

Dipl.-Ing. Clemens Rheinfelder, Berlin

**Ein Großsignal-Modell
des SiGe-Hetero-
Bipolar-Transistors für
den Entwurf monolithisch
integrierter Mikrowellen-
Schaltungen**

Reihe **9**: Elektronik

Nr. **268**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Stand der Technik	2
1.1.1	MMIC und HBT Entwicklung	2
1.1.2	Modellentwicklung	3
1.2	Aufgabenstellung und Vorgehensweise	4
2	Aufbau und Funktionsweise des SiGe-HBT	6
2.1	Funktionsweise	6
2.2	Technologische Realisierung im Daimler-Benz Prozeß	9
2.2.1	Geometrischer Aufbau des HBT	12
2.3	Zuordnung der Ersatzschaltbildgrößen	13
3	Kleinsignalmodellierung	15
3.1	Kleinsignalextraktionsverfahren	17
3.1.1	Optimierungsverfahren	17
3.1.2	Analytische Verfahren	18
3.2	Topologie des HBT-Kleinsignalersatzschaltbildes	19
3.3	Allgemeine Vorgehensweise	20
3.4	Bestimmung der äußeren Elemente	23
3.4.1	Äußere Metallstruktur	23
3.4.2	Innere Metallstruktur	24
3.4.3	Bestimmung über feldtheoretische Verfahren	25
3.5	Bestimmung der extrinsischen Elemente über S-Parameter	26
3.5.1	Auswertung der Messungen im "Cut-Off"-Modus	26
3.5.2	Auswertung der Messungen im "Open-Collector"-Modus	31
3.5.3	Auswertung der Messungen von Teststrukturen	40
3.6	Bestimmung der inneren Ersatzschaltbildelemente	41
3.6.1	Direkte analytische Bestimmung der Ersatzschaltbildelemente	43
3.6.2	Analytische Bestimmung der Ersatzschaltbildelemente über "Least-Square"-Verfahren	46
3.6.3	Verifikation des Modells anhand der ursprünglichen Meßwerte	54
3.6.4	Arbeitspunktabhängige Charakterisierung	55
3.7	Zusammenfassung	63

4	Großsignalmodellierung	66
4.1	Anforderungen und Ziele einer HBT Großsignalmodellierung	66
4.2	Bestehende Modelle	68
4.2.1	Bipolartransistormodelle (Si)	68
4.2.2	SiGe-HBT-Modelle	69
4.2.3	AlGaAs/GaAs- und InGaAs/InP-HBT-Modelle	69
4.3	Modellgleichungen für das Si/SiGe/Si-HBT-Modell	70
4.4	Das Konzept der Basisladung	82
4.5	Modellierung des Kirk-Effektes	85
4.6	Modellierung der Temperaturabhängigkeit	90
4.7	Modellierung der nichtidealen Leckströme	92
4.8	Gegenüberstellung der gemessenen und modellierten Kurven	94
4.8.1	Zusammenfassung der Modellparameter	98
4.9	Zusammenfassung	99
5	Oszillatorsimulation	100
5.1	Grundlagen	100
5.2	Schaltungsentwurf	102
5.2.1	Linearer und nichtlinearer Oszillatorentwurf	104
5.3	Ergebnisse	110
5.4	Zusammenfassung	112
6	Zusammenfassung und Ausblick	115
6.1	Grenzen und mögliche Weiterentwicklung	117
A	Einfluß der Meßgenauigkeit auf das Extraktionsergebnis	118
B	Einfluß der äußeren Elemente	120