



LES PRATIQUES

DE LA PERFORMANCE

Cédric SINDJUI

**LE GRAND GUIDE
DES SYSTÈMES DE
CONTRÔLE-
COMMANDE
INDUSTRIELS**

**AUTOMATISME
INSTRUMENTATION
RÉSEAUX LOCAUX
RÉGULATION
AUTOMATIQUE**

LEYTIC

Table des Matières

I.	Chapitre 1 : Structure des systèmes automatisés	23
I.1	Objectifs.....	23
I.2	Définitions.....	23
I.2.1	Partie opérative.....	23
I.2.2	Partie commande.....	23
I.2.3	Notions de chaînes d'action et chaînes d'acquisition.....	24
I.3	Notions d'automatismes.....	24
II.	Chapitre 2 : L'analyse fonctionnelle du besoin	25
II.1	Objectifs.....	25
II.2	Définitions.....	25
II.3	Outils d'analyse.....	25
II.3.1	Les boîtes fonctionnelles.....	25
II.3.2	L'analyse fonctionnelle descendante.....	27
II.3.2.1	Représentation d'un actigramme ou module.....	28
II.3.2.2	Règles de numérotation et décomposition des niveaux.....	28
II.4	Exercices du chapitre 2.....	30
II.4.1	Exercice 1.....	30
II.4.1.1	Énoncé.....	30
II.4.1.2	Correction.....	32
III.	Chapitre 3 : Représentation de l'information	33
III.1	Objectifs.....	33
III.2	Système de numération de base a.....	33
III.3	Le système binaire.....	33
III.3.1	Principe de conversion de la base 10 vers la base 2.....	34
III.3.2	Opérations arithmétiques en binaire pur.....	34
III.3.3	Complément à UN d'un nombre en base 2.....	34
III.3.4	Complément à DEUX d'un nombre en base 2.....	34
III.3.5	Codage des nombres négatifs.....	35
III.3.6	Principe de conversion base 2 vers base 10.....	35
III.4	Codage.....	35
III.4.1	Code binaire pur.....	35
III.4.2	Code binaire réfléchi ou code GRAY.....	36
III.4.3	Binaire codé décimal (BCD).....	37
III.4.4	Code ASCII.....	37
III.5	Le système hexadécimal.....	38
III.6	Exercices du chapitre 3.....	40
III.6.1	Exercice 1 : Codage.....	40
III.6.1.1	Énoncé.....	40
III.6.1.2	Correction.....	40

III.6.2	Exercice 2 : Codage	40
III.6.2.1	Enoncé.....	40
III.6.2.2	Correction	40
III.6.3	Exercice 3 : le système hexadécimal	40
III.6.3.1	Enoncé.....	40
III.6.3.2	Correction	40
III.6.4	Exercice 4.....	40
III.6.4.1	Enoncé.....	40
III.6.4.2	Correction	41
IV.	Chapitre 4 : Eléments d'électronique numérique pour les systèmes	42
IV.1	Objectifs.....	42
IV.2	Logique combinatoire	42
IV.2.1	Algèbre de Boole	42
IV.2.2	Définitions	42
IV.2.2.1	Etats.....	42
IV.2.2.2	Variable logique	42
IV.2.2.3	Fonction logique	42
IV.2.2.4	La table de vérité	43
IV.2.2.5	Logigramme.....	43
IV.2.3	Schémas électriques ou à relais.....	43
IV.2.4	Opérateurs logiques élémentaires	43
IV.2.4.1	La fonction logique OU (+).....	43
IV.2.4.2	La fonction logique ET (.)	44
IV.2.4.3	La fonction NON	44
IV.2.5	Les autres opérateurs logiques	45
IV.2.5.1	La fonction NON ET (NAND).....	45
IV.2.5.2	La fonction NON OU (NOR)	46
IV.2.5.3	La fonction OU exclusif.....	46
IV.2.6	Axiomes d'une algèbre de Boole.....	46
IV.2.7	Définitions d'un système combinatoire	46
IV.2.8	Formes normales des fonctions logiques.....	47
IV.2.8.1	Forme normale disjonctive	47
IV.2.8.2	Forme normale conjonctive	47
IV.2.8.3	Synthèse d'une fonction logique à partir de la table de vérité.....	47
IV.2.9	Théorème d'une algèbre de Boole	48
IV.2.10	Identités remarquables	48
IV.2.11	Simplification des fonctions logiques.....	49
IV.2.11.1	Méthode algébrique	49
IV.2.11.2	Tableaux de Karnaugh	49
IV.3	Logique séquentielle.....	51

Le grand guide des systèmes de contrôle-commande industriels

IV.3.1	Définition d'un système séquentiel	51
IV.3.2	Etude de quelques circuits séquentiels	52
IV.3.2.1	La bascule RS asynchrone.....	52
IV.3.2.2	La bascule RS synchrone.....	53
IV.3.2.3	La bascule JK	53
IV.4	Exercices du chapitre 4	54
IV.4.1	Exercice 1 : une alarme	54
IV.4.1.1	Enoncé.....	54
IV.4.1.2	Corrigé	54
IV.4.2	Exercice 2	55
IV.4.2.1	Enoncé.....	55
IV.4.2.1.1	Partie A	55
IV.4.2.1.2	Partie B	55
IV.4.2.2	Correction	56
IV.4.2.2.1	Partie A	56
IV.4.2.2.2	Partie B	57
IV.4.3	Exercice 3 : Utilisation d'une mémoire pour un auto-maintien	58
IV.4.3.1	Enoncé.....	58
IV.4.3.2	Correction	58
IV.4.4	Exercice 4 : Régulation TOR	59
IV.4.4.1	Enoncé.....	59
IV.4.4.2	Correction	59
IV.4.5	Exercice 5 : Réalisation des mémoires à effacement prioritaire et à inscription prioritaire... ..	59
IV.4.5.1	Enoncé.....	59
IV.4.5.2	Correction	60
IV.4.6	Exercice 6 : Etude d'un chronogramme	61
IV.4.6.1	Enoncé.....	61
IV.4.6.2	Correction	61
IV.4.7	Exercice 7 : simplification des fonctions logiques	61
IV.4.7.1	Enoncé.....	61
IV.4.7.2	Correction	62
IV.4.8	Exercice 8	62
IV.4.8.1	Enoncé.....	62
IV.4.9	Exercice 9 : remplissage de cuve.....	62
IV.4.9.1	Enoncé.....	62
IV.4.9.2	Correction	62
IV.4.10	Exercice 10	63
IV.4.10.1	Enoncé.....	63
IV.4.10.2	Correction	63
V.	Chapitre 5: Outils de modélisation des systèmes automatisés de production.....	64

Le grand guide des systèmes de contrôle-commande industriels

V.1	Objectifs.....	64
V.2	Généralités	64
V.2.1	Intérêt de la modélisation	64
V.2.2	Types de procédés	64
V.2.2.1	Les processus continus	64
V.2.2.2	Les processus discontinus	65
V.2.2.3	Les processus discrets	65
V.3	Outils de modélisation	65
V.3.1	Le schéma-bloc	65
V.3.2	L'analyse par ordinogramme	66
V.3.3	Modélisation des systèmes continus et systèmes à événements discrets	67
V.3.3.1	Le grafcet.....	68
V.3.3.1.1	Une étape	68
V.3.3.1.2	Une transition.....	68
V.3.3.1.3	Des liaisons orientées	69
V.3.3.1.4	Différents points de vue.....	69
V.3.3.1.5	Les types d'action	71
(i)	Les actions continues	71
(ii)	Les actions conditionnelles.....	72
(iii)	Les actions retardées et les actions limitées dans le temps	72
(iv)	Les actions mémorisées.....	73
V.3.3.1.6	Les réceptivités.....	73
(i)	Fronts.....	73
(ii)	Réceptivité temporelle	74
(iii)	Réceptivité toujours vraie	74
V.3.3.1.7	Les différentes règles d'évolution du grafcet.....	74
V.3.3.1.8	Evolution fugace	76
V.3.3.1.9	Séquences et structures-types	76
(i)	Sélection d'une séquence	76
(ii)	Séquences simultanées	77
(iii)	Renvois et liaisons orientées.....	78
(iv)	Reprise de séquence.....	78
(v)	Sauts d'étapes	79
(vi)	Etapes et transitions sources	79
(vii)	Etapes et transitions puits	80
V.3.3.1.10	Caractéristiques d'une modélisation par grafcet	80
V.4	Exercices du chapitre 5	82
V.4.1	Exercice 1 : grafcet des deux palans	82
V.4.1.1	Enoncé.....	82
V.4.1.2	Correction	83

V.4.2	Exercice 2 : Gestion d'un chariot.....	83
V.4.2.1	Enoncé.....	83
V.4.3	Exercice 3 : Gestion d'un chariot avec obstacle.....	84
V.4.3.1	Enoncé.....	84
V.4.3.2	Correction.....	85
V.4.4	Exercice 4 : télérupteur.....	86
V.4.4.1	Enoncé.....	86
V.4.5	Exercice 5 : Mélangeur.....	86
V.4.5.1	Enoncé.....	86
V.4.5.2	Correction.....	88
V.4.6	Exercice 6 : Transporteur à benne.....	90
V.4.6.1	Enoncé.....	90
V.4.6.2	Correction.....	93
V.4.7	Exercice 7 : Industrie de produits verriers.....	94
V.4.7.1	Enoncé.....	94
V.4.7.2	Correction.....	95
V.4.8	Exercice 8 : Dosage et chauffage de liquide.....	95
V.4.8.1	Enoncé.....	95
V.4.8.2	Correction.....	96
VI.	Chapitre 6: Approche structurée des systèmes automatisés.....	97
VI.1	Objectifs.....	97
VI.2	Généralités.....	97
VI.3	Notions de tâches et grafcet de tâches.....	97
VI.4	Structuration et coordination des tâches.....	98
VI.5	Macro-étape.....	99
VI.6	L'encapsulation.....	100
VI.7	Etude des modes de marche et d'arrêt.....	100
VI.7.1	Le GEMMA.....	100
VI.7.1.1	Concepts de base du GEMMA.....	102
VI.7.1.1.1	Concept N°1 :.....	102
VI.7.1.1.2	Concept N°2 : le critère production.....	102
VI.7.1.1.3	Concept N°3 : Famille des modes de marches et d'arrêts.....	103
(i)	Famille A.....	103
(ii)	Famille F.....	103
(iii)	Famille D.....	103
VI.7.1.1.4	Les rectangles états.....	104
(i)	Exemple et utilisation d'un rectangle-état.....	105
(ii)	Définition des états de marche et d'arrêt.....	105
1.	F1 : Production normale.....	105
2.	F2 : Marche de préparation.....	105

3.	F3 : Marche de clôture	105
4.	F4 : Marche de vérification dans le désordre	106
5.	F5 : Marche de vérification dans l'ordre	106
6.	F6 : Marche de test.....	106
7.	A1 : Arrêt dans l'état initial	106
8.	A2 : Arrêt demandé en fin de cycle	106
9.	A3 : Arrêt demandé dans un état déterminé	106
10.	A4 : Arrêt obtenu	106
11.	A5 : Préparation pour remise en route après défaillance	106
12.	A6 : Mise de la partie opérative dans un état initial	106
13.	A7 : Mise de la partie opérative dans un état déterminé	107
14.	D1 : Arrêt d'urgence	107
15.	D2 : Diagnostic et ou traitement de défaillance	107
16.	D3 : Production tout de même.....	107
VI.7.1.2	Mise en œuvre du GEMMA	107
VI.7.1.2.1	Exemples de quelques configurations-types du GEMMA	108
(i)	GEMMA minimal d'une machine semi-automatique	108
(ii)	GEMMA minimal d'une machine automatique	108
(iii)	GEMMA d'une machine automatique ou semi-automatique avec marche de préparation.....	109
VI.8	Hiérarchisation des graficets	109
VI.8.1	Ordres de forçage et de figeage	109
VI.8.2	Hiérarchisation des automatismes	111
VI.9	Exercices du chapitre 8	113
VI.9.1	Exercice 1 : Automatisation du lavage des filtres	113
VI.9.1.1	Enoncé.....	113
VI.9.1.2	Exercice 2 : Lavage de voiture	116
VI.9.1.2.1	Enoncé.....	116
VII.	Chapitre 7 : L'automate programmable industriel	117
VII.1	Objectifs.....	117
VII.2	Généralités	117
VII.2.1	Définition.....	118
VII.2.2	Constitution d'un automate programmable industriel	118
VII.3	Principes de fonctionnement	119
VII.3.1	L'unité centrale	119
VII.3.2	Les bus de données	119
VII.3.2.1	Le coupleur d'entrées	120
VII.3.2.1.1	Principe d'acquisition d'une entrée analogique	120
VII.3.2.1.2	Principe d'acquisition d'une entrée TOR	120
VII.3.2.1.3	Principe d'acquisition d'une entrée numérique.....	121
VII.3.2.2	Le coupleur de sortie	121

VII.3.2.2.1	Principe d'une interface de sortie TOR	121
(i)	Sortie à relais.....	121
(ii)	Sortie à transistor NPN.....	121
(iii)	Sortie à transistor PNP.....	122
(iv)	Sortie à triac.....	122
VII.3.2.2.2	Principe d'une interface de sortie analogique	122
VII.3.2.3	La mémoire image d'entrées/sorties	122
VII.3.2.4	Les cartes de communication.....	122
VII.3.2.5	Les modules spécialisés.....	123
VII.3.2.5.1	Les cartes d'axes.....	123
VII.3.2.5.2	Les cartes de comptage rapide	123
VII.3.2.5.3	Les entrées/sorties analogiques.....	123
VII.3.2.5.4	Les modules d'entrées/sorties déportés.....	123
VII.3.2.6	Les périphériques et les auxiliaires	123
VII.3.2.6.1	La console de programmation	123
VII.3.2.6.2	L'alimentation électrique.....	124
VII.3.2.6.3	Le ventilateur	124
VII.3.2.6.4	Les indicateurs d'état.....	124
VII.4	Cycle de fonctionnement d'un automate	124
VII.5	Raccordement d'un automate programmable industriel	125
VII.5.1	Notions de logique positive et négative sur les cartes d'entrées	125
VII.5.2	Raccordement des capteurs TOR (Tout Ou Rien).....	125
VII.5.2.1	Capteurs à deux fils.....	125
VII.5.2.2	Capteurs à trois fils.....	126
VII.5.2.3	Capteurs numériques	127
VII.5.3	Raccordement des sorties TOR	128
VII.5.3.1	Sorties à relais (TOR).....	128
VII.5.3.2	Sorties à transistor.....	128
VII.6	Temps caractéristiques de l'automate.....	128
VII.6.1	Temps de cycle	128
VII.6.2	Temps de transfert du système d'entrée.....	128
VII.6.3	Temps de transfert du système de sortie	128
VII.6.4	Temps de scrutation	129
VII.6.5	Temps de réponse totale.....	129
VII.7	Les gammes d'automates	129
VII.7.1	Les micro-automates	129
VII.7.2	Les automates compacts.....	129
VII.7.3	Les automates modulaires	129
VII.8	Choix et spécifications d'un automate programmable	129
VII.9	Contrôle du fonctionnement de l'automate.....	131

VII.10	Différences entre automate programmable et systèmes numériques de contrôle-commande 131	131
VII.11	Exercices du chapitre 7	132
VII.11.1	Exercice 1 : Exploiter une documentation technique	132
VII.11.1.1	Enoncé.....	132
VII.11.1.2	Correction	132
VII.11.2	Exercice 2 :	133
VII.11.2.1	Enoncé.....	133
VII.11.2.2	Correction	133
VIII.	Chapitre 8 : Programmation des API	135
VIII.1	Objectifs.....	135
VIII.2	Généralités	135
VIII.2.1	Composantes d'un projet pour API	135
VIII.2.2	Configurations.....	135
VIII.2.2.1	Configuration matérielle.....	135
VIII.2.2.2	Configuration logicielle	135
VIII.2.3	Sections	136
VIII.2.4	Fonctions d'un logiciel de programmation.....	136
VIII.3	Langages de programmation.....	137
VIII.3.1	Les types et les constantes	137
VIII.3.2	Les variables.....	137
VIII.3.3	Les bits et les mots systèmes.....	138
VIII.3.4	Traitement des entrées et sorties analogiques	138
VIII.3.5	Les langages	141
VIII.3.5.1	Le langage LADDER	141
VIII.3.5.1.1	Généralités sur les blocs fonctions prédéfinis	143
(i)	Le bloc fonction compteur	143
(ii)	Le bloc fonction temporisation.....	144
VIII.3.5.1.2	Transcription d'un grafcet en équations logiques.....	144
VIII.3.5.2	Le langage FBD.....	147
VIII.3.5.3	Le langage SFC.....	148
VIII.3.5.3.1	Dessin du graphe.....	148
VIII.3.5.3.2	L'initialisation des graphes	148
VIII.3.5.3.3	Bits système associés au GRAFCET	149
VIII.3.5.3.4	Programmation des réceptivités	149
VIII.3.5.4	Le langage IL	151
VIII.3.5.5	Le langage ST	151
VIII.4	Le modèle numérique du grafcet.....	151
VIII.5	Exemple de mise en œuvre sur automate GE FANUC 90-30	154
VIII.6	Exemple de mise en œuvre sur automate programmable SIEMENS.....	155

VIII.6.1	Structure du programme.....	155
VIII.6.2	Les objets	156
VIII.6.2.1	Les blocs d'organisation (OB)	156
VIII.6.2.2	Les fonctions (FC)	156
VIII.6.2.3	Les blocs fonctionnels (FB)	156
VIII.6.2.4	Les blocs de données (DB)	156
VIII.6.3	La programmation structurée	157
VIII.6.4	Les variables.....	157
VIII.6.5	Instructions du langage de programmation	159
VIII.6.5.1	Instructions sur bits.....	159
VIII.6.5.1.1	Fonction ET	159
VIII.6.5.1.2	Fonctions mémoires bascules RS et SR.....	159
VIII.6.5.1.3	Inversion du RLG et du connecteur.....	160
VIII.6.5.1.4	Gestion des fronts montant et descendant.....	160
VIII.6.5.1.5	Instructions de gestion de programme	161
VIII.6.5.2	Instructions sur mots	161
VIII.6.5.2.1	Le chargement.....	161
VIII.6.5.2.2	La comparaison	161
VIII.7	Exercices du chapitre 8	162
VIII.7.1	Exercice 1 : Programmation en FBD	162
VIII.7.1.1	Enoncé.....	162
VIII.7.1.2	Correction	163
VIII.7.2	Exercice 2 : transcription d'un grafcet en LADDER.....	164
VIII.7.2.1	Enoncé.....	164
VIII.7.2.2	Correction	164
VIII.7.3	Exercice 3 :	166
VIII.7.3.1	Enoncé.....	166
VIII.7.3.2	Correction	167
VIII.7.4	Exercice 4 :	167
VIII.7.4.1	Enoncé.....	167
VIII.7.4.2	Correction partielle de l'exercice 4	168
VIII.7.5	Exercice 5.....	169
VIII.7.5.1	Enoncé.....	169
VIII.7.5.2	Correction	170
VIII.7.6	Exercice 6	171
VIII.7.6.1	Enoncé.....	171
VIII.7.7	Exercice 7	172
VIII.7.7.1	Enoncé.....	172
VIII.7.7.2	Correction	172
VIII.7.8	Exercice 8	173

VIII.7.8.1	Enoncé.....	173
VIII.7.8.2	Correction	177
IX.	Chapitre 9 : Détection, chaîne de mesure et instrumentation	181
IX.1	Objectifs.....	181
IX.2	La détection	181
IX.2.1	Interrupteurs de position électromécaniques	181
IX.2.2	Détecteurs de proximité.....	182
IX.2.2.1	Détecteurs de proximité capacitifs.....	182
IX.2.2.2	Détecteurs de proximité inductifs	182
IX.2.3	Applications de la détection.....	183
IX.3	La mesure.....	183
IX.3.1	Définitions et généralités sur la chaîne de mesure.....	183
IX.3.1.1	Définitions	183
IX.3.1.2	Transmission du signal.....	183
IX.3.1.3	Raccordements électriques des transmetteurs	184
IX.3.1.3.1	Montage 4 fils	184
IX.3.1.3.2	Montage deux fils.....	185
IX.3.2	Mesure de pression	185
IX.3.2.1	Définitions	185
IX.3.2.2	Unités.....	186
IX.3.2.3	Principes de mesure	186
IX.3.2.3.1	Le tube de bourdon	186
IX.3.2.3.2	Le soufflet	186
IX.3.2.3.3	La membrane.....	187
IX.3.2.4	Règles et préconisations de montage et installation	188
IX.3.2.5	Utilisation d'une console de communication pour la calibration	190
IX.3.2.6	Spécifications d'un transmetteur de pression.....	191
IX.3.3	Mesure de niveau	192
IX.3.3.1	Définitions	192
IX.3.3.2	Unités.....	192
IX.3.3.3	Principes de mesure	192
IX.3.3.3.1	Mesure de niveau par mesure différentielle	192
IX.3.3.3.2	Mesure de niveau par ultrasons	194
IX.3.3.3.3	Mesure de niveau par plongeur.....	195
IX.3.3.3.4	Autres techniques de mesure de niveau	195
IX.3.3.4	Spécifications d'un transmetteur de niveau	195
IX.3.4	Mesure de température	195
IX.3.4.1	Définitions	195
IX.3.4.2	Unités.....	196
IX.3.4.3	Principes de mesure	196

IX.3.4.3.1	Mesure de température par sonde PT100	196
(i)	Raccordements électriques de la sonde	197
1.	Montage 2 fils	197
2.	Montage 3 fils	198
3.	Montage 4 fils	199
IX.3.4.3.2	Mesure de température par thermocouple	199
(i)	Principe	199
(ii)	Les types de thermocouples	200
(iii)	Raccordements électriques thermocouples	201
IX.3.4.4	Spécifications d'un transmetteur de température	201
IX.3.5	Mesure de débits	202
IX.3.5.1	Définitions et rappels de la mécanique des fluides	202
IX.3.5.1.1	Equation de continuité	202
IX.3.5.1.2	Théorème de Bernoulli pour un écoulement permanent d'un fluide parfait incompressible 202	202
IX.3.5.1.3	Caractérisation des régimes d'écoulement	203
IX.3.5.2	Unités	203
IX.3.5.3	Principes de mesure	204
IX.3.5.3.1	Utilisation d'un organe déprimogène	204
IX.3.5.3.2	Débitmètres à effet électromagnétiques	206
IX.3.5.3.3	Débitmètres à effets Coriolis	207
IX.3.5.4	Règles d'installation des organes déprimogènes	207
IX.4	Représentation de l'instrumentation	208
IX.4.1	Principes du système d'identification	208
IX.4.2	Symbole des lignes de transmission des signaux	210
IX.4.3	Identification des sources d'alimentation	210
IX.4.4	Symboles généraux des instruments ou des fonctions	211
IX.5	Exercices	211
IX.5.1	Exercice 1 : capteur angulaire	211
IX.5.1.1	Enoncé	211
IX.5.1.2	Correction partielle	211
IX.5.2	Exercice 2 : Niveau d'un bac à lessive	212
IX.5.2.1	Enoncé	212
IX.5.2.2	Correction	213
IX.5.3	Exercice 3 : choix d'un capteur et calcul de la rangeabilité	215
IX.5.3.1	Enoncé	215
IX.5.4	Exercice 4 :	215
IX.5.4.1	Enoncé	215
IX.5.5	Exercice 5 :	216
IX.5.5.1	Enoncé	216

Le grand guide des systèmes de contrôle-commande industriels

IX.5.6	Exercice 6 : Mesure de débit sur une chaudière	216
IX.5.6.1	Enoncé.....	216
IX.5.6.2	Correction	218
IX.5.7	Exercice 7 : Mesure de température	219
IX.5.7.1	Enoncé.....	219
IX.5.7.2	Correction	220
IX.5.8	Exercice 8	221
IX.5.8.1	Enoncé.....	221
IX.5.8.2	Correction	222
IX.5.9	Exercice 9 : Mesure d'un niveau sur réservoir à pression de ciel	223
IX.5.9.1	Enoncé.....	223
IX.5.9.2	Correction	223
X.	Chapitre 10 : Régulation et instructions de régulation sur automates	225
X.1	Objectifs.....	225
X.2	Généralités	225
X.2.1	Types de systèmes de commande.....	225
X.2.2	Définitions d'un système linéaire	226
X.2.3	Modélisation d'un système linéaire	226
X.2.4	Linéarisation d'un processus de commande industrielle	227
X.2.5	Boucle ouverte.....	228
X.2.6	Boucle fermée.....	228
X.3	Boucle de régulation	229
X.3.1	Composition d'une boucle de régulation	229
X.3.1.1	La sortie x	229
X.3.1.2	Le retour r	229
X.3.1.3	La consigne w	229
X.3.1.4	Le comparateur	229
X.3.1.5	Le régulateur.....	229
X.4	Différences entre régulation et asservissement	230
X.5	Entrées types.....	230
X.5.1	Impulsion de Dirac	230
X.5.2	Echelon unitaire	231
X.5.3	Rampe	231
X.5.4	Harmonique	232
X.5.5	Réponse d'un système	232
X.6	Caractérisation des performances d'un système	232
X.6.1	La précision	232
X.6.2	La rapidité	233
X.6.3	L'amortissement et la stabilité	234
X.6.3.1	1er cas : Réponse insuffisamment amortie	234

Le grand guide des systèmes de contrôle-commande industriels

X.6.3.2	2e cas : Réponse correctement amortie	235
X.6.3.3	3e cas : Réponse bien amortie sans dépassement	235
X.7	Etudes des systèmes linéaires du premier et du second ordre	235
X.7.1	Systèmes linéaires du 1 ^{er} ordre	235
X.7.2	Systèmes linéaires du 2 nd ordre	237
X.8	Schémas blocs ou fonctionnels	239
X.8.1	Manipulations pratiques.....	240
X.8.1.1	Fonctions de transfert en série	240
X.8.1.2	Fonctions de transfert en parallèle	240
X.8.1.3	Déplacement d'un point de prélèvement	240
X.8.1.4	Déplacement d'un soustracteur.....	240
X.8.2	Principales de fonctions de transfert des systèmes physiques et électriques	241
X.9	Fonction de transfert d'un système bouclé.....	241
X.10	Identification des processus	242
X.10.1	Principes de l'identification	243
X.10.2	Exemples de détermination de fonctions de transfert	244
X.10.3	Modèle de BROIDA	244
X.10.4	Modèle de Strejc.....	247
X.10.4.1	Tableau de STREJC.....	247
X.10.4.2	Détermination de K.....	247
X.10.4.3	Détermination de n	248
X.10.4.4	Détermination de la constante de temps T	248
X.10.4.5	Détermination du temps de retard fictif τ	248
X.11	Etude fréquentielle des systèmes asservis	248
X.11.1	Courbe ou lieu de Nyquist	254
X.12	Etude de la stabilité des systèmes asservis.....	254
X.12.1	Conditions de stabilité	254
X.12.2	Critères de stabilité	255
X.12.2.1	Critère isochrone	255
X.12.2.2	Critère géométrique ou graphique	256
X.12.3	Marges de stabilité	256
X.13	Etude de la correction des systèmes	257
X.13.1	Représentation d'un régulateur sur un schéma P&ID (Pipe & Instrumentation Diagram) ..	257
X.13.2	Structure du régulateur.....	257
X.13.3	Sens d'action d'un régulateur	258
X.13.4	Etude du correcteur PID (Proportionnel Intégré Dérivé)	259
X.13.4.1	L'action proportionnelle	259
X.13.4.2	L'action dérivée.....	259
X.13.4.3	L'action intégrale.....	260
X.13.4.4	Synthèse du correcteur PID	260

Le grand guide des systèmes de contrôle-commande industriels

X.13.4.4.1	Nécessité d'un enregistreur ou de courbes de tendance sur système numérique de contrôle-commande.....	261
X.13.4.4.2	Calcul des actions après identification suivant le modèle de BROIDA	261
X.13.4.4.3	Méthode de ZIEGER et NICHOLS en boucle fermée	262
X.13.4.4.4	Méthode de ZIEGER et NICHOLS en boucle ouverte	263
X.13.5	Notions de contrôle avancé	263
X.13.5.1	Correcteur prédicatif de Smith	263
X.13.5.2	Régulation cascade	264
X.13.5.3	Régulation split-range.....	266
X.13.5.4	Régulation de rapport ou « ratio-control »	267
X.13.6	Choix d'une stratégie de contrôle	267
X.13.6.1	Procédure	267
X.14	Mise en œuvre des régulateurs PID (Proportionnel Intégral Dérivée) sur automates programmables.....	268
X.14.1	Présentation des instructions de régulation chez SCHNEIDER – TELEMECANIQUE	269
X.14.2	Présentation des instructions de régulation chez GE FANUC	271
X.15	Exercices du chapitre 10	273
X.15.1	Exercice 1 : Régulation de niveau	273
X.15.1.1	Enoncé.....	273
X.15.2	Exercice 2 : Programmation d'une boucle de régulation PID.....	274
X.15.2.1	Enoncé.....	274
X.15.2.2	Correction	275
X.15.3	Exercice 3 : Dérivée sur écart ou sur mesure	276
X.15.3.1	Enoncé.....	276
X.15.4	Exercice 4 : système hydraulique.....	276
X.15.4.1	Enoncé.....	276
X.15.4.2	Correction	277
X.15.5	Exercice 5 : régulation de température	277
X.15.5.1	Enoncé.....	277
X.15.6	Exercice 6 : schémas blocs	278
X.15.6.1	Enoncé.....	278
X.15.7	Exercice 7	278
X.15.7.1	Enoncé.....	278
X.15.7.2	Correction	282
XI.	Chapitre 11 : Les vannes.....	286
XI.1	Objectifs.....	286
XI.2	Généralités	286
XI.2.1	Définitions	286
XI.2.2	Rôle d'une vanne dans une boucle de régulation	287
XI.2.3	Rôle d'une vanne de sécurité	288
XI.3	Éléments technologiques d'une vanne de régulation.....	288

Le grand guide des systèmes de contrôle-commande industriels

XI.3.1	Le corps de vanne	288
XI.3.2	L'obturateur.....	289
XI.3.3	Le siège	289
XI.3.4	Le servomoteur.....	289
XI.3.5	La tige	289
XI.3.6	Les types de vannes.....	289
XI.3.7	Les types de clapets.....	290
XI.4	Caractéristique de débit d'une vanne	291
XI.5	Les actionneurs de vanne	292
XI.5.1	Les électro positionneurs.....	292
XI.5.2	Les convertisseurs courant/pression.....	293
XI.6	Position de sécurité des vannes	293
XI.7	Dimensionnement d'une vanne	294
XI.7.1	Exemple d'application.....	294
XI.8	Problèmes des vannes	295
XI.8.1	La cavitation.....	295
XI.8.2	Le bruit des vannes	295
XI.9	Technologie de commande des vannes de sécurité	295
XI.10	Quelques fabricants de vannes	296
XI.11	Exercice	297
XI.11.1	Exercice 1	297
XI.11.1.1	Enoncé.....	297
XI.11.2	Correction	298
XII.	Chapitre 12 : Notions de base des réseaux locaux industriels	299
XII.1	Objectifs.....	299
XII.2	Généralités	299
XII.2.1	Nécessité des réseaux	299
XII.2.2	Définitions du terme « réseau ».....	299
XII.2.3	Historique des réseaux locaux industriels	299
XII.2.4	Le concept CIM (Computer Integrated Manufactured).....	300
XII.3	Les différents bus de terrain	301
XII.4	Notions de systèmes ouverts et privés.....	302
XII.4.1	Système ouvert.....	302
XII.4.2	Système privé	302
XII.5	Le modèle OSI.....	302
XII.5.1	La couche physique.....	303
XII.5.2	La couche liaison de données	303
XII.5.3	La couche réseau	303
XII.5.4	La couche transport.....	303
XII.5.5	La couche session	303

XII.5.6	La couche présentation	303
XII.5.7	La couche application	303
XII.6	Transmission des données	304
XII.6.1	Problèmes de la transmission des données	304
XII.6.2	La transmission en bande de base	305
XII.6.3	La transmission en bande décalée	305
XII.6.4	Types de liaisons	305
XII.6.4.1	Transmission parallèle	305
XII.6.4.2	Transmission sérielle	305
XII.6.5	Modes de transmission	306
XII.6.5.1	Mode simplex	306
XII.6.5.2	Mode semi-duplex	306
XII.6.5.3	Mode duplex	306
XII.6.6	Contrôle d'erreurs	306
XII.6.6.1	Codage de la parité	306
XII.6.6.2	La somme de contrôle	306
XII.6.6.3	Le contrôle de redondance cyclique CRC	306
XII.6.7	Contrôle de flux	307
XII.6.8	Efficacité d'une transmission de données	308
XII.7	Etude du modèle OSI réduit pour les réseaux locaux industriels	308
XII.7.1	La couche physique	308
XII.7.1.1	Synchronisation	308
XII.7.1.2	Transmission synchrone	308
XII.7.1.3	Procédure de la transmission	309
XII.7.1.4	Transmission asynchrone	309
XII.7.1.5	Transmission asynchrone synchronisée	309
XII.7.1.6	Les supports de transmission	309
XII.7.1.6.1	Conducteurs métalliques	310
XII.7.1.6.2	Les lignes coaxiales	310
XII.7.1.6.3	La fibre optique	310
XII.7.1.7	La norme RS232C	310
XII.7.1.8	La norme RS 423	311
XII.7.1.9	La norme RS 422	312
XII.7.1.10	La norme RS485	312
XII.7.1.11	Comparaison des différentes normes	312
XII.7.1.12	Les topologies	313
XII.7.2	La couche liaison de données	314
XII.7.2.1	La sous-couche MAC	314
XII.7.2.1.1	Gestion par compétition	314
(i)	CSMA/CD	315

(ii)	CSMA/CA ou BA	315
(iii)	CSMA/DCR.....	316
XII.7.2.1.2	Gestion par multiplexage temporel synchrone	316
XII.7.2.1.3	Gestion par droit de parole explicite ou consultation.....	316
(i)	Jeton sur anneau	316
(ii)	Jeton sur bus	317
XII.7.2.1.4	Scrutation.....	317
XII.7.2.1.5	Trame circulante	317
XII.7.2.2	La sous-couche LLC (Logical Link Control)	317
XII.7.2.2.1	Service de type 1 : LLC1	318
XII.7.2.2.2	Service de type 2 : LLC2	318
XII.7.2.2.3	Service du type 3 : LLC3	318
XII.7.3	La couche application – Messagerie	318
XII.7.3.1	MMS	319
XII.7.3.2	MPS	319
XII.8	Etude des protocoles TCP/IP	319
XII.8.1	Généralités	319
XII.8.2	Types de données	319
XII.8.3	Encapsulation des protocoles.....	320
XII.8.4	Rôle des protocoles TCP IP	320
XII.8.5	Adresse IP	320
XII.8.5.1	Classe d'adresse	321
XII.8.5.2	Masques de sous-réseaux	322
XII.9	Exercices du chapitre 12	322
XII.9.1	Exercice 1	322
XII.9.1.1	Enoncé.....	322
XII.9.1.2	Correction	322
XII.9.2	Exercice 2.....	323
XII.9.2.1	Enoncé.....	323
XII.9.2.2	Correction	323
XII.9.3	Exercice 3.....	323
XII.9.3.1	Enoncé.....	323
XII.9.3.2	Correction	323
XII.9.4	Exercice 4	323
XII.9.4.1	Enoncé.....	323
XII.9.4.2	Correction	324
XII.9.5	Exercice 5.....	324
XII.9.5.1	Enoncé.....	324
XII.9.5.2	Correction	324
XIII.	Chapitre 13 : Les réseaux et les bus de terrain	325

Le grand guide des systèmes de contrôle-commande industriels

XIII.1	Objectifs	325
XIII.2	Généralités	325
XIII.3	Le bus ASI	325
XIII.3.1	Couche physique du bus	326
XIII.4	Le bus CAN	327
XIII.4.1	Couche physique	328
XIII.5	MODBUS (Modicon Bus).....	328
XIII.5.1	Principe des échanges MODBUS	329
XIII.5.2	Adressage MODBUS.....	329
XIII.5.3	Echange maître vers esclave	329
XIII.5.4	Echange maître vers tous les esclaves	330
XIII.5.5	Configuration du réseau	330
XIII.5.5.1	Liaison point à point.....	330
XIII.5.5.2	Liaison multipoint	330
XIII.5.6	Trame d'échange question-réponse.....	331
XIII.5.6.1	La question	331
XIII.5.6.2	La réponse	331
XIII.5.7	Format général d'une trame	331
XIII.5.8	Caractéristiques générales du réseau.....	332
XIII.6	Modbus TCP IP	333
XIII.7	Profibus.....	334
XIII.7.1	Architecture et présentation générale de PROFIBUS	334
XIII.7.2	Couche physique	335
XIII.7.3	Couche liaison de données	335
XIII.7.3.1	Medium Access Control ou gestion d'accès au bus	335
XIII.7.4	LLC	337
XIII.7.5	Profibus FMS.....	337
XIII.7.6	Profibus DP.....	337
XIII.7.7	Profibus PA.....	337
XIII.7.8	Structure des télégrammes Profibus DP et FMS	338
XIII.7.9	Caractéristiques techniques du réseau	338
XIII.7.10	Configuration d'un réseau PROFIBUS	338
XIII.8	Exemples de fabricants d'équipements réseaux.....	339
XIII.9	Exercices du chapitre 13	340
XIII.9.1	Exercice 1 : communication avec un variateur de vitesse	340
XIII.9.1.1	Enoncé.....	340
XIII.9.1.2	Correction	347
XIII.9.2	Exercice 2	348
XIII.9.2.1	Enoncé.....	348
XIII.9.3	Exercice 3	350

Le grand guide des systèmes de contrôle-commande industriels

XIII.9.3.1	Enoncé.....	350
XIII.9.4	Exercice 4.....	350
XIII.9.4.1	Enoncé.....	350
XIV.	Chapitre 14 : La supervision des procédés industriels	352
XIV.1	Objectifs.....	352
XIV.2	Notions de base et généralités	352
XV.	Fonctions d'acquisition de données d'une application de supervision	352
XV.1	Définition des composants matériels et logiciels de base pour une supervision industrielle ..	353
XV.1.1	Le réseau de communication	354
XV.1.2	Les cartes réseaux	354
XV.1.3	Les équipements réseaux	354
XV.1.4	Les câbles réseaux.....	354
XV.1.5	Les postes de supervision et l'application de supervision.....	354
XV.1.6	Les serveurs de supervision.....	354
XV.2	Les caractéristiques d'un superviseur	355
XV.2.1	Fonction communication – OPC.....	355
XV.2.2	La table des variables.....	355
XV.2.3	Les unités engineering et les unités physiques	356
XV.2.4	Animation graphique des objets	357
XV.2.5	Les boutons de commande	358
XV.2.6	Les faceplates.....	359
XV.2.7	Les alarmes	360
XV.3	Mise en œuvre d'une application de supervision	361
XV.4	Les systèmes numériques de contrôle-commande.....	361
XV.5	Les interfaces homme-machine	362
XV.6	Exemples de produits et fabricants	362
XV.7	Exercice	363
XV.7.1	Exercice 1	363
XV.7.1.1	Enoncé.....	363
XV.7.1.2	Correction	367
XVI.	Chapitre 15 : Systèmes de câblage structuré	370
XVI.1	Objectifs.....	370
XVI.2	Boucle-type de mesure analogique	370
XVI.3	Les composants d'un système de câblage structuré	370
XVI.3.1	L'armoire système	370
XVI.3.2	L'armoire marshalling	372
XVI.3.2.1	Cross-wiring.....	373
XVI.3.3	Équipement électronique dans les armoires marshallings	375
XVI.3.4	Dimensionnement des alimentations	375
XVI.3.5	Les boîtes de jonction.....	377

Le grand guide des systèmes de contrôle-commande industriels

XVI.3.6	Les câbles en instrumentation	374
XVI.3.6.1	Signification du code	374
XVI.3.6.2	Les couleurs des fils conducteurs	375
XVI.3.6.3	L'écran	375
XVI.3.6.4	Ecran de type EI	375
XVI.3.6.5	Ecran de type EG	375
XVI.4	Schémas de boucles	380
XVI.5	Raccordement des écrans des câbles	380
XVI.6	Exemple de fabricants	381
XVI.7	Exercices du chapitre 15	381
XVI.7.1	Exercice 1	381
XVI.7.1.1	Enoncé.....	381
XVI.7.1.2	Correction	382
XVI.7.2	Exercice 2	383
XVI.7.2.1	Enoncé.....	383
XVI.7.2.2	Correction	383
XVI.7.3	Exercice 3	384
XVI.7.3.1	Enoncé.....	384
XVI.7.3.2	Correction	385
XVII.	Chapitre 17 : La documentation dans un projet de contrôle-commande	387
XVII.1	Objectifs	387
XVII.2	Généralités	387
XVII.3	Plan de circulation des fluides	388
XVII.4	Les P&ID.....	389
XVII.5	Les plans du site.....	389
XVII.6	La liste instruments.....	390
XVII.7	La liste des vendeurs préférés et des technologies	390
XVII.8	La liste d'entrées/sorties	390
XVII.9	L'implantation des instruments et des boites de jonction	392
XVII.10	Les feuilles de spécifications d'instruments	393
XVII.11	Architecture du système de contrôle-commande et réseau d'informatique industrielle	394
XVII.12	Le schéma-bloc de câblage.....	395
XVII.13	Les schémas de raccordement des boites de jonction	396
XVII.14	Les schémas de montage et de raccordement instrumentation	396
XVII.15	Le carnet de câbles	398
XVII.16	Les schémas de boucles	399
XVIII.	Chapitre 18 : Sécurité des systèmes automatisés	400
XVIII.1	Objectifs.....	400
XVIII.2	Généralités sur les risques industriels.....	400
XVIII.3	Les systèmes de sécurité instrumentés	403

Le grand guide des systèmes de contrôle-commande industriels

XVIII.4	Notions de redondance	404
XVIII.5	Classification des systèmes de sécurité.....	404
XVIII.6	Solutions technologiques mises en œuvre dans la sécurité	404
XVIII.6.1	Les relais de sécurité.....	404
XVIII.6.2	La surveillance de boucle ou de ligne	404
XVIII.6.3	La boucle fusible.....	406
XVIII.6.4	Le câble thermosensible.....	407
XVIII.6.5	Le voting	407
XVIII.7	Les automates de sécurité	408
XVIII.8	Pratiques usuelles	408
XVIII.9	Exercice du chapitre 18	410
XVIII.9.1	Exercice1	410
XVIII.9.1.1	Enoncé.....	410
XVIII.9.1.2	Correction	412
XVIII.9.2	Exercice 2	413
XVIII.9.2.1	Enoncé.....	413
XVIII.9.2.2	Correction	414
XIX.	Chapitre 19 : Méthodologie de gestion d'un projet de contrôle-commande	415
XIX.1	Objectifs.....	415
XIX.2	Types de projets de contrôle-commande	415
XIX.2.1	Les projets de conception.....	415
XIX.2.2	Le revamping d'installations existantes	415
XIX.2.3	Les travaux de modifications d'installation	415
XIX.3	Notions de cycle de vie du produit	415
XIX.3.1	Les différentes phases de cycle de vie du produit	416
XIX.3.1.1	Définitions des objectifs	416
XIX.3.1.2	Définition des besoins	416
XIX.3.1.3	Définition du produit.....	416
XIX.3.1.4	Planification et gestion de projet.....	416
XIX.3.1.5	Conception globale	416
XIX.3.1.6	Codage et tests unitaires	416
XIX.3.1.7	Intégration	417
XIX.3.1.8	Qualification	417
XIX.3.1.9	Maintenance	417
XIX.3.2	Le cycle en V	418
XIX.4	Méthodologie de spécifications d'un automatisme séquentiel	418
XIX.4.1	Etape 1	418
XIX.4.2	Etape 2	419
XIX.4.3	Etape 3	419
XIX.4.4	Etape 4	419

Le grand guide des systèmes de contrôle-commande industriels

XIX.4.5	Etape 5	419
XIX.4.6	Etape 6	419
XIX.5	Proposition d'une méthodologie pour les procédés continus	419
XIX.5.1	Analyse des documents d'entrée et définition des traitements types	419
XIX.5.2	Analyse fonctionnelle des traitements types	420
XIX.5.3	Codage des traitements types ou blocs fonctions	421
XIX.5.4	Tests des traitements types.....	421
XIX.5.5	Rédaction de l'analyse fonctionnelle	421
XIX.5.6	Développement de l'application	421
XIX.5.7	Tests de l'application	422
XIX.5.8	Mise en œuvre sur site	422
XIX.6	Estimation budgétaire d'un projet de contrôle-commande industriel	422
XIX.6.1	Définition des grands postes budgétaires	422
XIX.6.2	Estimation du coût des études de détails	423
XIX.6.3	Estimation du coût de la fourniture	424
XIX.6.4	Estimation du coût des travaux	425
XIX.6.5	Estimation des coûts indirects	426
XIX.7	Exemple d'application.....	427
XIX.7.1	Définition de l'architecture du système de contrôle-commande.....	428
XIX.7.2	Définition du schéma-bloc de câblage	429
XIX.7.3	Définition de la liste d'entrées/sorties	429
XIX.7.4	Définition des programmes types de l'application	431
XIX.7.5	Analyse fonctionnelle de quelques fonctions types	432
XIX.7.5.1	Traitement d'une entrée TOR process (type NF : Normalement Fermé).....	432
XIX.7.5.2	Traitement d'une vanne de sécurité de type SDV	433
XIX.7.5.3	Analyse fonctionnelle du procédé.....	434
XIX.8	Exercice du chapitre 19	436
XIX.8.1	Exercice 1 :	436
XIX.8.1.1	Enoncé.....	436
XIX.8.1.2	Correction	437