

TECHNOSUP

Les FILIÈRES TECHNOLOGIQUES des ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

ÉLECTRONIQUE

Bruit en électronique

Du composant aux systèmes
Instrumentation, oscillateurs, télécommunications

Gérard COUTURIER

ellipses

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE I – Systèmes électroniques et bruit

1. Instrumentation	10
2. Oscillateurs	12
3. Télécommunications	15
4. Exercices	19

CHAPITRE II – Densité spectrale

1. Valeur efficace, valeur quadratique moyenne et puissance des signaux déterministes	33
2. Densité spectrale d'un signal aléatoire	36
3. Manipulation des densités spectrales	38
3.1 Addition de deux sources de bruit en tension	38
3.2 Addition de deux sources de bruit en courant	41
3.3 Addition de trois sources de bruit : une source de tension, une source de courant et une résistance	42
4. Densité spectrale et fonction de corrélation	44
5. Bruit blanc	46
6. Exercices	46

CHAPITRE III – Bruit des composants élémentaires

1. Modélisation du bruit des résistances et des diodes	59
1.1 Bruit des résistances	59
1.2 Bruit des diodes	60
2. Bruit des quadripôles	61
2.1 Calcul des densités spectrales e_n et i_n d'un quadripôle	63
2.2 Calcul du coefficient de corrélation des densités spectrales e_n et i_n	65
2.3 Coefficient de corrélation et fonction d'intercorrélation	66
3. Bruit dans les composants discrets de l'électronique	68
3.1 Bruit dans les transistors <i>JFET</i>	68
3.2 Caractéristiques de bruit d'un transistor <i>JFET</i>	70
3.3 Bruit dans les transistors bipolaires	73
3.4 Caractéristiques de bruit de transistors bipolaires	77
3.5 Facteur de bruit et contour de bruit des transistors	81
4. Exercices	84

CHAPITRE IV – Bruit dans les amplificateurs

1. Caractéristiques de bruit des amplificateurs	97
1.1 Bande passante équivalente de bruit	97
1.2 Facteur de bruit d'un amplificateur	99
1.3 Bruit apporté par un amplificateur	100
1.4 Température équivalente de bruit d'un amplificateur	101
1.5 Relation entre le facteur de bruit et le rapport Signal/Bruit	101
1.6 Facteur de bruit d'une chaîne d'amplificateurs	103
1.7 Minimisation du facteur de bruit	105

1.8 Exemples de caractéristiques de bruit d'amplificateurs	107
1.9 Mesure du facteur de bruit d'un amplificateur radiofréquence	110
1.10 Application de la méthode du « Y-factor »	115
2. Bruit des amplificateurs opérationnels	117
2.1 Modélisation du bruit d'un AOP	117
2.2 Montages inverseur et non inverseur	121
2.3 Etude d'un filtre passe-bas	128
3. Exercices	138
Annexe IV.1	154

CHAPITRE V – Bruit en instrumentation

1. Etude du conditionnement d'une photodiode	155
1.1 Fonctionnement statique d'un convertisseur courant-tension	158
1.2 Gain en fréquence d'un montage transimpédance	158
1.3 Bruit d'un montage transimpédance	162
1.4 Réduction du bruit par filtrage	170
2. Bruit des convertisseurs analogique – numérique	173
2.1 Bruit de quantification	173
2.2 Rapport Signal/Bruit de quantification	175
2.3 Caractéristiques dynamiques des CAN	177
2.4 Bruit physique (<i>input-referred noise</i>) des CAN	181
2.5 Simulation numérique du bruit de quantification et du bruit physique	185
3. Bruit dans une chaîne de mesure	187
3.1 Mesures dynamiques	187
3.2 Réduction du bruit par moyennage	188
4. Exercices	192
Annexe V.1	199
Annexe V.2	202
Annexe V.3	203

CHAPITRE VI – Détection synchrone

1. Détecteur synchrone analogique	208
1.1 Références interne et externe	212
1.2 Limite d'un détecteur synchrone analogique : réserve dynamique	212
2. Détecteur synchrone numérique	215
3. Détecteur synchrone pédagogique	216
3.1 Caractéristique de la source de bruit	218
3.2 Détermination du gain G et de la phase φ d'un système linéaire	218
4. Exercices	222
Annexe VI.1	230

CHAPITRE VII – Bruit de phase des oscillateurs

1. Les oscillateurs en pratique	234
2. Caractérisation des fluctuations de fréquence des oscillateurs	236
3. Cas de la modulation de fréquence	238
3.1 Relation entre fréquence instantanée, phase instantanée et puissance d'un signal modulé en fréquence	238
3.2 Variance standard de l'écart de fréquence relatif d'un signal modulé en fréquence	245
4. Techniques de mesure des fluctuations de phase	247

07	5. Fluctuations de fréquence des oscillateurs et bruit	249
10	5.1 Le modèle de D. B. Leeson	249
15	5.2 Relations entre $S_{\Delta\theta}(f_m)$, $S_{\phi}(f_m)$, $S_y(f_m)$ et $L(f_m)$	253
17	5.3 Variance standard et variance d'Allan	257
17	6. Expériences : mesure du bruit de phase et de la variance	260
21	6.1 Mesure du bruit de phase avec un analyseur de spectre	261
28	6.2 Mesure de la variance avec un fréquencemètre	262
38	7. Exercices	264
54		
	CHAPITRE VIII – Bruit dans les télécommunications	284
	1. Démodulations analogiques	284
55	1.1 Démodulation d'amplitude	290
58	1.2 Démodulation de fréquence	296
58	2. Modulations et démodulations numériques	296
62	2.1 Modulation <i>BPSK</i>	298
170	2.2 Minimum de largeur de bande en <i>BPSK</i> et interférence entre bits	301
173	2.3 Probabilité d'erreur et bruit	314
173	3. Exercices	
175		
177		
181	CHAPITRE IX – Charge élémentaire e, constante de Boltzmann k_B et bruit	
185	1. Histoire du bruit de grenaille et du bruit thermique des résistances	326
187	1.1 Bruit de grenaille	326
187	1.2 Bruit thermique des résistances	328
188	2. Expériences	329
192	2.1 Mesure de la constante de Boltzmann k_B	329
199	2.2 Mesure de la charge élémentaire e	335
202	3. Densité spectrale de bruit d'une résistance	338
203	4. Densité spectrale du bruit de grenaille	340
	4.1 Expression temporelle des fluctuations	340
	4.2 Fonction d'autocorrélation des fluctuations	342
	4.3 Densité spectrale $i(f)$	343
208	5. Bruit en $1/f$	345
212	5.1 Loi de puissance	345
212	5.2 Distribution de constantes de temps	346
215	6. Modèle unifié du bruit de grenaille et du bruit thermique	347
216	7. Exercices	349
218	Annexe IX.1	358
218	Annexe IX.2	360
222		
230		
	CHAPITRE X – Compléments de mathématiques	364
234	1. Produit de convolution et transformée de Fourier	366
236	2. Fonctions de corrélation	366
238	2.1 Fonction d'autocorrélation	367
	2.2 Propriété de symétrie de la fonction de corrélation	367
	2.3 Fonctions d'intercorrélation	368
238	3. Densité spectrale : théorème de Wiener – Khintchine	368
	3.1 Densités spectrales d'interaction	368
245	3.2 Exemple de sources de bruit corrélées	369
247		

4. Variables aléatoires discrètes et continues	372
4.1 Une loi discrète : la loi de Poisson	372
4.2 Une loi continue : la loi normale ou gaussienne	373
4.3 Intervalle de confiance : « crest factor »	376

BIBLIOGRAPHIE	378
----------------------	-----

INDEX	379
--------------	-----