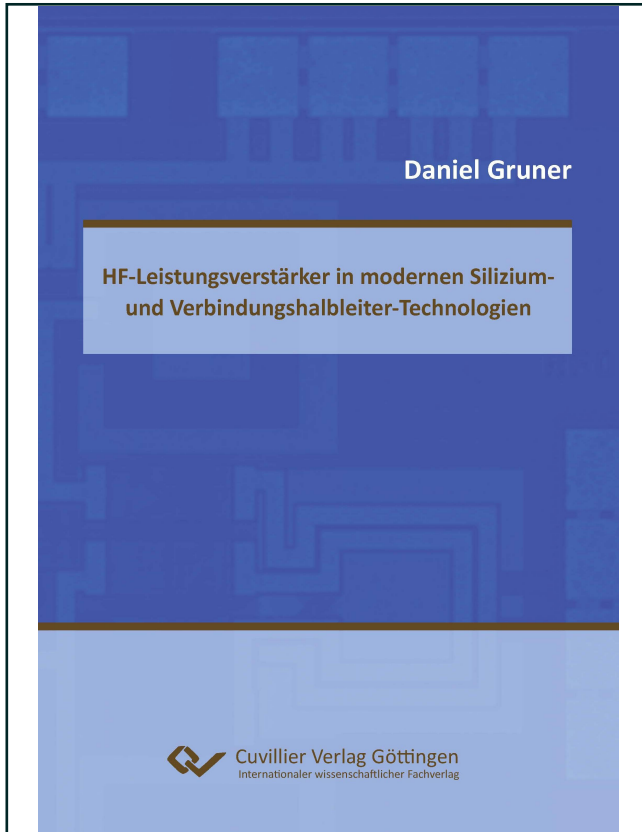




Daniel Gruner (Autor)

## **HF-Leistungsverstärker in modernen Silizium- und Verbindungshalbleitern-Technologien**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6250>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Leistungsverstärker</b>	<b>5</b>
2.1	Eigenschaften und Kenngrößen . . . . .	5
2.1.1	Ausgangsleistung und Verstärkung . . . . .	5
2.1.2	Wirkungsgrad . . . . .	9
2.1.3	Linearität . . . . .	11
2.1.4	Kenngrößen in Verbindung mit modulierten Signalen . . . . .	20
2.1.5	Lastimpedanz . . . . .	25
2.1.6	Stabilität . . . . .	31
2.2	Verstärkerklassen . . . . .	33
2.2.1	Klassen basierend auf Transistorarbeitspunkt . . . . .	34
2.2.2	Klassen basierend auf Transistorbetrieb . . . . .	38
2.3	Techniken zur Steigerung des Wirkungsgrades . . . . .	47
2.3.1	Envelope Tracking . . . . .	47
2.3.2	Envelope Elemination/Restoration . . . . .	48
2.3.3	Outphasing-Verstärker . . . . .	49
2.3.4	Doherty-Verstärker . . . . .	51
<b>3</b>	<b>Transistoren für HF-Leistungsverstärker</b>	<b>57</b>
3.1	Wichtige Definitionen . . . . .	57
3.1.1	Grenzfrequenzen . . . . .	57
3.1.2	Transistorgröße . . . . .	59
3.1.3	Leistungsdichte . . . . .	60
3.2	Halbleitermaterialien . . . . .	60



3.3	Transistortechnologien . . . . .	62
3.3.1	SiGe-HBT . . . . .	66
3.3.2	Si-LDMOS-FET . . . . .	68
3.3.3	GaN-HEMT . . . . .	70
3.4	Status und Trend . . . . .	72
<b>4</b>	<b>Integrierter SiGe-HBT-PA für 6-GHz-Applikationen</b>	<b>79</b>
4.1	Topologie . . . . .	80
4.2	Leistungstransistoren . . . . .	81
4.2.1	Technologie . . . . .	81
4.2.2	Skalierung der Transistoren . . . . .	83
4.3	Verstärkerentwurf . . . . .	85
4.3.1	Load/Source-Pull-Simulationen . . . . .	86
4.3.2	Transformatoren und Anpassnetzwerke . . . . .	89
4.3.3	Realisierung . . . . .	96
4.4	Ergebnisse . . . . .	99
4.4.1	Einton-Anregung . . . . .	99
4.4.2	Zweiton-Anregung . . . . .	103
4.4.3	Kleinsignalmessungen . . . . .	106
4.5	Schlussfolgerungen . . . . .	106
<b>5</b>	<b>Integrierter 6-GHz-SiGe-PA mit Transformer-Combining</b>	<b>109</b>
5.1	Topologie . . . . .	110
5.2	Leistungstransistoren . . . . .	112
5.3	Verstärkerentwurf . . . . .	114
5.3.1	Load/Source-Pull-Simulationen . . . . .	115
5.3.2	Transformatoren und Anpassnetzwerke . . . . .	118
5.3.3	Realisierung . . . . .	123
5.4	Ergebnisse . . . . .	127
5.4.1	Einton-Anregung . . . . .	127
5.4.2	Zweiton-Anregung . . . . .	131
5.4.3	Kleinsignalmessungen . . . . .	133
5.5	Schlussfolgerungen und Stand der Technik . . . . .	134



<b>6</b>	<b>Medium-Voltage-LDMOS-Leistungsverstärker</b>	<b>137</b>
6.1	Leistungstransistor-Generation 1 . . . . .	138
6.1.1	Entwurf der Leistungstransistoren . . . . .	138
6.1.2	Charakterisierung der Transistoren . . . . .	142
6.1.3	Verifikation mit Hilfe eines 6-GHz-Leistungsverstärkers . . . . .	146
6.2	Leistungstransistor-Generation 2 . . . . .	152
6.2.1	Entwurf der Leistungstransistoren . . . . .	152
6.2.2	Kleinsignal-Charakterisierung . . . . .	156
6.2.3	Source/Load-Pull-Charakterisierung . . . . .	160
6.2.4	Leistungsverstärkerentwurf und Ergebnisse . . . . .	166
6.3	Schlussfolgerungen und Stand der Technik . . . . .	180
<b>7</b>	<b>GaN-HEMT-Doherty-Leistungsverstärker</b>	<b>183</b>
7.1	Load-Pull-Analyse . . . . .	184
7.1.1	Grundwellenimpedanz . . . . .	185
7.1.2	Harmonischen-Terminierung . . . . .	189
7.2	Doherty-Leistungsverstärker . . . . .	194
7.2.1	Entwurf . . . . .	195
7.2.2	Realisierung . . . . .	199
7.3	Ergebnisse . . . . .	200
7.3.1	Einton-Anregung . . . . .	200
7.3.2	Beaufschlagung mit modulierten Signalen . . . . .	202
7.4	Schlussfolgerungen und Stand der Technik . . . . .	205
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>207</b>
<b>A</b>	<b>Zusammenhang zwischen IP3 und 1-dB-Kompressionspunkt</b>	<b>211</b>
<b>B</b>	<b>Tabellen zum Stand der Technik</b>	<b>213</b>
<b>C</b>	<b>Publikationsliste</b>	<b>217</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>221</b>