

Dipl.-Ing. Rainer Kokozinski, Oberhausen

**Analoge CMOS-Hoch-  
frequenz-Schaltungstechnik  
für niedrige Versorgungs-  
spannungen**

Reihe **9**: Elektronik

Nr. **247**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis der Abkürzungen und Formelzeichen</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Motivation und Anwendungen für integrierte CMOS- und CMOS/SIMOX- Hochfrequenzschaltungen</b>	<b>4</b>
<b>3 Bauelemente</b>	<b>6</b>
3.1 Der Bulk-MOS-Transistor .....	6
3.1.1 Kurzkanaleffekte von MOS-Transistoren .....	14
3.1.2 Breitbandverhalten von MOS-Transistoren .....	18
3.1.3 Rauscheigenschaften von MOS-Transistoren .....	22
3.2 Der CMOS/SIMOX-Transistor .....	25
3.3 Leitungsverhalten integrierter Schaltungen .....	28
3.3.1 Der Verzögerungstyp .....	30
3.3.2 Koplanarleitungen .....	33
<b>4 Schaltungstechniken für integrierte CMOS-Hochfrequenzschaltungen</b>	<b>35</b>
4.1 Vergleich von stromgesteuerten und spannungsgesteuerten Schaltungstechniken ....	36
4.1.1 Eigenschaften der Quellen- und Lastelemente .....	36
4.1.2 Realisierungen der erforderlichen Quellen- und Lastimpedanzen .....	38
4.1.3 Intrinsische Strom- und Spannungsverstärkung von MOS-Transistoren .....	42
4.2 Leitungsverhalten von stromgesteuerten und spannungsgesteuerten Schaltungen ....	44
4.2.1 Verhalten von idealen Leitungen .....	44
4.2.2 Berücksichtigung von realen Leitungen in CMOS-ICs .....	49

4.3	Struktur für breitbandige Stromverstärker .....	58
4.4	Transkonduktanzstufen .....	59
4.5	Gegengekoppelte Verstärker für Breitbandanwendungen .....	64
4.5.1	Klassische Gegenkopplungen .....	64
4.5.2	Stromgesteuerte Schaltungen mit Spannungsgegenkopplung .....	69
4.5.2.1	Berücksichtigung des endlichen Ausgangswiderstandes des Transkonduktors .....	83
4.5.2.2	Rauschverhalten von stromgesteuerten Schaltungen mit Spannungsgegenkopplung .....	87
4.5.2.3	Nichtlinearitäten in stromgesteuerten Schaltungen mit Spannungsgegenkopplung .....	91
<b>5</b>	<b>Anwendungen und Realisierungsbeispiele für integrierte CMOS-Hochfrequenzschaltungen</b> .....	<b>97</b>
5.1	Komponenten für stromsparende Langwellenanwendungen .....	97
5.1.1	Parametrisierbarer Transkonduktanzverstärker .....	97
5.1.2	Parametrisierbares Bandpaßfilter .....	100
5.1.3	Quarzfilter .....	103
5.1.4	Differentielle Gleichrichterstufe .....	106
5.1.5	Systemanwendungen für stromsparende Langwellenkomponenten .....	108
5.1.5.1	Geradeausempfänger für Funkuhren .....	108
5.1.5.2	Infrarotempfänger für Ton- und Datensignale .....	112
5.2	Breitbandverstärker für Ultrakurzwellen- und Mikrowellenanwendungen .....	114
5.2.1	Stromverstärker mit Spannungsgegenkopplung .....	114
5.2.2	Dreistufiger Verstärker mit Spannungsgegenkopplung .....	127
5.2.3	Systemanwendungen für Ultrakurzwellen- und Mirowellenkomponenten ..	136
5.2.3.1	Pulsverstärker für Glasfaserübertragungsstrecken .....	136

<b>6 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>138</b>
<b>Anhang</b>	<b>142</b>
Anhang A Berechnung des Großsignalverhaltens eines differenziellen Transkonduktors (Differenzstufe) .....	142
A1 Differenzstufe in starker Inversion .....	142
A2 Differenzstufe in schwacher Inversion.....	144
Anhang B Berechnung der Bandbreite und des Verstärkungs-Bandbreite-Produktes ...	145
B1 Klassischer Operationsverstärker.....	145
B2 "Current-Feedback"-Operationsverstärker.....	147
B3 Stromverstärker mit Spannungsgegenkopplung .....	149
B4 Stromverstärker mit Spannungsgegenkopplung unter Berücksichtigung des endlichen Ausgangswiderstandes des Transkonduktors .....	150
B5 OTA als Spannungsverstärker unter Berücksichtigung des endlichen Ausgangswiderstandes des Transkonduktors.....	152
Anhang C Berechnung der äquivalenten eingangsbezogenen Rauschquelle .....	154
C1 "Current-Feedback"-Operationsverstärker.....	154
C2 Stromverstärker mit Spannungsgegenkopplung .....	155
Anhang D Berechnung der Übertragungsfunktion der realisierten Stromverstärker mit Spannungsgegenkopplung .....	157
D1 Variante 1 .....	157
D2 Variante 2.....	158
D3 Variante 3.....	160
Anhang E Berechnung der Übertragungsfunktion sowie der Rauschzahl des dreistufigen Verstärkers .....	161
E1 Übertragungsfunktion des Verstärkers.....	161
E2 Berechnung der Rauschzahl des Verstärkers .....	162
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>164</b>