



STS SYSTÈMES ÉLECTRONIQUES • IUT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE

Physique appliquée

# Précis d'électronique

COURS – EXERCICES

2<sup>E</sup> ANNÉE

JEAN-LUC AZAN



# Sommaire

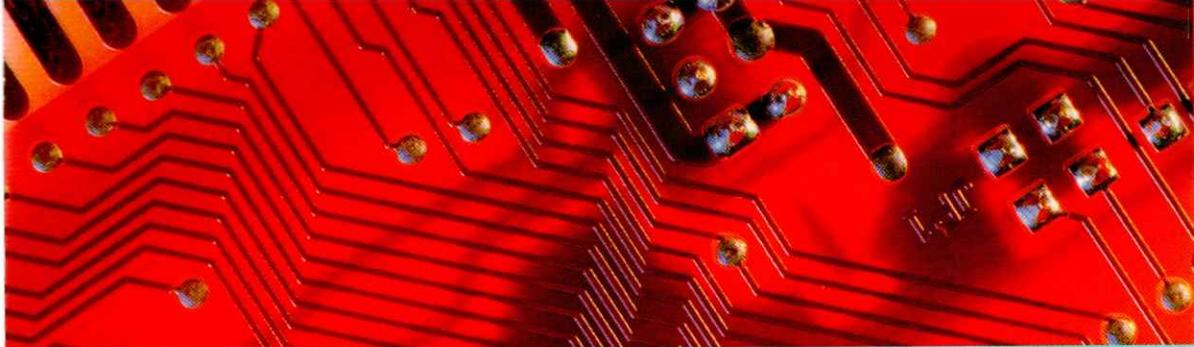
<b>1. ASSERVISSEMENTS ANALOGIQUES LINEAIRES</b>	11
<b>I. Schéma bloc</b>	11
1. Exemple de schéma bloc : à une entrée et à retour unitaire	12
2. Fonction de transfert en boucle fermée	12
<b>II. Stabilité</b>	12
1. Condition générale de stabilité	12
2. Critère du revers	12
3. Degré de stabilité : marge de phase et marge de gain	13
<b>III. Précision statique</b>	14
<b>IV. Correction</b>	14
1. Correcteur de type proportionnel et intégral : P.I.	14
2. Correcteur de type proportionnel, intégral et dérivé : P.I.D.	15
Contrôle des connaissances	15
<i>Exercices résolus</i>	18
101 Asservissement du premier ordre : régulation proportionnelle	22
102 Asservissement du second ordre : type asservissement de position	25
103 Asservissement de vitesse d'un moteur à courant continu	25
<i>Exercices à résoudre</i>	32
104 Asservissement du second ordre : type asservissement de vitesse	33
105 Asservissement d'un système possédant un retard	34
106 Identification en boucle ouverte d'un système du second ordre	35
107 Correction proportionnelle et intégrale	36
108 Asservissement de position d'un moteur à courant continu	38
109 Marge de phase et marge de gain	39
110 Lieu de Nyquist et système bouclé	39
111 Stabilité d'un système du 3ème ordre de classe 1	40
112 Asservissement d'un processus du second ordre possédant un zéro	42
113 Schéma structurel d'un correcteur P.I.	42
<b>2. TRANSFORMATION EN <math>z</math> ET FILTRAGE NUMERIQUE</b>	43
<b>I. Transformation en <math>z</math></b>	43
1. Définition	44
2. Propriétés	45
3. Table des transformées en $z$	46
4. La transformée en $z$ inverse	46
<b>II. Filtrage numérique</b>	46
1. Chaîne de traitement numérique	48
2. Filtres numériques non récursifs	48
3. Filtres numériques récursifs	49
Contrôle des connaissances	49
<i>Exercices résolus</i>	52
201 Filtre numérique passe-bas du premier ordre	55
202 Moyenneur numérique	60
203 Intégrateur numérique	65
204 Etude d'un filtre numérique	67
205 Synthèse d'un filtre numérique passe-bande	67

<i>Exercices à résoudre</i>	
206	Etude d'un filtre numérique du second ordre . . . . . 71
207	Dérivateur numérique . . . . . 72
208	Synthèse d'un filtre numérique par invariance de la réponse indicielle . . . . . 73
209	Etude d'un filtre numérique à phase linéaire . . . . . 74
210	Utilisation de la transformée en z . . . . . 75
211	Analyse de filtres numériques récurrents . . . . . 76
212	Etude d'un filtre numérique . . . . . 77
<b>3.</b>	<b>BOUCLE A VERROUILLAGE DE PHASE : PLL . . . . . 79</b>
<b>I.</b>	<b>Comparateurs de phase . . . . . 79</b>
1.	Définitions . . . . . 79
2.	Comparateur de phase utilisant un multiplieur . . . . . 79
3.	Comparateur de phase utilisant un OU exclusif . . . . . 81
4.	Comparateur de phase utilisant des bascules D . . . . . 82
<b>II.</b>	<b>Oscillateur commandé en tension : VCO . . . . . 84</b>
1.	Définition . . . . . 84
2.	Exemple de VCO sinusoïdal . . . . . 85
<b>III.</b>	<b>Etude de la PLL . . . . . 86</b>
1.	Schéma fonctionnel . . . . . 86
2.	Modèle linéaire de la PLL . . . . . 86
3.	PLL utilisant un filtre passe-bas du premier ordre de type RC . . . . . 87
4.	PLL utilisant un filtre à retard de phase . . . . . 96
<b>IV.</b>	<b>Applications de la PLL . . . . . 99</b>
1.	Démodulation de fréquence . . . . . 99
2.	Synthétiseur de fréquence à PLL . . . . . 100
3.	Modulateur de fréquence à PLL . . . . . 102
<i>Exercices résolus</i>	
301	Etude d'une boucle à verrouillage de phase . . . . . 103
302	Démodulateur FM à PLL . . . . . 110
<i>Exercices à résoudre</i>	
303	PLL utilisant un OU exclusif . . . . . 113
304	PLL étude statique, plage de verrouillage, plage de capture . . . . . 114
305	Synthétiseur de fréquence à PLL . . . . . 116
306	Etude d'un comparateur de phase de type 2 CI4046 . . . . . 117
307	Démodulateur de fréquence à PLL . . . . . 119
308	Synthétiseur de fréquence VHF (circuit MC145152) . . . . . 121
<b>4.</b>	<b>LES MODULATIONS D'AMPLITUDE . . . . . 123</b>
<b>I.</b>	<b>Modulation d'amplitude à porteuse conservée : MAPC . . . . . 123</b>
1.	Définition . . . . . 123
2.	Spectre du signal modulé . . . . . 124
3.	Puissance et rendement . . . . . 126
<b>II.</b>	<b>Modulation d'amplitude à porteuse supprimée : MAPS . . . . . 127</b>
1.	Définition . . . . . 127
2.	Spectre du signal modulé . . . . . 128
3.	Puissance . . . . . 129
<b>III.</b>	<b>Modulation d'amplitude à bande latérale unique : BLU . . . . . 129</b>
1.	Définition . . . . . 129
2.	Spectre du signal modulé . . . . . 130
<b>IV.</b>	<b>Modulation d'amplitude à bande latérale résiduelle : BLR . . . . . 132</b>
1.	Définition . . . . . 132
2.	Schéma fonctionnel du modulateur . . . . . 133

71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
79			
79			
79			
79			
81			
82			
84			
84			
85			
86			
86			
86			
87			
96			
99			
99			
100			
102			
103			
110			
113			
114			
116			
117			
119			
121			
123			
123			
123			
124			
126			
127			
127			
128			
129			
129			
129			
130			
132			
132			
133			
	<b>V. Dispositifs modulateurs d'amplitude</b>	134	
	1. Utilisation d'un multiplieur analogique	134	
	2. Utilisation d'un circuit à caractéristique quadratique	135	
	3. Modulateur à découpage	136	
	4. Modulateur à amplificateur à gain commandé	137	
	5. Génération d'un signal BLU	138	
	<b>VI. Démodulation d'amplitude</b>	139	
	1. Détection d'enveloppe	139	
	2. Démodulation par détection synchrone	140	
	3. Boucle de Costas	141	
	<b>VII. Modulation d'amplitude en quadrature : MAQ</b>	143	
	Contrôle des connaissances	145	
	<i>Exercices résolus</i>		
	401 Modulation d'amplitude par un signal "dent de scie"	148	
	402 Filtrage d'un signal modulé en amplitude	151	
	<i>Exercices à résoudre</i>		
	403 Principe de la démodulation cohérente	155	
	404 Etude d'un modulateur BLU par déphasage	158	
	405 Effet d'un brouilleur sinusoïdal en modulation d'amplitude	160	
	406 Modulation d'amplitude à porteuse conservée	161	
	407 Modulation d'amplitude à porteuse supprimée	162	
	408 Modulant à deux composantes sinusoïdales	162	
	409 Modulateur en anneau	163	
	410 Démodulation d'amplitude par détection d'enveloppe	164	
	411 Démodulation par redressement et filtrage	165	
	412 Modulateur BLU- méthode de Weaver	166	
	<b>5. LES MODULATIONS ANGULAIRES</b>	167	
	<b>I. Définition</b>	167	
	1. La modulation de phase : PM	167	
	2. La modulation de fréquence : FM	168	
	3. Relation entre modulateur de fréquence et modulateur de phase	169	
	<b>II. Spectre d'un signal modulé en fréquence</b>	170	
	1. Cas d'un signal modulant sinusoïdal	170	
	2. Généralisation à un signal modulant non sinusoïdal	175	
	<b>III. Dispositifs modulateurs de fréquence</b>	175	
	1. Modulateur de fréquence à varicap : méthode directe	175	
	2. Méthode d'Armstrong : méthode indirecte	178	
	<b>IV. Démodulateurs de fréquence</b>	179	
	1. Démodulation par dérivation	179	
	2. Démodulation par déphaseur : démodulateur en quadrature	184	
	3. Démodulateur de fréquence à PLL	187	
	4. Limiteur d'amplitude	189	
	<b>V. Récepteur superhétérodyne à simple changement de fréquence</b>	190	
	1. Récepteur superhétérodyne à fréquence intermédiaire basse : $f_{FI} < f_P$	191	
	2. Récepteur superhétérodyne à fréquence intermédiaire élevée : $f_{FI} > f_P$	194	
	<b>VI. Récepteur hétérodyne à double changement de fréquence</b>	195	
	<b>VII. Réjection de la fréquence image : structure de Hartley</b>	196	
	Contrôle des connaissances		
	<i>Exercices résolus</i>		
	501 Spectre d'un signal FM à bande étroite	199	
	502 Modulation de phase - Modulation de fréquence	201	
	503 Modulation de fréquence utilisant une PLL	202	

<i>Exercices à résoudre</i>	205
504 Modulateur de phase à TEC.....	207
505 Signal modulé en fréquence.....	208
506 Phase et fréquence instantanée.....	208
507 Spectre d'un signal FM et PM.....	205
508 Brouilleur sinusoïdal.....	209
509 Démodulateur de fréquence en quadrature.....	210
510 Démodulateur de fréquence d'un signal FM à bande étroite.....	211
511 Discriminateur de Travis.....	211
512 Filtrage sélectif d'un signal modulé en fréquence.....	212
513 Récepteur à simple changement de fréquence.....	214
514 Récepteur à double changement de fréquence.....	215
<b>6. MODULATION D'IMPULSIONS CODEES (MIC).....</b>	<b>215</b>
<b>I. Echantillonnage des signaux.....</b>	<b>215</b>
1. Echantillonnage naturel.....	219
2. Echantillonnage idéal.....	222
3. Echantillonnage avec maintien.....	224
<b>II. Quantification.....</b>	<b>224</b>
1. Principe.....	225
2. Quantification uniforme.....	228
3. Quantification non uniforme.....	229
<b>III. Modulation d'impulsions codées.....</b>	<b>231</b>
<b>IV. Modulation d'impulsions codées différentielles : MICD.....</b>	<b>231</b>
1. Principe d'un modulateur MICD.....	232
2. Principe d'un démodulateur MICD.....	233
3. Modulateur delta.....	234
4. Démodulateur delta.....	235
5. Calcul du rapport signal sur bruit.....	237
<i>Exercices résolus</i>	238
601 Echantillonnage naturel d'un signal sinusoïdal.....	238
602 Quantification uniforme.....	238
603 MIC.....	238
<i>Exercices à résoudre</i>	239
604 Echantillonnage naturel.....	240
605 Echantillonnage avec maintien.....	240
606 Sous - échantillonnage.....	240
607 Echantillonnage d'un signal triangulaire.....	241
608 Filtre anti-repliement.....	241
609 Quantification uniforme d'un signal créneau.....	242
610 Quantification uniforme d'un signal triangulaire.....	242
611 Quantification non-uniforme.....	242
612 MIC.....	243
613 MIC.....	243
614 MIC.....	243
615 Modulateur delta.....	243
<b>7. COMMUNICATIONS NUMERIQUES EN BANDE DE BASE.....</b>	<b>245</b>
<b>I. Introduction.....</b>	<b>245</b>
<b>II. Les codes en lignes.....</b>	<b>247</b>
1. Expression du signal émis.....	247
2. Codage binaire.....	248
3. Codage M-aire.....	249
4. Critère de choix d'un code en ligne.....	250
5. Propriétés du signal émis pour un codage binaire.....	250

205	6. Propriétés du signal émis pour un codage M-aire . . . . .	251
207	<b>III. Exemples de codes en ligne</b> . . . . .	252
208	1. Code NRZ binaire à niveaux symétriques . . . . .	252
208	2. Code RZ binaire . . . . .	253
205	3. Code biphasé ou Manchester . . . . .	255
209	4. Code NRZ M-aire à niveaux symétriques . . . . .	256
210	5. Codes en ligne à symboles dépendants . . . . .	256
211	<b>IV. Récepteurs pour les transmissions numériques :</b>	
211	<b>erreurs dues aux bruits.</b> . . . . .	259
212	1. Structure du récepteur . . . . .	260
214	2. Calcul de la probabilité d'erreur par bit : $P_{eb}$ . . . . .	261
215	3. Filtre de réception optimal : filtre adapté . . . . .	265
215	<b>V. Interférences entre symboles (IES) – Critère de Nyquist</b> . . . . .	266
215	1. Interférences entre symboles . . . . .	267
219	2. Diagramme de l'œil . . . . .	268
222	3. Critère de Nyquist . . . . .	270
224	4. Canal de Nyquist idéal . . . . .	272
224	5. Canal de Nyquist en cosinus surélevé . . . . .	274
225	<i>Exercices résolus</i>	
228	701 Etude d'un code en ligne . . . . .	276
229	702 Code NRZ M-aire avec $M = 4$ . . . . .	277
231	703 GSM : constitution d'une multitrame . . . . .	278
231	<i>Exercices à résoudre</i>	
232	704 Codes en ligne . . . . .	281
233	705 Etude d'un code en ligne C.M.I. . . . .	281
234	706 Code NRZ M-aire avec $M = 8$ . . . . .	282
235	707 Interférences Entre Symboles . . . . .	282
237	708 Filtre en cosinus surélevé . . . . .	283
238	709 Canal de Nyquist en cosinus surélevé . . . . .	283
238	710 Filtrage adapté . . . . .	284
239	711 Codage différentielle . . . . .	285
240	712 Codage M-aire ( $M = 4$ ) : détection du signal en présence de bruit . . . . .	285
240	<b>8. COMMUNICATIONS NUMERIQUES SUR FREQUENCE PORTEUSE</b> . . . . .	287
240	<b>I. Modulation par déplacement d'amplitude : MDA ou ASK</b> . . . . .	287
240	1. Expression du signal ASK . . . . .	287
241	2. Modulation par tout ou rien : OOK . . . . .	288
241	3. Démodulation synchrone du signal OOK . . . . .	290
242	<b>II. Modulation par déplacement de fréquence : MDF ou FSK</b> . . . . .	294
242	<b>III. Modulation FSK à phase discontinue</b> . . . . .	295
242	<b>IV. Modulation FSK à phase continue</b> . . . . .	296
243	1. Définition . . . . .	296
243	2. Impulsion élémentaire de fréquence rectangulaire . . . . .	296
243	3. Aspect spectral . . . . .	297
245	<b>V. Modulation MSK : Minimum Shift Keying</b> . . . . .	299
245	1. Définition . . . . .	299
247	2. DSP du signal MSK . . . . .	301
247	3. Modulateur MSK . . . . .	302
247	4. Modulation GMSK : Gaussian Minimum Shift Keying . . . . .	303
248	<b>VI. Modulateur FSK à phase continue</b> . . . . .	304
249	1. Utilisation d'un VCO . . . . .	304
250	2. Modulateur FSK à PLL . . . . .	305
250	3. Modulateur FSK utilisant un modulateur I-Q . . . . .	305



Physique appliquée

# Précis d'électronique

Cette nouvelle édition, revue et augmentée, est destinée aux étudiants de deuxième année des STS Systèmes Électroniques et des IUT de Génie Électrique ; elle s'adresse aussi aux étudiants des maîtrises EEA et des écoles d'ingénieurs. Elle tient compte du nouveau référentiel du BTS Systèmes Électroniques.

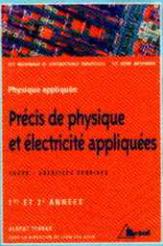
L'objectif de cet ouvrage est de présenter les méthodes et les outils nécessaires à l'étude des domaines électroniques suivants :

- asservissements analogiques linéaires
- filtres numériques
- boucle à verrouillage de phase
- modulations d'amplitude
- modulations de fréquence
- modulations de phase
- traitement du signal
- transmission de données

Un cours clair et synthétique, des tests d'auto-évaluation (solutions détaillées), qui tiennent compte des dernières évolutions technologiques, de comprendre et d'analyser les systèmes électroniques, de se préparer efficacement aux examens.



## Dans la même collection



**Précis de physique et électricité appliquées**  
 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> années  
 Cours et exercices  
 BTS M.A.I.  
 I.U.T. Génie Mécanique



**Précis d'électrotechnique**  
 Cours et exercices  
 BTS électrotechnique,  
 IUT Génie électrique  
 Volume I : 1<sup>re</sup> année  
 Volume II : 2<sup>e</sup> année

Réf. 514.2502 – ISBN : 2 7495 0503 8  
[www.editions-breal.fr](http://www.editions-breal.fr)

