelle approche de caractérisation d'une « mission représentative »	28
1.3.1. Indicateurs de caractérisation de la mission et des variables environnementales	29
1.3.1.1. Conception systémique d'une locomotive hybride	30
1.3.1.2. Traitement de la vitesse du vent pour la conception d'une chaîne éolienne	33
1.3.2. Mission et variables d'environnement au cœur du système : un couplage bidirectionnel éminemment systémique.	34
1.4. Classification des missions et des variables environnementales	37
1.4.1. Classification sans <i>a priori</i> sur le nombre de classes	38

1.4.2. Classification des missions pour des systèmes ferroviaires hybrides	39
1.5. Synthèse de profils de missions et des variables environnementales	42
1.5.1. Processus de synthèse de mission ou de variable environnementale	42
1.5.2. Motifs élémentaires pour la génération de profil	44
1.5.3. Application au compactage d'un profil de vitesse de vent	45
1.6. De la classification à la conception simultanée par optimisation d'une chaîne de traction hybride	46
1.6.1. Modélisation de la locomotive hybride	46
1.6.1.1. Modèle en flux de puissance	46
1.6.1.2. Modèle électrique statique	48
1.6.1.3. Modèle géométrique	49
1.6.1.4. Modèle de durée de vie des batteries	49
1.6.1.5. Modèle de coût	50
1.6.2. Modèle d'optimisation	50
1.6.2.1. Paramètres d'optimisation	50
1.6.2.2. Contraintes d'optimisation	51
1.6.2.3. Critères d'optimisation	52
1.6.3. Classification des missions	52
1.6.4. Synthèse des missions représentatives	53
1.6.4.1. Mission représentative de la classe C_1 : M_{1rep}	54
1.6.4.2. Mission représentative de la classe C_2 : M_{2rep}	55
1.6.4.3. Mission représentative de la classe C_{12} : M_{2rep}	56
1.6.5. Conception simultanée par optimisation	57
1.6.6. Comparaison des résultats de conception	58
1.7. Conclusion	59
1.8. Bibliographie	60
Chapitre 2. Modèles analytiques pour le dimensionnement par optimisation des systèmes d'énergie électrique	63
Christophe ESPANET, Daniel DEPERNET, Anne-Claire SAUTTER et Zhenwei WU	
2.1. Introduction	63
2.2. La problématique de la modélisation pour la synthèse	64
2.2.1. Modélisation pour la synthèse	64
2.2.1.1. Notion de modèle	64
2.2.1.2. Modèle de simulation et modèle de dimensionnement	64
2.2.1.3. Modèles de connaissance et modèles de comportement	65
2.2.2. Modélisation analytique et modélisation numérique	66
2.2.2.1. Elaboration d'un modèle mathématique	66

2.2.2.2. Distinction entre les modèles analytiques et numériques	66
2.2.2.3. Position des modèles analytiques dans un processus de conception	69
2.3. Décomposition du système et structuration du modèle	73
2.3.1. Intérêt de la décomposition	74
2.3.2. Application à l'exemple de la chaîne de traction hybride série-parallel pour véhicule hybride électrique lourd	76
2.4. Généralités sur la modélisation des différents composants possibles dans un système d'énergie électrique	78
2.5. Elaboration d'un modèle analytique de machine électrique	79
2.5.1. Les différents champs physiques du modèle et les méthodes de résolution associées	80
2.5.1.1. Modélisation magnétique	80
2.5.1.2. Modélisation électromécanique	80
2.5.1.3. Modélisation thermique	81
2.5.1.4. Modélisation mécanique	81
2.5.2. Application à l'exemple d'un véhicule hybride électrique lourd : modélisation d'une machine synchrone à aimants montés en surface	81
2.5.2.1. Equations géométriques et physiques	82
2.5.2.2. Modèle magnétique de la machine	82
2.5.2.3. Modèle électrique	85
2.5.2.4. Bilan de puissance	87
2.5.2.5. Contrainte thermique	89
2.6. Elaboration d'un modèle analytique de convertisseur statique	89
2.6.1. Les différents champs physiques du modèle et les méthodes de résolution associées	90
2.6.2. Application à l'exemple d'un véhicule hybride électrique lourd : modélisation des onduleurs d'alimentation des machines synchrones	91
2.6.2.1. Pertes par conduction dans les IGBT et les diodes	94
2.6.2.2. Pertes par commutations dans les IGBT et les diodes	96
2.6.2.3. Pertes totales dans le convertisseur	98
2.7. Elaboration d'un modèle analytique de transmission mécanique	98
2.7.1. Les différents champs physiques du modèle et les méthodes de résolution associées	99
2.7.2. Application à l'exemple d'un véhicule hybride électrique lourd : modélisation du train Ravigneaux	99
2.7.2.1. Dimensions géométriques du train Ravigneaux	99
2.7.2.2. Relations cinématiques du train Ravigneaux	101
2.7.2.3. Résistance des matériaux	102
2.7.2.4. Pertes de puissance	102
2.7.2.5. Masse du train Ravigneaux	105

2.7.2.6. Encombrement du train Ravigneaux	106
2.8. Elaboration d'un modèle analytique de dispositif de stockage d'énergie	106
2.9. Utilisation des modèles pour le dimensionnement optimal d'un système	107
2.9.1. Introduction	107
2.9.2. Prise en compte des cycles de fonctionnement	110
2.9.3. Optimisation des composants indépendamment	112
2.9.3.1. Synthèse des critères	113
2.9.3.2. Formulation des contraintes	114
2.9.3.3. Résultats d'optimisation	115
2.9.4. Optimisation des composants simultanément	115
2.10. Conclusion	117
2.11. Bibliographie	118

Chapitre 3. Méthodologies de conception simultanée par optimisation évolutionnaire

Bruno SARENI et Xavier ROBOAM

3.1. Conception simultanée des systèmes énergétiques	121
3.1.1. Introduction à la conception simultanée	121
3.1.2. Conception simultanée par optimisation	123
3.1.3. Problématiques relatives à la conception simultanée par optimisation	124
3.1.3.1. Difficultés liées à la modélisation des systèmes énergétiques	124
3.1.3.2. Difficultés liées à l'intégration de la finalité	125
3.1.3.3. Difficultés liées à la formulation du problème d'optimisation	126
3.1.3.4. Difficultés liées à la résolution du problème d'optimisation	126
3.2. Algorithmes évolutionnaires et évolution artificielle	127
3.2.1. La théorie de l'évolution naturelle, une théorie universelle	127
3.2.2. Principe des algorithmes évolutionnaires	127
3.2.3. Points forts des algorithmes évolutionnaires	129
3.2.3.1. Généricité vis-à-vis des classes de problèmes d'optimisation	129
3.2.3.2. L'intérêt du nichage	130
3.2.3.3. L'auto-adaptation	132
3.3. Prise en compte d'objectifs multiples	133
3.3.1. Optimalité au sens de Pareto	133
3.3.2. Méthodes d'optimisation multicritère	134

3.3.3. Algorithmes évolutionnaires multicritères	134
3.4. Prise en compte des contraintes de conception	134
3.4.1. Cas d'un problème monocritère	134
3.4.2. Cas d'un problème multicritère	134
3.5. Intégration de la robustesse en conception simultanée par optimisation	134
3.5.1. Notion d'optimum robuste	134
3.5.2. Voisinage et incertitudes	134
3.5.3. Caractérisation de la robustesse	134
3.5.3.1. Indicateurs de robustesse	134
3.5.3.2. Utilisation des fonctions homologues robustes	134
3.5.3.3. Définition du voisinage	134
3.6. Exemples d'applications	134
3.6.1. Conception d'une chaîne éolienne passive	134
3.6.1.1. Contexte	134
3.6.1.2. Modélisation de la chaîne éolienne passive	134
3.6.1.3. Optimisation de la chaîne éolienne passive	134
3.6.1.4. Conception robuste de la chaîne passive	134
3.6.2. Conception simultanée d'une locomotive hybride autonome	134
3.6.2.1. Contexte	134
3.6.2.2. Stratégie de gestion d'énergie	134
3.6.2.3. Modélisation de la locomotive hybride	134
3.6.2.4. Optimisation de la chaîne de conversion d'énergie	134
3.6.2.5. Processus d'optimisation et résultats	134
3.7. Conclusion	134
3.8. Bibliographie	134

Chapitre 4. Approches multineiveaux pour la conception par optimisation des systèmes électromécaniques

Stéphane BRISSSET, Frédéric GILLON et Pascal BROCHET

4.1. Introduction	135
4.2. Démarches multineiveaux	135
4.3. Optimisation avec des modèles de granularités différentes	135
4.3.1. Principe du <i>space-mapping</i>	135
4.3.2. Un exemple mathématique	135
4.3.3. Variantes de <i>space-mapping</i>	135
4.3.3.1. <i>Aggressive space-mapping</i>	135
4.3.3.2. <i>Output space-mapping</i>	135
4.3.3.3. <i>Manifold-mapping</i>	135
4.3.4. Application à un transformateur de sécurité	135
4.3.4.1. Problème d'optimisation	135

4.3.4.2. Modèles	184
4.3.4.3. Résultats	186
4.4. Décomposition hiérarchique d'un problème d'optimisation	188
4.4.1. <i>Target Cascading</i> pour la conception optimale	189
4.4.2. Formulation de la méthode <i>Target Cascading</i>	190
4.4.2.1. Niveau système	192
4.4.2.2. Niveau sous-système	193
4.4.2.3. Niveau composant	193
4.4.3. Un exemple mathématique	194
4.4.4. Un exemple sur une chaîne de traction ferroviaire	196
4.5. Conclusion	196
4.6. Bibliographie	198
Chapitre 5. Outils pour la conception et l'optimisation multicritère	201
Benoit DELINCHANT, Laurence ESTRABAUD, Laurent GERBAUD et Frédéric WURTZ	
5.1. Le <i>framework</i> CADES : un exemple d'une nouvelle approche d'outils	202
5.2. L'approche système : une rupture vis-à-vis des outils standards	203
5.2.1. Définitions de quelques composants	204
5.2.2. De l'ère des environnements intégrés à l'ère des <i>frameworks</i> d'outils collaboratifs	204
5.2.3. Un canevas centré modèle : de la génération à l'utilisation	206
5.2.3.1. Exemples de <i>plug'in</i>	208
5.2.3.2. Exemples de <i>plug'in</i>	208
5.2.4. Des <i>frameworks</i> aux applications métiers	209
5.3. Les composants pour assurer l'interopérabilité autour d'un <i>framework</i>	210
5.3.1. Natures des modèles : boîtes blanches, boîtes noires	210
5.3.2. Les boîtes noires : coopérer et réutiliser serinement	212
5.3.3. Les paradigmes d'objets, de composants et de services	213
5.3.4. Les composants logiciels ICAr : une normalisation de modèles pour le dimensionnement	216
5.4. Des formalismes de modélisation aux calculs pour l'optimisation	218
5.4.1. Les formalismes analytiques : algébriques et algorithmiques	218
5.4.2. Les modèles physiques dans différents formalismes	220
5.4.2.1. Modèles de filtres passifs	223
5.4.2.2. Modèles réductants	223
5.4.2.3. Modèles magnétiques non canalisés	224
5.4.3. La chaîne de génération	225
5.5. Les principes de génération automatique du Jacobien	226

5.5.1. Le Jacobien : une information complémentaire au modèle	226
5.5.2. Dérivation d'expressions mathématiques	227
5.5.3. Dérivation d'algorithmes	228
5.5.4. Dérivation de formulations spécifiques	229
1.6. Les services exploitants les modèles et leur Jacobien	230
5.6.1. Etude de sensibilité	230
5.6.2. Composition de modèles	231
5.6.3. Dimensionnement par optimisation	233
5.7. Applications de CADES à l'optimisation système	233
5.7.1. Optimiser globalement une structure	233
5.7.2. Évaluer le potentiel d'une structure	236
5.7.3. Comparer des structures entre elles	237
5.8. Perspectives	238
5.8.1. Vers l'optimisation exploitant des modèles dynamiques	238
5.8.1.1. Les composants et services de simulation dynamique	238
5.8.1.2. Optimisation de modèles utilisant des simulations dynamiques	239
5.8.2. Vers la conception robuste : les composants et services d'analyse de sensibilité	239
5.8.3. Optimisation robuste sous contraintes de fiabilité	240
5.8.4. Vers Internet	241
5.8.4.1. Dimocode : une plate-forme de capitalisation collaborative	241
5.8.4.2. Web-services : le calcul décentralisé	243
5.9. Conclusion	244
5.10. Bibliographie	246
Chapitre 6. Optimisation technico-économique des réseaux d'énergie	253
Gaillaume SANDOU, Philippe DESSANTE, Marc PETIT et Henri BORSSENBARGER	
6.1. Introduction	253
6.2. Modélisation des réseaux d'énergie	254
6.2.1. Contexte	254
6.2.2. Notations	255
6.2.3. Fonction objectif	256
6.2.4. Contraintes	257
6.2.4.1. Contraintes de satisfaction de la demande	257
6.2.4.2. Contraintes de capacité	257
6.2.4.3. Contraintes de temps minimum de marche et temps minimum d'arrêt	258
6.2.5. Expression du problème et reformulation linéaire éventuelle	258

6.2.6. Position du problème traité par rapport à la problématique de gestion des réseaux d'énergie	260
6.3. Résolution du problème d'optimisation du réseau d'énergie dans un cas déterministe	261
6.3.1. Etat de l'art	261
6.3.2. Résolution par programmation dynamique et relaxation lagrangienne	262
6.3.2.1. Résolution par programmation dynamique	262
6.3.2.2. Utilisation de la relaxation lagrangienne	265
6.3.3. Résolution par algorithme génétique	267
6.3.3.1. Prise en compte des contraintes	267
6.3.3.2. Introduction d'opérateurs génétiques adaptés au problème	268
6.3.3.3. Résultats numériques	270
6.4. Introduction à la prise en compte d'incertitudes	271
6.4.1. Prise en compte des incertitudes	271
6.4.2. Notion de recours	272
6.5. Prise en compte des incertitudes sur la demande des consommateurs	273
6.5.1. Marge de sécurité	273
6.5.2. Modélisation de l'incertitude par arbre de scénarios	274
6.5.3. Résolution par programmation dynamique et relaxation lagrangienne	275
6.5.4. Conclusion	276
6.6. Prise en compte des incertitudes sur les coûts de production	277
6.6.1. Introduction	277
6.6.2. Formulation mathématique	278
6.6.3. Résolution	279
6.6.3.1. Résolution de la minimisation sur les variables de production	279
6.6.3.2. Calcul de l'espérance	280
6.6.3.3. Calcul de l' <i>Unit Commitment</i>	280
6.6.3.4. Résolution du problème stochastique : bilan	281
6.6.4. Exemple	281
6.7. De l'optimisation à la commande	283
6.7.1. Principe de l'approche prédictive	283
6.7.2. Exemple	284
6.8. Conclusion	284
6.9. Bibliographie	285
Index	289
Sommaire du volume 1	291