

SCIENCES SUP

Cours, travaux pratiques et exercices corrigés

Classes prépas • IUT • Licence • Écoles d'ingénieurs

AUTOMATIQUE DES SYSTÈMES MÉCANIQUES

Olivier Le Gallo

531-71.1

DUNOD

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS

ix

■ CHAPITRE 1 : NOTION DE SYSTÈME

I	PREMIÈRES DÉFINITIONS	1
I-1	Système et fonction	1
I-2	Notion de point de vue	2
I-3	Interactivité de systèmes	4
I-4	Structure d'un système - analyse descendante	4
II	REPRÉSENTATIONS GRAPHIQUES D'UN SYSTÈME	5
II-1	Bloc fonctionnel	5
II-2	Interactivité de systèmes	7
II-3	D'un outil de description à un outil de simulation	7
III	PILOTE AUTOMATIQUE NAVICO POUR VOILIER À BARRE À ROUE	8
III-1	Description générale du système	8
III-2	Analyse descendante	9
III-3	Limites de l'analyse descendante	12
III-4	Modélisation (partielle et simplifiée) puis simulation	13
IV	MOLÉLISATION ET SIMULATION - QUELQUES PRÉCISIONS	18
IV-1	Démarches de modélisation : modèles de connaissance et de comportement	18
IV-2	Complexité mathématique	19
V	SYSTÈMES AUTOMATIQUES	20
V-1	Un peu d'histoire	20
V-2	Définitions	22
V-3	Systèmes logiques, continus, échantillonnés	27

EXERCICES

I	SOURIS MÉCANIQUE D'ORDINATEUR	29
II	OPTIQUE ADAPTATIVE	31
III	ROBOT PARALLÈLE 6 AXES EX800	34
IV	MOTORISATION HYBRIDE D'UN VÉHICULE AUTOMOBILE	38

■ CHAPITRE 2 : SYSTÈMES ASSERVIS

I	EXEMPLE INTRODUCTIF : système de présentation de tubes	41
I-1	Présentation fonctionnelle	41
I-2	Le point de vue de l'automaticien : le transformateur de commande	42
I-3	Fonctionnement	42
I-4	Modélisation	43
I-5	Introduction d'une boucle de retour	44
I-6	Fonctionnement du système asservi	48
I-7	Modélisation du système asservi	47

II	SCHEMA BLOC	48
II-1	Intérêt et spécificités	48
II-2	Boucle de retour	49
II-3	Comparateur	49
II-4	Système asservi	49
III	ASSERVISSEMENTS ÉLECTROMÉCANIQUES	51
III-1	Asservissement électrique de position angulaire	51
III-2	Asservissement électrique de position linéaire	52
III-3	Partie opérative du chariot filoguidé	54
IV	NOTION DE PERTURBATION	58
IV-1	Définition	58
IV-2	Traduction sur un schéma bloc	58
IV-3	Régulation de niveau d'un château d'eau	59
V	PERFORMANCES DES SYSTÈMES ASSERVIS	63
V-1	Premières définitions	63
V-2	Entrées canoniques	63
V-3	Stabilité	64
V-4	Précision	66
V-5	Rapidité	71

EXERCICES

I	SYSTÈME DE CONTRÔLE D'UN GÉNÉRATEUR DE CENTRALE	73
II	ASSERVISSEMENT HYDRAULIQUE DE POSITION LINÉAIRE	78
III	VÉRIN ÉLECTRIQUE DU ROBOT PARALLÈLE EXB00	79
IV	ASSERVISSEMENT DE VITESSE DU CHARIOT MP22	87

■ CHAPITRE 3 : FONCTIONS DE TRANSFERT

I	PROPRIÉTÉS DES SYSTÈMES PHYSIQUES	93
I-1	Définitions - entrées et sorties	93
I-2	Causalité et irréversibilité	93
I-3	Linéarité et non-linéarité	95
I-4	Invariance	97
II	SYSTÈMES LINÉAIRES INVARIANTS	97
II-1	Description par équation différentielle	97
II-2	Ordre du système	98
II-3	Réversibilité	98
II-4	Exemples	99
II-5	Point de fonctionnement	101
II-6	Linéarisation autour d'un point de fonctionnement	101
III	TRANSFORMATION DE LAPLACE	102
III-1	Définitions	102
III-2	Premières propriétés	103
III-3	Calculs de transformées	106
III-4	Résolution d'une équation différentielle à l'aide de la transformation de Laplace	108
III-5	Usage du théorème de la valeur finale	110
IV	FONCTION DE TRANSFERT D'UN SYSTÈME LINÉAIRE INVARIANT	113
IV-1	Définition	113
IV-2	Vocabulaire	113
IV-3	Réponse indicielle - notion de signature	114
IV-4	Analyse de la stabilité à partir des pôles de la fonction de transfert	114

IV-5	Remarque concernant le gain	117
IV-6	Exemples	118
IV-7	Pôles d'une fonction et théorème de la valeur finale	122
IV-8	Critère de Routh simplifié	123
V	SCHEMA BLOC ET FONCTION DE TRANSFERT	125
V-1	Blocs en série	125
V-2	Schéma bloc d'un système bouclé	125
V-3	Manipulations usuelles de blocs	127
V-4	Causalité et validité des descriptions	131
V-5	Représentation d'un système d'équations par un schéma bloc	132
V-6	Exemple : asservissement de position par moteur à courant continu	133
V-7	Logiciels de calcul	143
VI	CAS D'UN SYSTÈME ASSERVI : FTBO ET FTBF	145
VI-1	Rappel de la définition d'un système asservi	145
VI-2	FTBO et FTBF	146
VI-3	Retour unitaire	147
VII	FTBO ET PRÉCISION D'UN SYSTÈME ASSERVI	148
VII-1	Précision d'un système asservi : erreur et écart	148
VII-2	Calcul de l'écart à partir de la FTBO	149
VII-3	Influence de la classe de la FTBO sur l'écart	150

EXERCICES

I	RÉSOLUTION D'ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES	157
II	FONCTION DE TRANSFERT ET STABILITÉ	166
III	CONTRÔLE DU LACET D'UN SATELLITE	168
IV	CENTRIFUGEUSE HUMAINE	174
V	POSTE D'EXTRUSION	180
VI	BRAS MAXPID	180

■ CHAPITRE 4 : MODÈLES USUELS

I	SYSTÈME INTÉGRATEUR	207
I-1	Définition	207
I-2	Réponse impulsionnelle	208
I-3	Réponse indicielle	208
I-4	Réponse à une rampe	209
II	SYSTÈME FONDAMENTAL DU PREMIER ORDRE	209
II-1	Définitions	209
II-2	Réponse impulsionnelle	209
II-3	Réponse indicielle	210
II-4	Réponse à une rampe	211
II-5	Relations entre les réponses	212
II-6	Asservissement de vitesse du chariot fluoguidé MP22	213
III	SYSTÈME FONDAMENTAL DU DEUXIÈME ORDRE	219
III-1	Définitions	219
III-2	Réponse impulsionnelle	221
III-3	Réponse indicielle	223
III-4	Oscillations et rapidité de la réponse indicielle	225
III-5	Réponse à une rampe	229
III-6	Asservissement de position du chariot fluoguidé MP22	230
III-7	Approximation d'un système fondamental du 2 ^{ème} ordre par un système du 1 ^{er} ordre	234

IV	SYSTÈMES FONDAMENTAUX DU 1 ^{er} ET DU 2 ^{ème} ORDRE : ALGORITHMES ET SIMULATIONS NUMÉRIQUES	235
IV-1	Introduction : notion d'échantillonnage	235
IV-2	Algorithmes de dérivation	235
IV-3	Système fondamental du premier ordre	236
IV-4	Système fondamental du deuxième ordre	241
V	SYSTÈME À RETARD PUR	245
V-1	Définition	245
V-2	Réponses aux entrées canoniques	245
V-3	Retard d'un processus	246
V-4	Orientation de la roue directrice du chariot fluoguide MP22	246
VI	SYSTÈMES DU 1 ^{er} ET DU 2 ^{ème} ORDRE GÉNÉRALISÉS (OU À ZÉROS)	249
VI-1	Exemple introductif : écinecteur	249
VI-2	Définitions	250
VI-3	Comportement temporel	251
VI-4	Universalité de la description	257

EXERCICES

I	VÉRIN ÉLECTRIQUE DU ROBOT PARALLÈLE EX800	259
II	SYSTÈME DE CORRECTION DE PORTÉE DE PHARE	266
III	ASSERVISSEMENT DE POSITION DU FÛT D'UN ROBOT	273
IV	COMMANDE EN POURSUITE D'UNE ANTENNE DE RADAR	282
V	BRAS MAXPID	287
VI	RÉGULATION DE TENSION D'UN FILM DÉFILANT	301

■ CHAPITRE 5 : ANALYSE FRÉQUENTIELLE

I	EXEMPLE INTRODUCTIF : axe asservi du robot parallèle EX800	309
I-1	Présentation	309
I-2	Réponses fréquentielles	310
I-3	Observations - définitions	311
II	RÉPONSE PERMANENTE D'UN SYSTÈME LINÉAIRE À UNE ENTRÉE SINUS.	311
II-1	Propriété fondamentale : réponse fréquentielle d'un système stable	311
II-2	Cas des intégrateurs	314
II-3	Lieux de transfert	314
II-4	Réponse fréquentielle de systèmes en série	317
III	LIEUX DE TRANSFERT DES SYSTÈMES USUELS	318
III-1	Système intégrateur	318
III-2	Système fondamental du premier ordre	320
III-3	Système fondamental du deuxième ordre	328
III-4	Approximation d'un système fondamental du 2 ^{ème} ordre par un système du 1 ^{er} ordre	337
III-5	Système à retard pur	337
III-6	Continuité de la phase	339
IV	MÉTHODOLOGIE DE TRACÉ DU DIAGRAMME DE BODE ASYMPTOTIQUE D'UN SYSTÈME QUELCONQUE	341
IV-1	Exemple 1	341
IV-2	Exemple 2	343
IV-3	Méthode générale dans le cas des systèmes à « zéros stables »	345
IV-4	Cas particulier des systèmes à « zéros instables » (ou à réponse inversé)	346
IV-5	Notion de déphasage minimal	347
IV-6	Influence d'un retard	348

V	COMPORTEMENT DE FILTRE	348
V-1	Filtres passe-bas et autres comportements	348
V-2	Notion de bande passante	349
V-3	Bande passante et rapidité	350
V-4	Filtrage d'un signal bruité	351

EXERCICES

I	SUSPENSION AUTOMOBILE	355
II	CORRECTEUR MÉCANIQUE À AVANCE DE PHASE	359
III	OPTIQUE ADAPTATIVE	364
IV	AXE DE LACET DU ROBOT ERICCC3	374
V	ROBOT POUR LA CHIRURGIE ENDOSCOPIQUE	380

■ CHAPITRE 6 : CORRECTION DES SYSTÈMES ASSERVIS

I	LA CORRECTION PROPORTIONNELLE	387
I-1	Définition et rappels	387
I-2	Chariot filoguidé MP22	390
II	LIMITE DE STABILITÉ - CRITÈRE DU REVERS	394
II-1	Notion de point critique	394
II-2	Interprétation sur le diagramme de Nyquist de la FTBO	394
II-3	Interprétation sur le diagramme de Black de la FTBO	396
II-4	Interprétation sur le diagramme de Bode de la FTBO	396
II-5	Remarque complémentaire : interprétation en termes de rapidité	403
III	MARGES DE STABILITÉ	404
III-1	Nécessité de marges	404
III-2	Marges de gain et de phase	405
III-3	Marge d'amplitude	410
III-4	Bilan	412
IV	CORRECTEURS LINÉAIRES USUELS	413
IV-1	Objectifs de la correction	413
IV-2	Correction intégrale et correction proportionnelle-intégrale	413
IV-3	Correction dérivée et correction proportionnelle-dérivée	418
IV-4	Correction proportionnelle-intégrale-dérivée PID	420
IV-5	Bras MAXPID	424
IV-6	Correction par avance ou retard de phase	426
V	QUELQUES AUTRES TYPES DE CORRECTION	427
V-1	La correction par « modèle imposé » ou « compensation de pôles »	427
V-2	La correction par boucle supplémentaire	429
V-3	Un mot sur la correction auto-adaptative	433

EXERCICES

I	SYSTÈME DE CONTRÔLE D'UN GÉNÉRATEUR DE CENTRALE	435
II	RUGOSIMÈTRE À GRANDE VITESSE	442
III	CONDUCTEUR VIRTUEL POUR VÉHICULE AUTOMOBILE	454

FICHES RESSOURCES

• OUTILS D'ANALYSE FONCTIONNELLE	467
• ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES LINÉAIRES À COEFFICIENTS CONSTANTS	471
• TABLE DES TRANSFORMÉES DE LAPLACE	474
• DÉCOMPOSITION D'UNE FRACTION RATIONNELLE EN ÉLÉMENTS SIMPLES	475
• INERTIE ÉQUIVALENTE	477
• DROITE DES MOINDRES CARRÉS	481

INDEX ALPHABÉTIQUE

485