

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	1
<b>Chapitre 1. Transistors</b> . . . . .	3
1.1. Modélisation des transistors . . . . .	3
1.1.1. Une résistance d'entrée et une source liée . . . . .	4
1.1.2. Schéma équivalent de Giacoletto . . . . .	5
1.1.3. Introduction des non-linéarités . . . . .	6
1.1.4. Modélisation de type Spice . . . . .	9
1.1.5. Paramètres S ou X . . . . .	10
1.1.6. Le modèle d'Ebers-Moll . . . . .	13
1.1.7. Conclusions . . . . .	14
1.2. Amplification . . . . .	14
1.2.1. Rappels sur la distorsion . . . . .	14
1.2.2. Rappels sur la contre-réaction . . . . .	15
1.2.2.1. Effet sur le gain . . . . .	17
1.2.2.2. Effet sur la bande passante . . . . .	18
1.2.2.3. Effet de la distorsion sur un étage unique . . . . .	20
1.2.2.4. Effet de la distorsion sur plusieurs étages en cascade . . . . .	21
1.2.3. Conclusions . . . . .	28
<b>Chapitre 2. Amplificateurs</b> . . . . .	29
2.1. Amplificateur émetteur commun . . . . .	29
2.1.1. Calcul de la fonction de transfert . . . . .	29
2.1.2. Calcul de la distorsion . . . . .	30
2.1.3. Amplificateur émetteur commun avec CR, calcul du gain . . . . .	34

2.1.4. Amplificateur émetteur commun avec CR, calcul de la distorsion . . . . .	36
2.1.5. Amplificateur émetteur commun, calcul de la fonction de transfert . . . . .	40
2.1.6. Amplificateur émetteur commun, effet Miller . . . . .	42
2.2. Amplificateur base commune . . . . .	43
2.2.1. Calcul de la fonction de transfert . . . . .	43
2.2.2. Amplificateur cascode . . . . .	44
2.2.2.1. Calcul de la fonction de transfert . . . . .	45
2.2.2.2. Calcul de la distorsion . . . . .	49
2.2.2.3. Simulation et comparaison . . . . .	52
2.2.2.4. Conclusions . . . . .	55
2.3. Amplificateur collecteur commun . . . . .	58
2.3.1. Calcul de la fonction de transfert . . . . .	58
2.3.2. Fonctionnement avec source de courant. . . . .	59
2.3.3. Précautions et conclusions. . . . .	60
<b>Chapitre 3. Amplificateurs différentiels . . . . .</b>	<b>65</b>
3.1. Amplificateur différentiel sans source de courant . . . . .	66
3.2. Amplificateur différentiel avec source de courant . . . . .	68
3.2.1. Sources et miroirs de courant . . . . .	71
3.2.1.1. Sources de courant . . . . .	71
3.2.1.2. Miroirs de courant . . . . .	73
3.2.1.3. Charges actives . . . . .	74
3.2.2. Simulation sur l'étage différentiel : amplificateur différentiel basique avec source de courant. . . . .	75
3.3. Amplificateur différentiel cascode . . . . .	80
3.3.1. Objectif de l'architecture de l'amplificateur différentiel cascode . . . . .	80
3.3.2. Simulation de l'amplificateur différentiel cascode . . . . .	80
3.4. Amplificateur différentiel cross-quad . . . . .	82
3.4.1. Inversion de la caractéristique . . . . .	83
3.4.2. Simulation autour de la linéarité de l'amplificateur différentiel cross-quad . . . . .	89
3.5. Amplificateur différentiel cascomp feedforward. . . . .	90
3.5.1. Calcul du gain de l'amplificateur différentiel cascomp. . . . .	91
3.5.2. Simulation de l'amplificateur différentiel cascomp . . . . .	93
3.5.3. Amplificateur différentiel cascomp symétrique . . . . .	93

3.5.3.1. Analyse de l'amplificateur différentiel cascomp symétrique . . . . .	93
3.5.3.2. Simulation de l'amplificateur différentiel cascomp symétrique . . . . .	97
3.6. Amplificateur différentiel cascomp feedback . . . . .	100
3.7. Comparaison des différentes structures et conclusions . . . . .	101
3.7.1. Linéarité . . . . .	101
3.7.2. Largeur de bande . . . . .	103
3.7.3. Nature de la fonction de transfert . . . . .	103
3.8. Calcul exact des fonctions de transfert des étages différentiels . . . . .	103
3.8.1. Étage amplificateur générique . . . . .	104
3.8.1.1. Étage amplificateur idéal et réel . . . . .	104
3.8.1.2. Fonction tangente hyperbolique . . . . .	105
3.8.2. Calcul des paramètres influents . . . . .	106
3.8.2.1. Distorsion par harmonique . . . . .	106
3.8.2.2. Point d'interception du troisième ordre . . . . .	107
3.8.3. Étage différentiel élémentaire . . . . .	108
3.8.3.1. Calcul du gain en absence de contre-réaction . . . . .	108
3.8.3.2. Calcul des performances images de la linéarité . . . . .	110
3.8.4. Étage différentiel ayant deux résistances d'émetteur . . . . .	112
3.8.4.1. Étage différentiel élémentaire, calcul du gain . . . . .	112
3.8.4.2. Calcul des performances images de la linéarité . . . . .	113
3.8.4.3. Comparaison des performances images de la linéarité . . . . .	113
3.8.5. Étage différentiel cascode . . . . .	114
3.8.5.1. Calcul des différents paramètres . . . . .	117
3.8.5.2. Comportement avec l'harmonique 5 . . . . .	117
3.8.6. Étage différentiel cascomp feedforward, brevet Tektronix . . . . .	118
3.8.6.1. Correction amont ou aval . . . . .	119
3.8.6.2. Correction feedforward . . . . .	119
3.8.7. Étage différentiel cascomp feedback . . . . .	123
3.8.7.1. Calcul du gain . . . . .	124
3.8.7.2. Calcul des performances images de la linéarité . . . . .	124
3.8.8. Procédure de dimensionnement de l'amplificateur cascomp . . . . .	125
3.9. Comparaison des étages différentiels et conclusions . . . . .	129
3.9.1. Comparaison de la linéarité des étages différentiels . . . . .	129
3.9.2. Comparaison de la largeur de bande à $-3$ dB des étages différentiels . . . . .	133
3.9.3. Compléments sur le cross-quad . . . . .	135
3.9.4. Variantes du cross-quad . . . . .	138

---

<b>Chapitre 4. Étages de sortie des amplificateurs . . . . .</b>	<b>145</b>
4.1. Amplificateurs en classe A . . . . .	146
4.2. Amplificateurs en classe B . . . . .	148
4.3. Amplificateurs en classe AB . . . . .	153
4.3.1. Multiplicateur de VBE . . . . .	157
4.4. Exemple d'étages amplificateurs de sortie . . . . .	158
4.4.1. Comparaison transistor unique, Darlington ou paire compound . . . . .	162
<b>Chapitre 5. Étude et analyse de quelques amplificateurs . . . . .</b>	<b>169</b>
5.1. Amplificateur opérationnel 741 . . . . .	169
5.2. Amplificateurs audio . . . . .	170
5.2.1. Amplificateur type « années 1970 » . . . . .	170
5.2.2. Amplificateur type « années 1980 » . . . . .	176
5.2.3. Amplificateur type « années 2000 » . . . . .	180
5.3. Amplificateur de transimpédance . . . . .	185
5.4. Amplificateur en classe E . . . . .	192
5.5. Amplificateur paire série-shunt . . . . .	201
5.5.1. Polarisation et dimensionnement de l'amplificateur . . . . .	201
5.5.2. Simulation AC et Transient . . . . .	203
5.5.3. Simulation en paramètres S . . . . .	203
5.5.4. Application à un oscillateur . . . . .	207
5.5.5. Variation avec un étage différentiel . . . . .	212
<b>Bibliographie . . . . .</b>	<b>213</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>215</b>