

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	1
<b>Introduction</b> . . . . .	3
<b>Chapitre 1. Diodes et applications</b> . . . . .	5
1.1. Notions de physique des semi-conducteurs et transport du courant dans la diode <i>pn</i> . . . . .	5
1.1.1. Énergie et concentration des porteurs de charge mobile (électrons et trous). . . . .	5
1.1.2. Mécanismes de conduction . . . . .	10
1.2. Modèles simplifiés de la diode <i>pn</i> . . . . .	12
1.3. Montages à diodes (à étudier en exercice). . . . .	13
1.4. Modèle détaillé de la diode <i>pn</i> – Régimes variables et effets de la température . . . . .	14
1.4.1. Jonction à l'équilibre (sous tension nulle ou en circuit ouvert) – Potentiel de diffusion . . . . .	14
1.4.2. Jonction hors d'équilibre – Effet d'une différence de potentiel externe . . . . .	16
1.4.3. Effets de la température . . . . .	20
1.4.4. Effets capacitifs . . . . .	21
1.5. Les différents types de diodes et leur fonction . . . . .	25
1.5.1. Diode Zener . . . . .	25
1.5.2. Diode Schottky ou diode métal/semi-conducteur . . . . .	26
1.5.3. Diodes électroluminescentes et diodes laser . . . . .	27
1.5.4. Photodiodes et générateurs photovoltaïques . . . . .	28
1.6. Exercices . . . . .	29

1.6.1. Analyser le fonctionnement de montages . . . . .	29
1.6.2. Étude de la variation du courant d'une diode sous polarisation directe en fonction de la température . . . . .	32
1.6.3. Commutateur analogique à diodes . . . . .	34
1.6.4. Modulateur en anneau . . . . .	36
1.6.5. Diode en commutation – Étude à l'ouverture . . . . .	38
<b>Chapitre 2. Transistors bipolaires et applications. . . . .</b>	<b>43</b>
2.1. L'effet transistor . . . . .	43
2.2. Modèle de Ebers-Moll du transistor bipolaire (ou transistor à jonctions). . . . .	46
2.3. Le transistor bipolaire en régime statique et les applications de la caractéristique exponentielle $I_C(V_{BE})$ . . . . .	52
2.3.1. Schémas équivalents pour les trois régimes de fonctionnement. . . . .	52
2.3.2. Applications non linéaires – Paires différentielles et multiplieur . . . . .	53
2.3.3. Montages pour la polarisation des transistors – Sources et miroirs de courant . . . . .	56
2.3.3.1. Par résistances . . . . .	56
2.3.3.2. Sources de courant . . . . .	57
2.3.3.3. Miroirs de courant . . . . .	57
2.3.4. Limitations en tension . . . . .	58
2.4. Schémas dynamiques en petits signaux (approximation linéaire) . . . . .	60
2.4.1. Montages de base . . . . .	60
2.4.1.1. Montage émetteur commun. . . . .	61
2.4.1.2. Montage base commune. . . . .	63
2.4.1.3. Montage collecteur commun . . . . .	64
2.4.2. Schéma équivalent haute fréquence en petits signaux . . . . .	66
2.5. Amplification de puissance – Classes d'amplification . . . . .	67
2.6. Transistor bipolaire en commutation sur charge résistive. . . . .	69
2.7. Composants basés sur la structure <i>pnpn</i> . . . . .	71
2.7.1. Diode <i>pnpn</i> (ou diode de Shockley) . . . . .	71
2.7.2. Redresseur commandé ou thyristor . . . . .	74
2.7.3. Diacs et triacs . . . . .	76
2.8. Phototransistors et composants commandés optiquement . . . . .	78
2.9. Exercices . . . . .	79
2.9.1. Amplification en classe A . . . . .	79
2.9.2. Multiplieur quatre quadrants . . . . .	83
2.9.3. Amplificateurs à courant de repos nul ou faible devant le courant nominal . . . . .	88

2.9.4. Montage cascode et réponse en fréquence des amplificateurs à transistor . . . . .	93
--	----

### **Chapitre 3. Transistors à effet de champ et applications . . . . . 99**

3.1. Principe de fonctionnement des transistors à effet de champ à jonction (de type JFET et MESFET). . . . .	99
3.2. Les transistors à effet de champ à grille isolée . . . . .	104
3.3. Types de transistors à effet de champ et schémas équivalents . . . . .	109
3.3.1. Transistors de types JFET et MESFET . . . . .	109
3.3.2. Transistors à hétérojonction (HEMT, à haute mobilité électronique) et transistors de puissance . . . . .	111
3.4. Applications des transistors à effet de champ . . . . .	113
3.4.1. Source de courant et polarisation des JFET. . . . .	113
3.4.2. Amplificateurs et mélangeurs . . . . .	114
3.4.3. Résistance variable commandée par la tension grille-source et commutateur analogique à JFET . . . . .	115
3.4.4. Circuits de commutation et circuits logiques élémentaires CMOS (à transistors MOSFET complémentaires) . . . . .	116
3.4.5. Fonctions logiques combinatoires . . . . .	119
3.4.5.1. Circuits combinatoires élémentaires. . . . .	119
3.4.5.2. Arithmétique élémentaire des nombres signés. . . . .	124
3.4.5.3. Comparateur binaire . . . . .	126
3.4.5.4. Multiplexeurs, démultiplexeurs, encodeurs, décodeurs, transcodeurs et fonctions combinatoires quelconques . . . . .	127
3.4.5.5. Circuits à sortie à trois états . . . . .	129
3.4.5.6. Unités arithmétiques et logiques . . . . .	129
3.4.5.7. Mémoire dynamique à accès aléatoire (DRAM) . . . . .	129
3.4.6. Fonctions logiques séquentielles . . . . .	132
3.4.6.1. Bascule RS . . . . .	132
3.4.6.2. Mémoire statique CMOS . . . . .	133
3.4.6.3. Bascule RS avec validation (RST) et bascule D. . . . .	133
3.4.6.4. Bascule D synchrone à déclenchement sur front d'horloge . . . . .	135
3.4.6.5. Bascule maître-esclave JK . . . . .	136
3.4.6.6. Compteurs . . . . .	137
3.4.6.7. Registres à décalage . . . . .	140
3.5. Exercices . . . . .	141
3.5.1. Approximation parabolique de la caractéristique $I_D(V_{GS})$ d'un JFET en régime de pincement et application à un mélangeur. . . . .	141
3.5.2. Commutateur analogique à JFET – Isolation entrée-sortie à l'état bloqué . . . . .	144
3.5.3. Circuits à MOSFET. . . . .	147

<b>Chapitre 4. Amplificateurs, comparateurs et autres circuits analogiques</b> . . . . .	<b>155</b>
4.1. Amplificateurs opérationnels, principe de fonctionnement et types . . .	155
4.1.1. Amplificateurs opérationnels standards . . . . .	155
4.1.2. Amplificateurs opérationnels à propriétés particulières. . . . .	157
4.2. Modèles et réponses des amplificateurs opérationnels . . . . .	160
4.2.1. Modèle statique de l'amplificateur de tension . . . . .	160
4.2.2. Fonctionnements dynamique et en commutation . . . . .	161
4.3. Comparateurs. . . . .	162
4.4. Le bruit dans les amplificateurs . . . . .	164
4.4.1. La nature du bruit et son évaluation . . . . .	164
4.4.2. Les différents types de bruit et leur origine. . . . .	165
4.4.2.1. Bruit thermique dans une résistance. . . . .	165
4.4.2.2. Bruit de grenaille . . . . .	165
4.4.2.3. Bruit en $1/f$ et autres bruits . . . . .	166
4.4.3. Schéma équivalent des sources de bruit dans les amplificateurs et facteur de bruit . . . . .	167
4.4.4. Amplificateurs (radiofréquence) à faible bruit ( <i>Low Noise Amplifiers</i> – LNA). . . . .	169
4.5. Circuits intégrés analogiques . . . . .	169
4.6. Exercices . . . . .	171
4.6.1. Réponses de l'étage différentiel d'un amplificateur opérationnel . . . . .	171
4.6.2. Génération de signaux triangulaires et carrés – Conversion tension-fréquence . . . . .	175
4.6.3. Facteur de bruit d'un montage à amplificateur opérationnel. . . . .	178
 <b>Annexe. Circuits électriques</b> . . . . .	 <b>181</b>
 <b>Bibliographie</b> . . . . .	 <b>193</b>
 <b>Index</b> . . . . .	 <b>195</b>
 <b>Sommaire de <i>Électronique fondamentale 2</i></b> . . . . .	 <b>197</b>
 <b>Sommaire de <i>Électronique fondamentale 3</i></b> . . . . .	 <b>199</b>