



© Rohde & Schwarz

MESSTECHNIK

Analyse von Radarsignalen mit dem **Oszilloskop**

Radarsensoren müssen im Labor detailliert charakterisiert werden. Oszilloskope sind dafür prädestiniert, denn sie können mehrere Kanäle gleichzeitig analysieren und exakt zueinander in Bezug setzen. Die Radarsignale werden dabei entweder direkt vom Radarsensor als Basisbandsignal abgegriffen oder per Mischer auf die Bandbreite des Oszilloskops heruntergemischt.

Für Fahrerassistenzsysteme wie auch für künftige, vollständig autonom fahrende Fahrzeuge werden derzeit kompakte Radarsensoren mit großer Reichweite und hoher Auflösung entwickelt. Diese im Frequenzband zwischen 76 GHz und 81 GHz operierenden Sensoren nutzen phasengesteuerte Gruppenantennen zur Gewinnung der Ortsinformation. Die Genauigkeit der gewonnenen Daten korreliert unmittelbar mit der Genauigkeit der relativen Phasenlage der emittierten Signale zueinander, sodass der Feinabstimmung des Antennensystems eine präzisionsentscheidende Bedeutung zukommt.

Das Charakterisieren dieser Sensoren in der Entwicklung erfordert wegen der hohen Frequenzen aufwendige Messtechnik. Für viele dieser Messun-

gen ist ein Spektrumanalysator mit hoher Messdynamik und ausgefeilten Analysemöglichkeiten hervorragend geeignet. Er verfügt meistens jedoch nur über einen Eingangskanal und kann deshalb die Phasendifferenz mehrerer Signale zueinander nicht messen. Hier sind Oszilloskope im Vorteil. Das R&S RTP von Rohde & Schwarz beispielsweise kann mit seinen vier Kanälen als phasenkohärenter Empfänger arbeiten und bis zu vier Signale gleichzeitig analysieren und zueinander in Beziehung setzen.

Messaufbau

Die Radarsignale müssen mit externen Mixern zuerst in den Bandbreitenbereich des Oszilloskops heruntergemischt werden (Bild 1). Die in diesem Beispiel eingesetzten Mischer verwen-

den die 6. Harmonische eines Lokaloszillators (LO) zum Erzeugen der gewünschten Mischfrequenz. Als LO-Quelle dient ein Signalgenerator, als Radarsignalquelle das Evaluationsboard eines kommerziellen Radarsensors.

Das Radarsystem verwendet ein sogenanntes Chirp-Sequence-Signal, das sich aus mehreren, unmittelbar aufeinanderfolgenden Hochfrequenzpulsen zusammensetzt. Jeder dieser Pulse besteht aus einem ca. 4 GHz breiten Chirp. Der Sensor wird so konfiguriert, dass die Frequenz des Radarsignals beginnend bei 77 GHz auf nahezu 81 GHz linear steigt (Up-Chirp). Ist eine Sequenz abgeschlossen, folgt eine Pause von mehreren Millisekunden (Inter Frame Time). In dieser Zeit berechnet der Radarchip den Ort und die Geschwindigkeit der erfassten Objekte.

Von den Mischern gelangen die ZF-Signale an das Oszilloskop. Mit den in Hard- und Software vorhandenen De-Embedding-Funktionen können die S-Parameter der einzelnen Komponenten im Signalpfad berücksichtigt und Verluste kompensiert werden. Das empfangene Signal wird im gesamten Frequenzbereich abgeschwächt und zu höheren Frequenzen hin mit fallender Amplitude detektiert. Diese Verluste korrigiert das De-Embedding, sodass das Oszilloskop den tatsächlichen Signalverlauf analysieren kann.

Trigger

Für die zuverlässige Analyse von Signalen mit einem Oszilloskop sind stabile

Triggerbedingungen unerlässlich. Oszilloskope beherrschen üblicherweise außer dem klassischen Flankentrieger auch fortgeschrittene Triggereinstellungen. Je nach Hersteller sind diese jedoch nur bis zu einer gewissen Bandbreite verfügbar. Beim R&S RTP ist dank des digitalen Triggers die gesamte Triggerpalette bis zur maximalen Bandbreite verwendbar.

Ein einfacher Flankentrieger ist für diese Messaufgaben nicht sinnvoll, denn er triggert das Oszilloskop aufgrund der Beschaffenheit des Radarpulses an nahezu jeder beliebigen Stelle des Signals. Nützlicher ist hier der Weitentrieger, mit dem auf die Pause (Inter Frame Time) zwischen den Radarpulsen getriggert werden kann. Damit lassen

sich einzelne Pulse oder auch ganze Pulssequenzen isolieren und analysieren. Die Triggerbedingung ist auf bestimmte Parameter des Radarsignals konfigurierbar, beispielsweise um nur Pulse mit einer bestimmten Dauer anzuzeigen.

Demodulation

Für eine möglichst große räumliche Auflösung arbeiten aktuelle Automotive-Radarmodule mit Bandbreiten von bis zu 4 GHz. Das R&S RTP erfüllt die damit einhergehenden messtechnischen Anforderungen. Mit seiner hohen Abstrakte und dem großen Speicher erfasst es das heruntergemischte Radarsignal mit ausreichend hoher Abtastfrequenz. Bereits die in der Grundausstattung vorhandenen Analysewerkzeuge reichen aus, um die Modulation innerhalb des Radarsignals zu prüfen. Das verwendete Signal beginnt bei 1 GHz und steigt linear auf 5 GHz an. Eine erste Überprüfung dieser Frequenzen beginnt mit der Frequenzmessung. Sie wird so konfiguriert, dass innerhalb einer Erfassung sehr viele Frequenzmessungen durchgeführt werden (Frequency Track). Das Resultat ist die Darstellung der heruntergemischten Frequenz über der Zeit $f_{ZF}(t)$.

Bei höheren Frequenzen liegen die Datenpunkte näher beieinander und erschweren die Messung. Häufig steigt dadurch auch das Rauschen, das sich jedoch mit einem Tiefpassfilter der Mathematikfunktion des Oszilloskops glätten lässt. Es ist aber auch möglich, eine neue Skalierung auf $f_{ZF}(t)$ anzuwenden (Anhebung der Frequenzachse), um das Signal wie in der Luftübertragungsstrecke $f_{HF}(t)$ darzustellen (Bild 2).

Weitere Messfunktionen helfen dabei, wichtige Parameter wie die Anstiegszeit der linearen Frequenzmodulation schnell zu bestimmen, z. B. die FFT-Funktion des Oszilloskops. Damit wird der zeitliche Verlauf des Radarsignals als Spektrogramm visualisiert. Diese beiden Analysemethoden ermöglichen eine erste Überprüfung der Bandbreite und der Modulation.

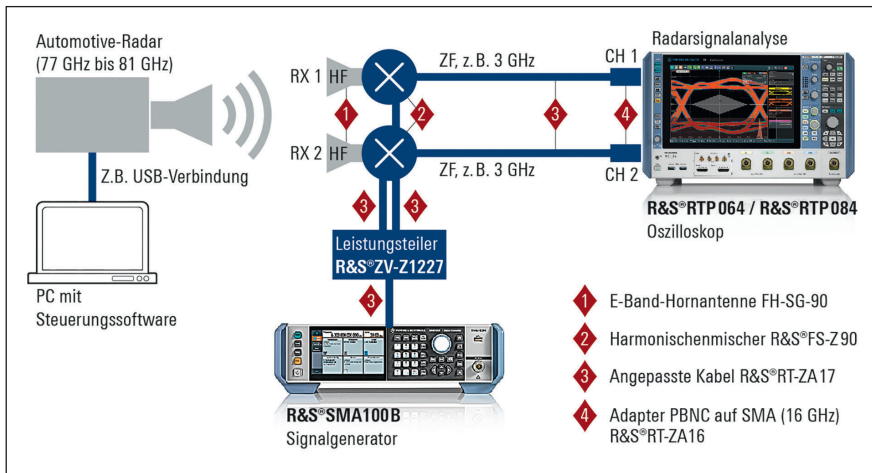


Bild 1: Messaufbau für die Mehrkanal-Radaranalyse mittels Oszilloskop. Das Radarsignal wird mit den Harmonischenmischern in eine Zwischenfrequenz von 3 GHz umgesetzt und an das Oszilloskop geleitet. Bei einem Messaufbau mit nur einem Kanal entfallen der Leistungsteiler und ein Mischer. © Rohde & Schwarz

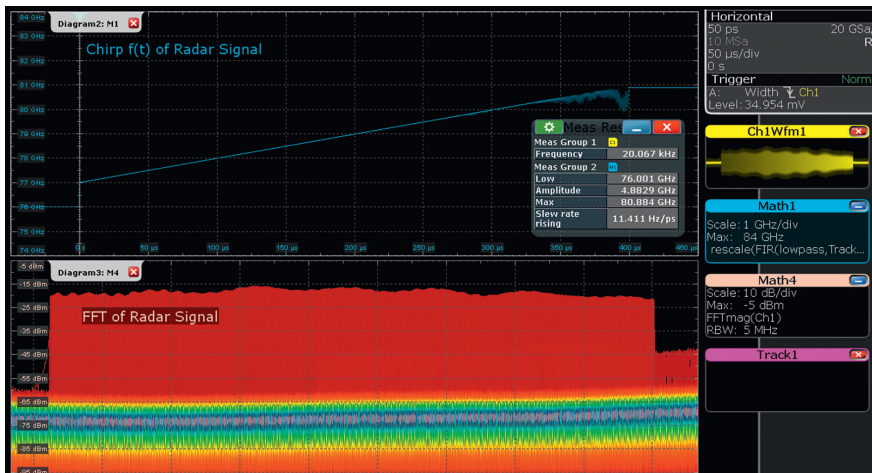


Bild 2: Oben: Mit passender Skalierung und Filterung wird das Signal wie in der Luftübertragungsstrecke $f_{HF}(t)$ dargestellt. Messfunktion ergeben wichtige Parameter wie den Frequenzanstieg des Chirps (slew rate). Unten: Die FFT zeigt den Leistungsverlauf entlang des Chirps an.

© Rohde & Schwarz

Pulsanalyse

Die Software Vector Signal Explorer VSE enthält ausgefeilte Analysewerkzeuge

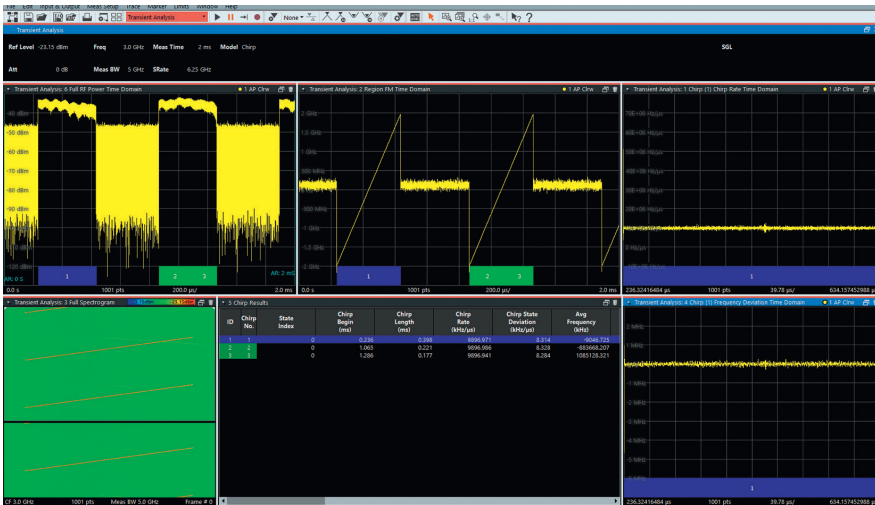


Bild 3: Transientanalyse eines Chirp-Sequence-Signals mit der VSE-Softwareoption Transientanalyse R&S VSE-K60c. Links oben ist die Leistung der Pulse als Funktion der Zeit dargestellt. Die lineare Frequenzmodulation ist in der Mitte oben sowie im Spektrogramm (links unten) zu sehen. Die Software listet die Eigenschaften detektierter Pulse tabellarisch auf (unten Mitte), sie können auch grafisch detailliert untersucht werden, wie die Chirp-Rate sowie Abweichungen der Frequenz (rechts). © Rohde & Schwarz



Bild 4: Mehrkanalmesung einer Chirp-Sequence. Dargestellt sind die Pulse im Zeitbereich (oben), die Spektren der einzelnen Kanäle (Mitte) sowie die Amplituden- (links unten) und Phasendifferenz (rechts unten). © Rohde & Schwarz

zum Untersuchen von Radarsignalen, beispielsweise zum Prüfen der Linearität eines FMCW-Radarsignals (Frequency Modulated Continuous Wave), die einen großen Einfluss auf die Dopplereigenschaften eines Ziels hat. Die Transientanalyse führt diese Messung mit hoher Genauigkeit durch (Bild 3). Sie zeigt die Frequenzmodulation $f_{ZF}(t)$ an und berechnet die Abweichung von der idealen Phase.

Phasen- und Amplitudendifferenz mit Mehrkanalanalyse

Viele Automotive-Radare sind mit mehreren Empfangs- und Sendeantennen (Arrays) ausgestattet. Diese bewirken die Richtwirkung der Antennen und erlauben das Beamforming oder die Richtungsdetektion der Ziele. Um beispielsweise die Sendeeigenschaften gezielt

zu untersuchen, können mehrere Mischer gleichzeitig am Oszilloskop betrieben werden. Der Aufbau ähnelt demjenigen für die Einkanalanalyse, das LO-Signal muss lediglich an alle Mischer verteilt werden (siehe Bild 1).

Als phasenkohärenter Empfänger bietet das Oszilloskop die Möglichkeit, mehrere Signale zueinander in Bezug zu setzen. Übliche Analysen sind die Unterschiede in der Phase und die Differenz der beiden Spektren. Auch dafür ist die FFT-Funktion des R&S RTP hilfreich. Zuerst werden die Amplitudenspektren der einzelnen Kanäle erzeugt und dann in einem dritten Kanal per Mathematikfunktion die Differenz gebildet.

Für die Phasenmessung wird der Analysebereich auf einen engen zeitlichen Korridor begrenzt und aus den per FFT ermittelten Phaseigenschaften die Differenz der beiden Phasen der Ein-

gangskanäle gebildet (Bild 4). Der Vorteil des Umwegs über die FFT liegt im größeren zeitlichen Analysebereich. Während eine einzelne Messung der Phasendifferenz im Zeitbereich stark von Rauschen dominiert sein kann, werden im Frequenzbereich mehrere Perioden des Signals miteinander verglichen, weshalb die Messungen mit einer deutlich kleineren Messunsicherheit behaftet sind.

Fehlersuche durch Korrelation von Radarsignalen mit anderen elektrischen Signalen

Das R&S RTP kann die Amplituden- und Phasendifferenz mehrerer Antennenpfade gleichzeitig messen und die Radarsignale mit weiteren elektrischen Signalen wie der Spannungsversorgung oder mit digitalen Bussignalen korrelieren. Insbesondere die simultane Erfassung des CAN- oder Automotive-Ethernet-Signals zusammen mit den Radarsignalen ist bei der Entwicklung und Fehlersuche hilfreich. So kann die Analysezeit des Radarsensors als Verzögerung zwischen dem Radarsignal und dem Busprotokoll unmittelbar bestimmt werden. Überschreitet die gemessene Verzögerung eine zeitliche Vorgabe, ist das für den Einsatz in autonomen Fahrzeugen nicht akzeptabel.

Fazit

Das Oszilloskop R&S RTP charakterisiert effizient die neue Radarsensorgeneration. Die Radarsignale werden entweder direkt vom Radarsensor als Basisbandsignal abgegriffen oder per Mischer auf die Bandbreite des Oszilloskops heruntergemischt. Die ausgefeilten Trigger- und Analysewerkzeuge des Oszilloskops und eine leistungsfähige Pulsanalyse-Software unterstützen bei der Charakterisierung und der Fehlersuche. ■ (oe)

www.rohde-schwarz.com

Dr. Ernst Flemming ist Direktor Oszilloskop-Produktmanagement bei Rohde & Schwarz.

Dr. Andreas Ritter ist Applikationsingenieur Oszilloskope bei Rohde & Schwarz.