

Table des matières

Chapitre 1	INTRODUCTION	1
1.1	Les systèmes de commande : définition	1
1.2	Exemples de systèmes de commande	2
1.3	Classification des systèmes de commande	3
1.4	Retour	4
1.5	Caractéristiques du processus de retour	4
1.6	Systèmes de commande analogiques et numériques	4
1.7	Ingénierie des systèmes de commande	5
1.8	Modélisation des systèmes de commande	6
Chapitre 2	TERMINOLOGIE DES SYSTÈMES DE COMMANDE	14
2.1	Schémas fonctionnels : notions fondamentales	14
2.2	Schéma fonctionnel d'un système de commande	15
2.3	Terminologie des schémas fonctionnels en boucle fermée	15
2.4	Schémas fonctionnels des dispositifs et asservissements discrets et des systèmes asservis par microprocesseur	16
2.5	Terminologie complémentaire	19
2.6	Servomécanismes	20
2.7	Régulateurs	21
Chapitre 3	ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES, AUX DIFFÉRENCES ET SYSTÈMES LINÉAIRES	36
3.1	Equations de systèmes physiques	36
3.2	Equations différentielles et équations aux différences	36
3.3	Equations différentielles aux dérivées partielles et équations différentielles ordinaires	37
3.4	Dépendance et indépendance du temps	37
3.5	Equations linéaires et non linéaires	38
3.6	Opérateur différentiel D et équation caractéristique	38
3.7	Indépendance linéaire et famille génératrice	39
3.8	Résolution des équations différentielles linéaires ordinaires à coefficients constants	41
3.9	La réponse libre	41
3.10	La réponse forcée	42
3.11	La réponse totale	43
3.12	Les réponses permanentes et génératrice	43
3.13	Fonctions échelon, rampe unitaire et impulsion	44
3.14	Systèmes du deuxième ordre	45

3.15	Représentation au moyen de variables d'état des systèmes décrits par des équations différentielles linéaires	46
3.16	Résolution des équations aux différences finies linéaires à coefficients constants	48
3.17	Représentation au moyen de variables d'état des systèmes décrits par des équations aux différences linéaires	51
3.18	Linéarité et superposition	53
3.19	Causalité et systèmes physiquement réalisables	54

Chapitre 4	LA TRANSFORMÉE DE LAPLACE ET LA TRANSFORMÉE EN Z	72
4.1	Introduction	72
4.2	La transformation de Laplace	72
4.3	L'inversion de la transformation de Laplace	73
4.4	Quelques propriétés de la transformation de Laplace et de son inverse	73
4.5	Table élémentaire de transformées de Laplace	76
4.6	Application de la transformation de Laplace à la résolution d'équations différentielles linéaires à coefficients constants	77
4.7	Décomposition en éléments simples	81
4.8	Détermination des inverses par utilisation du développement en éléments simples	83
4.9	La transformée en Z	84
4.10	Détermination des racines d'un polynôme	91
4.11	Plan complexe : carte des pôles et des zéros	94
4.12	Estimation graphique des résidus	95
4.13	Systèmes du deuxième ordre	96

Chapitre 5	STABILITÉ DES SYSTÈMES ASSERVIS	113
5.1	Définition de la stabilité	113
5.2	Position des racines caractéristiques, cas des systèmes analogiques	113
5.3	Le critère de stabilité de Routh	114
5.4	Critère de stabilité de Hurwitz	115
5.5	Critère de stabilité par les fractions continues	116
5.6	Critère de stabilité des systèmes discrets	116

Chapitre 6	FONCTIONS DE TRANSFERT	127
6.1	Fonction de transfert des systèmes analogiques	127
6.2	Propriétés de la fonction de transfert des systèmes analogiques	128
6.3	Fonction de transfert des correcteurs d'asservissement analogiques	128
6.4	Réponse temporelle des systèmes analogiques	129
6.5	Réponse fréquentielle des systèmes analogiques	129
6.6	Fonction de transfert et réponse temporelle des systèmes et correcteurs discrets	131
6.7	Réponse fréquentielle des systèmes discrets	133
6.8	Association d'organes analogiques et discrets	133

Chapitre 7	ALGÈBRE DES SCHÉMAS FONCTIONNELS ET FONCTIONS DE TRANSFERT DES SYSTÈMES	153
7.1	Introduction	153
7.2	Révision des notions fondamentales	153
7.3	Éléments en cascade (ou en série)	154
7.4	Forme canonique d'un système asservi	155
7.5	Schémas fonctionnels et théorèmes de transformation	157
7.6	Système à retour unité	157
7.7	Signaux d'entrée multiples	158
7.8	Réduction des schémas fonctionnels complexes	159
Chapitre 8	GRAPHE DE FLUENCE DES SIGNAUX	180
8.1	Introduction	180
8.2	Notions fondamentales sur les graphes de fluence des signaux	180
8.3	Algèbre des graphes de fluence des signaux	181
8.4	Définitions	182
8.5	Construction des graphes de fluence des signaux	183
8.6	Formule générale du gain entre entrée et sortie	185
8.7	Calcul des fonctions de transfert de constituants en série	187
8.8	Réduction des schémas fonctionnels au moyen des graphes de fluence des signaux et de la formule générale du gain entre entrée et sortie	188
Chapitre 9	CLASSIFICATION DES SYSTÈMES, CONSTANTE D'ERREUR, ET SENSIBILITÉ	209
9.1	Introduction	209
9.2	Sensibilité de la fonction de transfert et de la réponse en fréquence aux paramètres du système	209
9.3	Sensibilité en sortie des modèles aux équations différentielles ou aux équations aux différences	214
9.4	Classification des systèmes à retour par leur type	215
9.5	Constantes d'erreur de position des systèmes analogiques à retour unité	217
9.6	Constante d'erreur de vitesse des systèmes analogiques à retour unité	217
9.7	Constantes d'erreur en accélération des systèmes analogiques à retour unité	218
9.8	Constantes d'erreur des systèmes discrets à retour unité	219
9.9	Tableau récapitulatif	219
9.10	Constantes d'erreur des systèmes généraux	219
Chapitre 10	L'ANALYSE ET LA CONCEPTION DES SYSTÈMES ASSERVIS : OBJECTIFS ET MÉTHODES	231
10.1	Introduction	231
10.2	Objectifs de l'analyse	231

10.3	Méthodes d'analyse	232
10.4	Objectifs de la conception	232
10.5	Correction du système	236
10.6	Méthodes de conception	237
10.7	Transformée en w pour l'analyse et la conception de systèmes échantillonnés par les méthodes analogiques	238
10.8	Conception algébrique des systèmes numériques, y compris les systèmes amortis	239
Chapitre 11	ANALYSE DE NYQUIST	247
11.1	Introduction	247
11.2	Comment tracer le graphe de fonctions complexes de la variable complexe ...	247
11.3	Définitions	248
11.4	Propriétés de l'application $P(s)$ ou $P(z)$	250
11.5	Courbes en polaires	251
11.6	Propriétés des courbes polaires	252
11.7	Contour d'exclusion de Nyquist	253
11.8	Diagramme de stabilité de Nyquist	256
11.9	Diagrammes de stabilité des systèmes asservis pratiques	256
11.10	Critère de stabilité de Nyquist	260
11.11	Stabilité relative	262
11.12	Cercles M et N	263
Chapitre 12	CONCEPTION DE NYQUIST	297
12.1	Philosophie de la conception	297
12.2	Compensation du facteur de gain	297
12.3	Correction du facteur de gain utilisant les cercles M	299
12.4	Correction par avance de phase	299
12.5	Correction par retard de phase	302
12.6	Compensation par avance et retard de phase	304
12.7	Autres systèmes de correction et combinaisons de correcteurs	306
Chapitre 13	ANALYSE PAR LE LIEU GÉOMÉTRIQUE DES RACINES	318
13.1	Introduction	318
13.2	Variation des pôles d'un système en boucle fermée : le lieu des racines	318
13.3	Critères d'angle et d'amplitude	319
13.4	Nombre des lieux	320
13.5	Lieux situés sur l'axe réel	320
13.6	Asymptotes	321
13.7	Points de branchement	322
13.8	Angles de départ et d'arrivée	322
13.9	Construction du lieu des racines	323
13.10	Fonction de transfert en boucle fermée et réponse dans le domaine des temps	325

13.11	Détermination des marges de gain et de phase d'après le lieu des racines	327
13.12	Rapport d'amortissement à partir du lieu des racines pour les systèmes continus	329
Chapitre 14	CONCEPTION PAR LE LIEU DES RACINES	344
14.1	Le problème de la conception	344
14.2	Correction par simplification	345
14.3	Correction de phase : réseaux d'avance et de retard	345
14.4	Correction de gain et combinaison de correcteurs	347
14.5	Approximations de pôle et zéro dominants	349
14.6	Conception par points	354
14.7	Correction de retour	354
Chapitre 15	ANALYSE DE BODE	366
15.1	Introduction	366
15.2	Echelles logarithmiques et courbes de Bode	366
15.3	Forme de Bode et gain de Bode	367
15.4	Courbes de Bode de fonctions de réponses fréquentielles simples et leurs approximations asymptotiques	367
15.5	Constructions des courbes de Bode pour les systèmes continus	374
15.6	Courbes de Bode pour les fonctions de réponse fréquentielle à temps discrétisé	376
15.7	Stabilité relative	378
15.8	Réponse fréquentielle en boucle fermée	378
15.9	Analyse de Bode des systèmes à temps discrétisé en utilisant la w-transformation	379
Chapitre 16	CONCEPTION DE BODE	389
16.1	Philosophie de conception	389
16.2	Correction du facteur de gain	389
16.3	Correction par avance de phase	390
16.4	Correction par retard de phase des systèmes à temps continu	394
16.5	Correction par avance et retard de phase des systèmes à temps continu	395
16.6	Conception selon Bode des systèmes à temps discrétisé	397
Chapitre 17	ANALYSE PAR LES ABAQUES DE NICHOLS	414
17.1	Introduction	414
17.2	Courbes en coordonnées gain logarithmique-phase	414
17.3	Construction des courbes gain logarithmique-phase	414
17.4	Stabilité relative	419
17.5	L'abaque de Nichols	420
17.6	Fonctions de réponse fréquentielle en boucle fermée	422

Chapitre 18	CONCEPTION SUR LES ABAQUES DE NICHOLS.....	436
18.1	Philosophie de la conception	436
18.2	Correction du facteur de gain	436
18.3	Correction du facteur de gain en se servant des courbes de gain constant	437
18.4	Correction par avance de phase	438
18.5	Correction par retard de phase	441
18.6	Correction par avance et retard de phase	443
18.7	Conception de systèmes à temps discrétisé par les abaques de Nichols.....	446
Chapitre 19	INTRODUCTION AUX SYSTÈMES DE CONTROLE NON LINÉAIRES	457
19.1	Introduction	457
19.2	Approximations linéaires ou linéaires par morceaux de systèmes non linéaires	458
19.3	Les méthodes du plan de phase	463
19.4	Critère de stabilité de Lyapunov	468
19.5	Méthodes de réponse fréquentielle.....	470
Chapitre 20	QUESTIONS AVANCÉES DE L'ANALYSE ET DE LA CONCEPTION DE SYSTÈMES ASSERVIS	485
20.1	Introduction	485
20.2	Commandabilité et observabilité.....	485
20.3	Conception dans le domaine temporel des systèmes avec rétroaction (retour d'état).....	486
20.4	Systèmes à signaux d'entrée aléatoires.....	488
20.5	Systèmes de contrôle optimal	489
20.6	Systèmes de contrôle adaptatif	490
Annexes		491
Références. Bibliographie		495
Index		497