

FMCW-Radar: Einfaches Prinzip, fordernde Messtechnik

FMCW-Radare sind auf der analogen Sende- und Empfangsseite extrem breitbandig ausgelegt. Die zu ihrer Validierung nötigen Analysebandbreiten von bis zu 4 GHz waren bis vor kurzem nur in Oszilloskopen verfügbar. Rohde & Schwarz bietet die Bandbreite nun auch in seinem Signal- und Spektrumanalysator R&S FSW.

Anders als das erste Auto-Radar Radar-on-Chips (RoCs) mit digital modulierten Signalen von Uhder sind frequenzmodulierte Dauerstrichradare (Frequency Modulated Continuous Wave, FMCW) der Stand der Technik. Hier wird lediglich die Trägerfrequenz in unterbrechungsfreien, typischerweise sägezahn- oder dreiecksförmigen Sweeps variiert. Eine Sweep-Periode wird als Chirp bezeichnet. Abhängig von der aktuellen Anforderung können einzelne Rampen mit

unterschiedlichen Frequenzänderungsraten (Chirpraten) hintereinander abgepielt werden. Damit sind Optimierungen nach Entfernungsauflösung, Geschwindigkeitsauflösung oder nutzbarem Entfernungsbereich möglich. Zur Signalerzeugung wird ein VCO moduliert und das Ausgangssignal mit Vervielfältigern und Frequenzumsetzern auf die gewünschte Bandbreite und ins gewünschte Band gebracht (Bild 1).

Das vom Sensor empfangene Signal weist einen der Zielentfernung propor-

tionalen Frequenzversatz zur momentanen Sendefrequenz auf, die sich während der Signallaufzeit auf der Sweep-Rampe ja ein Stück nach oben bewegt hat. Bei unterschiedlichen Relativgeschwindigkeiten von Sender und Empfänger kommt eine Dopplerverschiebung hinzu (Bild 2). Sende- und Empfangssignal werden zu einer relativ niedrigen Zwischenfrequenz gemischt, die man direkt abtasten kann.

Der Vorteil dieses Verfahrens sind die sehr günstigen Komponenten. Es wer-

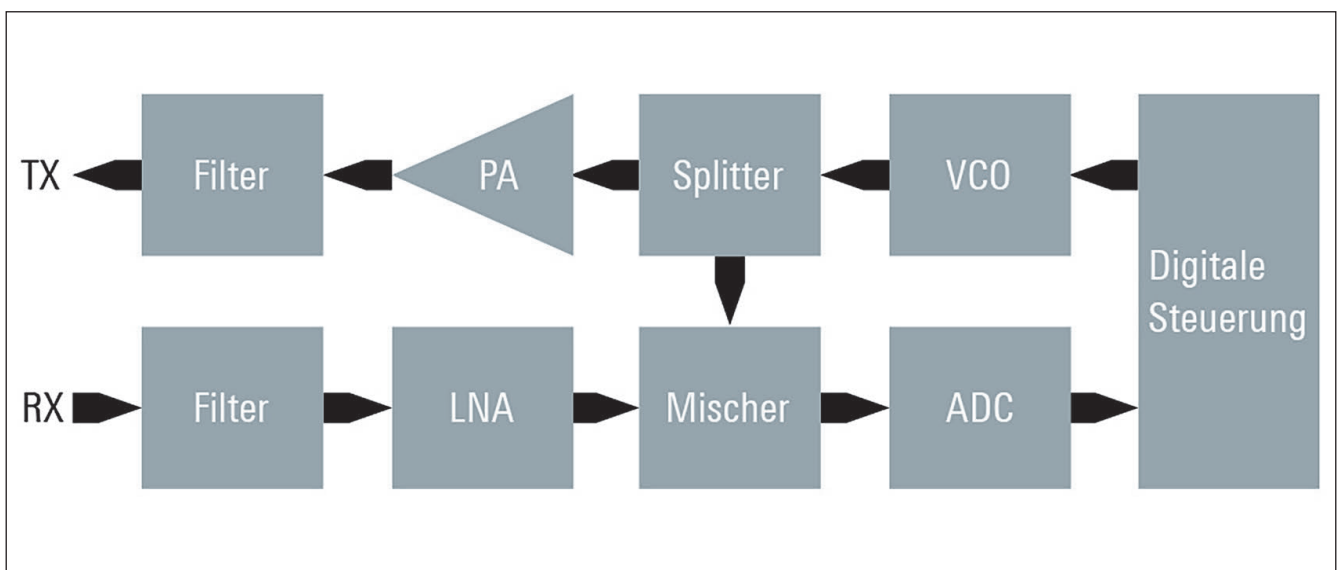


Bild 1: Vereinfachter Aufbau eines FMCW-Radars. Das empfangene Signal wird mit dem aktuellen Sendesignal gemischt. Lediglich die resultierende, relativ schmalbandige „Beat Frequency“ wird digitalisiert und ausgewertet.. © Rohde & Schwarz



Bild 3: Die Software-Option Transientenanalyse erweitert um die Chirp-analyse liefert in einem Bild alle wichtigen Parameter eines FMCW-Signals. © Rohde & Schwarz

den keine breitbandigen AD- oder DA-Wandler benötigt, und auch die Anforderungen an die digitale Signalverarbeitung sind dank der recht geringen Datenraten überschaubar – diejenigen an die analogen Komponenten auf der Sendeseite aber umso höher. Abweichungen von der Linearität der FM-Rampen führen unmittelbar zu einem schlechteren Signal-Rausch-Verhältnis, wodurch Objekte übersehen werden können, oder zu Geistersignalen führen, also dem Vorspiegeln von Objekten, die in Wirklichkeit nicht da sind.

Breitbandige Signalanalyse gefragt

FMCW-Radare werden auf der analogen Sende- und Empfangsseite möglichst breitbandig ausgelegt, da höhere Bandbreiten mit einer höheren Entfernungsauflösung einhergehen. Im E-Band (76 GHz bis 77 GHz bzw. 77 GHz bis 81 GHz) stehen bis zu 4 GHz zusammenhängendes Spektrum zur Verfügung, woraus eine Entfernungsauflösung von rund 7 cm resultiert. In Forschung und Entwicklung, aber auch in der Validierung muss das komplette Signal über die gesamte Modulationsbandbreite bekannt sein. Die dazu nötigen Analysebandbreiten von bis zu 4 GHz waren bis vor kurzem nur in Oszilloskopen verfügbar.

Neue Bandbreitenoptionen

Zur Validierung der Konformität nach ET-SI, FCC, etc. sind neben der Signalanalyse auch spektrale Messungen mit ei-

nem Spektralanalysator erforderlich, um Nebenausstrahlungen zu erkennen und die belegte Bandbreite zu messen. Der Signal- und Spektralanalysator R&S FSW vereint beide Funktionen. Neue Bandbreitenoptionen statten das Gerät mit Analysebandbreiten von 4,4 GHz, 6,4 GHz bzw. 8,3 GHz aus, die in der Signal- und Spektralanalyse einzigartig sind. Der Vorteil gegenüber einer Kombilösung mit Oszilloskop (für die breitbandige ZF-Abtastung) ist offensichtlich: Ein Gerät analysiert sämtliche

interessierenden Frequenzbereiche und digitalisiert sie mit hoher Dynamik. Das gilt für Signale, die auf einer Zwischenfrequenz moduliert werden, für das Sendesignal im E-Band und für das niederfrequente, mit dem Sendesignal gemischte Empfangssignal. Darüber hinaus bietet Rohde & Schwarz einen hochwertigen Spektralanalysator mit interner Eichleitung, Vorselektion und Spiegelunterdrückung an, der den Bereich von 2 Hz bis 85 GHz in einem einzigen Sweep abdeckt (Bild 3).

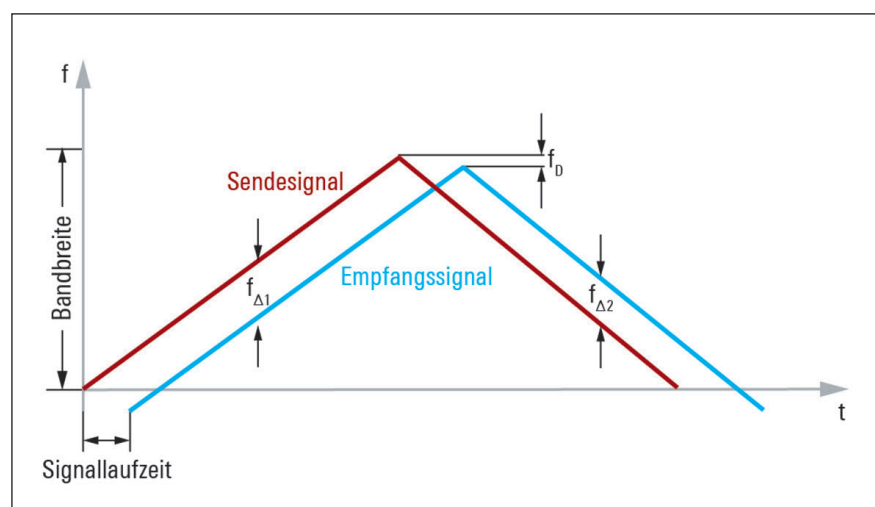


Bild 2: FMCW-Signal mit dreiecksförmiger Modulation. Zur reinen Entfernungsbestimmung würde eine entweder steigende oder fallende Flanke genügen (Sägezahn); die Zielentfernung ist in beiden Fällen proportional zur Differenzfrequenz f_{Δ} , allerdings verfälscht um die Dopplerverschiebung f_D , wenn sich Radar und Ziel relativ zueinander bewegen. Die Grafik zeigt den Fall eines sich entfernenden Objekts. Will man die Relativgeschwindigkeit anhand der Dopplerverschiebung ebenfalls ermitteln und außerdem den Doppler-Entfernungsfehler eliminieren, braucht man beide Flanken. Die Dopplerverschiebung ergibt sich dann als halbe Differenz der Differenzfrequenzen $f_{\Delta 1}$ und $f_{\Delta 2}$. Um die gewünschte Präzision zu erzielen, werden hohe Anforderungen an die Linearität der Flanken gestellt – und damit an die bei der Radarentwicklung eingesetzte Messtechnik. © Rohde & Schwarz

Maßgeschneiderte Messapplikation

Die breitbandig aufgenommenen Signaldaten liegen geräteintern zunächst in einem digitalen Format vor. Innerhalb der Analysebandbreite, Aufnahmedauer und Dynamik ist die vollständige Signalinformation enthalten, also Pegel und Phase bzw. Frequenz. Für deren Analyse stellt Rohde & Schwarz unterschiedliche Messapplikationen zur Verfügung. Speziell für die im Automobilradar eingesetzten FMCW-Signale ist das die Option Transientenanalyse mit der Erweiterung Chirpanalyse. Die Software sucht im Aufnahmespeicher gezielt nach FM-Transienten, erkennt und katalogisiert diese und stellt sie mit ihren wichtigsten Parametern in einer Tabelle dar. Einzelne Chirps im Aufnahmespeicher können gezielt ausgesucht und analysiert werden. Statistische Untersuchungen über viele Aufnahmen hinweg sind ebenfalls möglich. Wichtige Parameter sind die Chirpdauer und die Chirprate, aber auch

die Dauer des Einschwingvorgangs. Nichtlinearitäten in der Frequenzmodulation, also im Zeitbereich, sowie Frequenzabweichungen von der idealen Frequenz werden ebenfalls berechnet, grafisch dargestellt und statistisch ausgewertet.

Auf Kommendes vorbereitet

Mit dem Trend zu höheren Signalbandbreiten und der immer größer werdenden Anzahl im Fahrzeug verbauter Radarsensoren nimmt die Interferenzproblematik zu: Radarsensoren empfangen die Signale von den Radargeräten benachbarter Fahrzeuge und werden dadurch in ihrer Funktion eingeschränkt oder bewirken sogar Fehlentscheidungen angeschlossener Fahrerassistenzsysteme. Abhilfe können weitere Frequenzbänder und Signalformen schaffen. So erwägen Regulierungsbehörden die Freigabe von Frequenzen jenseits von 100 GHz für Automobilradare, z. B. das 134-bis-141-GHz-Band.

Technologien wie Software-defined Radar bieten die Möglichkeit, ganz andere Wellenformen zu nutzen, etwa das bei LTE und 5G genutzte orthogonale Frequenzmultiplexverfahren (OFDM).

Durch unterschiedliche Modulation der einzelnen Transceiver-Kanäle ließe sich die Mehrantennentechnik MIMO noch effektiver nutzen, wie Uhder das mit seinem RoC demonstriert. Es könnten auch individuelle Parameter auf die einzelnen Radarsignale moduliert werden, die die eindeutige Zuordenbarkeit des Empfangssignals ermöglichen würden. Wohin sich die Technik auch entwickelt, der R&S FSW ist mit bis zu 8,3 GHz Analysebandbreite und einer Vielzahl von Messapplikationen schon heute dafür gerüstet.. ■ (oe)

www.rohde-schwarz.com



Martin Schmähling ist Produktmanager Signal- und Spektrumanalyse bei Rohde & Schwarz.



emotive

Testing Next Generation

Komplexität beherrschen • barrierefrei, einfach
prozesssicher • 100% standardkonform

Open Test Framework
Open Test Runtime
Open Test Player



www.emotive.de

OTX

ISO 13209