

TECHNOSUP

Les FILIÈRES TECHNOLOGIQUES des ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

TÉLÉCOMMUNICATIONS

Physique des communications

Signaux, fonctions et systèmes

Bruno FRACASSO

Alain PEDEN

ellipses

2-621-825-1



2-621-825-1

TECHNOSUP

Les FILIÈRES TECHNOLOGIQUES des ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

TÉLÉCOMMUNICATIONS

Physique des communications

Signaux, fonctions et systèmes

Bruno FRACASSO

Professeur – Télécom Bretagne

Alain PEDEN

Professeur – Télécom Bretagne



Table des matières

Avant-propos	3
Table des matières	7
1 Supports physiques de communication	11
1.1 Naissance des télécommunications	11
1.1.1 Introduction	11
1.1.2 Aux origines	12
1.1.3 Le télégraphe optique	13
1.1.4 Le télégraphe électrique	14
1.1.5 Le télégraphe parlant	15
1.1.6 Du transistor au circuit intégré	17
1.1.7 L'émergence des radiocommunications	18
1.1.8 Transmission des images	19
1.1.9 La transmission par fibre optique	20
1.2 Source d'information et support de transmission	22
1.2.1 Sources d'information	22
1.2.2 Supports de transmission	23
1.2.3 Des communications au traitement du signal	26
1.2.4 Du système au réseau	28
1.3 Conclusion	30
2 Modélisation des signaux physiques	33
2.1 Systèmes d'unités en physique	33
2.1.1 Introduction	33
2.1.2 Unités du système international et dérivées	34
2.1.3 Equation aux dimensions	36
2.1.4 Constantes physiques fondamentales	37
2.2 <u>Signal, bruit et information</u>	37
2.2.1 Signal physique	37
2.2.2 Une première approche du bruit	39
2.2.3 Information et entropie	40
2.3 Modélisation de la réalité physique : les distributions	42
2.4 Représentation et caractérisation des signaux déterministes	47
2.4.1 Aspect temporel : puissance et énergie d'un signal	47
2.4.2 Unités logarithmiques - décibels	49
2.4.3 Modélisation fréquentielle	51
2.4.4 L'« énigme » des fréquences négatives	54

2.4.5	Notion de fréquence spatiale	57
2.4.6	Onde progressive et amplitude complexe	59
2.5	Conclusion	62
3	Notions de bruit physique	69
3.1	Introduction	69
3.1.1	Types et sources de bruits	70
3.1.2	Une première approche	70
3.2	Modélisation du bruit en physique	71
3.2.1	Notion de fonction aléatoire	71
3.2.2	Stationnarité	73
3.2.3	Ergodicité	75
3.2.4	Puissance moyenne d'un signal aléatoire stationnaire	76
3.2.5	Bruit blanc gaussien	77
3.3	Exemples de bruits physiques	79
3.3.1	Bruit thermique électronique	79
3.3.2	Bruit de grenaille électronique	82
3.3.3	Bruit de photodétection	84
3.4	Conclusion	86
4	Filtrage linéaire des signaux physiques	93
4.1	Introduction	93
4.2	Contexte et définitions	94
4.3	Modélisation des filtres	95
4.3.1	Réponse impulsionnelle	95
4.3.2	Réponse indicielle	99
4.3.3	Réponse harmonique	100
4.4	Exemples de filtres physiques	101
4.4.1	Circuit électronique du premier ordre	101
4.4.2	Système mécanique masse-ressort	102
4.5	Filtres causaux	104
4.5.1	Définition	104
4.5.2	Permittivité des milieux diélectriques	105
4.6	Filtrage des signaux à bande étroite	108
4.6.1	Signaux à bande étroite - enveloppe complexe	108
4.6.2	Retard de phase et de groupe d'un filtre	110
4.6.3	Dispersion chromatique d'une fibre optique	112
4.7	Filtrage des signaux aléatoires	113
4.7.1	Cas général	113
4.7.2	Cas d'un bruit blanc	115
4.7.3	Bande équivalente de bruit	115
4.8	Conclusion	116
5	Quadripôles physiques linéaires	127
5.1	Contexte et définitions	127
5.2	Opérateurs linéaires : les quadripôles	128
5.2.1	Représentation matricielle des quadripôles	128

5.2.2	Quadripôles aux hautes fréquences	130
5.2.3	Association de quadripôles	138
5.2.4	Détermination des paramètres des matrices $Z, Y, ABCD, H, S$	139
5.2.5	Caractéristiques particulières des quadripôles passifs	141
5.3	Quadripôle connecté à son environnement extérieur	143
5.3.1	Immittance, transmittance	143
5.3.2	Détermination de la transmittance en tension dans le formalisme Z	144
5.3.3	Gain en puissance	144
5.4	Asservissement : réaction et contre-réaction	146
5.4.1	Introduction	146
5.4.2	Applications	148
5.5	Conclusion	151
6	Bruit dans les dispositifs	159
6.1	Facteur de bruit	159
6.2	Température équivalente de bruit	161
6.3	Facteur de bruit d'un quadripôle actif	161
6.3.1	Sources de bruit non corrélées du quadripôle actif	163
6.3.2	Sources de bruit partiellement corrélées du quadripôle actif	164
6.4	Facteur de bruit d'un quadripôle passif à pertes	166
6.5	Mise en cascade de quadripôles bruyants	167
6.6	Puissance de bruit captée par une antenne	169
6.7	Puissance de bruit dans un récepteur optique	171
6.8	Conclusion	173
7	Opérateurs paramétriques et opérateurs non-linéaires	181
7.1	Opérateur paramétrique	181
7.2	Opérateur de modulation	182
7.2.1	Généralités	182
7.2.2	Modulations d'amplitude	183
7.2.3	Modulations de fréquence	188
7.2.4	Modulation de phase et d'amplitude-phase	192
7.2.5	Démodulation d'amplitude	196
7.2.6	Démodulation de fréquence	198
7.2.7	Démodulation de phase	199
7.3	Echantillonnage	201
7.4	Opérateur non-linéaire	203
7.4.1	Définition et modèle mathématique	203
7.4.2	Distorsion dans le cas de l'amplificateur	204
7.4.3	Modèle polynomial à l'ordre 3	205
7.5	Conclusion	209
8	Bilan de liaison et rapport signal-à-bruit	219
8.1	Introduction	219
8.2	L'émetteur	220
8.3	Le récepteur	222
8.4	Le canal de transmission	224

8.4.1	Cas du <u>canal radio-électrique</u>	225
8.4.2	Calcul de la puissance reçue au récepteur dans les conditions d'espace libre	229
8.4.3	Modèle du canal guidé : la fibre optique	234
8.5	Calcul du rapport signal-à-bruit en entrée d'un <u>récepteur</u>	237
8.5.1	Généralités	237
8.5.2	Cas du récepteur radio	241
8.5.3	Cas du récepteur optique	242
8.6	Conclusion	244
Annexes		255
	Annexe 1. Excitation sinusoïdale et notation complexe	255
	Annexe 2. Transformée de Laplace	257
	Annexe 3. Calcul de la puissance fournie à une charge	261
	Annexe 4. Calcul de la matrice S d'une ligne de transmission	263
	Annexe 5. Rayonnement du corps noir - loi de Planck	265
	Annexe 6. Densité spectrale de puissance d'un signal aléatoire numérique	267
	Annexe 7. Introduction aux distributions	269
Index		281
Bibliographie		285

La collection TECHNOSUP dirigée par Claude Chêze est une sélection d'ouvrages dans toutes les disciplines, pour les filières technologiques des enseignements supérieurs.

Niveau A	Approche (éléments, résumés ou travaux dirigés)	IUT - BTS - 1 ^{er} cycle
Niveau B	Bases (cours avec exercices et problèmes résolus)	IUP - Licence
Niveau C	Compléments (approfondissement, spécialisation)	Écoles d'ingénieurs, Master

L'ouvrage : niveau C (Master – Écoles d'ingénieurs – Recherche)

Enseigné à Télécom Bretagne, ce cours récapitule les principales notions physiques liées aux signaux, fonctions et systèmes en télécommunications et notamment :

- Les bases de la modélisation élémentaire des signaux physiques, analogiques par nature, leur représentation et la caractérisation des signaux déterministes ;
- La modélisation du bruit et les principaux exemples de bruits physiques ;
- Le filtrage linéaire des signaux physiques et son influence sur le rapport signal-à-bruit ;
- Les modèles fonctionnels linéaires des opérateurs physiques comme les quadripôles et la modélisation du bruit ;
- L'intégration du bruit dans les récepteurs radiofréquences et optiques ;
- La description des principaux opérateurs paramétriques (modulation, échantillonnage) et les opérateurs non-linéaires sans mémoire ;
- Les modèles du canal de propagation guidé (optique) et non guidé (radio) et les architectures de transmission associées.

Toutes les notions développées sont illustrées par des exercices corrigés.

Les auteurs :

Bruno FRACASSO, Professeur à Télécom Bretagne, enseigne la photonique et les transmissions à fibre optique. Ses recherches portent sur la modélisation et la caractérisation des dispositifs pour le traitement et la transmission optique de l'information.

Alain PEDEN, Professeur à Télécom Bretagne, enseigne l'électronique analogique et les transmissions hautes-fréquences. Ses recherches portent sur la modélisation et la conception de dispositifs actifs et de systèmes radiofréquences.

