



Thierry Gervais

BTS – DUT – LICENCE
SCIENCES ET TECHNOLOGIES
POUR L'INGÉNIEUR

Électronique 1

Outils d'analyse des signaux
et fonctions électroniques de base

- Cours complet
- De nombreux QCM
- Plus de 100 exercices d'application corrigés

Vuibert



TABLE DES MATIÈRES

Chapitre 1

Lois des réseaux linéaires en régime continu	1
1. Grandeurs électriques	1
1.1 Courant électrique	1
1.2 Différence de potentiel (ou tension)	2
1.3 Puissance	2
2. Éléments des réseaux en continu	3
2.1 Résistance	3
2.1.1 Loi d'Ohm	3
2.1.2 Loi d'association en série des résistances	4
2.1.3 Loi d'association en parallèle des résistances	4
2.2 Sources d'énergie électrique	5
2.2.1 Sources de tension	5
2.2.2 Sources de courant	6
2.2.3 Équivalence source de tension / source de courant	7
2.3 Sources liées	8
3. Lois élémentaires des réseaux : lois de Kirchhoff.	9
3.1 Loi des nœuds	9
3.2 Loi des mailles	10
4. Théorèmes fondamentaux	11
4.1 Lois des diviseurs	11
4.1.1 Loi du diviseur de tension	11
4.1.2 Loi du diviseur de courant	11
4.2 Théorème de superposition	11
4.3 Théorèmes de Thévenin et de Norton	13
4.3.1 L'énoncé	13
4.3.2 Détermination des éléments du modèle de Thévenin	14
4.3.3 Détermination des éléments du modèle de Norton	14
4.3.4 Cas particulier des réseaux comportant des sources liées	15
4.4 Théorème de Millman	16
5. Méthode générale de résolution des réseaux	16
5.1 Définitions	17
5.1.1 Nœud indépendant	17
5.1.2 Maille indépendante	17
5.1.3 Courant de mailles	17

Méthode des nœuds	17
Méthode des mailles	18
Choix de la méthode	19
Exercices	20
Chapitre 2	
Les réseaux linéaires en régime sinusoïdal	27
Généralités	27
Régimes quasi-stationnaires	27
Régime permanent	27
Fonction périodique	28
Fonction sinusoïdale	29
Puissance électrique	31
Puissance en régime sinusoïdal	32
Méthodes de calcul complexe	33
Nombres complexes	33
Représentation complexe d'une fonction sinusoïdale	34
Intérêt de la représentation complexe	35
Puissance en notation complexe	36
Généralisation de la loi d'Ohm	36
La loi d'Ohm complexe	36
Les dipôles passifs élémentaires	37
3.2.1 La résistance	37
3.2.2 L'inductance	37
3.2.3 Le condensateur	38
3.2.4 Cas particulier de la mutuelle inductance	38
Lois d'association	38
3.3.1 En série	38
3.3.2 En parallèle	39
Application	39
Modèle équivalent d'un dipôle linéaire	39
Modèle d'un dipôle	39
4.1.1 Modèle série	39
4.1.2 Modèle parallèle	40
Facteur de qualité	40
Équivalence des modèles série / parallèle	42
Les circuits résonnants	44
4.4.1 Résonance série	44
4.4.2 Résonance parallèle	45
Modèle équivalent d'un quadripôle linéaire	46
Vu de l'entrée	46
Vu de la sortie	46
Exercices	48

Chapitre 3	
Les quadripôles linéaires en régime sinusoïdal	55
1. Introduction	55
1.1 Action d'un quadripôle	55
1.2 Limite de la représentation temporelle	56
1.3 Fonction de transfert	56
1.4 Le gain	58
2. Diagramme de Bode	62
2.1 Méthode générale de tracé des diagrammes de Bode	62
2.2 Les fonctions élémentaires	62
2.2.1 Fonction « constante »	62
2.2.2 Fonction « dérivateur »	63
2.2.3 Fonction « intégrateur »	64
2.2.4 Fonction « 1 + jx »	65
2.2.5 Fonction « passe-bas d'ordre 1 »	66
2.3 Circuits du premier ordre	67
2.4 Circuits du second ordre	69
2.5 Bande passante	73
3. Diagramme de Nyquist	75
3.1 Cas particulier des diagrammes circulaires	75
3.2 Méthode générale de tracé	78
ANNEXE 1 : Tracé des diagrammes de Bode à la calculatrice graphique	80
ANNEXE 2 : Tracé des diagrammes de Nyquist à la calculatrice graphique	82
Exercices	84
Chapitre 4	
Les circuits linéaires en régime transitoire	93
1. Introduction	93
2. Les dipôles élémentaires	94
2.1 Loi d'Ohm	94
2.2 Propriétés	94
2.3 Énergie emmagasinée	95
3. Les circuits du premier ordre	96
3.1 Charge d'un condensateur à courant constant	96
3.2 Charge d'un condensateur sous tension constante à travers une résistance	97
3.2.1 Équation différentielle	97
3.2.2 Résolution	97
3.3 Utilisation des circuits RC	101
4. Les circuits du deuxième ordre	102
4.1 Équation différentielle	102
4.2 Différents régimes libres	102

4.3 Réponse indicielle	109
----------------------------------	-----

Exercices	113
----------------------------	------------

Chapitre 5

La transformée de Laplace	121
--	------------

1. Introduction	121
----------------------------------	------------

2. Aspects mathématiques	122
---	------------

2.1 La transformée de Laplace	122
---	-----

2.2 Causalité des grandeurs électriques	122
---	-----

2.3 Exemples de calcul direct de transformées de Laplace	123
--	-----

2.4 Propriétés de la transformée de Laplace	124
---	-----

2.5 Quelques transformées de Laplace usuelles	125
---	-----

2.5.1 Fonctions sinusoïdales	125
--	-----

2.5.2 Impulsion rectangulaire	126
---	-----

2.5.3 Fonction rectangulaire périodique	128
---	-----

2.5.4 Sinusoïde amortie	129
-----------------------------------	-----

3. La transformée inverse	130
--	------------

3.1 Principe	130
------------------------	-----

3.2 Décomposition en éléments simples	131
---	-----

3.3 Cas du pôle double	132
----------------------------------	-----

3.4 Cas de deux pôles complexes conjugués	133
---	-----

3.5 Application : la résolution simplifiée des équations différentielles	134
--	-----

4. Utilisation de la transformée de Laplace	136
--	------------

4.1 Résolution des réseaux linéaires	136
--	-----

4.1.1 Impédance symbolique (ou isomorphe)	136
---	-----

4.1.2 Fonction de transfert symbolique	137
--	-----

4.2 Identification d'un circuit à partir de sa réponse à un signal « test »	138
---	-----

ANNEXE : Table des transformées de Laplace usuelles	140
---	-----

Exercices	141
----------------------------	------------

Chapitre 6

La série de Fourier	149
--------------------------------------	------------

1. Introduction	149
----------------------------------	------------

2. Théorème de Fourier	151
---	------------

2.1 La série de Fourier	151
-----------------------------------	-----

2.2 Spectre d'amplitude	152
-----------------------------------	-----

2.3 Calcul des coefficients	153
---------------------------------------	-----

2.4 Propriétés des symétries	153
--	-----

2.4.1 Symétrie par rapport à l'axe des ordonnées	153
--	-----

2.4.2 Symétrie par rapport à l'origine	154
--	-----

2.4.3 Symétrie de « glissement »	155
--	-----

2.4.4 Symétrie de la composante alternative	156
---	-----

2.5 Exemple de calcul	156
---------------------------------	-----

3.	Utilisation de la série de Fourier	160
3.1	Réponse d'un circuit en régime périodique	160
3.1.1	Théorème de superposition	161
3.1.2	À partir du diagramme de Bode	164
3.1.3	À partir de la fonction de transfert complexe	165
3.2	Caractéristiques d'un signal	165
3.2.1	Valeur efficace	167
3.2.2	Taux de distorsion harmonique total	169
4.	Notions sur la FFT	169
4.1	Principe	171
4.2	Influence de la fenêtre d'analyse	173
4.3	Influence de la fréquence d'échantillonnage	174
	Exercices	174

Chapitre 7

Le transistor bipolaire **187**

1.	Principe de fonctionnement	187
1.1	L'effet transistor	188
1.2	Équations et caractéristiques	189
1.2.1	Caractéristique d'entrée	189
1.2.2	Caractéristique de transfert en courant	189
1.2.3	Caractéristiques de sortie	190
2.	Fonctionnement en amplificateur	190
2.1	Polarisation et fonctionnement linéaire	192
2.2	Les différentes classes de fonctionnement	192
2.2.1	La classe A	193
2.2.2	La classe B	195
2.2.3	La classe AB	196
2.2.4	La classe C	198
2.3	Les montages de base en classe A	198
2.3.1	Le montage « émetteur commun » à liaison capacitive	204
2.3.2	Le montage « collecteur commun »	204
3.	Fonctionnement en commutation	204
3.1	Condition de saturation	205
3.2	Caractéristiques dynamiques	206
3.3	Pertes par commutation	208
	Exercices	208

Chapitre 8

L'amplificateur opérationnel **219**

1.	Principe de fonctionnement	219
1.1	Structure différentielle d'entrée	219

1.2	Structure complète	221
1.3	Modèles de l'AOp	224
1.4	Régimes de fonctionnement	226
2.	L'AOp réel	230
2.1	Les défauts statiques	230
2.1.1	Les tensions de déchet	230
2.1.2	La tension d'offset	230
2.1.3	Les courants de bias	231
2.2	Les défauts dynamiques	232
2.2.1	La bande passante	232
2.2.2	Le « slew rate »	233
3.	Les montages linéaires	234
3.1	Les montages « amplificateurs »	234
3.2	Les fonctions mathématiques	235
3.3	Autres montages	235
4.	Les montages non linéaires	236
4.1	Les montages « comparateurs »	236
4.2	Le multivibrateur astable	237
4.3	Les montages redresseurs sans seuil	237
	Exercices	238

Chapitre 9

	Les amplificateurs	251
1.	Généralités	251
1.1	La fonction « Amplification »	251
1.2	Modèle d'un amplificateur	252
1.3	Gain d'un amplificateur	253
2.	Caractéristiques des amplificateurs	253
2.1	La linéarité	253
2.1.1	La distorsion harmonique	253
2.1.2	La distorsion d'intermodulation	255
2.2	La bande passante	256
2.3	La puissance de sortie	258
3.	La rétroaction dans les amplificateurs	261
3.1	Principe	261
3.2	Exemple de montage avec contre réaction tension>tension	263
3.3	Les avantages de la rétroaction	264
3.3.1	Stabilisation du gain	264
3.3.2	Amélioration de la linéarité	264
3.3.3	Effet sur le bruit	265
3.3.4	Élargissement de la bande passante	266
3.3.5	Effet sur les impédances d'entrée et de sortie	266
4.	Les différents types d'amplificateurs	267
4.1	Les amplificateurs d'instrumentation	267

..... 221
 224
 226
 **230**
 230
 230
 230
 231
 232
 232
 233
 **234**
 234
 235
 235
 **236**
 236
 237
 237
 **238**

 **251**
 251
 251
 252
 253
 **253**
 253
 253
 255
 256
 258
 **261**
 261
 263
 264
 264
 264
 265
 266
 266
 **267**
 267

4.2 Les amplificateurs audio fréquence (AF) 269
 4.3 Les amplificateurs en haute fréquence (HF) 273
5. Le bruit dans les amplificateurs 275
 5.1 Le bruit dans les composants électroniques 275
 5.1.1 Le bruit thermique 275
 5.1.2 Le bruit de grenaille 276
 5.1.3 Modélisation d'un composant « bruyant » 278
 5.2 Rapport signal sur bruit 279
 5.3 Facteur de bruit 279
Exercices 282

Chapitre 10
Les filtres analogiques 297

1. Caractéristiques générales des filtres 298
 1.1 Fonction de transfert 298
 1.2 Réponse en gain 299
 1.3 Filtre idéal 300
 1.4 Filtre réel - Gabarit 301
 1.5 Sélectivité et bande relative 302
 1.6 Retard de phase et retard de groupe 303
2. Classification des filtres suivant leur réponse 304
 2.1 Filtre de Butterworth 304
 2.2 Filtre de Chebyshev 306
 2.3 Filtre de Bessel 308
3. Quelques structures standards de filtre 309
 3.1 Filtres passifs 309
 3.1.1 Filtres du premier ordre 309
 3.1.2 Filtres du second ordre 310
 3.2 Filtres actifs 311
 3.2.1 Filtres à contre réaction multiple (MFP) : structure de RAUCH 311
 3.2.2 Filtres à sources contrôlées (VCVS) : structure de SALLEN & KEY 313
 3.2.3 Filtres à variable d'état : structure universelle 315
4. Notion de synthèse de filtre 317
 4.1 Principe 317
 4.2 Exemple 318

ANNEXE : Tables de fonctions de transmission 321
Exercices 322

Solutions des exercices 331

Index 341

Thierry Gervais

Électronique 1

Rédigé à l'attention des étudiants du premier cycle de l'enseignement supérieur, l'ouvrage présente, en deux volumes indépendants, l'ensemble du programme d'électronique avec un **cours complet**, des **QCM** et **plus de 100 exercices de difficulté progressive (3 niveaux)**.

D'une lecture aisée, ce premier manuel aborde autant les savoirs fondamentaux en électronique que les outils nécessaires à l'analyse des signaux ou à l'électronique analogique afin d'apporter aux étudiants les **connaissances théoriques** et **pratiques** indispensables à la matière.

Sommaire

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. Lois des réseaux linéaires en régime continu | 6. La série de Fourier |
| 2. Lois des réseaux linéaires en régime sinusoïdal | 7. Le transistor bipolaire |
| 3. Les quadripôles linéaires en régime sinusoïdal | 8. L'amplificateur opérationnel |
| 4. Les circuits linéaires en régime transitoire | 9. Les amplificateurs |
| 5. La transformée de Laplace | 10. Les filtres analogiques |

Professeur de physique appliquée, actuellement en poste au lycée Lesage de Vannes, **Thierry Gervais** a d'abord enseigné en classe de terminale STI et fut formateur BTS en formation continue dans le réseau GRETA. Il exerce depuis 1996 en formation initiale dans des sections de BTS Électronique.

ISBN 978-2-311-00501-1



9 782311 005011

WWW.VUIBERT.FR

