

ANALYSE VON AUTOMOTIVE-RADARSIGNALEN MIT DEM OSZILLOSKOP

Automotive-Radare auf dem Prüfstand

eGuide | Version 01.00

ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real





DIE WELT DURCH SENSOREN SEHEN

Wie kaum etwas anderes steht das fahrerlose Auto für die Macht, mit der Zukunftstechnologien und die Digitalisierung unser alltägliches Leben verändern werden. Das automatisierte, vernetzte Fahren verspricht eine deutliche Steigerung von Verkehrssicherheit und Komfort. Einem autonomen Fahrzeug zu vertrauen, ist dennoch für viele ein großer Schritt.

Beim autonomen Fahren sind fünf Stufen definiert: vom assistierten zum teilautomatisierten, hochautomatisierten, vollautomatisierten bis zum autonomen Fahren. Teilautomatisierte Systeme (Stufe 2) sind bereits Realität, eine Serienreife für hochautomatisiertes Fahren (Stufe 3) ist in Entwicklung.

Gemeinsam mit anderen Sensoren wie Lidar, Kameras und Ultraschall spielen Radare eine Schlüsselrolle bei gegenwärtigen und zukünftigen Fahrerassistenzsystemen (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS). Automotive-Radare dienen den Fahrzeugen als Auge, sie werden bereits millionenfach hergestellt, in Premiumfahrzeugen gehören sie schon zur Serienausstattung. Radare stört es nicht, wenn es neblig ist oder schneit. Indem sie Lage, Abstand und Geschwindigkeit messen, können sie kritische Situationen vorhersehen und Unfälle vermeiden.

Mit jeder Automatisierungsstufe steigt die Zahl der Radarsensoren pro Fahrzeug. Hochautomatisiertes Fahren stellt naturgemäß hohe Ansprüche an die Technik. Die neuesten Systeme nutzen den Mikrowellenlängenbereich, um die Reichweite, Geschwindigkeit und den relativen Winkel erkannter Objekte zu ermitteln und erkennen sogar kleinste Bewegungen. Bandbreite ist nur durch noch mehr Bandbreite zu toppen: Die nächste Generation von Automotive-Radarsensoren wird 4 GHz-breite Signale verwenden.

Jede Radar-Komponente und deren Integration ins Fahrzeug muss streng getestet werden um eine zuverlässige Funktion zu gewährleisten. Dieser eGuide beschreibt, wie Sie mit einem R&S®RTP Oszilloskop Radarsensoren messen und kalibrieren können.

“Autonomes Fahren wird kommen, aber nicht so schnell, wie manche meinen. Verlässliche rechtliche Rahmenbedingungen stehen aus. So gibt es z.B. Funktionen, die in den USA zugelassen, in Europa aber noch nicht erlaubt sind. Auch gibt es noch viele technische Hürden zu nehmen.“

Jürgen Meyer, Vice President Market Segment Automotive, Rohde & Schwarz



AUTOMOTIVE-RADARE AUF DEM PRÜFSTAND

Für Fahrerassistenzsysteme wie auch für künftige, vollständig autonom fahrende Fahrzeuge werden derzeit kompakte Radarsensoren mit großer Reichweite und hoher Auflösung entwickelt. Die im Frequenzband von 77 GHz bis 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 aufwändige Messtechnik. Für viele dieser Messungen ist ein Spektrumanalysator wie der R&S®FSW85 mit seiner hohen Messdynamik und den ausgefeilten Analysemöglichkeiten hervorragend geeignet. Er verfügt jedoch nur über einen Eingangskanal und kann deshalb die Phasendifferenz mehrerer Signale zueinander nicht messen. Hier sind Oszilloskope im Vorteil. Das R&S®RTP beispielsweise kann mit seinen vier Kanälen als phasenkohärenter Empfänger bis zu vier Signale gleichzeitig analysieren und zueinander in Beziehung setzen.

“Das Oszilloskop R&S®RTP eignet sich hervorragend zum Charakterisieren der neuen Radarsensorgeneration. Die Radarsignale werden entweder direkt vom Radarsensor als Basisbandsignal abgegriffen oder per Mischer auf die Bandbreite des Oszilloskops heruntergemischt.”

Dr. Ernst Flemming, Director of Oscilloscope Product Management, Rohde & Schwarz

MESSAUFBAU

Die Radarsignale müssen mit externen Mixern zuerst in den Bandbreitenbereich des Oszilloskops heruntergemischt werden (Bild 1). Die in diesem Beispiel eingesetzten R&S®FS-Z90 Harmonischenmischer verwenden die 6. Harmonische eines Lokaloszillators (LO) zum Erzeugen der gewünschten Mischfrequenz. Als LO-Quelle dient der R&S®SMA100B HF- und Mikrowellen-Signalgenerator, als Radarsignalquelle das Evaluationsboard eines kommerziellen Radarsensors.

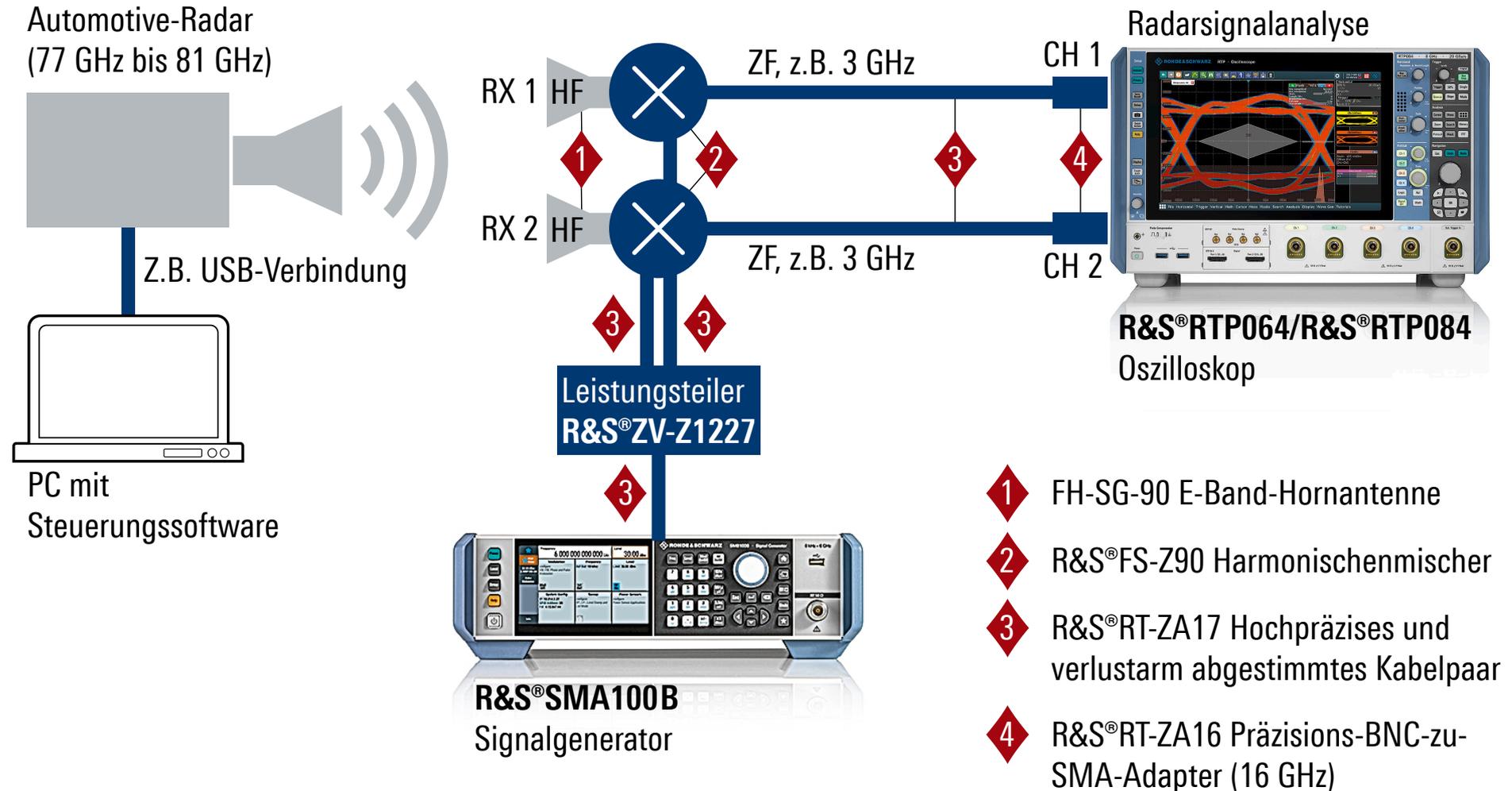


Bild 1: Messaufbau für die Mehrkanal-Radaranalyse mittels Oszilloskop. Das Radarsignal wird mit den Harmonischenmischern in eine Zwischenfrequenz von 3 GHz umgesetzt und an das Oszilloskop geleitet.

Bei einem Messaufbau mit nur einem Kanal entfallen der Leistungsteiler und ein Mischer.

MESSAUFGABE

KONFIGURATION DES RADARSENSORS

Das Radarsystem verwendet ein sogenanntes Chirp-Sequence-Signal, das sich aus mehreren, unmittelbar aufeinanderfolgenden Hochfrequenzpulsen zusammensetzt. Jeder dieser Pulse besteht aus einem circa 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.

DEEMBEDDING-FUNKTION ERLEICHTERT DIE SIGNALANALYSE

Von den Mischern gelangen die ZF-Signale an das Oszilloskop. Mit den in Hard- und Software vorhandenen Deembedding-Funktionen des R&S®RTP können die S-Parameter der einzelnen Komponenten im Signalpfad berücksichtigt und Verluste kompensiert werden. Den Einfluss des Deembedding illustriert Bild 2. Das empfangene Signal wird durch die Mischer im gesamten Frequenzbereich abgeschwächt und zu höheren Frequenzen hin mit fallender Amplitude detektiert (Bild 2, links). Diese Verluste korrigiert das Deembedding (Bild 2, rechts), sodass das Oszilloskop den tatsächlichen Signalverlauf analysieren kann.

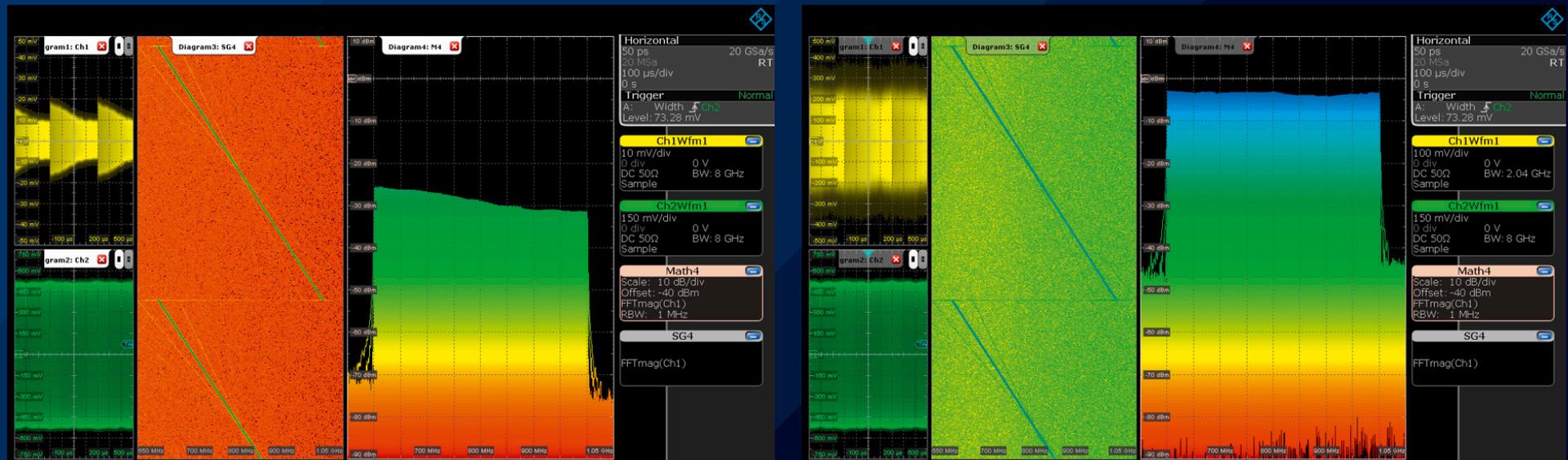


Bild 2: Ein FMCW-Signal bei deaktiviertem (linkes Bild) und aktiviertem Deembedding (rechtes Bild). Die Korrektur des Frequenzgangs rekonstruiert den tatsächlichen Signalverlauf.

MESSMÖGLICHKEITEN

EINKANALANALYSE

Isolierung einzelner Radarimpulse mit dem Weitentrigger

Für die zuverlässige Analyse von Signalen mit einem Oszilloskop sind stabile Triggerbedingungen unerlässlich. Oszilloskope beherrschen üblicherweise außer dem klassischen Flankentrigger 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 Flankentrigger 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 Weitentrigger, 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.

Siehe auch Application Card „Trigger on radar RF pulses with an oscilloscope“:

https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/pdfs/Trigger-on-radar-RF-pulses_ac_en_3609-2000-92_v0100.pdf

Überprüfung der Modulation innerhalb des Radarsignals

Für eine möglichst große räumliche Auflösung verwenden aktuelle Automotive-Radarmodule Bandbreiten von bis zu 4 GHz. Das R&S®RTP besteht die damit einhergehenden messtechnischen Anforderungen. Mit seiner hohen Abtastrate 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 heruntergemischte 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 3).

Weitere Messfunktionen helfen dabei, wichtige Parameter wie die Anstiegszeit der linearen Frequenzmodulation schnell zu bestimmen, zum Beispiel die FFT-Funktion des Oszilloskops. Damit wird der zeitliche Verlauf des Radarsignals als Spektrogramm dargestellt. Diese beiden Analysemethoden (Bild 2 und Bild 3) erlauben eine erste Überprüfung der Bandbreite und der Modulation.

Untersuchung eines FMCW-Radarsignals mit der Transientenanalyse der R&S®VSE Software

Die R&S®VSE Vector Signal Explorer Software enthält ausgefeilte Analysewerkzeuge zum Untersuchen von Radarsignalen, beispielsweise zum Prüfen der Linearität eines FMCW-Radarsignals (Frequency Modulated Continuous Wave), die einen großen Einfluss auf die Doppler-Eigenschaften eines Ziels hat. Die Softwareoption R&S®VSE-K60C Transienten-Chirp-Messungen führt diese Messung mit hoher Genauigkeit durch (Bild 4). Sie zeigt die Frequenzmodulation $f_{ZF}(t)$ an und berechnet die Abweichung von der idealen Phase. Die Software kann direkt auf dem Oszilloskop oder auf einem externen Rechner installiert werden. Im letzteren Fall werden die Daten zum Beispiel via Ethernet vom Oszilloskop an den Rechner übertragen.

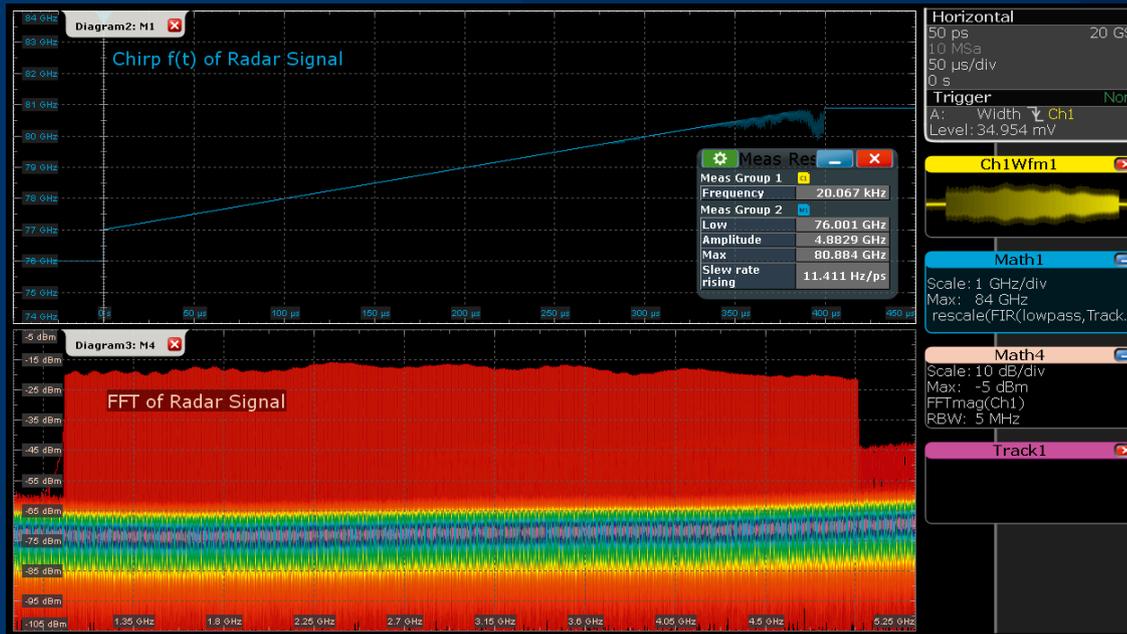


Bild 3: Oben: Mit passender Skalierung und Filterung wird das Signal wie in der Luftübertragungsstrecke $f_{HF}(t)$ dargestellt. Messfunktionen ergeben wichtige Parameter wie den Frequenzanstieg des Chirps (Slew-Rate). Unten: Die FFT zeigt den Leistungsverlauf entlang des Chirps an.



Bild 4: Transientanalyse eines Chirp-Sequence-Signals mit der Softwareoption R&S[®]VSE-K60C Transienten-Chirp-Messungen. 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).

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 (Bild 1).

Oszilloskop als phasenkohärenter Empfänger

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.

Phaseneigenschaften per FFT ermitteln

Für die Phasenmessung wird der Analysebereich auf einen engen zeitlichen Korridor begrenzt und aus den per FFT ermittelten Phaseneigenschaften die Differenz der beiden Phasen der Eingangskanäle gebildet (Bild 5).

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.



Bild 5: Mehrkanalmessung einer Chirp-Sequenz. Dargestellt sind die Pulse im Zeitbereich (oben), die Spektren der einzelnen Kanäle (Mitte) sowie die Amplituden- (links unten) und Phasendifferenz (rechts unten).

FEHLERSUCHE DURCH KORRELATION VON RADARSIGNALEN MIT ANDEREN ELEKTRISCHEN SIGNALEN

Simultane Erfassung von CAN- oder Automotive-Ethernet-Signal mit Radarsignal

Das R&S®RTP Oszilloskop kann die Amplituden- und Phasendifferenz mehrerer Antennenpfade gleichzeitig messen und die Radarsignale mit weiteren elektrischen Signalen wie der Spannungsversorgung oder mit digitalen Bussignalen korrelieren (Bild 6). 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.

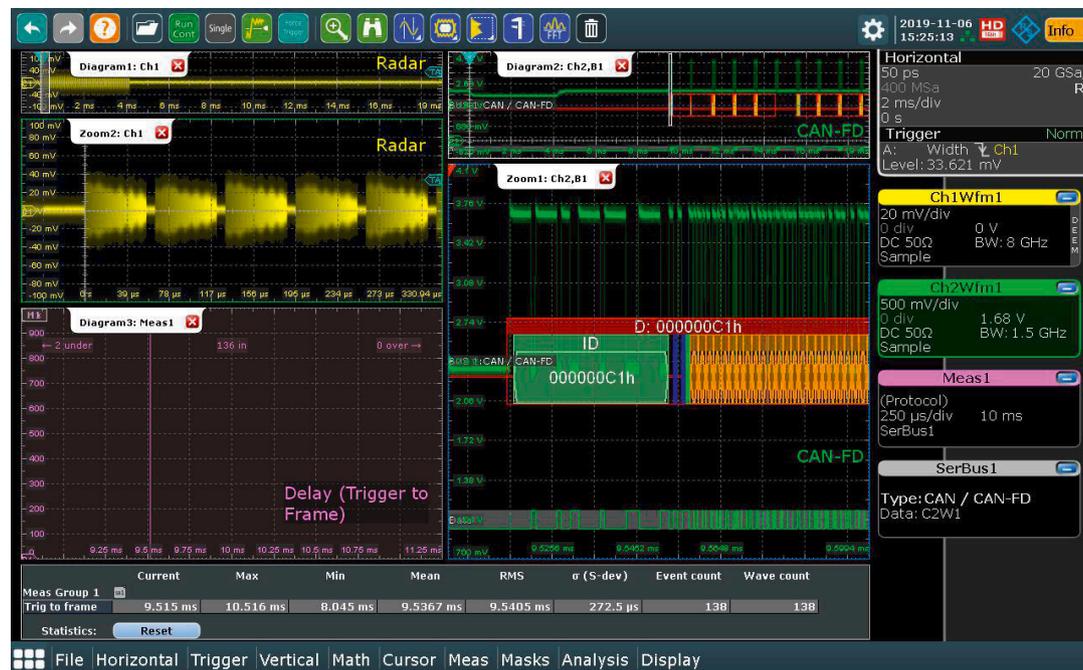
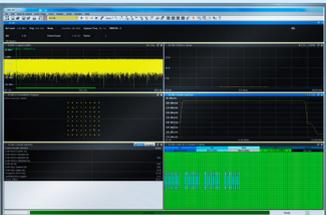


Bild 6: Zeitmessung zwischen Radarsignal (links) und CAN-Protokollframe (rechts). Das Oszilloskop triggert auf das Radarsignal und misst mit der Messfunktion „Trigger to Frame“ (unten links) die Zeitdifferenz von 9,54 ms zwischen dem Aussenden des Radarsignals und dem Start der Protokollübertragung.

PORTFOLIO

	Typ	Bezeichnung	Anwendung
	R&S®RTP064/R&S®RTP084	Oszilloskop	Radarsignalanalyse auf bis zu vier Kanälen
	R&S®SMA100B	Signalgenerator	Lokaloszillator-Quelle
	R&S®ZV-Z1227	Leistungsteiler	LO-Signal wird auf die beiden Harmonischenmischer verteilt
	2 × FH-SG-90	E-Band-Hornantenne	Hornantenne empfängt das Radarsignal
	2 × R&S®FS-Z90	Harmonischenmischer	Das Radarsignal wird mit den Harmonischenmischem in eine Zwischenfrequenz von 3 GHz umgesetzt.
	R&S®RT-ZA17	Hochpräzises und verlustarm abgestimmtes Kabelpaar, Länge: 1 m	Angepasste HF-Kabel mit 3.5 mm Stecker an beiden Enden
	R&S®RT-ZA16	Präzisions-BNC-zu-SMA-Adapter	Adaption von SMA- auf BNC-Anschlüsse am R&S®RTP
	R&S®VSE	Vector Signal Explorer Software	Die Softwareoption R&S®VSE-K60C Transienten-Chirp-Messungen führt die Transientenanalyse mit hoher Genauigkeit durch.

TESTLÖSUNGEN FÜR DEN AUTOMOTIVE-BEREICH

Als weltweit führender Messtechnikhersteller bietet Rohde&Schwarz umfassendes Know-how für alle Entwicklungsphasen in der Automobilindustrie, von der Vorentwicklung über F&E bis hin zur Produktion. OEMs, Tier-1-Zulieferer und Chiphersteller profitieren von den zuverlässigen Testlösungen des Unternehmens, die die Herausforderungen hoher Frequenzen, Bandbreiten und Geschwindigkeiten einwandfrei meistern. Rohde&Schwarz ist Marktführer bei Testlösungen für Radarsensoren, Automotive-Ethernet-Konformität, Connectivity (5G, V2X, eCall, GNSS), Infotainment, EMI-Precompliance und EMV-Konformität. Das Unternehmen verfügt außerdem über erstklassige Lösungen für In-Circuit- und Funktionstests bei der Produktion elektronischer Steuergeräte. All diese Testlösungen liefern größtmögliche Effizienz und dienen der Sicherstellung höchster Qualitätsstandards. Sie sorgen so dafür, dass die verschiedenen Fahrzeugkomponenten einwandfrei funktionieren, reibungslos zusammenspielen und fehlerfrei mit der Außenwelt kommunizieren.

Automotive Radar - Chirp Analysis with R&S RTP Oscilloscope Application Note

Products:

- RSP1RTP
- RSP1VE
- RSP1MA1000
- RSP1VC100-4000
- RSP1S-200

FM/CW radar sensors are used in vehicles for adaptive cruise control and for blind spot, lane change and cross traffic warnings. Radar sensors for acquisition of the surroundings are key components for future vehicles with semi-autonomous and fully autonomous driving. Autonomous driving requires radar that reliably detect objects in the surrounding area. Radar makes it possible to quantify and precisely measure the radar velocity, range and azimuth and detection angle of movable objects. For this reason, the automotive industry is increasingly using this technology in advanced driver assistance systems (ADAS). Rohde & Schwarz offers R&S solutions for generating, measuring and analyzing radar signals and components to ensure trouble-free operation of these sensors. The high-performance oscilloscope RSP1RTP offers the measurement channels in the perfect solution for multi-channel measurements on MMIO radar sensors and correlation with other signals (e.g. driver state), whereas a spectrum analyzer such as the RSP1PS100 offers highest dynamic up to 85 GHz.

This application note focuses on how to measure and analyze FM/CW radar signals with up to 8 GHz bandwidth with an RSP1RTP oscilloscope. On-board analysis features for chirp analysis for single- and multi-channel measurements will be addressed as well as the combination of oscilloscope and RSP1VE software. Measurement of an FM/CW radar signal in the 77-85 GHz band with 4 GHz bandwidth is demonstrated.

Note:
The latest version of this document is available on our homepage:
<http://www.rohde-schwarz.com/appnote/GFA10>

ROHDE & SCHWARZ

Die Analyse von Radarsignalen ist ausführlich in der Applikationsschrift „Automotive Radar – Chirp Analysis with R&S®RTP Oscilloscope“ beschrieben.

https://www.rohde-schwarz.com/applications/automotive-radar-chirp-analysis-with-r-s-rtp-oscilloscope-application-note_56280-667909.html



https://www.rohde-schwarz.com/video/77-ghz-automotive-radar-part-3-video-detailpage_251220-666562.html

Rohde & Schwarz

Der Elektronikkonzern Rohde & Schwarz bietet innovative Lösungen in folgenden Geschäftsfeldern: Messtechnik, Rundfunk- und Medientechnik, Sichere Kommunikation, Cyber-Sicherheit sowie Monitoring and Network Testing. Vor mehr als 80 Jahren gegründet, ist das selbstständige Unternehmen mit seinem Firmensitz in München in über 70 Ländern mit einem engmaschigen Vertriebs- und Servicenetz vertreten.

www.rohde-schwarz.com

Rohde & Schwarz Customer Support

www.rohde-schwarz.com/support

R&S® ist eingetragenes Warenzeichen der Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
Eigennamen sind Warenzeichen der jeweiligen Eigentümer
PD 3609.9663.91 | Version 01.00 | April 2020 (jr)
Analyse von Automotive-Radarsignalen mit dem Oszilloskop
Daten ohne Genauigkeitsangabe sind unverbindlich | Änderungen vorbehalten
© 2020 Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG | 81671 München

3609966391



3609.9663.91 01.00 PDP 1 en