

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	1
<b>Chapitre 1. Les dipôles non linéaires</b> . . . . .	3
1.1. Introduction . . . . .	3
1.2. Exemple de dipôle non linéaire : la diode . . . . .	4
1.3. Caractéristique d'une diode . . . . .	5
1.3.1. La diode réelle . . . . .	5
1.3.2. La diode en première approximation . . . . .	6
1.3.3. La diode idéale en deuxième approximation . . . . .	7
1.4. Conception d'une diode sans seuil . . . . .	8
1.4.1. Cas où la tension d'entrée est positive . . . . .	9
1.4.2. Cas où la tension d'entrée est négative . . . . .	9
1.5. Droite de charge et point de fonctionnement . . . . .	11
1.6. Autres composants non linéaires . . . . .	12
1.6.1. Les thermistances ou CTN (coefficient de température négatif) . . . . .	12
1.6.2. Les photorésistances . . . . .	13
1.6.3. Diode varicap ou diode à capacité variable . . . . .	14
1.7. Applications non linéaires de la diode . . . . .	16
1.7.1. Redressement simple alternance . . . . .	16
1.7.1.1. La diode est polarisée dans le sens direct . . . . .	16
1.7.1.2. La diode est polarisée dans le sens inverse . . . . .	17
1.7.2. Redressement double alternance à pont de diodes . . . . .	18
1.7.2.1. Principe . . . . .	18
1.7.2.2. Fonctionnement . . . . .	19
1.7.2.3. Redressement double alternance à diodes sans seuil . . . . .	20
1.7.3. Écrêtage . . . . .	25
1.7.4. Détecteur de crête . . . . .	26

1.7.5. Circuits de restauration. . . . .	27
1.7.5.1. Principe . . . . .	27
1.7.5.2. Fonctionnement. . . . .	28
1.7.6. Influence des résistances dynamique et inverse dans la restauration de la composante continue d'un signal. . . . .	29
1.7.6.1. Cadre général . . . . .	29
1.7.6.2. Cas particuliers . . . . .	34
1.7.6.3. Conditions nécessaires pour une restauration parfaite . . . . .	35
1.7.7. Amplificateur logarithmique . . . . .	38
1.7.8. Amplificateur anti-logarithmique . . . . .	39
1.7.9. Fonctions logiques à diodes. . . . .	40
1.7.9.1. Principe d'une fonction logique « OU » (OR). . . . .	41
1.7.9.2. Fonction logique « OU » à base de diodes . . . . .	42
1.7.9.3. Principe d'une fonction logique « ET » (AND). . . . .	42
1.7.9.4. Porte « ET » à base de diodes . . . . .	43
1.8. Exercices : les dipôles non linéaires . . . . .	45
1.9. Solution des exercices : les dipôles non linéaires. . . . .	57

## **Chapitre 2. Les oscillateurs basse fréquence . . . . . 85**

2.1. Étude de la réaction . . . . .	85
2.1.1. La réaction négative . . . . .	86
2.1.2. La réaction positive. . . . .	87
2.1.3. Oscillateur et réaction positive . . . . .	87
2.2. Principe d'un oscillateur sinusoïdal à réaction . . . . .	89
2.3. Paramètres de définition d'un oscillateur . . . . .	89
2.4. Fonctionnement d'un oscillateur en régime linéaire . . . . .	90
2.4.1. Introduction . . . . .	90
2.4.2. Oscillateur à réaction . . . . .	90
2.5. Oscillateurs à réseaux déphaseurs. . . . .	93
2.5.1. Schéma de principe et mise en équation. . . . .	93
2.5.2. Cas des cellules passe bas . . . . .	96
2.5.2.1. Fréquence d'oscillation . . . . .	96
2.5.2.2. Condition d'entretien . . . . .	97
2.5.3. Cas des cellules passe haut . . . . .	98
2.5.3.1. Fréquence d'oscillation . . . . .	98
2.5.3.2. Condition d'entretien . . . . .	98
2.5.4. Oscillateur à réseau déphaseur à amplificateur opérationnel. . . . .	99
2.5.4.1. Fréquence d'oscillation . . . . .	99
2.5.4.2. Condition d'entretien . . . . .	99

2.5.5. Oscillateurs RC à transistors . . . . .	100
2.5.5.1. Généralités. . . . .	100
2.5.5.2. Calcul de l'oscillateur . . . . .	101
2.6. Oscillateur à pont . . . . .	107
2.6.1. Principe . . . . .	107
2.6.2. Principe de l'oscillateur à pont à amplificateur opérationnel . . . . .	108
2.6.3. Étude de l'oscillateur à pont dans le cas général. . . . .	109
2.6.4. Étude de l'oscillateur à pont de Wien . . . . .	110
2.6.4.1. Fréquence d'oscillation . . . . .	111
2.6.4.2. Condition d'entretien . . . . .	112
2.6.5. Étude de l'oscillateur à pont de Wien en oscillateur à une seule branche de réaction. . . . .	113
2.6.5.1. Fréquence d'oscillation . . . . .	114
2.6.5.2. Condition d'entretien . . . . .	114
2.7. Oscillateur à filtre passe bande . . . . .	115
2.7.1. Circuit de réaction . . . . .	115
2.7.2. Circuit oscillateur . . . . .	116
2.7.3. Fréquence d'oscillation . . . . .	117
2.7.4. Condition d'entretien. . . . .	118
2.8. Générateur d'ondes sinusoïdales à conformateur. . . . .	118
2.8.1. Principe . . . . .	118
2.8.2. Génération de l'onde triangulaire . . . . .	119
2.8.2.1. Définition . . . . .	119
2.8.2.2. Fonctionnement. . . . .	119
2.8.3. Circuit conformateur . . . . .	121
2.8.4. Fonctionnement du conformateur . . . . .	122
2.8.5. Fréquence du signal de sortie . . . . .	123

## **Chapitre 3. Les oscillateurs haute fréquence . . . . . 127**

3.1. Oscillateur haute fréquence élémentaire . . . . .	127
3.1.1. Mise en équation . . . . .	127
3.1.1.1. Premier cas . . . . .	128
3.1.1.2. Deuxième cas . . . . .	130
3.1.1.3. Troisième cas . . . . .	130
3.1.2. Étude de l'évolution de la tension de sortie-régime sinusoïdal . . . . .	131
3.1.2.1. Cas de la présence d'une résistance R. . . . .	132
3.1.2.2. Cas de la présence d'une résistance R négative . . . . .	132
3.1.2.3. Cas où la résistance R est nulle . . . . .	133
3.2. Les oscillateurs haute fréquence à composants discrets. . . . .	135

3.2.1. Introduction . . . . .	135
3.2.2. Schéma équivalent du transistor bipolaire . . . . .	135
3.3. Étude des oscillateurs à transistors bipolaires . . . . .	136
3.3.1. Équation de fonctionnement . . . . .	136
3.3.2. Exemple de quadripôle linéaire passif . . . . .	140
3.4. Exemple d'étude d'oscillateur : l'oscillateur Colpitts . . . . .	141
3.4.1. Présentation . . . . .	141
3.4.2. Équation de fonctionnement de l'oscillateur Colpitts . . . . .	142
3.4.3. Paramètres du quadripôle de réaction . . . . .	145
3.4.4. Fréquence d'oscillation et condition d'entretien . . . . .	146
3.4.4.1. Fréquence d'oscillation . . . . .	146
3.4.4.2. Condition d'entretien . . . . .	147
3.5. Oscillateur Hartley . . . . .	148
3.5.1. Schéma de principe . . . . .	148
3.5.2. Paramètres du circuit de réaction . . . . .	148
3.5.3. Équation de fonctionnement . . . . .	149
3.5.4. Fréquence d'oscillation . . . . .	150
3.5.5. Condition d'entretien . . . . .	150
3.6. Oscillateur Clapp . . . . .	151
3.6.1. Schéma de principe . . . . .	151
3.6.2. Équation de fonctionnement . . . . .	152
3.6.3. Paramètres caractéristiques de l'oscillateur . . . . .	153
3.6.3.1. Fréquence d'oscillation . . . . .	153
3.6.3.2. Condition d'entretien . . . . .	154
3.7. Oscillateur à quartz . . . . .	154
3.7.1. Stabilité en fréquence d'un oscillateur . . . . .	155
3.7.2. Fonctionnement du quartz . . . . .	157
3.7.2.1. L'effet piézo-électrique . . . . .	157
3.7.2.2. Schéma équivalent d'un quartz . . . . .	158
3.7.3. Impédance équivalente du quartz . . . . .	158
3.7.4. Comportement fréquentiel d'un quartz . . . . .	161
3.7.5. Exemple d'oscillateur à quartz . . . . .	164
3.7.5.1. Expressions des paramètres admittances du circuit de réaction . . . . .	164
3.7.5.2. Équation de fonctionnement et paramètres de l'oscillateur à quartz . . . . .	166
<b>Chapitre 4. L'oscillateur, dispositif non linéaire . . . . .</b>	<b>171</b>
4.1. Introduction . . . . .	171
4.2. Stabilité d'un oscillateur . . . . .	174

---

4.2.1. Stabilité statique. . . . .	174
4.2.2. Stabilité dynamique. . . . .	175
4.3. Les phénomènes non linéaires dans les oscillateurs . . . . .	176
4.4. Stabilisation de l'amplitude de la tension de sortie. . . . .	182
4.5. Amplitude du signal de sortie : méthode du premier harmonique . . . . .	184
4.5.1. Principe de la méthode du premier harmonique . . . . .	184
4.5.2. Étude de la stabilisation de l'amplitude . . . . .	185
4.6. Exercices sur les oscillateurs. . . . .	188
4.7. Solution des exercices sur les oscillateurs . . . . .	204
<b>Chapitre 5. Les circuits en commutation. . . . .</b>	<b>237</b>
5.1. Éléments de base. . . . .	237
5.2. Comportement d'un condensateur dans un circuit . . . . .	238
5.3. Les circuits RC en commutation . . . . .	241
5.3.1. Cas d'une cellule passe bas : circuit intégrateur . . . . .	241
5.3.1.1. Cas où la constante de temps est très faible par rapport à la période . . . . .	244
5.3.1.2. Cas où la constante de temps est très élevée par rapport à la période. . . . .	246
5.3.2. Cas d'une cellule passe haut : circuit différenciateur . . . . .	248
5.3.2.1. Cas où la constante de temps est très faible . . . . .	249
5.3.2.2. Cas où la constante de temps est très élevée . . . . .	250
5.4. Le transistor bipolaire en commutation . . . . .	254
5.4.1. Caractéristiques d'un transistor bipolaire . . . . .	254
5.4.2. Fonctionnement en commutation. . . . .	255
5.4.3. Fonctions logiques à base du transistor en commutation . . . . .	257
5.4.3.1. Porte inverseuse . . . . .	257
5.4.3.2. Porte NON ET ou NAND. . . . .	257
<b>Chapitre 6. Les multivibrateurs astables . . . . .</b>	<b>259</b>
6.1. Introduction. . . . .	259
6.2. Multivibrateur astable à transistors . . . . .	259
6.2.1. Introduction . . . . .	259
6.2.2. Principe. . . . .	260
6.2.3. Condition de fonctionnement . . . . .	261
6.2.4. Fonctionnement . . . . .	262
6.2.5. Période du signal de sortie. . . . .	265
6.2.5.1. Calcul de la durée de l'état haut . . . . .	265
6.2.5.2. Calcul de la durée de l'état bas . . . . .	266

6.3. Astable à amplificateur opérationnel . . . . .	266
6.3.1. Principe de fonctionnement . . . . .	267
6.3.1.1. Première étape . . . . .	267
6.3.1.2. Deuxième étape. . . . .	268
6.3.2. Période du signal de sortie. . . . .	269
6.4. Astable à fréquence commandée par tension . . . . .	270
6.4.1. Principe et fonctionnement . . . . .	270
6.4.2. Période du signal de sortie. . . . .	272
6.4.2.1. Durée de l'état haut . . . . .	273
6.4.2.2. Durée de l'état bas . . . . .	273
6.4.2.3. Période du signal de sortie . . . . .	274
6.5. Astable à base d'un <i>timer</i> (le circuit intégré 555) . . . . .	275
6.5.1. Présentation du <i>timer</i> 555 . . . . .	275
6.5.2. Principe de fonctionnement de l'astable à base du 555 . . . . .	276
6.5.3. Période du signal de sortie. . . . .	279
6.5.3.1. Durée de l'état haut . . . . .	279
6.5.3.2. Durée de l'état bas . . . . .	280
6.5.4. Autre possibilité de mise en œuvre. . . . .	281
6.6. Multivibrateurs astables à portes logiques. . . . .	282
6.6.1. Principe et fonctionnement . . . . .	282
6.6.2. Période du signal de sortie. . . . .	285
6.6.2.1. Durée de l'état haut . . . . .	285
6.6.2.2. Durée de l'état bas . . . . .	286
6.7. Multivibrateurs astables à circuits intégrés spécialisés . . . . .	287
6.7.1. Introduction . . . . .	287
6.7.2. Spécification du circuit intégré 74123 . . . . .	287
6.7.3. Astable réalisé autour du circuit intégré 74123 . . . . .	289
6.7.4. Autres circuits spécialisés . . . . .	290
6.7.4.1. Le circuit intégré 4047. . . . .	290
6.7.4.2. Le circuit intégré 4528. . . . .	291
6.8. Exercices : circuits en commutation et multivibrateurs astables . . . . .	292
6.9. Solutions des exercices : circuits en commutation et multivibrateurs astables. . . . .	305

<b>Bibliographie . . . . .</b>	<b>349</b>
--------------------------------	------------

<b>Index . . . . .</b>	<b>351</b>
------------------------	------------