

# MODÉLISATION DES SIGNAUX ET DES CIRCUITS POUR L'ÉLECTRONIQUE

Cours et exercices  
corrigés

Licence  
1 & 2

Olivier Vanbésien



# Table des matières

<b>Chapitre 1 : Analyse des circuits en régime continu</b>	
<b><i>Première partie : Les lois de base en régime continu</i></b>	<b>15</b>
I. Représentation d'un circuit	15
II. Les éléments du circuit (cas idéal)	16
1. Les générateurs	16
2. La charge	17
III. Les trois lois fondamentales	18
1. Convention de signes	18
2. Loi d'Ohm	19
3. Loi des nœuds	19
4. Loi des mailles	20
5. Introduction au principe de dualité	20
<b><i>Deuxième partie : Méthodologie d'analyse des circuits</i></b>	<b>21</b>
I. Association de dipôles	21
1. Association « série »	21
2. Association « parallèle »	22
3. Association mixte	23
II. Dipôles actifs : générateurs réels	24
1. Caractéristique de sortie d'un générateur réel	24
2. Générateur de tension réel	24
3. Générateur de courant réel	25
III. Mesures des courants et des tensions	25
IV. Méthodologie d'analyse des circuits	26
1. Les différentes étapes	27
2. Exemple	28
V. Les circuits fondamentaux	30
1. Le diviseur de tension	30
2. Le diviseur de courant	31
3. Compléments	31
a. Autres expressions pour les diviseurs de tension et de courant	31
b. Le diviseur de tension chargé	32
<b><i>Troisième partie : Théorèmes de simplification des circuits</i></b>	<b>33</b>
I. Théorème de superposition	33
1. Principe – Méthodologie	33
2. Exemple	33
II. Le théorème de Thévenin	34
1. Principe – Méthodologie	34
2. Exemple	35
III. Le théorème de Norton	36

1.	Principe – Méthodologie	36
2.	Exemple	36
IV.	Equivalence (dualité) Thévenin-Norton	37
1.	Loi de transformation	37
2.	Exemple	38
V.	Autres théorèmes	38
1.	Théorème de Millman	38
2.	Théorème de réciprocity	39
3.	Transformation triangle-étoile	40
	<b><i>Quatrième partie : Puissance et Adaptation</i></b>	<b>40</b>
I.	Puissance et Energie	41
1.	Puissance	41
2.	Energie électrique	41
II.	Adaptation (initiation)	42
	<b><i>Cinquième partie : Exercices corrigés</i></b>	<b>43</b>
I.	Enoncés	43
II.	Corrections	51
	<b>Chapitre 2 : Signaux électriques en régime dépendant du temps</b>	<b>69</b>
	<b><i>Première partie : Représentation temporelle des signaux électriques</i></b>	<b>69</b>
I.	Classification des signaux	69
II.	Outils d'évaluation des signaux périodiques	70
1.	Estimation des grandeurs électriques périodiques	70
2.	Signaux usuels	71
a.	Signal carré	71
b.	Signal triangulaire	72
c.	Signal sinusoïdal	72
3.	Cas des signaux sinusoïdaux	73
a.	Représentation vectorielle (plan de Fresnel)	73
b.	Représentation complexe	75
	<b><i>Deuxième partie : Représentation fréquentielle de signaux électriques</i></b>	<b>77</b>
I.	Contextualisation	77
II.	Signaux périodiques : la série de Fourier	78
1.	Notation réelle	78
2.	Notation complexe	79
3.	Exemple : le signal carré	80
III.	Signaux non périodiques : la transformée de Fourier	82
1.	Définition	82
2.	Quelques exemples	83
a.	Le signal « porte »	83
b.	Le signal « impulsion »	84
c.	Une approche graphique du calcul de la transformée de Fourier	85
3.	Propriétés spectrales : lien série et transformée de Fourier	86
IV.	Généralisation : la transformée de Laplace	87

1.	Définition	87
2.	Application à la résolution d'équations différentielles	87
a.	Méthodologie	87
b.	Exemples	88
	<b><i>Troisième partie : Exercices corrigés</i></b>	<b>89</b>
I.	Enoncés	89
II.	Corrections	93
	<b>Chapitre 3 : Analyse des circuits en régime permanent sinusoïdal</b>	<b>105</b>
	<b><i>Première partie : Le régime permanent sinusoïdal en représentation complexe</i></b>	<b>105</b>
I.	Circuits en régime permanent sinusoïdal	105
1.	Représentation des circuits électriques : inductances et capacités	105
2.	Passage en représentation complexe	107
II.	Loi d'Ohm en régime permanent sinusoïdal	108
1.	Loi d'Ohm généralisée	108
2.	Généralisation impédance/admittance	110
III.	Composants réactifs non idéaux	110
1.	Modélisation d'un condensateur (capacité non idéale)	111
2.	Modélisation d'une bobine (inductance non idéale)	112
	<b><i>Deuxième partie : Puissance et adaptation en régime permanent sinusoïdal</i></b>	<b>113</b>
I.	Puissances en régime permanent sinusoïdal	113
1.	Puissance instantanée	113
2.	Puissances active et réactive	114
3.	Puissance apparente	114
4.	Puissance complexe	114
5.	Puissance aux bornes d'une impédance	115
II.	Adaptation	116
	<b><i>Troisième partie : Les circuits résonnants</i></b>	<b>117</b>
I.	Le circuit résonnant série	117
1.	Résonance de courant	117
2.	Notion de surtension	118
3.	Bande passante	119
II.	Le circuit résonnant parallèle	120
	<b><i>Quatrième partie ; Exercices corrigés</i></b>	<b>121</b>
I.	Enoncés	121
II.	Corrections	134
	<b>Chapitre 4 : Représentation matricielle des circuits</b>	<b>151</b>
	<b><i>Première partie : Quadripôles</i></b>	<b>151</b>
I.	Définition – Convention	151
II.	Représentation des quadripôles	152
1.	Matrice Z (impédance)	152
2.	Matrice Y (admittance)	152

3.	Matrice H (hybride)	153
4.	Matrice Ch (chaîne) ou ABCD	153
III.	Détermination des paramètres des matrices	154
1.	Principe	154
2.	Exemples	155
IV.	Correspondance entre grandeurs	158
1.	Formules de passage	158
2.	Exemples	159
<b><i>Deuxième partie : Exploitation des matrices</i></b>		<b>161</b>
I.	Quadripôles passifs – Règles de simplification	161
1.	Réciprocité	161
a.	Matrice hybride	161
b.	Matrice impédance (Z)	162
c.	Matrice Admittance (Y)	162
d.	Matrice Chaîne (Ch)	162
e.	Synthèse	163
2.	Symétrie	163
a.	Principe	163
b.	Exemples	164
II.	Association de quadripôles	165
1.	Association parallèle	165
2.	Association cascade	166
3.	Association série	167
III.	Quadripôles chargés	168
1.	Grandeurs mesurables	169
2.	Exemple : Cas de la matrice hybride	169
a.	Gain en tension	170
b.	Gain en courant	170
c.	Impédance d'entrée	170
d.	Impédance de sortie	170
e.	Gain composite en tension	171
<b><i>Troisième partie : Exercices corrigés</i></b>		<b>171</b>
I.	Enoncés	171
II.	Corrections	176
<b>Chapitre 5 : Le filtrage</b>		<b>185</b>
<b><i>Première partie : Outils d'étude</i></b>		<b>185</b>
I.	Fonction de transfert	185
II.	Diagramme de Bode	186
1.	Définition	186
2.	Le diagramme asymptotique de Bode	187
3.	Exemple « académique »	189
4.	Propriétés	190
III.	Gabarits de filtrage	191
1.	Les grandeurs caractéristiques d'un filtre	191

2. Les gabarits usuels	192
<b><i>Deuxième partie : Les filtres R-C et R-L</i></b>	<b>193</b>
I. Etude préliminaire	193
II. Représentations canoniques – Diagramme de Bode (I)	194
1. Etude du filtre « passe-bas » d'ordre 1	195
2. Etude du filtre « passe-haut » d'ordre 1	196
<b><i>Troisième partie : Les filtres R-L-C</i></b>	<b>198</b>
I. Mise en équation – Circuit RLC série	198
II. Représentations canoniques – Diagramme de Bode (II)	200
1. Filtre passe-bande d'ordre 1 : Etude de $\underline{H}_R$	200
2. Filtre passe-bas d'ordre 2 : Etude de $\underline{H}_C$	201
3. Filtre passe-haut d'ordre 2 : Etude de $\underline{H}_L$	203
4. Filtre coupe-bande : Etude de $\underline{H}_{LC}$	205
<b><i>Quatrième partie : Le filtrage d'ordre n</i></b>	<b>206</b>
I. Ingénierie de la fonction de transfert	206
1. Cas général	206
2. Fonctions de transfert et familles de polynômes	208
a. Filtres de Butterworth	208
b. Filtres de Chebyshev	209
c. Autres filtres	211
II. Synthèse de filtres passifs à dipôles LC	211
1. Synthèse d'un filtre passe-bas	211
2. Les autres fonctions de filtrage	213
<b><i>Cinquième partie : Exercices corrigés</i></b>	<b>216</b>
I. Enoncés	216
II. Corrections	219
<b>Chapitre 6 : Les régimes transitoires</b>	<b>231</b>
<b><i>Première partie : Méthodologie d'analyse des circuits en régime transitoire</i></b>	<b>231</b>
I. L'échelle des temps	232
II. Méthodologie	233
<b><i>Deuxième partie : Régimes transitoires du premier ordre</i></b>	<b>235</b>
I. Mise en équation de la réponse à l'échelon	235
1. Circuit RC : étude de la tension aux bornes de la capacité	235
2. Circuit RC : étude du courant	237
3. Circuit RL : étude du courant	238
4. Circuit RL : étude de la tension aux bornes de l'inductance	239
II. Résolution générale : réponse à l'échelon	239
1. Résolution du problème canonique – Tracé du résultat	239
2. Réponses à l'échelon des circuits RC et RL	240
3. Autres régimes transitoires des circuits du 1 <sup>er</sup> ordre	242
III. Exploitation des régimes transitoires du 1 <sup>er</sup> ordre	242
1. Montage « intégrateur »	242
2. Montage « dérivateur »	243

<b><i>Troisième partie : Régimes transitoires du second ordre</i></b>	<b>244</b>
I. Mise en équation sous forme canonique	244
1. Etude du circuit RLC série	244
a. Etude de $v_c(t)$	245
b. Etude de $i(t)$	245
c. Etude de $v_L(t)$	246
2. Etude du circuit RLC parallèle	247
a. Etude de $v(t)$	248
b. Etudes de $i_c(t)$ et $i_L(t)$	248
II. Résolution générale	249
1. Dynamique du circuit : équation différentielle sans second membre	249
2. Expressions et tracés des solutions	251
a. Réponse à l'échelon pour le courant dans un circuit RLC série	251
b. Réponse à l'échelon pour $v_c(t)$ dans un circuit RLC série	254
<b><i>Quatrième partie : Régimes transitoires et transformées de Laplace</i></b>	<b>256</b>
I. Régime transitoire et transformée de Laplace	256
1. Les outils	256
2. Exemple 1 : Réponse à l'échelon d'un circuit du 1 <sup>er</sup> ordre	257
3. Exemple 2 : Réponse à l'échelon d'un circuit du 2 <sup>ème</sup> ordre	257
4. Régime transitoire versus régime permanent sinusoïdal	259
II. Au-delà de la réponse à l'échelon	259
1. Réponse impulsionnelle	259
2. Réponse à une rampe	261
<b><i>Cinquième partie : Exercices corrigés</i></b>	<b>262</b>
I. Enoncés	262
II. Corrections	267
<b>Chapitre 7 : Introduction aux éléments non-linéaires et dispositifs actifs</b>	<b>287</b>
<b><i>Première partie : Les sources liées</i></b>	<b>287</b>
I. Définition	287
1. Principe	287
2. Les différents types de sources liées	287
II. Manipulations des sources liées	289
1. Précaution	289
2. Exemples	289
a. Calcul de résistance équivalente	289
b. Application au théorème de Thévenin	290
<b><i>Deuxième partie : Les diodes</i></b>	<b>292</b>
I. Introduction	292
II. Les diodes : principes et modélisations	293
1. Caractéristiques courant-tension	293
2. Modélisation des diodes	294
a. Diode idéale	294

b.	Diode avec seuil	295
c.	Diode avec seuil et résistance	295
d.	Notions de schémas équivalents petit et grand signal	296
III.	Application : le redressement	297
	<b><i>Troisième partie : Les amplificateurs linéaires intégrés</i></b>	<b>298</b>
I.	Introduction	298
1.	Caractéristiques générales	299
2.	L'amplificateur opérationnel idéal (ou parfait)	301
3.	L'amplificateur opérationnel réel	301
II.	Stabilité et réaction	303
1.	Réaction négative	303
2.	Réaction positive	304
III.	Circuits à bas d'amplificateurs opérationnels	305
1.	Amplificateur inverseur	305
2.	Amplificateur non-inverseur	306
3.	Amplificateur de différence	306
4.	Sommeur	307
5.	Autres fonctions	308
	<b><i>Quatrième partie : Exercices corrigés</i></b>	<b>309</b>
I.	Enoncés	309
II.	Corrections	319
	<b>Conclusion</b>	<b>331</b>
	<b>Annexe – Compléments mathématiques</b>	<b>333</b>
A.	Trigonométrie	333
B.	Nombres complexes	335
C.	Dérivation	336
D.	Intégration	338
E.	Equations différentielles à coefficients constants	340
F.	Systèmes d'équations et calcul matriciel	345
G.	Transformée de Fourier (propriétés usuelles)	349
H.	Transformée de Laplace (propriétés usuelles)	351
I.	Décomposition en éléments simples	353
	<b>Index</b>	<b>357</b>