
SOMMAIRE

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale

Chapitre I : Du Transistor Bipolaire Si au Transistor Bipolaire

	<u>à Hétérojonction Si/SiGe</u>	4
1	<i>Introduction</i>	5
2	<i>Théorie du transistor bipolaire</i>	5
2.1	Principe de fonctionnement	5
2.2	Le transistor bipolaire idéal	8
2.2.1	Les courants idéaux	8
2.2.2	Les gains en courant du transistor idéal	8
2.3	Le transistor bipolaire réel	9
2.3.1	Bilan des courants circulant dans le transistor	9
2.3.2	L'efficacité d'injection	11
2.3.3	Gain statique en courant du transistor réel	12
2.3.3.a	Gain statique en courant du montage base commune	12
2.3.3.b	Gain statique en courant du montage émetteur commun β	12
2.3.4	Les effets à faible polarisation	12
2.3.4.a	Courant de recombinaison dans les zones de charge d'espace	12
2.3.4.b	Courant tunnel	13
2.3.5	L'effet Early	13
2.3.6	Le perçage de la base	14
2.3.7	Les limites de fonctionnement en tension : claquage des jonctions par ionisation par impact	15
2.3.8	Les effets à fort niveau de courant	15

2.3.8.a	Effet Kirk	15
2.3.8.b	Effet Webster	15
2.3.9	Les résistances d'accès	16
2.4	Le fonctionnement dynamique du transistor bipolaire	17
2.4.1	La fréquence de transition f_T	17
2.4.2	La fréquence maximale d'oscillation f_{MAX}	18
3	<i>Les limites du transistor bipolaire tout silicium</i>	19
4	<i>Utilisation du Germanium dans la base</i>	20
5	<i>Description de la filière des TBH SiGe étudiés</i>	23
5.1	Introduction technologique	23
5.2	Le TBH de la filière BICMOS 6G 0.35 μ m STMicroelectronics	24
5.3	Insertion d'une couche de carbone dans la base des TBH SiGe	25
6	<i>Performances des différentes technologies de TBH SiGe</i>	26
7	<i>Conclusion</i>	27
	Références bibliographiques	28
	<u>Chapitre II : Bruit basse fréquence</u>	31
1	<i>Introduction</i>	32
2	<i>Différentes sources de bruit BF dans les composants semi-conducteurs</i>	32
2.1	Sources de bruit BF irréductibles	33
2.2	Sources de bruit BF réductibles ou en excès	33
3	<i>Analyse du bruit télégraphique dans les composants bipolaires à hétérojonctions</i>	35
3.1	Principe de la mesure	35
3.2	Résultats et analyse du bruit RTS	36

4	<i>Techniques de mesure du bruit basse fréquence</i>	40
4.1	Représentation en bruit d'un quadripôle	40
4.2	Présentation des techniques de mesures de bruit BF	41
4.2.1	Mesures des sources de bruit équivalentes de la représentation chaîne S_V, S_I	41
4.2.2	Mesures des sources de bruit équivalentes de la représentation parallèle : S_{IB}, S_{IC}	41
5	<i>Présentation du banc de mesure de Bruit Basse Fréquence</i>	42
5.1	Les amplificateurs transimpédances (couramment nommés I-V)	43
5.2	Précautions à prendre dans la mesure de bruit basse fréquence	45
6	<i>Mise au point du banc de mesure de bruit BF</i>	46
6.1	Problèmes rencontrés	46
6.1.1	Mesure de la source de bruit S_{IB}	46
6.1.2	Mesure de la source de bruit S_{IC}	48
6.2	Insertion d'un amplificateur tampon	51
6.2.1	Mise au point de l'étage tampon	51
6.2.2	Précautions à prendre lors du montage de l'étage tampon	58
6.2.3	Limites de l'étage tampon	59
6.3	Utilisation d'un transformateur	62
6.3.1	Avantages de l'utilisation du transformateur	62
6.3.2	Choix du transformateur	63
6.3.3	Précautions à prendre au niveau du câblage du transformateur et du montage final du banc de mesure	65
6.3.3.a	Câblage du transformateur	65
6.3.3.b	Ecueils à éviter au niveau du montage final du banc de mesure	65
6.3.4	Validation du transformateur sur les mesures au collecteur	67
6.3.5	Problème de mesure lié à l'utilisation du transformateur	68
6.4	Banc de mesure final du bruit BF	69
6.4.1	Mesure de la source S_{IB}	69
6.4.2	Mesure de la source S_{IC}	70
6.4.3	Mesure de la corrélation S_{IBIC^*}	70
6.5	Mesure de bruit BF	72

6.5.1	Transistors étudiés et support de test utilisé	72
6.5.2	Résultats de mesure de bruit BF	73
6.5.2.a	Mesures des deux sources : S_{IB} et S_{IC}	73
6.5.2.b	Mesures du spectre croisé et du coefficient de corrélation	74
7	<i>Modélisation en bruit basse fréquence des transistors bipolaires</i>	75
7.1	Introduction	75
7.2	Modèle de type SPICE	75
7.3	Modèle de bruit BF complet	77
7.3.1	Présentation du modèle de bruit BF utilisé	77
7.3.2	Description de la technique d'extraction des sources de bruit du modèle utilisée par le LAAS	78
7.3.3	Validation du modèle de bruit BF des transistors TBH SiGe de STMicroelectronics	82
8	<i>Conclusion</i>	84
	Références bibliographiques	86
<u>Chapitre III : Modélisation électrique du Transistor Bipolaire</u>		
	<u>à Hétérojonction</u>	89
1	<i>Introduction</i>	90
2	<i>Modèles électriques des TBH étudiés</i>	90
2.1	Le modèle d'Ebers-Moll	91
2.2	Modèle de Gummel-Poon	91
2.3	Modélisation statique du transistor	93
2.3.1	Modèle non linéaire non quasi-statique	93
2.3.2	Modèle Gummel-Poon type SPICE (SGPM : Standard Gummel Poon Model)	94
2.4	Modélisation dynamique du transistor	97
2.4.1	Modèle Gummel-Poon type SPICE	97
2.4.2	Autre modèle de Gummel-Poon type Spice	102
2.4.3	Modèle non linéaire non quasi-statique	103

2.4.3.a	Modèle extrinsèque	103
2.4.3.b	Modèle petit signal quasi-statique	104
2.4.3.c	Modèle petit signal non quasi-statique	106
3	<i>Caractérisations statiques et dynamiques des TBH étudiés</i>	111
3.1	Caractérisations statiques	111
3.2	Caractérisations dynamiques	114
3.2.1	Mesure des paramètres [S]	114
3.2.1.a	Banc de mesures	114
3.2.1.b	Présentation des résultats	118
3.2.2	Banc de mesures de puissance $P_S = f(P_E)$	121
4	<i>Etude comparative des modèles de TBH implantés sous ADS</i>	123
4.1	Implantation des modèles sur le logiciel ADS	123
4.1.1	Modèle non linéaire non quasi-statique	123
4.1.2	Les deux modèles de Gummel-Poon	124
4.2	Comparaison des trois modèles de TBH	124
4.2.1	Les simulations statiques	125
4.2.2	Les simulations dynamiques	126
4.2.2.a	Simulations de paramètres [S]	126
4.2.2.b	Simulations de puissance	128
5	<i>Conclusion</i>	130
	Références bibliographiques	132

Chapitre IV : Etude d'un Oscillateur Contrôlé en Tension (OCT)

	<u>MMIC à base de TBH Si/SiGe</u>	134
1	<i>Introduction</i>	135
2	<i>Généralités et principales caractéristiques électriques des oscillateurs</i>	135
2.1	Topologie des différents oscillateurs	135
2.1.1	L'oscillateur en transmission ou à contre réaction parallèle	136
2.1.2	Oscillateur en réflexion ou à contre réaction série	137

2.2	Caractéristiques électriques principales d'un oscillateur	138
2.3	Sensibilité des oscillateurs	138
2.3.1	à des variations de l'impédance de charge	138
2.3.2	à une variation des courants ou tensions d'alimentation	139
3	<i>Le bruit de phase dans les oscillateurs</i>	139
3.1	Définition du bruit de phase dans les oscillateurs	139
3.2	Méthode d'analyse du bruit de phase des circuits non linéaires oscillants	142
3.2.1	La méthode quasi-statique	142
3.2.2	La méthode paramétrique ou méthode des matrices de conversion	145
3.3	Autres méthodes de calcul du bruit de phase	148
3.3.1	Le modèle de Leeson-Cutler	148
3.3.2	Le modèle de X.Zhang	150
3.3.3	Le modèle de Hajimiri et Lee	150
3.3.4	Approche dans la considération du bruit de phase selon Rael et Abidi	152
4	<i>Etude d'un OCT à 5 GHz entièrement intégré</i>	157
4.1	Choix de la structure	158
4.2	Topologie de l'oscillateur	158
4.2.1	Principe de fonctionnement général de l'OCT	158
4.2.2	L'analyse des oscillateurs utilisée par le logiciel ADS	160
4.2.2.a	L'analyse linéaire	160
4.2.2.b	L'analyse non linéaire	161
4.2.2.c	Méthodes de simulation du bruit de phase	163
4.2.3	Régime de fonctionnement des transistors de la paire différentielle	163
4.2.3.a	Fonctionnement statique	163
4.2.3.b	Fonctionnement dynamique	164
4.2.4	Le bruit de phase dans ce type d'oscillateur	165
4.2.4.a	Le bruit de la paire différentielle	165
4.2.4.b	Le bruit de la source de courant	168
4.2.4.c	Technique de filtrage du bruit de la source de courant	170
4.2.4.d	Autres sources de bruit responsables du bruit de phase de l'oscillateur	172
4.2.4.e	Sensibilité de la fréquence d'oscillation à une variation de I_{POLAR} ..	172
4.3	Travail sur l'étage tampon de sortie	174
4.3.1	Principales caractéristiques électriques de l'étage tampon de sortie	174

4.3.2	L'étage tampon émetteur suiveur	174
4.3.2.a	Isolation entre l'oscillateur et la charge	175
4.3.2.b	Fonctionnement linéaire du transistor	176
4.3.2.c	Variation de l'impédance d'entrée de l'étage tampon avec la fréquence d'oscillation	177
4.3.2.d	Stabilité linéaire de l'étage tampon	178
4.3.2.e	Améliorations éventuelles de l'étage tampon	178
4.3.2.f	Etage tampon constitué par un montage émetteur commun	181
4.3.3	Résumé des principales performances de l'OCT avec les deux étages tampons étudiés	185
4.4	Travail en cours sur le layout de l'OCT	187
5	Conclusion	188
	Références bibliographiques	189
	<u>Conclusion Générale</u>	192
	<u>Annexes</u>	
	<u>Documents techniques</u>	