

**Titel: Analoge HF-Komponenten in 65-nm-CMOS-Technologie für ein integriertes Radarsystem bei 77 GHz für automatische Abstandsregelung in Automobilen**

Dipl.-Ing. Pierre Mayr, Lehrstuhl für Integrierte Systeme

Radarsysteme werden zur Messung des Abstandes und der Relativgeschwindigkeit zwischen zwei Objekten eingesetzt. Im Bereich aktiver automobiler Sicherheitssysteme werden diese Informationen dazu verwendet, den Fahrer vor möglichen Gefahrensituationen zu warnen und die Auswirkungen im Ernstfall zu reduzieren. Auf Grund der hohen Frequenz wird der analoge Teil solcher Systeme bisher unter Verwendung von III-V-Verbundhalbleiter-Technologien wie GaAs und InP bzw. SiGe-Bipolartechnologie hergestellt.

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der Realisierbarkeit eines Radarsystems bei 77 GHz in einer 65-nm-CMOS-Technologie. Dabei steht der Gedanke der gemeinsamen Integration des analogen und digitalen Teils auf einem Chip im Vordergrund.

Die Optimierung von CMOS-Technologien wird in der Regel für die Verarbeitung digitaler Signale durchgeführt. Daher sind die verfügbaren Modelle und Strukturen für den Einsatz bei derart hohen Frequenzen entsprechend anzupassen. Im Rahmen einer Kooperation des Lehrstuhls mit dem Industriepartner Infineon konnte die Leistungsfähigkeit der Transistoren durch eine Umgestaltung der Transistorgeometrie sowohl im Hinblick auf die mögliche Stromdichte als auch die Hochfrequenzeigenschaften verbessert werden, was die guten Ergebnisse der realisierten Schaltungen erst ermöglichte.

Nach ausführlichen Überlegungen zu Beginn der Arbeit werden die Spezifikationen eines nach dem Prinzip linearer Frequenzrampen arbeitenden Radar-Systems (FMCW) festgelegt. Dabei wird gezeigt, dass alle Komponenten im gesamten Frequenzbereich der Anwendung (300 MHz im Bereich von 76 bis 77 GHz) frequenzkontinuierlich funktionieren müssen.

Die Komponenten des analogen Teils des hier untersuchten Radarsystems bei 77 GHz sind der als Signalquelle verwendete VCO, die zu dessen Stabilisierung in einer Phasenregelschleife nötigen Teiler und die zur Entkopplung der Komponenten und zur Leistungsgenerierung eingesetzten Verstärker.

Trotz der hohen Transitfrequenz der verwendeten CMOS-Technologie von ca. 200 GHz, erfordert der Entwurf des VCOs mit entsprechender Bandbreite gerade in Anbetracht des geforderten Temperaturbereichs besondere Anstrengungen. Durch eine strukturierte Entwurfsmethodik wird ein Konzept erarbeitet, welches im gemessenen Bereich von 0 bis 100°C den Bandbreite-Anforderungen gerecht wird. Die erreichte Verstimmbarkeit des realisierten LC-VCOs von 75 bis 80,5 GHz stellt bei einem Phasenrauschen von besser -81 dBc/Hz einen Spitzenwert im Vergleich zu internationalen Veröffentlichungen dar. Es ist bekannt, dass das Funkelrauschen von CMOS-Transistoren mit der Reduzierung der Strukturgröße steigt, was sich negativ auf das Phasenrauschen der Oszillatoren auswirkt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird jedoch gezeigt, wie das Rauschen unter Verwendung *zukünftiger* CMOS-Technologien (Metal Gate) bei Wanderwellen-VCOs gegenüber derzeitigen Polysilizium-Gate-Technologien um über 4 dB reduziert werden kann.

Unter Verwendung eines Injection-Locked-Frequenzteiler-Konzeptes ist es erstmals möglich, Eingangsfrequenzen in einem kontinuierlichen Bereich von 82 bis 94 GHz in einer CMOS-Technologie zu verarbeiten. Erreicht wird dies durch die in dieser Arbeit entwickelte Methode der Bandbreitenvergrößerung bei welcher die DC-Spannung des Eingangstransistors in die Nähe dessen Schwellenspannung gelegt wird.

Beim Entwurf der Verstärker ist die Auswirkung der geringen Versorgungsspannung von 1,2 V deutlich zu erkennen. Durch die Kombination additiver und multiplikativer Verstärker-Techniken wird eine Schaltung vorgestellt, welche sowohl eine hohe Verstärkung vorweist, als auch eine hohe Ausgangsleistung. Während die Verstärkung von bis zu 18 dB bei 77 GHz einen besonderen guten Wert darstellt, bleibt die gemessene Ausgangsleistung von über 3 dBm hinter der erwarteten von 8 dBm zurück.

Die Frage nach der Realisierbarkeit eines automobilen Radarsystems in einer 65-nm-CMOS-Technologie kann als Ergebnis dieser Arbeit dahingehend beantwortet werden, dass dies derzeit bis auf die geforderte Ausgangsleistung möglich ist.