NEUES

208/13

ROHDE&SCHWARZ

USB-Leistungssensoren für alle Zwecke

Höchste Präzision im Handheld-Format – dies kennzeichnet die Messköpfe. Und zur Messwertanzeige genügt jetzt sogar ein Smartphone. Außerdem im Heft: der erste Sensor von DC bis 110 GHz.

WIRELESS-TECHNOLOGIEN

Weltweit erstes Zulassungstestsystem für Funksysteme im 2,4-GHz- und 5-GHz-Band

ALLGEMEINE MESSTECHNIK

Universal-Oszilloskope: Zeitbereichs-, Frequenzbereichs-, Logik- und Protokoll-Analyse in einem Gerät

RUNDFUNK

Mittel- und Kleinleistungssender mit geringem Platzbedarf ergänzen neue Sendergeneration

Impressum

Herausgeber: Rohde&Schwarz GmbH&Co. KG
Mühldorfstraße 15 · 81671 München
Postfach 801469 · 81614 München
Support-Center: Tel. +49 89 4129 123 45
E-Mail: customersupport@rohde-schwarz.com
Fax +49 89 4129 137 77
www.rohde-schwarz.com

Redaktion und Layout: Redaktion Drexl&Knobloch GmbH (München)
Fotos: Rohde&Schwarz
Printed in Germany
53. Jahrgang; Auflage 75000 (deutsch, englisch, französisch, spanisch und japanisch)
Erscheinungsweise: ca. dreimal pro Jahr
ISSN 0548-3093
Bezug kostenlos über die Rohde&Schwarz-Vertretungen
Nachdruck mit Quellenangabe und gegen Beleg gern gestattet.

PD 5214.4471.71

R&S® ist eingetragenes Warenzeichen der Rohde&Schwarz GmbH&Co. KG. Eigennamen sind Warenzeichen der jeweiligen Eigentümer. CDMA2000® ist eingetragenes Warenzeichen der Telecommunications Industry Association (TIA-USA). Die Bluetooth®-Wortmarke und -Logos sind eingetragene Warenzeichen und Eigentum von Bluetooth SIG, Inc., ihre Verwendung ist für Rohde&Schwarz lizenziert. „WiMAX Forum“ ist ein eingetragenes Warenzeichen des WiMAX-Forums. „WiMAX“, das WiMAX-Forum-Logo, „WiMAX Forum Certified“ sowie das WiMAX-Forum-Certified-Logo sind Warenzeichen des WiMAX-Forums. Alle anderen Warenzeichen sind Eigentum der jeweiligen Besitzer.

Titelthema

Als Pionier der integrierten Leistungssensoren mit USB-Anschluss baut Rohde&Schwarz sein Portfolio seit Jahren kontinuierlich aus. Der neue Messkopf R&S®NRP-Z58 fügt nun eine weitere Marktneuheit hinzu: Als erster Sensor mit einem lückenlosen Frequenzbereich von DC bis 110 GHz schlägt er die Brücke zur Anwendungswelt der Millimeterwellen (ab Seite 22).

Alles, was für schnelle und genaue Messungen erforderlich ist, haben die USB-Leistungssensoren von Rohde&Schwarz an Bord, ein Grundgerät ist nicht erforderlich. Warum sie in jedem Fall die bessere Wahl sind, beleuchtet ein Hintergrundartikel ab Seite 26.

Diente bisher zur Anzeige der Leistungsmessergebnisse oft ein PC, so geht das künftig auch mit einem Tablet oder Mobiltelefon. Die App „Power Viewer Mobile“ für Android-Geräte macht´s möglich. Sie ist kostenlos bei Google play erhältlich.

Überblick

NEUES 208/13

WIRELESS-TECHNOLOGIEN

Testsysteme

■ **Zulassungstestsystem R&S®TS8997**
Weltweit erstes Zulassungstestsystem für Funksysteme im 2,4-GHz- und 5-GHz-Band **6**

■ **Testsysteme für LBS**
Location Based Services mit GPS, GLONASS, Galileo und OTDOA **10**

Signalerzeugung und -analyse

■ **Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSW**
Vermessen von Mikrowellenverbindungen im E-Band **13**

■ **Signalgenerator R&S®SMBV100A, Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSV**
WLAN IEEE 802.11ac: Messungen jetzt auch mit Geräten der Mittelklasse **16**

■ **Signalgeneratoren**
Normenkonforme NFC-Signale – auf Knopfdruck und bis ins Detail definierbar **18**

Für Funksysteme im 2,4-GHz- und 5-GHz-Band gelten neue Anforderungen. Als weltweit Erstes deckt das Zulassungstestsystem R&S®TS8997 diese Tests ab (Seite 6).

ALLGEMEINE MESSTECHNIK

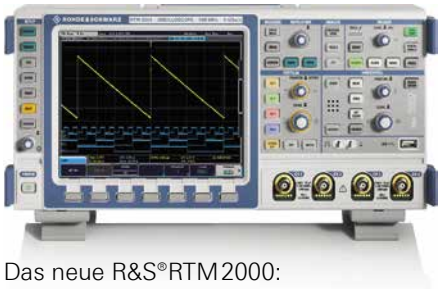
Leistungsmessung

■ **Thermischer Leistungssensor R&S®NRP-Z58**
Leistungssensor mit 1-mm-Koaxialstecker misst lückenlos von DC bis 110 GHz **22**

■ **USB-Leistungssensoren**
Die bessere Wahl: USB-Leistungssensoren von Rohde&Schwarz **26**

Oszilloskope

■ **Oszilloskop R&S®RTM2000**



Das neue R&S®RTM2000: einschalten – messen – fertig **30**

■ **Oszilloskop R&S®RTO**
R&S®RTO-Oszilloskope verifizieren die Konformität von USB-2.0-Schnittstellen **34**

Signalerzeugung und -analyse

■ **ILS/VOR Analyzer R&S®EVS300**
Präzise Messungen von Signalen satellitengestützter Landesysteme **37**

■ **Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSW**
Spitzenklasse nun bis 50 GHz **38**

Messung von Gruppenlaufzeiten: präzise, schnell, breitbandig **43**

Netzwerkanalyse

■ **Verifizierkits R&S®ZV-Z435 / -Z470**
Einfach und genau: Analyse der Messunsicherheit mit Verifizierkits **46**

■ **Netzwerkanalysator R&S®ZNB**
Komfortable Netzwerkanalyse mit bis zu 32 Toren **48**

Mit Schaltmatrizen von Rohde&Schwarz lässt sich die Zahl der Messtore des Netzwerkanalysators R&S®ZNB auf bis zu 32 erweitern (Seite 48).

EMV / FELDSTÄRKE

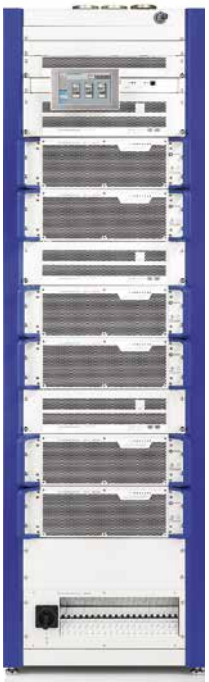
Verstärker

■ **Breitbandverstärker R&S®BBA150**
Erschließt neue Einsatzgebiete im Mikrowellenbereich **51**

Messempfänger

■ **EMV-Messempfänger R&S®ESRP**

Einfach und schnell: Diagnose- und Precompliance-Messungen..... **54**



Die neuen UHF-Mittelleistungssender R&S®TMU9 und die Kleinleistungssender R&S®MLx erobern den Markt (ab Seite 60).

RUNDFUNK

Sendesysteme

■ **TV-Senderfamilie R&S®TMU9**
Minimale Betriebskosten – maximale Flexibilität **60**

■ **TV-Kleinleistungssender R&S®MLx**
Stromversorgung und Antennen genügen **63**

Referenz

DVB-T2-Feldversuch des Bayerischen Rundfunks in München **66**

Messempfänger

■ **Cable TV Leakage Detector R&S®EFL110 / Cable TV Analyzer & Leakage Detector R&S®EFL210**

Maßgeschneidert für die Lecksuche in Breitbandkabelnetzen **68**

IM BLICKPUNKT

Antennen

Völlig neu gedacht: Kommunikations- und Aufklärungsantennen für Schiffe..... **70**

FUNKÜBERWACHUNG / -ORTUNG

Empfänger

■ **HF-Überwachungsempfänger R&S®EB510**
Lückenlose Funküberwachung im Kurzwellenbereich **75**

Systeme

■ **Signalanalysesoftware R&S®GX430**
Gleichzeitige Verarbeitung von bis zu vier Kanälen..... **78**

■ **Signalanalysesystem R&S®GX435**
Vollautomatische Funkerfassung **82**

WEITERE RUBRIKEN

■ **Impressum**.....**2**

■ **Kurznachrichten**..... **86**

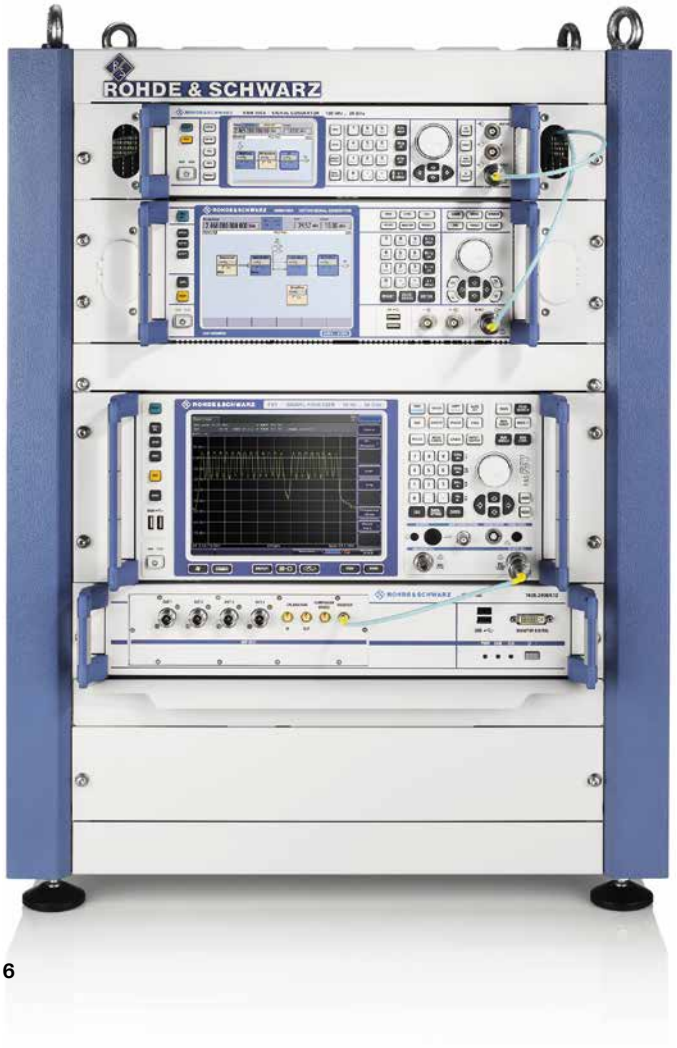
Weltweit erstes Zulassungstestsystem für Funksysteme im 2,4-GHz- und 5-GHz-Band

Für Funksysteme im 2,4-GHz- und 5-GHz-Band gelten nach der R&TTE-Richtlinie neue, erweiterte Anforderungen, die ab Januar 2015 verbindlich einzuhalten sind. Als weltweit Erstes deckt das Zulassungstestsystem R&S®TS8997 diese Tests ab. Es enthält eine speziell dafür entwickelte Leistungsmessung und eine Ablaufsteuerung.

Zahlreiche Funkdienste und Übertragungsverfahren

Die Dichte und Vielfalt der Funkdienste im lizenzfreien 2,4-GHz- und 5-GHz-Band nimmt immer stärker zu. Neben Systemen, die WLAN 802.11a/b/g/n und Bluetooth® nutzen, sind dort z. B. auch Wireless-Videoübertragungen, Funkfernsteuerungen sowie im 5-GHz-Band in Zukunft Systeme für die Car-to-Car-Kommunikation nach dem Standard 802.11p zu finden. Zahlreiche Nutzer teilen sich diesen Frequenzbereich und verwenden vielerlei Bandbreiten und Übertragungsverfahren wie Breitband-OFDM, MIMO, Frequency Hopping und Direct Sequence Spread Spectrum. Bei dieser Vielfalt gilt es, gegenseitige Störungen so weit wie möglich zu minimieren.

BILD 1 Testsystem R&S®TS8997.



Neue, erweiterte Richtlinien

Um sicherzustellen, dass sich die entsprechenden Funksysteme bei dichter Frequenzbelegung gegenseitig möglichst wenig stören, müssen sie künftig bei der Zulassung spezielle Testverfahren bestehen. Diese sind in den aktuellen überarbeiteten Normen ETSI EN 300328 und EN 301893 enthalten; beide Normen sind auch als harmonisierte Standards zur R&TTE-Richtlinie aufgeführt.

Die Überarbeitung und Erweiterung der Norm EN 300328 zur Version 1.8.1 wurde notwendig, um Methoden zu berücksichtigen, die eine Koexistenz der verschiedenen Anwendungen im 2,4-GHz-Band ermöglichen. Dazu wurden beispielsweise Adaptivitätsmechanismen definiert, die dazu beitragen sollen, dass bei zunehmender Belegung des Bandes alle Benutzer noch Zugriff auf die Ressource Frequenzspektrum haben. Alternativ können Systeme auch ohne diese Mechanismen arbeiten, wenn sie bestimmte Anforderungen hinsichtlich Leistung und Timing-Verhalten erfüllen. Alle diese Anforderungen bedingen neue und zum Teil komplexe Testmethoden. In der bisherigen Normenversion 1.7.1 waren diese Anforderungen nur rudimentär enthalten und auch keine Testmethoden dafür definiert.

Nun wurde beispielsweise ein neues Leistungsmessverfahren eingeführt, mit dem eine Vielzahl von Signalparametern wie maximale Leistung, Duty Cycle, TX Sequence, TX Gap und Medium Utilization Factor zu ermitteln ist. Es bezieht auch Mehrantennenübertragung wie MIMO ein und erfordert eine spezielle Messausrüstung. Des Weiteren sind Tests enthalten, die die Fähigkeit der Funksysteme zur Anpassung an die Umgebungsbedingungen prüfen, beispielsweise das Erkennen und Vermeiden von Kollisionen mit anderen Diensten. Sie schließen Prüflinge mit und ohne Frequency Hopping sowie mit und ohne Listen-Before-Talk-Funktion (LBT) ein.

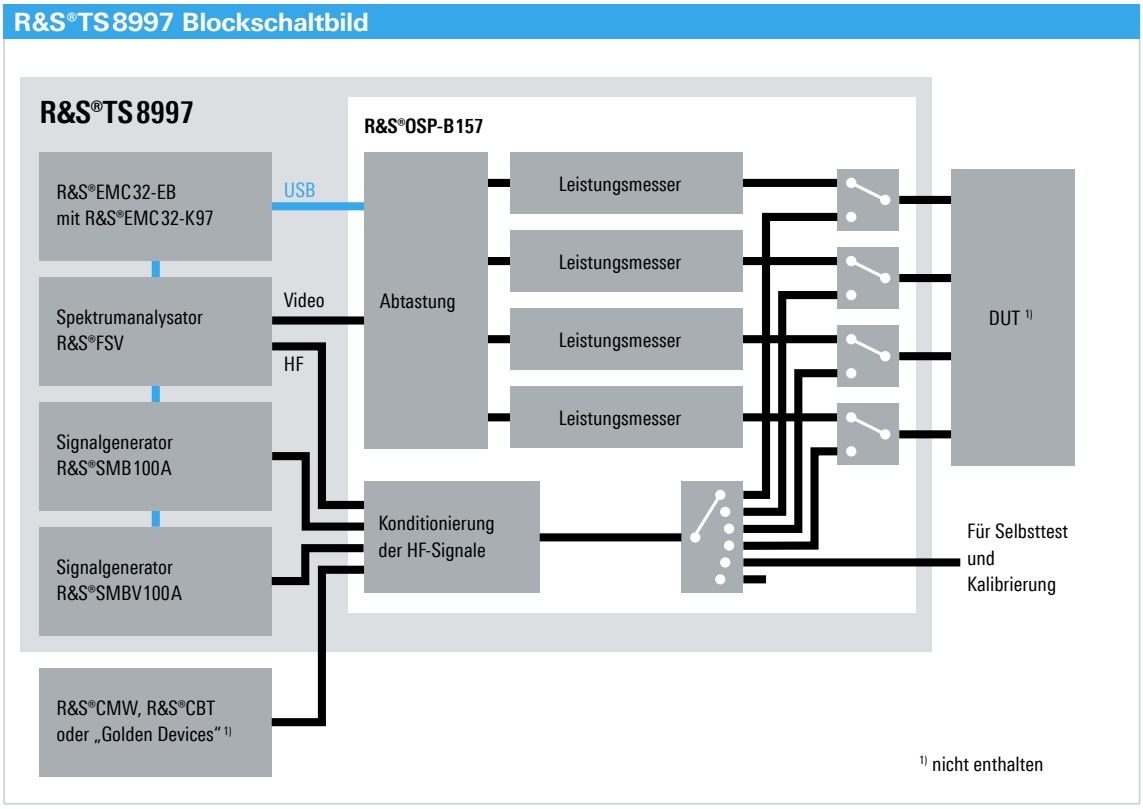


BILD 2 Blockschaltbild des Testsystems R&S®TS8997. Die komplette Leistungsmessung wurde in ein speziell entwickeltes Modul R&S®OSP-B157 zur Offenen Schalt- und Steuerplattform R&S®OSP120 integriert. Dieses Modul übernimmt darüber hinaus auch alle Pfadumschaltungen und die notwendige Signalkonditionierung für die restlichen Tests.

Zusätzlich ist eine Automatisierung der Tests erforderlich. Dem Vorgängerstandard ETSI EN 300328 v1.7.1 entsprechend durften die Tests bisher manuell mit dem Spektrumanalysator durchgeführt werden. Nach dem aktuellen Standard ETSI EN 300328 v1.8.1 müssen aus Millionen einzelner Messwerte die entsprechenden Parameter ermittelt werden. Außerdem laufen einige der Tests mehrstufig und abhängig vom vorherigen Ergebnis ab. Dies erfordert softwaregestützte Messungen.

Testsystem R&S®TS8997 für die umfassende Zertifizierung

Das Testsystem R&S®TS8997 (BILD 1 und 2) deckt alle erforderlichen Tests im 2,4-GHz-und im 5-GHz-Band vollständig ab (BILD 3) und enthält folgende Komponenten:

- Spektrumanalysator R&S®FSL oder R&S®FSV
- Offene Schalt- und Steuerplattform R&S®OSP120 mit speziellem Messmodul
- Analoger Signalgenerator R&S®SMB100A
- Vektorsignalgenerator R&S®SMBV100A
- EMV-Testsoftware R&S®EMC32 mit Messoption R&S®EMC32-K97 und -K10

Testfall	2,4-GHz-Band (ETSI EN 300328)	5-GHz-Band (ETSI EN 301893)
Trägerfrequenz	–	●
Ausgangsleistung	●	●
Leistungskontrolle	–	●
Spektrale Leistungsdichte	●	●
Duty Cycle, TX-Sequenz, TX-Gap	●	–
Dwell time, Frequenzbelegung, Hopping-Sequenz (nur für Frequency Hopping)	●	–
Frequenzabstand (nur für Frequency Hopping)	●	–
Medium Utilisation Factor (MU)	●	–
Adaptivity	●	●
Belegte Bandbreite	●	●
TX-Nebenaussendungen „Out of Band“	●	●1)
TX-Nebenaussendungen „In Band“	–	●
TX-Nebenaussendungen „Spurious“	●	–
RX-Nebenaussendungen	●	●1)
Receiver Blocking	●	–
Dynamic Frequency Selection (DFS) / Radar Detection	–	●

1) Für Nebenaussendungen oberhalb 18 GHz manuelles Umstecken des HF-Kabels.

BILD 3 Alle vom R&S®TS8997 abgedeckten Tests.

Unterstützt wurde die Spezifikation der einzelnen Testabläufe und die Verifizierung der Testfälle im R&S®TS8997 auf ihre Konformität mit der Norm ETSI EN 300328 durch das Funk-Kompetenzzentrum IMST GmbH. Das Unternehmen verfügt über umfassende Erfahrungen mit diesen Prüfungen, betreibt selbst ein akkreditiertes Prüflabor nach der R&TTE-Richtlinie und arbeitet aktiv an der Normung bei ETSI mit.

Spezielle, normkonforme Leistungsmessung

Die Norm erfordert ein spezielles Verfahren für schnelle, breitbandige Leistungsmessungen mit einer hohen Abtastrate von ≥ 1 Msample/s, ausreichend hoher Auflösung und eine ununterbrochene Messzeit von mehreren Sekunden. Dies ist im Prinzip mit speziellen analogen Detektoren und einem entsprechenden Oszilloskop möglich, erfordert aber eine an das Oszilloskop angepasste Erfassungs- und Auswertesoftware, die die mehreren Millionen Messwerte effizient verarbeiten kann.

Für das R&S®TS8997 wurde die komplette Leistungsmessung in ein speziell dafür entwickeltes Modul der Offenen Schalt- und Steuerplattform R&S®OSP120 integriert, das darüber hinaus auch alle Pfadumschaltungen und die notwendige Signalkonditionierung für die restlichen Tests übernimmt. Durch die hohe Speichertiefe und schnelle Abtastrate sind exakte Messungen auch an komplexen Signalen mit langsamer Wiederholrate in jedem Fall möglich. Die Ansteuerung, Auswertung und Anzeige der Ergebnisse erfolgt direkt über die EMV-Testsoftware R&S®EMC32.

Unterstützung von Mehrantennensystemen

Immer mehr Geräte nutzen mehrere Antennen gleichzeitig für MIMO oder Beamforming. Für diese Geräte muss die Leistung auch absolut zeitsynchron und unterbrechungsfrei erfasst werden. Deshalb ist die Leistungsmessung beim R&S®TS8997 von vornherein vierkanalig ausgeführt und unterstützt daher Messungen an allen gängigen Geräten wie beispielsweise WLAN-Routern mit 4×4-MIMO. Die parallelen A/D-Umsetzer sind synchron getaktet.

Messung mit hoher Auflösung

Die Norm fordert bis zu 30000 Messpunkte, was die im System eingesetzten Spektrumanalysatoren R&S®FSL oder R&S®FSV erfüllen (BILD 4). Bei Untersuchungen an realen Prüflingen hat es sich aber gezeigt, dass die in der Norm geforderte Anzahl an Messpunkten bei manchen Funkverfahren nicht ausreicht und zu einer erhöhten Messunsicherheit führt. Deshalb ist das R&S®TS8997 bereits für einen zusätzlichen, alternativen Messmodus mit typisch 1 Million Messpunkte vorbereitet. Dieser kann dann bei einer entsprechenden Neufassung der Norm als Softwareoption freigeschalten werden.

Automatisierte Messabläufe

Die von der Norm geforderten Messabläufe und Auswerteroutinen sind in den Optionen R&S®EMC32-K97 / -K971 / -K972 / -K973 zur EMV-Testsoftware R&S®EMC32 implementiert. Die R&S®EMC32 ist bereits in vielen Testhäusern für EMV-, Radiated-Spurious-Emission-(RSE)- und EIRP-Messungen im Einsatz und kann dort nun auch für diese Messungen verwendet werden. Dadurch ergeben sich auch durchgehende Messprozeduren, wenn zum Beispiel aufgrund der ermittelten gestrahlten EIRP-Werte die geleiteten Werte hochgerechnet werden müssen, und umgekehrt.

Die Softwareoptionen umfassen den automatisierten Ablauf aller Tests mit Abfrage der notwendigen Parameter für Geräte und Standards (BILD 5). Dies unterstützt den Anwender, da verschiedene Tests nur für bestimmte Standards notwendig sind, und gleichzeitig Ergebnisse des vorherigen Tests für den nachfolgenden berücksichtigt werden. Den Aufbau der Funkverbindung zu den Prüflingen übernehmen entweder Wideband Radio Communication Tester von Rohde&Schwarz, z.B. der R&S®CMW500, oder entsprechende „Golden Devices“.

Prüfling mit Frequenzsprungverfahren

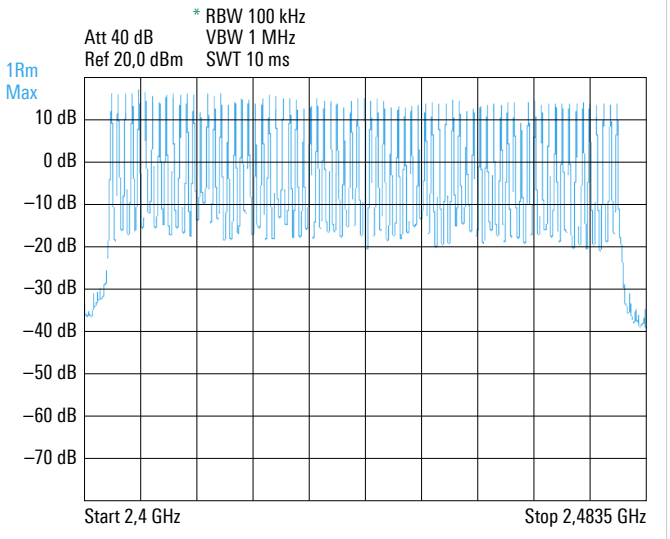


BILD 4 Beispiel: Spektrum eines Prüflings mit Frequency Hopping im 2,4-GHz-Band.

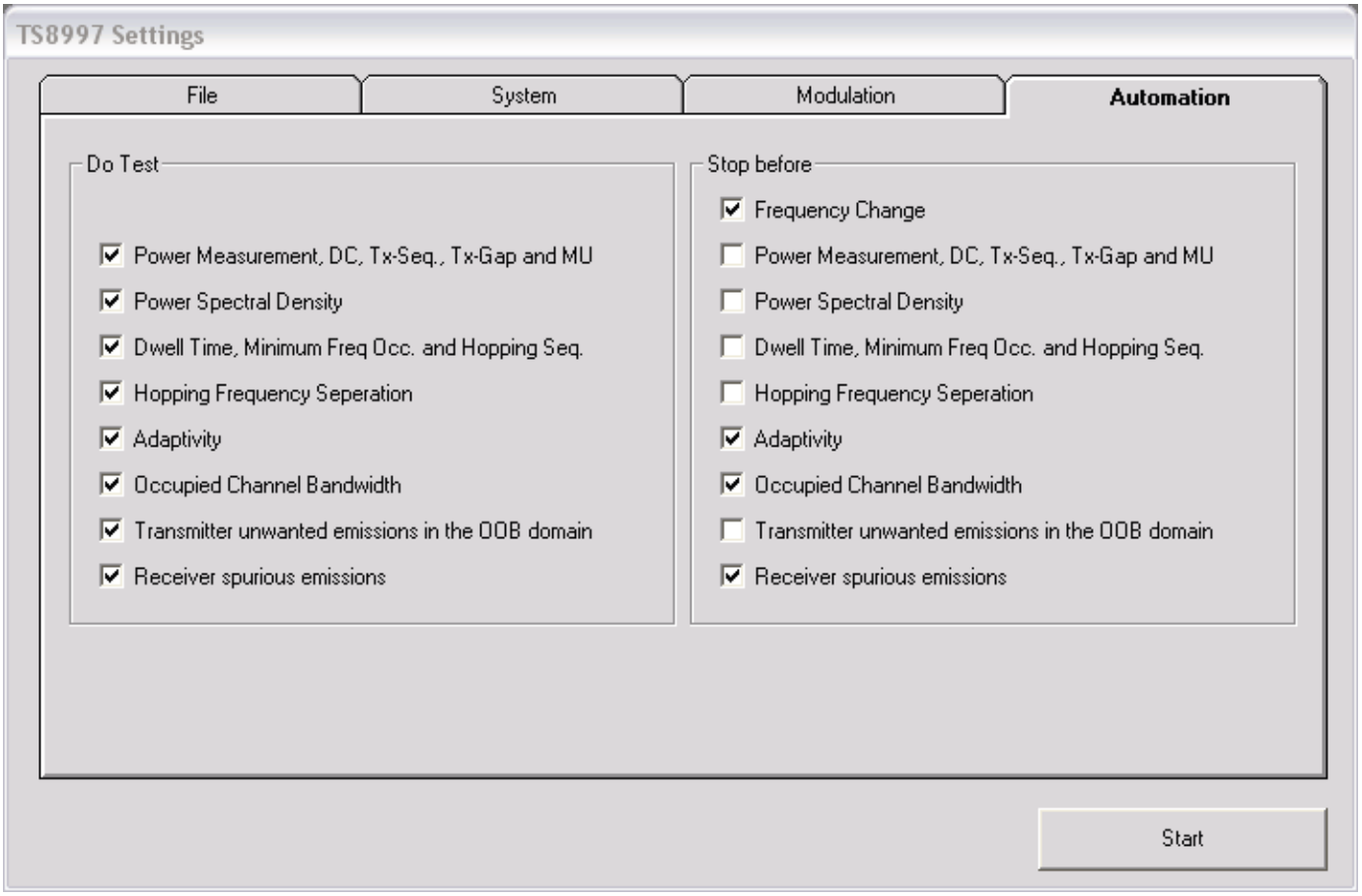


BILD 5 Bedienoberfläche im R&S®TS8997 für die automatisierte Messung der verschiedenen Testfälle in der EMV-Testsoftware R&S®EMC32.

Vorhandene Systeme zum R&S®TS8997 erweitern

Alternativ zum schlüsselfertigen Testsystem ist dank der Software R&S®EMC32 mit ihrer Vielzahl an Gerätetreibern die Verwendung anderer, bereits beim Anwender vorhandener Geräte von Rohde&Schwarz mit vergleichbarer Funktionalität möglich. Auch Systeme, die z.B. in der Entwicklung für weitere Messaufgaben eingesetzt werden, sind verwendbar. Problemlos lassen sich auch bereits vorhandene EMV-Systeme mit dem entsprechenden R&S®OSP-Modul und gegebenenfalls mit zusätzlichen Geräten erweitern.

Fazit

Das Zulassungstestsystem R&S®TS8997 ist weltweit das erste, das als Komplettsystem die notwendigen Messungen und die Automatisierung für die nach R&TTE erforderlichen Tests nach ETSI EN 300328 v1.8.1 und ETSI EN 301893 v1.7.1 abdeckt. Die weitgehende Automatisierung der Tests auf Basis der weitverbreiteten EMV-Testsoftware R&S®EMC32 unterstützt den Anwender bei diesen Messungen. Bereits vorhandene EMV-Systeme sind zum Testsystem R&S®TS8997 erweiterbar.

Die Verantwortlichen bei der ETSI TG11 – hier in der Person des Chairmans der TG11, Edgard Vangeel – begrüßen, „dass Rohde&Schwarz mit dem R&S®TS8997 ein System anbietet, das den neuen Standard umsetzt und ihn so auch für die Testhäuser und die Industrie zu einem Erfolg werden lässt“.

Michael Steinmüller; Frank Tofahrn (IMST GmbH)

Location Based Services mit GPS, GLONASS, Galileo und OTDOA

Beim Frühstücken die Wettervorhersage checken, per Navigations-App durch den Berufsverkehr finden – zwei Beispiele für zahlreiche Apps, mit denen Smartphone-Anwender von Location Based Services (LBS) profitieren. Wie finden diese nützlichen Helfer so schnell die genaue Position? Dieser Artikel wirft einen Blick hinter die Kulissen der Positionsbestimmung für standortbezogene Dienste. Und er zeigt die umfangreiche Testsystempalette von Rohde&Schwarz, die dafür sorgt, dass bei der Positionsbestimmung alle Komponenten reibungslos zusammenarbeiten.

Positionsbestimmung mit terrestrischen Verfahren: Cell-ID, Enhanced Cell-ID, OTDOA

Die Position eines Mobiltelefons lässt sich mit verschiedenen Methoden bestimmen. Die einfachste ist die Ermittlung der Cell-ID, sie gibt relativ ungenau Auskunft. Besser gelingt es mit der Enhanced Cell-ID. Sie bezieht zusätzliche Signalparameter ein, beispielsweise die Empfangsleistung und -qualität (RSRP / RSRQ: Reference Signal Received Power / Quality) und erreicht damit eine Genauigkeit von etwa Hundert Metern. Treffsicherer geht es künftig mit OTDOA (Observed Time Difference of Arrival), einem Verfahren im Mobilfunkstandard LTE, das Laufzeitunterschiede zwischen den Signalen mehrerer LTE-Basisstationen einbezieht.

Das klassische satellitenbasierte Verfahren: A-GPS

Deutlich bessere Ergebnisse lassen sich durch die Verwendung von GPS-Signalen erzielen, dabei steigt die Genauigkeit auf wenige Meter. Der Einsatz von GPS-Signalen allein hat jedoch einen gravierenden Nachteil: Wird ein GPS-Modul längere Zeit nicht verwendet, so dauert es typischerweise bis zu 50 Sekunden, bis die Position angezeigt wird. Das liegt an der niedrigen Datenrate von 50 bit/s des GPS-Signals, mit der Navigationsnachrichten (Satellitenbahnen und Korrekturdaten) übertragen werden. Verkürzen lässt sich diese Wartezeit mit Assisted-GPS (A-GPS), bei dem sich der GPS-Empfänger zusätzlich sogenannter Assistenzdaten bedient, das sind Navigationsnachrichten und weitere Informationen aus dem Mobilfunknetz. Und die bekommt er sehr schnell, denn Location-Server übertragen sie in Sekundenschnelle über das Netz.

Überblick im Labyrinth der Protokolle

Die Kommunikation mit dem Location-Server kann auf zwei Arten geschehen: Per Steuerungsnachricht (C-Plane, ähnlich wie eine SMS) oder über IP-Pakete zusammen mit anderen Nutzdaten (U-Plane), siehe BILD 1. Bisher wurde für jeden bedeutenden Mobilfunkstandard ein neues Location-Protokoll definiert: RRLP, RRC, TIA-801 und LPP. Trotz der Vielfalt gilt: Alle Protokolle übertragen im Kern ähnliche Assistenzdaten, BILD 2 zeigt die Kombinationen. In der Variante U-Plane werden diese Protokolle noch in das sog. Secure User Plane Protocol eingepackt (SUPL), das sich um Verschlüsselung und Authentifizierung der sensiblen Positionsdaten kümmert.

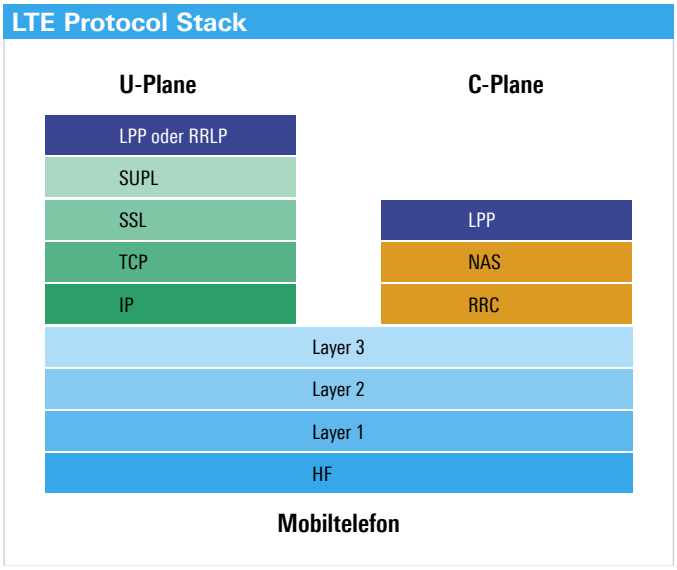


BILD 1 Kommunikation mit dem Location-Server: LTE Protocol Stack für U-Plane und C-Plane.

	GSM	WCDMA	LTE	CDMA2000®
C-Plane	RRLP	RRC	LPP	TIA-801
U-Plane	RRLP	RRLP	RRLP / LPP	TIA-801

BILD 2 Kombinationsmöglichkeiten der Mobilfunkstandards und Location-Protokolle. Mit U-Plane kann theoretisch jedes Location-Protokoll über jeden Mobilfunkstandard versendet werden. Die Tabelle zeigt nur Kombinationen, die in der Praxis eingesetzt werden.

Gemeinsam genauer – hybride Positionsbestimmung

Mittlerweile hat GPS Konkurrenz bekommen: Das russische System GLONASS ist seit Oktober 2011 weltweit voll funktionsfähig und auch das europäische System Galileo hat seit Oktober 2012 vier Satelliten im Orbit. China ist mit seinem System Beidou ebenfalls im Rennen. Die Assistenzdaten der Global Navigation Satellite Systems (GNSS) – der Sammelbegriff für alle Satellitennavigationssysteme – unterscheiden sich deutlich voneinander (BILD 3). So waren Erweiterungen in allen Location-Protokollen und im SUPL-Protokoll erforderlich.

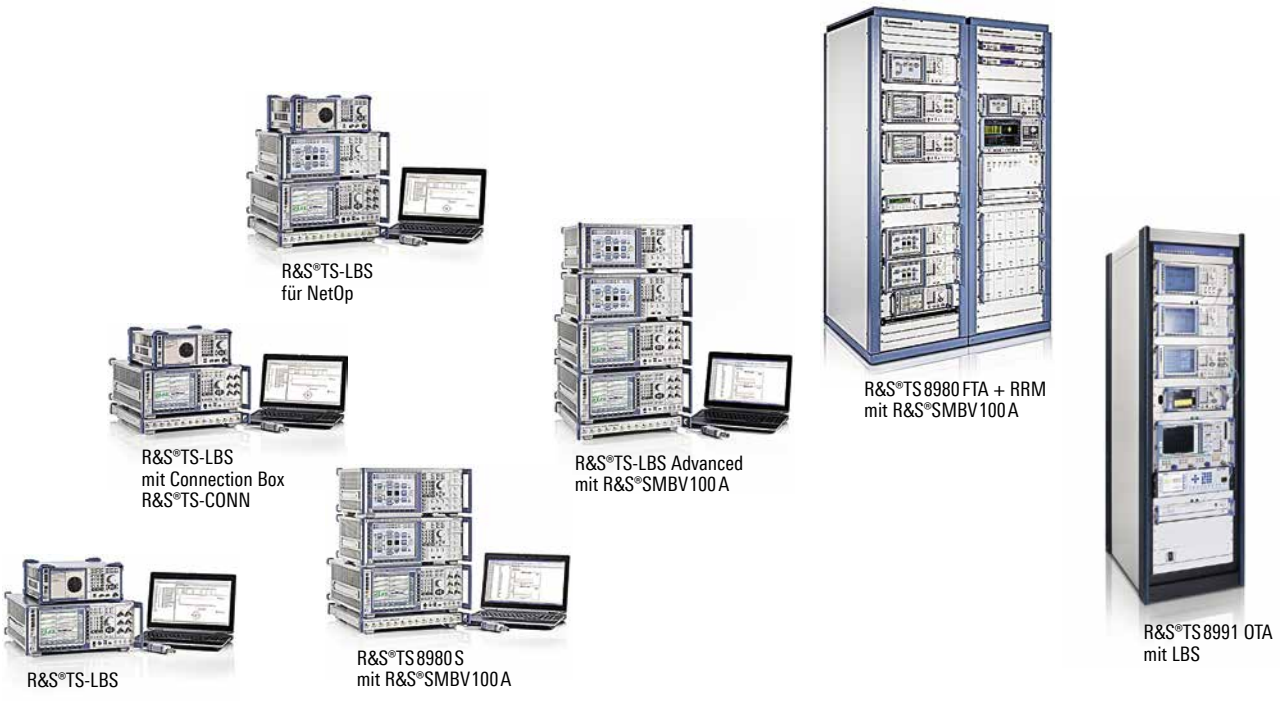
Durch die Kombination der Werte aus verschiedenen Satellitensystemen und OTDOA lässt sich eine Position genauer berechnen als mit jedem einzelnen System allein. Besonders

Umfassendes Programm: Testsysteme von Rohde&Schwarz

Zahlreiche Tests nehmen die Leistungsfähigkeit von Endgeräten bei A-GNSS- und netzbasierten Verfahren (OTDOA / eCID) unter die Lupe, auch mit Simulation widriger Bedingungen. Messungen über die Luftschnittstelle (OTA) prüfen, ob ein Endgerät in jeder räumlichen Lage ausreichende Empfindlichkeit aufweist. Die Messung Minimum Performance prüft die Genauigkeit und Dauer der Positionsbestimmung. Der komplexe Nachrichtenfluss kann mit Protocol-Conformance-Tests überprüft werden. Für alle diese Applikationen bietet Rohde&Schwarz passende Testsysteme an. Sie unterstützen sowohl C-Plane als auch U-Plane und decken mit dem Wideband Radio Communication Tester R&S®CMW500 als Netzsimulator alle wichtigen Mobilfunkstandards ab (GSM, WCDMA, LTE und künftig auch CDMA2000®). Zusammen mit einem passend optionierten Vektor-Signalgenerator R&S®SMBV100A können alle A-GNSS-Tests durchgeführt werden.

Die Testhardware ist dabei modular an den Verwendungszweck anpassbar: Vom kompakten Minimalsetup, bestehend aus R&S®CMW500, R&S®SMBV100A und Steuerrechner, über OTA-Performance-Testsysteme bis zum Testsystem R&S®TS8980FTA mit integrierten Radio Resource Management Tests (RRM) und mehreren OTDOA-Zellen sowie Fading-Simulation. Durch die Integration in die bedienfreundliche Softwareplattform R&S®CONTEST lassen sich zudem automatisierte Testkampagnen einfach durchführen.

Testsysteme für LBS



Für jede Anforderung ist etwas dabei: Testsysteme für Endgeräte, die A-GNSS- und netzbasierte Verfahren nutzen.

Assistenzdaten GPS / GLONASS im Vergleich

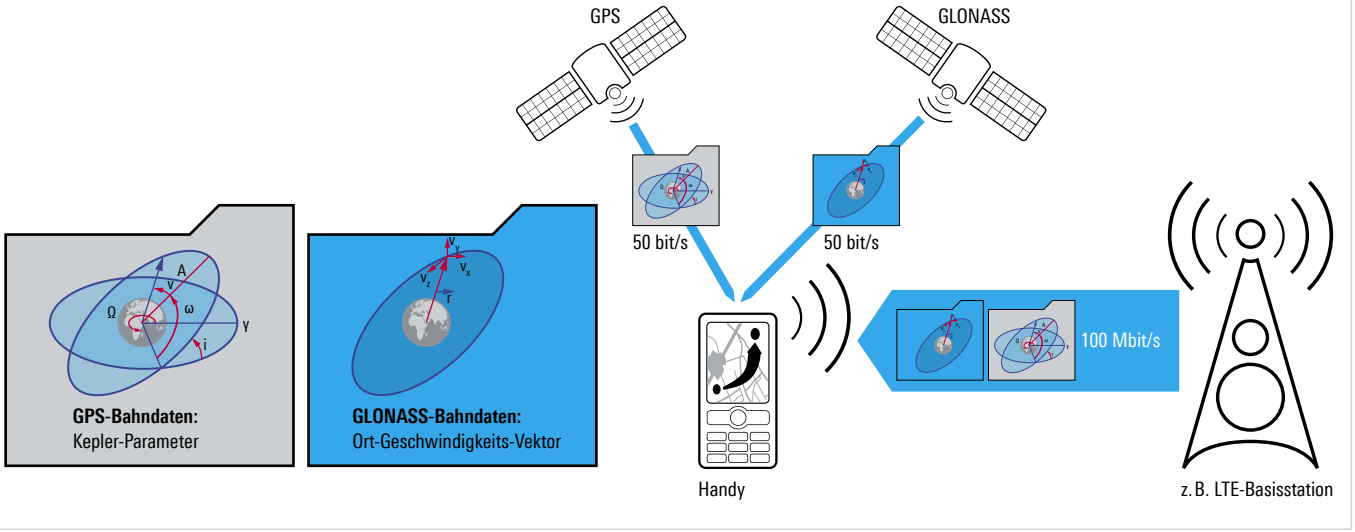


BILD 3 Assistenzdaten für GPS und GLONASS unterscheiden sich stark. Bei A-GPS und A-GLONASS werden die Assistenzdaten anstatt über langsame Satellitenverbindungen in Sekundenschnelle per Mobilfunk übertragen.

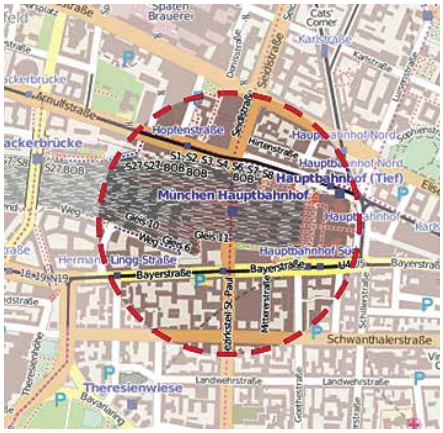
in Straßenschluchten ist durch die Nutzung mehrerer Systeme auch dort noch eine Ortsbestimmung durchführbar, wo bisherige, nur für ein System vorgesehene Empfänger versagen. Dank der Verbindung mit dem Location-Server des Netzbetreibers kann zudem bei Bedarf die komplexe hybride Positionsberechnung vom Mobilfunkgerät ins Netz verlagert werden.

Helfer in der Not: Emergency-Prozeduren in SUPL 2.0

Mit der Erweiterung zu SUPL 2.0 wurden nicht nur die neuen GNSS sowie LTE unterstützt, sondern es kamen auch komplett neue Funktionen für die U-Plane-Variante hinzu. So ermöglichen beispielsweise bei einem Notruf sogenannte Emergency-Prozeduren die automatische und zuverlässige Übertragung der Position an Rettungskräfte (BILD 4). Und die neue Funktion Geofencing kann beim Betreten oder Verlassen eines Gebiets eine Meldung vom Mobiltelefon an eine autorisierte Gegenstelle übertragen (BILD 5).

Kartenquelle: © OpenStreetMap contributors www.openstreetmap.org

BILD 4 Im Notfall wird die Position eines Anrufers in Sekundenschnelle an die Rettungskräfte übermittelt.



Kartenquelle: © OpenStreetMap contributors www.openstreetmap.org

BILD 5 Mit der Funktion Geofencing kann ein Nutzer z. B. über die Ankunft einer Person im Zielbahnhof benachrichtigt werden.

Fazit

Die Entwicklung und Nutzung standortbezogener Dienste steht erst am Anfang. Sie wird in den kommenden Jahren sicherlich noch zahlreiche neue Ideen und Anwendungen hervorbringen. Messtechnik von Rohde&Schwarz steht dafür bereit und wird mit neuen Entwicklungen immer an der Spitze mit dabei sein.

Stefan Maier; Ewald Zelmer

R&S®FSW: Vermessen von Mikrowellenverbindungen im E-Band

Der zunehmende Datenverkehr bei der Nutzung mobiler Endgeräte erfordert hohe Bandbreiten zur Anbindung der Basisstationen an das Netz. Dafür stehen im E-Band zwischen 71 GHz und 86 GHz zwei 5 GHz breite Frequenzbänder für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zur Verfügung. Diese hohen Frequenzen sind eine Herausforderung für die Messtechnik, nicht nur bei der Entwicklung der Sende- und Empfangsmodule, sondern auch bei der Vermessung der Übertragungssysteme.

E-Band: Bandbreite für den Datendurst

Vor über 30 Jahren verabschiedete die ITU (International Telecommunication Union) bei der World Radio Communication Conference WARC-79 in Genf [1] die Bereitstellung der E-Band-Frequenzen zwischen 71 GHz und 76 GHz sowie zwischen 81 GHz und 86 GHz für Übertragungsanwendungen. Es dauerte allerdings mehr als 20 Jahre, bis kommerzielles Interesse an diesen Anwendungen aufkam und die FCC (Federal Communications Commissions) in den USA sowie europäische Behörden dazu veranlasste, für diese Bänder Lizenzen zu vergeben bzw. dafür technische Anforderungen festzulegen. Ausschlaggebend für das aufkommende Interesse war, dass inzwischen Komponenten für diesen Frequenzbereich kommerziell gefertigt werden konnten und dass der Bedarf nach immer größeren Übertragungsraten dazu zwang, neue Frequenzbänder zu nutzen. Im E-Band sind Übertragungsstrecken mit Datenraten von mehreren Gbit/s kein Problem. Diese beiden Frequenzbänder mit je einem zusammenhängenden Frequenzbereich von 5 GHz ermöglichen Übertragungsbandbreiten von mehreren 100 MHz, wodurch bereits mit einfachen Modulationsverfahren wie BPSK hohe Datenraten zu erreichen sind. Entsprechend unkomplizierte und zuverlässige Sende- und Empfangsmodule sind für diese Millimeterwellenverbindungen realisierbar. Was nicht heißt, dass mit fortschreitender Entwicklung dieser Technologie nicht auch komplexere Modulationsarten zum Einsatz kommen. Die in diesen Frequenzbändern erzielbare Reichweite ist nur unwesentlich kürzer als beispielsweise die im 38-GHz-Band, was Untersuchungen unter normalen Wetterbedingungen bei einer Dämpfung von 0,5 dB/km im freien Feld belegen [2].

Die hohe Frequenz stellt neue Herausforderungen an die Messtechnik. Zwar schützt die Lizenzierung vor ungewollten Störungen durch andere Mikrowellenquellen, für ein ungestörtes Nebeneinander muss aber die Leistung und das Spektrum der Sender gemessen werden. In [3] sind die Anforderungen an Sender in diesem Frequenzbereich beschrieben, speziell die Spektrumsmaske für die abgestrahlte Leistung.

Weitere Artikel zum R&S®FSW in diesem Heft:
Auf Seite 38 werden die beiden neuen Modelle R&S®FSW43 und R&S®FSW50 vorgestellt. Ab Seite 43 ist zu lesen, wie man mit einer neuen Option Gruppenlaufzeiten präzise, schnell und breitbandig misst.

Spektrumsmessungen im E-Band – Harmonischen-Mischer unerlässlich

Für diese anspruchsvollen Messungen eignen sich am besten Spektrumanalysatoren. Diese sind allerdings kommerziell nur mit einem durchgehenden Frequenzbereich bis 67 GHz erhältlich. Zum Messen von Spektren im E-Band müssen an sie deshalb externe Harmonischen-Mischer [4] angeschlossen werden. Diese Mischer vervielfachen das Ausgangssignal des Lokaloszillators im Spektrumanalysator und mischen das zu analysierende Millimeterwellensignal mit einer geeigneten Harmonischen auf die Zwischenfrequenz des Analysators. Die Vielzahl der im Mischer entstehenden Harmonischen sowie die Oberwellen des Eingangssignals führen allerdings zu zahlreichen Signalen im Spektrum. Und aufgrund der fehlenden Vorfilterung wird die Spiegelfrequenz nicht unterdrückt.

Dies bereitet keine Probleme, solange nur CW-Signale am Eingang des Mischers anliegen. Bei solchen Signalen kann der Spektrumanalysator die realen Signale von den durch uneindeutige Mischung entstandenen Signalen unterscheiden. Dazu führt das Gerät vor der eigentlichen Messung eine Referenzmessung durch, bei der die Frequenz seines Lokaloszillators um das Doppelte der Zwischenfrequenz erhöht ist. Nur Signale, die beim Referenz- und beim Mess-Sweep vorhanden sind, sind reale Signale und werden im Spektrum dargestellt.

Liegen modulierte Signale am Mischereingang an, ist es komplizierter. Speziell bei sehr breitbandigen Signalen überlappen sich das reale Signal und das auf der Spiegelfrequenz des Spektrumanalysators empfangene Signal, sodass eine Unterscheidung nicht mehr möglich ist.

Spektrumsmessung

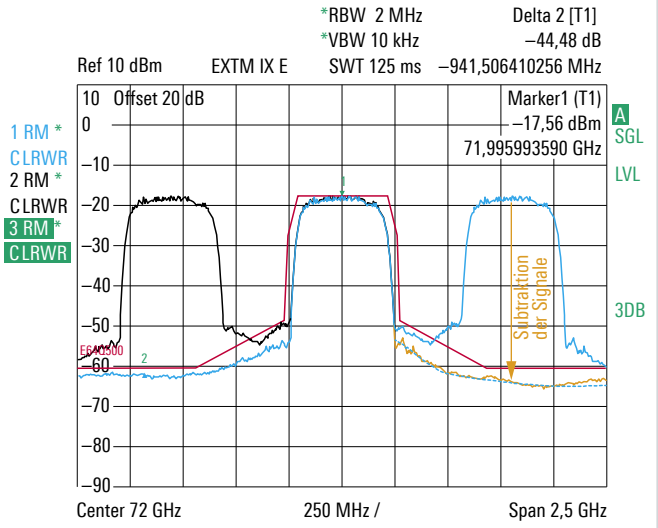


BILD 1 Messung eines 500 MHz breiten Eingangssignals im E-Band mit dem Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSQ. Die blaue Kurve zeigt das Ergebnis der eigentlichen Messung, die schwarze das der Referenzmessung. Deutlich ist zu erkennen, dass hier das Spiegelsignal, das frequenzmäßig oberhalb des Eingangssignals positioniert ist, noch subtrahiert werden kann (orange Kurve). Bei Eingangssignalen mit 1 GHz Bandbreite wäre das nicht mehr möglich.

BILD 1 zeigt die Spektrumsmessung mit dem R&S®FSQ, einem hochwertigen Signal- und Spektrumanalysator, der nicht mehr zur neuesten Generation zählt und dessen Zwischenfrequenz bei 404 MHz liegt. Die Frequenzdifferenz zwischen dem Eingangssignal mit 500 MHz Bandbreite und dem Spiegelsignal beträgt 808 MHz. Bei diesem Eingangssignal kann gerade noch geprüft werden, ob es die Spektrumsmaske gemäß [3] einhält, indem das Spektrum aus der Referenzmessung vom Spektrum der eigentlichen Messung subtrahiert wird. Hätte das Eingangssignal dagegen eine Bandbreite von 1 GHz, so wäre das nicht mehr möglich, da sich dann Eingangssignal und Spiegelsignal überlagern würden. Eine Analyse des Signals im Zeitbereich (I/Q-Daten), wo eine solche Korrektur nicht möglich ist, würde durch den Einfluss des Spiegelsignals stark verfälscht werden.

R&S®FSW: auch heiklen Signalen gewachsen

Einen großen Vorteil gegenüber marktüblichen Geräten bieten hier die Signal- und Spektrumanalysatoren R&S®FSW [5] mit der Option R&S®FSW-B21 (LO-/ZF-Anschlüsse für externen Mischer). Mit einer Zwischenfrequenz von 1,3 GHz haben sie einen spiegelsignalfreien Frequenzbereich von 2,6 GHz. Dadurch können Spektrumsmasken breitbandig modulierter Signale einfach vermessen werden, selbst wenn deren Bandbreiten den GHz-Bereich erreichen. Zusammen mit externen Harmonischen-Mischern der neuesten Generation von Rohde&Schwarz, beispielsweise mit dem R&S®FS-Z90 (60 GHz bis 90 GHz), ist der erreichbare Dynamikbereich einzigartig. Mit der Umsetzdämpfung des Mischers von typ. 23 dB bei 80 GHz liegt das Rauschmaß des gesamten Messaufbaus einschließlich R&S®FSW bei etwa –150 dBm/Hz. Bei einem 1-dB-Kompressionspunkt von nominal –3 dBm ergibt

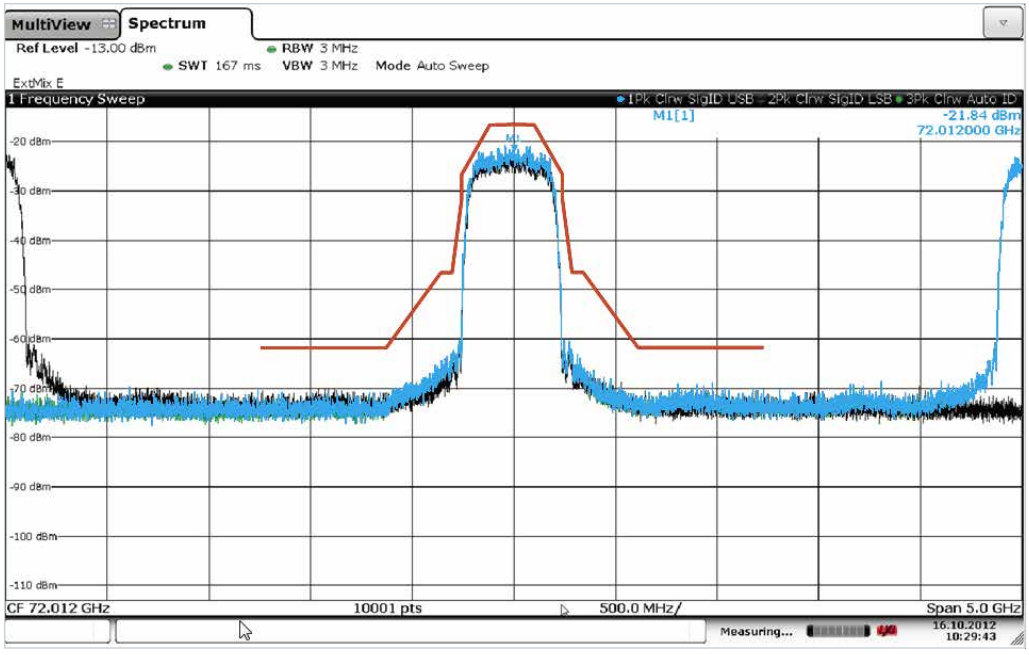


BILD 2 Messung des gleichen Signals wie in BILD 1 mit dem Spektrumanalysator R&S®FSW. Eingangssignal und Spiegelsignal sind hier 2,6 GHz voneinander getrennt. Das Vermessen der Spektrumsmaske oder die Modulationsanalyse auch von deutlich breiteren Signalen sind ohne Probleme möglich.

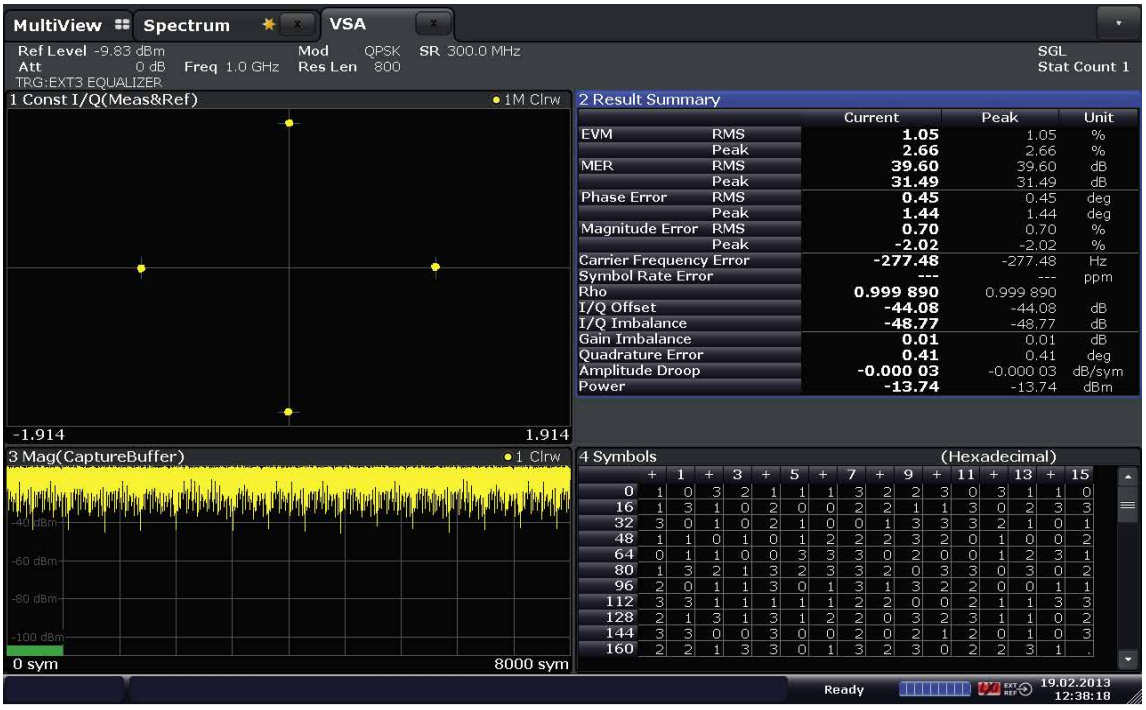


BILD 3 Modulationsanalyse eines QPSK-Signals mit 300 MHz Bandbreite. Neben grafischen Darstellungen, beispielsweise dem Konstellationsdiagramm oder dem Eingangssignal im Zeitbereich, geben tabellarisch aufgelistete Werte eine schnelle Übersicht über die Modulationsqualität.

das einen ausreichenden Dynamikbereich für die Messung der Spektrumsmaske, 50 dB sind dafür gefordert [3]. Der R&S®FS-Z90 ist zudem mit einem Isolator am Eingang ausgestattet, was ein VSWR von typisch 1,4:1 ermöglicht. Fehler bei der Leistungsmessung durch Reflexionen am Eingang aufgrund von Fehlanpassung sind somit typischerweise um den Faktor 5 kleiner als bei Mischern ohne Isolatoren.

BILD 2 zeigt die Messung des gleichen Signals einer Mikrowellenverbindung im E-Band wie in BILD 1. Das Eingangssignal mit 500 MHz Bandbreite und das Spiegelsignal sind 2,6 GHz voneinander getrennt und es kann gemessen werden, ob das Spektrum innerhalb der vorgeschriebenen Maske liegt (rote Linie). Der geforderte Dynamikbereich von mindestens 50 dB wird in diesem Aufbau ebenfalls leicht erreicht.

Der R&S®FSW kann nicht nur das Spektrum, sondern auch die Modulationsqualität analysieren. Mit seiner Analysebandbreite bis 320 MHz (Option R&S®FSW-B320) ist er in der Lage, entsprechend breitbandige Signale aufzuzeichnen, diese mit der Option Vektorsignalanalyse R&S®FSW-K70 zu demodulieren und die Modulationsqualität zu untersuchen.

BILD 3 zeigt die Analyse eines QPSK-Signals mit 300 MHz Bandbreite. Es können die EVM (Error Vector Magnitude) als Maß für die Modulationsqualität, Frequenzfehler, Symbolratenfehler und vieles mehr gemessen werden. Der Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSW stellt die Ergebnisse in Tabellen oder grafisch dar, beispielsweise die Phase und Amplitude in einem Konstellationsdiagramm, was einen optischen Eindruck von der Modulationsqualität vermittelt.

Fazit

Mikrowellenverbindungen im E-Band werden aufgrund der ständig steigenden Ansprüche hinsichtlich der zu übertragenden Datenmengen immer interessanter, da hier die höchsten Datenraten aller verfügbaren drahtlosen Übertragungstechniken erreichbar sind. Zum Messen des Spektrums ist ein Spektrumanalysator zusammen mit einem externen Harmonischen-Mischer erforderlich. Eine hohe Zwischenfrequenz des Analysators bietet einen weiten spiegelsignalfreien Bereich. Die Harmonischen-Mischer von Rohde&Schwarz mit ihren niedrigen Konversionsverlusten gewährleisten einen hohen Dynamikbereich, eine gute Anpassung sowie hohe Genauigkeit bei der Leistungsmessung. Somit ist der R&S®FSW zusammen mit dem Mischer R&S®FS-Z90 eine optimale Lösung für diese Anwendung und bietet zudem die Möglichkeit, die Modulationsqualität von Signalen zu messen.

Dr. Wolfgang Wendler

Literatur

[1] Radiofrequency Use and Management, Impacts from the World Administrative Radio Conference of 1979, WARC-79, chapter 4, overview, actions and impacts, page 77.
[2] ITU-R P.676-6, Attenuation by atmospheric gases, 2005.
[3] ETSI TS 102 524 V1.1. Technical Specification Fixed Radio Systems; Point-to-Point equipment; Radio equipment and antennas for use in Point-to-Point Millimetre wave applications in the Fixed Services (mmwFS) frequency bands 71 GHz to 76 GHz and 81 GHz to 86 GHz.
[4] Dr. Florian Ramian: Using Harmonic External Mixers to Extend the Frequency Range. Rohde&Schwarz, Application Note 1EF75.
[5] Der neue Maßstab: Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSW. NEUES (2011) Nr. 204 (Sonderteil in Heftmitte).

WLAN IEEE 802.11ac: Messungen jetzt auch mit Geräten der Mittelklasse

Der neue WLAN-Standard IEEE 802.11ac steigert die Datenübertragungsrate um ein Vielfaches. Was Nutzer freut, ist für Hersteller eine Herausforderung, denn die neue Technik stellt höchste Anforderungen an die verwendeten Komponenten. Alle erforderlichen Messungen sind jetzt auch mit Mittelklassegeräten von Rohde&Schwarz durchführbar – und kostenoptimierte Messsysteme für die Produktion schnell realisiert.

WLAN-Standard IEEE 802.11ac – neuer Standard für höhere Datenraten

Internetzugang mit Smartphones und Tablet-PCs über WLAN ist heute Standard. Immer mehr Geräte wie TV-Set-Top-Boxen und Fernsehgeräte unterstützen WLAN, durch neue Anwendungen steigen die Anforderungen an die Datenrate. Die dafür erforderlichen größeren Signalbandbreiten stehen aber nur in höheren Frequenzbereichen zu Verfügung.

Der WLAN-Standard IEEE 802.11ac geht deshalb neue Wege. Er verwendet auch Bandbreiten von 80 MHz und 160 MHz im 5-GHz-Band, damit sind Datenraten von mehreren Gbit/s erreichbar. Er nutzt eine höhere Modulationsordnung und bietet eine erweiterte Unterstützung von Mehrantennentechnik (MIMO) mit bis zu acht Antennen und Multi-User-MIMO.

BILD 1 Der R&S®SMBV100A (im Bild oben) ist der weltweit erste Vektor-Signalgenerator, der ohne Zusatzgerät WLAN-Signale mit 160 MHz HF-Bandbreite erzeugen kann. Auch der Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSV unterstützt den neuen WLAN-Standard.

256QAM erfordert gute Signalqualität

IEEE 802.11ac unterstützt neben den bisher verwendeten Modulationen BPSK, QPSK, 16QAM und 64QAM auch 256QAM. Das Endgerät bestimmt anhand der gemessenen Signalqualität, welche Modulation verwendet wird.

Beim Multi-User-MIMO bedient ein WLAN-Switch verschiedene Nutzer zur gleichen Zeit auf der gleichen Frequenz. Mehrwegeausbreitung und die Strahlformung durch Mehrantennentechnik machen dies möglich. Jeder Nutzer erhält einen eigenen räumlich getrennten Datenstrom. Multi-User-MIMO verbessert die Kapazität des gesamten Systems, allerdings führen die einzelnen Datenströme zu einem erhöhten Rauschpegel. Zur Demodulation von 256QAM-Signalen ist aber ein besonders hoher Signal/Rausch-Abstand mit einer EVM unter –32 dB erforderlich.

Höhere Anforderungen gelten auch für den Frequenzgang. Gegenüber IEEE 802.11n ist auf Sender- wie Empfängerseite eine konstante Signalleistung über eine vierfach so hohe Bandbreite erforderlich. Abweichungen würden auch hier zu einer erhöhten EVM führen, die der Übertragung mit höherer Modulationsordnung wie bei 256QAM im Wege steht.

Digitale Vorverzerrung gegen nichtlineare Effekte

Komponenten wie Verstärker und Mischer müssen, um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ein geringes Eigenrauschen und ein lineares Verhalten über einen breiten Frequenzbereich aufweisen. Während Rauschanteile aus dem Signal nicht mehr entfernt werden können, ist es durch digitale Vorverzerrung möglich, nichtlineare Effekte auszugleichen. Dazu wird das Signal vor dem Verstärker entgegengesetzt zur Verzerrung des Verstärkers digital vorverzerrt. Im Verstärker heben sich Vorverzerrung und Verzerrung auf, man enthält ein linear verstärktes Signal.

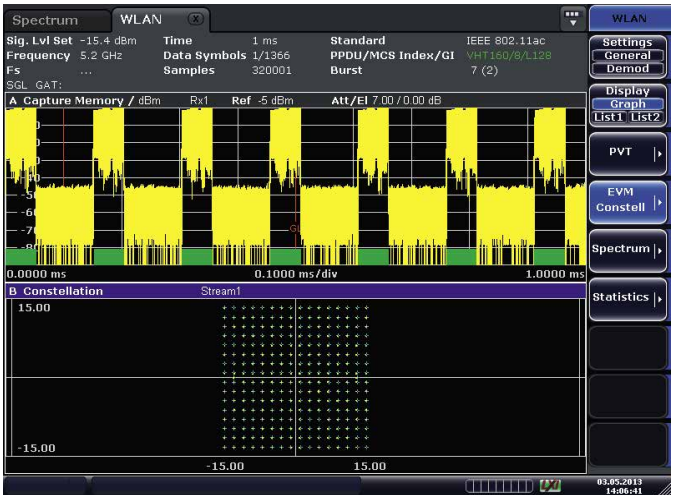


BILD 2 Das obere Diagramm zeigt sieben demodulierte WLAN-Bursts. Unten ist das Konstellationsdiagramm einer 256QAM abgebildet. Die sauber auf dem Raster liegenden Konstellationspunkte zeugen von einer hohen Signalqualität. Sollten hier Abweichungen von diesem Muster auftreten, lassen diese Rückschlüsse auf die Fehlerquelle zu.

BILD 3 Wahlweise werden die wichtigsten Messergebnisse in Tabellenform dargestellt.

Erweiterte Tests erforderlich

Die von IEEE 802.11ac geforderten Tests sind eine Erweiterung des bisherigen Standards. Tests am Sender umfassen die Spektrum-Maske, Spectral Flatness, Mittenfrequenz und Modulationsqualität. Empfängerseitig werden vorrangig Empfindlichkeit, Nachbarkanalunterdrückung, Nonadjacent Channel Rejection, maximale Eingangsleistung und Clear Channel Assessment (CCA) Sensitivity überprüft. Entwickler und Hersteller von Komponenten für WLAN IEEE 802.11ac brauchen Signalquellen und -analysatoren, die im 5-GHz-Band mindestens eine I/Q-Modulations- bzw. Analysebandbreite von 160 MHz bieten.

Testlösung von Rohde&Schwarz

Die neueste Generation des Vektorsignalgenerators R&S®SMBV100A und des Signal- und Spektrumanalysators R&S®FSV ist dafür vorbereitet (BILD 1). Mit diesen beiden Geräten sind alle erforderlichen Sender- und Empfänger-Messungen einfach durchführbar. Die nötigen Signal-Erzeugungs- und -analysefunktionen sind an Bord und können entweder manuell oder per Ablaufsteuerung ausgeführt werden.

Der R&S®SMBV100A bietet eine Vielzahl an Funktionen: In der Frame-Block-Konfiguration lassen sich unterschiedliche Bursts für verschiedene WLAN-Signale mischen. So kann auf einen 160-MHz-Burst ein 80-MHz-Burst nach IEEE 802.11ac, 11n oder 11a folgen, um das reale Signalaufkommen an einem Access Point zu simulieren. Für MIMO-Tests werden Signale für bis zu acht Antennen unterstützt, die für statische Tests im Generator mit unterschiedlichen Pegeln und Phasen addiert werden können, um das passende Summensignal für die Empfangsantenne zu erzeugen. Dem Signal kann weißes Gaussches Rauschen überlagert werden, um das Rauschen im HF-Frontend eines Empfängers zu emulieren.

Zu diesen Funktionen paart sich die hohe Signalqualität des Generators. Die Error Vector Magnitude für ein Signal mit 160 MHz Bandbreite gemessen bei 256QAM beträgt –47 dB bei 5,7 GHz. Ebenso glänzt der R&S®SMBV100A mit einem Frequenzgang über 160 MHz von gemessenen 0,2 dB.

Zur Analyse von Signalen gemäß IEEE 802.11ac führt der R&S®FSV spektrale Messungen wie Nebenwellen- und Nebenband-Aussendungen sowie Nachbarkanalleistungsverhältnis durch. Im Zeitbereich stehen umfangreiche Messungen an den Modulationsparametern zur Verfügung. Der Anwender kann dabei bequem zwischen den verschiedenen Messungen wechseln, die wichtigsten Ergebnisse lassen sich als Graph oder in Tabellenform abfragen (BILD 2 und 3). Der Touchscreen macht die Bedienung besonders komfortabel.

R&S®FSV und R&S®SMBV100A sind Universalgeräte, die in der Entwicklung und Produktion von Basisstationen, Mobiltelefonen und Verstärkern eingesetzt werden. Weitere Anwendungen, die ebenfalls hohe Bandbreiten erfordern, sind LTE Advanced mit einem Bandbreitenbedarf bis zu 100 MHz bei Messungen der Carrier Aggregation oder der Vorverzerrung an breitbandigen Verstärkern für Multistandard-Basisstationen sowie bei breitbandigen Pulsmessungen.

Markus Lörner; Martin Schmähling

Normenkonforme NFC-Signale – auf Knopfdruck und bis ins Detail definierbar

Die Near Field Communication (NFC) hält Einzug in den Alltag. Insbesondere bei hochwertigen Mobiltelefonen ist sie inzwischen Standard. Die für die Entwicklung und Produktion dieser Geräte erforderlichen standardkonformen NFC-Signale kann die Rohde&Schwarz-Signalgeneratorenfamilie mit der Option R&S®SMx-K89 generieren.

NFC – Nur ein weiterer Kurzstreckenübertragungsstandard?

Anders als bei den üblichen Verfahren zur Datenübertragung über Kurzstrecken, beispielsweise bei Bluetooth®, ist die Übertragung per NFC auf deutlich kürzere Entfernungen beschränkt (siehe Kasten Seite 19). Was zunächst nach einer Einschränkung klingt, ist in Wahrheit die Grundlage dafür, dass sich durch die NFC andere und neue Anwendungsbereiche erschließen als im Beispiel Bluetooth®. Während es für Verbindungen mit Reichweiten über mehrere Meter aus Energiespar- und Datenschutzgründen notwendig ist, dass die Nutzer die Verbindung zu ihren Mobilgeräten explizit aktivieren bzw. erlauben, geschieht diese Zustimmung bei der NFC durch ein intuitiveres Vorgehen: Die Geräte werden einfach aneinandergehalten oder auf Terminals aufgelegt. Durch diese unkomplizierten Gesten ist NFC prädestiniert für eine Vielzahl neuer Anwendungen. Einige Beispiele:

- Bargeldloses Bezahlen mit dem Mobiltelefon oder einer Bezahlkarte.
- Einfaches Aktivieren einer WLAN-Verbindung in einem Restaurant. Der Gast hält beim Betreten sein Mobilgerät kurz an ein Terminal neben der Tür, der Rest geschieht von selbst. So müssen nicht mehr umständlich Codes eingegeben werden und das Restaurant kann trotzdem sicherstellen, dass das kostenfreie Angebot nur von Gästen genutzt wird.
- Auch exotischere Anwendungen gibt es bereits, wie z. B. eine App für Smartphones, als Ersatz für den klassischen Wanderpass (BILD 1).

Beispiel für eine NFC-Anwendung

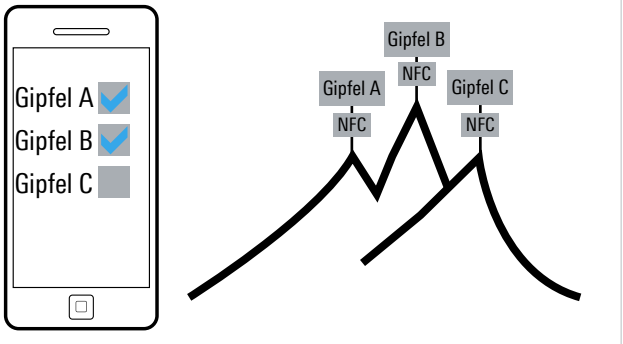


BILD 1 Im Nationalpark Hohe Tatra in Polen sind auf den Berggipfeln NFC-Tags angebracht. Wanderer können – mit Hilfe eines NFC-fähigen Smartphones und einer entsprechenden App – dort ihren elektronischen Wanderpass ausfüllen, indem sie auf jedem erreichten Gipfel ihr Gerät kurz an das NFC-Tag halten.

NFC-Tests in der Entwicklung und Produktion

Bei vielen dieser Anwendungen müssen Geräte verschiedener Hersteller miteinander kommunizieren. Damit die Interoperabilität sichergestellt ist, hat das NFC-Forum standardisierte Testverfahren festgelegt. Mit diesen Tests, die im Dokument Test Specifications / Cases for the NFC RF Analog Specification beschrieben sind, können die Hersteller NFC-fähiger Geräte bei der Entwicklung und Produktion verifizieren, ob ihre Geräte den Anforderungen des NFC-Standards entsprechen.

Ein Gerät kann bei der NFC-Kommunikation zwei verschiedene Rollen einnehmen. Stellt es die Energie für die Übertragung bereit, so wird es als Polling Device oder kurz Poller bezeichnet. Nutzt es stattdessen die bereitgestellte Energie eines anderen NFC-fähigen Geräts, um diesem zu antworten, ist es das Listening Device (bzw. der Listener). Ein kurzer Überblick über die Technik der NFC-Übertragung findet sich im Kasten Seite 19. Die erwähnte Testspezifikation des NFC-Forums berücksichtigt Tests für beide Arten von NFC-Geräten.

Tests an Listening Devices

Bei dieser Gruppe von Tests ist das Prüfobjekt (Device Under Test, DUT) ein Listener (BILD 2). Ein Generator, zum Beispiel der R&S®SMBV100A von Rohde&Schwarz, generiert die Poller-Signale und stellt außerdem während des gesamten Testablaufs die Energie für die Übertragung bereit, indem er ein Trägersignal mit 13,56 MHz erzeugt. Um dieses HF-Signal mit dem Träger und dem aufmodulierten Poller-Signal an das DUT anzulegen, ist zusätzlich eine NFC-Referenzantenne (das sog. Reference Polling Device) erforderlich. Der Aufbau dieser Antenne – samt zugehöriger Elektronik – ist vom NFC-Forum genau spezifiziert worden.

Funktioniert das zu testende Listening Device korrekt, so antwortet es, indem es das elektromagnetische Feld des Pollers moduliert (Load Modulation). Die Referenzantenne registriert diese Antwort und stellt sie an einer Buchse als elektrisches Signal zur Verfügung. Ein NFC-Signalanalysesystem – zum Beispiel das Oszilloskop R&S®RTO in Kombination mit der PC-Software R&S®FS-K112 – wertet es aus und hilft bei der Entscheidung, ob das Listening Device den Test bestanden hat.

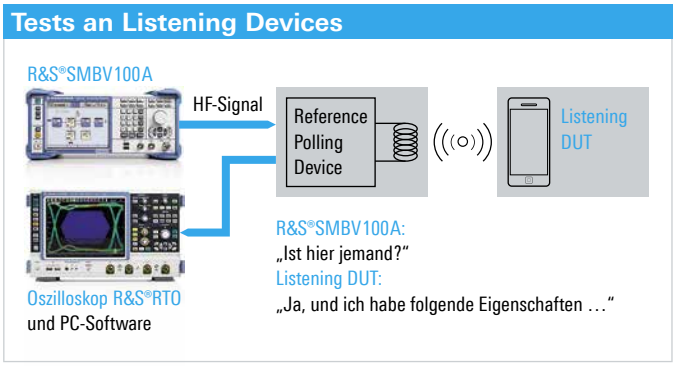


BILD 2 Typischer Aufbau für Tests an einem Listening Device.

Das Prinzip der Near Field Communication

Bei der NFC findet die Übertragung über Distanzen von wenigen Millimetern statt, zum Beispiel durch Auflegen einer Bezahlkarte auf ein Terminal oder durch das Aneinanderhalten von zwei Mobiltelefonen. Eines der Geräte erzeugt dabei ein elektromagnetisches Feld mit einer Frequenz von 13,56 MHz (BILD 3). Anders als bei der Übertragung z. B. im Mobilfunk wird dieses Signal aber nicht in den Raum abgestrahlt (ins Fernfeld) sondern es findet eine induktive Kopplung mit dem anderen Gerät im Nahfeld statt, ähnlich wie in einem Transformator.

Das Gerät, das das Feld erzeugt, wird Polling Device oder Poller genannt, das zweite Gerät ist das Listening Device oder der Listener (eine Bezahlkarte ist also in diesem Zusammenhang auch ein „Gerät"). Die Datenübertragung vom Poller zum Listener findet statt, indem der Poller die Amplitude seines Felds moduliert, was der Listener registriert.

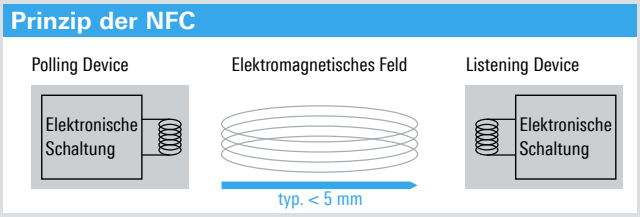


BILD 3 Zwei Geräte kommunizieren bei der NFC über ein elektromagnetisches Feld mit einer Frequenz von 13,56 MHz.

Die Übertragung vom Listener zum Poller findet über die sog. Load Modulation statt: Der Listener entzieht dem Feld nicht konstant den gleichen Energiebetrag, sondern kann die entzogene Energiemenge über der Zeit verändern (er ändert die Impedanz). Durch Rückkopplung ändert sich dabei die Amplitude des Wechselfeldes, was der Poller registrieren kann.

NFC A, NFC B und NFC F

Für eine derartige Übertragung im Nahfeld haben sich im Laufe der Zeit – getrieben von unterschiedlichen Unternehmen – verschiedene Übertragungsstandards etabliert. Das NFC-Forum hat nun die wichtigsten dieser Standards in den gemeinsamen NFC-Standard überführt. Dass der neue Standard des NFC-Forums auf verschiedenen Vorgängerstandards fußt, ist aber nach wie vor anhand der Unterteilung in die Substandards NFC-A, NFC-B und NFC-F erkennbar. Alle diese drei Substandards arbeiten mit einem 13,56-MHz-Feld. Sie unterscheiden sich aber in der Art und Weise, wie dieses Feld amplitudenmoduliert wird, wie die übertragenen Symbole codiert sind sowie in der Bitrate.

Bei der NFC B Load Modulation wird teilweise auch von BPSK gesprochen. Tatsächlich handelt es sich dabei aber nicht um eine Phasenmodulation des Feldes an sich, sondern um eine Phasenmodulation eines Subträgers, der wiederum die Amplitude des 13,56-MHz-Feldes moduliert.

Polling-Test

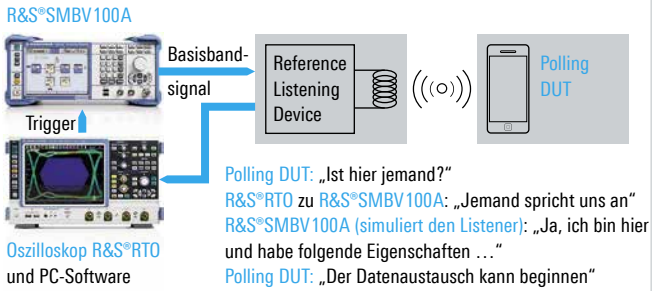


BILD 4 Typischer Aufbau für Tests an einem Polling Device.

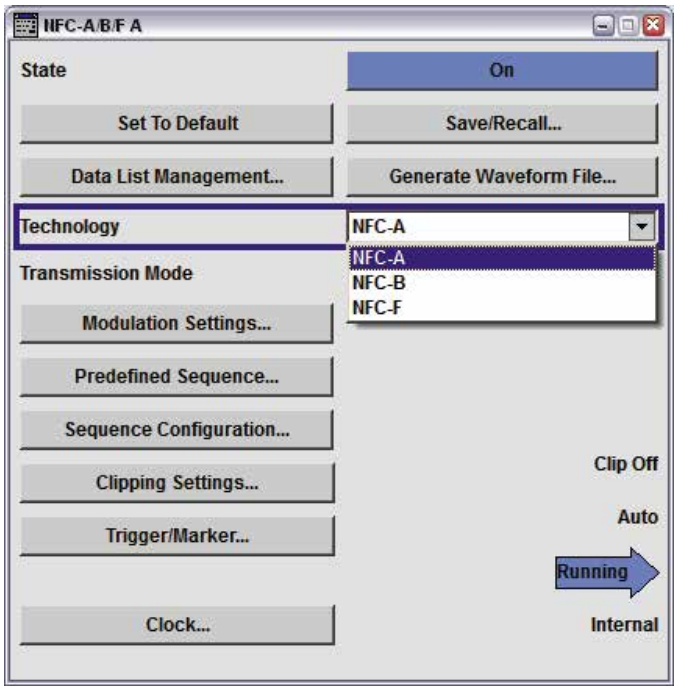


BILD 5 Das Hauptmenü der Option R&S®SMx-K89. Es werden alle drei Substandards des NFC-Forums unterstützt: NFC-A, NFC-B und NFC-F.

Einstellung der Modulationsparameter

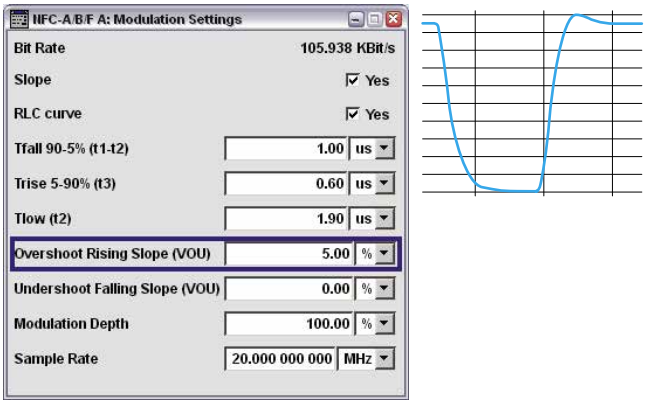


BILD 6 Über die Modulationsparameter können die Signalflanken flexibel verändert werden. Deutlich zu sehen ist der eingestellte künstliche Überschwinger von 5 % nach der steigenden Flanke.

Tests an Polling Devices

Bei Polling-Tests erzeugt das DUT das 13,56-MHz-Feld für die NFC-Übertragung und moduliert es mit einem Poller-Signal. Auch für diesen Testaufbau ist eine NFC-Referenzantenne erforderlich, die im Feld des Pollers positioniert wird. Die Einhüllende des empfangenen Poller-Signals wird an einer Buchse bereitgestellt und vom NFC-Analysesystem geprüft. Für einige Poller-Tests ist das bereits ausreichend, um über Bestanden oder Durchgefallen entscheiden zu können.

Für andere Polling Device Tests dagegen ist es notwendig, dass ein Signalgenerator eine Listener-Antwort erzeugt, um den zu testenden Poller zum Senden weiterer Signale anzuregen (BILD 4). Der Generator wird dazu vom Analysesystem getriggert und sendet anschließend eine geeignete Antwort als Basisbandsignal zur Referenzantenne. Die Elektronik der Referenzantenne führt dann die Load Modulation des elektromagnetischen Poller-Felds durch. Verhält sich das zu testende Polling Device standardkonform, so sendet es ein weiteres Poller-Signal aus, das anschließend analysiert werden kann.

Die Signalgeneratorenfamilie von Rohde&Schwarz erzeugt alle NFC-Signale

Für das bequeme Erzeugen der beschriebenen Poller- und Listener-Signale mit der Signalgeneratorenfamilie von Rohde&Schwarz gibt es die neue Option R&S®SMx-K89, die für die aktuellen Vektor-Signalgeneratoren R&S®SMU200A, R&S®SMBV100A sowie für R&S®AMU200A, R&S®SMJ100A und R&S®SMATE200A verfügbar ist. Die generierten Signale dieser Option sind konform zum NFC-Standard und unterstützen die drei Substandards NFC-A, NFC-B und NFC-F (BILD 5).

Die Signale sind bis ins Detail parametrisierbar. So kann man z.B. die Flankenform verändern oder die Signale durch Überschwinger künstlich verschlechtern, um zu prüfen, ob das DUT auch unter widrigen Bedingungen funktioniert (BILD 6). Sämtliche Parameter lassen sich nicht nur manuell über die grafische Bedienoberfläche einstellen, sondern der Generator kann auch für automatisierte Testläufe in Echtzeit mit SCPI-Befehlen via GPIB oder Ethernet ferngesteuert werden.

Um außer normkonformen Basistests auch tiefer gehende, anwenderdefinierte Testabläufe durchführen zu können, lassen sich in der Option R&S®SMx-K89 einzelne NFC-Kommandos flexibel zu umfangreichen Sequenzen zusammenstellen (BILD 7). Dafür stehen sowohl die einfachen Kommandos zur Verfügung, wie sie für die Gerätesuche und Kollisionsvermeidung verwendet werden, als auch Kommandos für die auf NFC-A / -B / -F aufsetzenden Protokolle zur Datenübertragung (Type 1 bis 4 Tag Platform, ISO DEP, NFC-DEP).

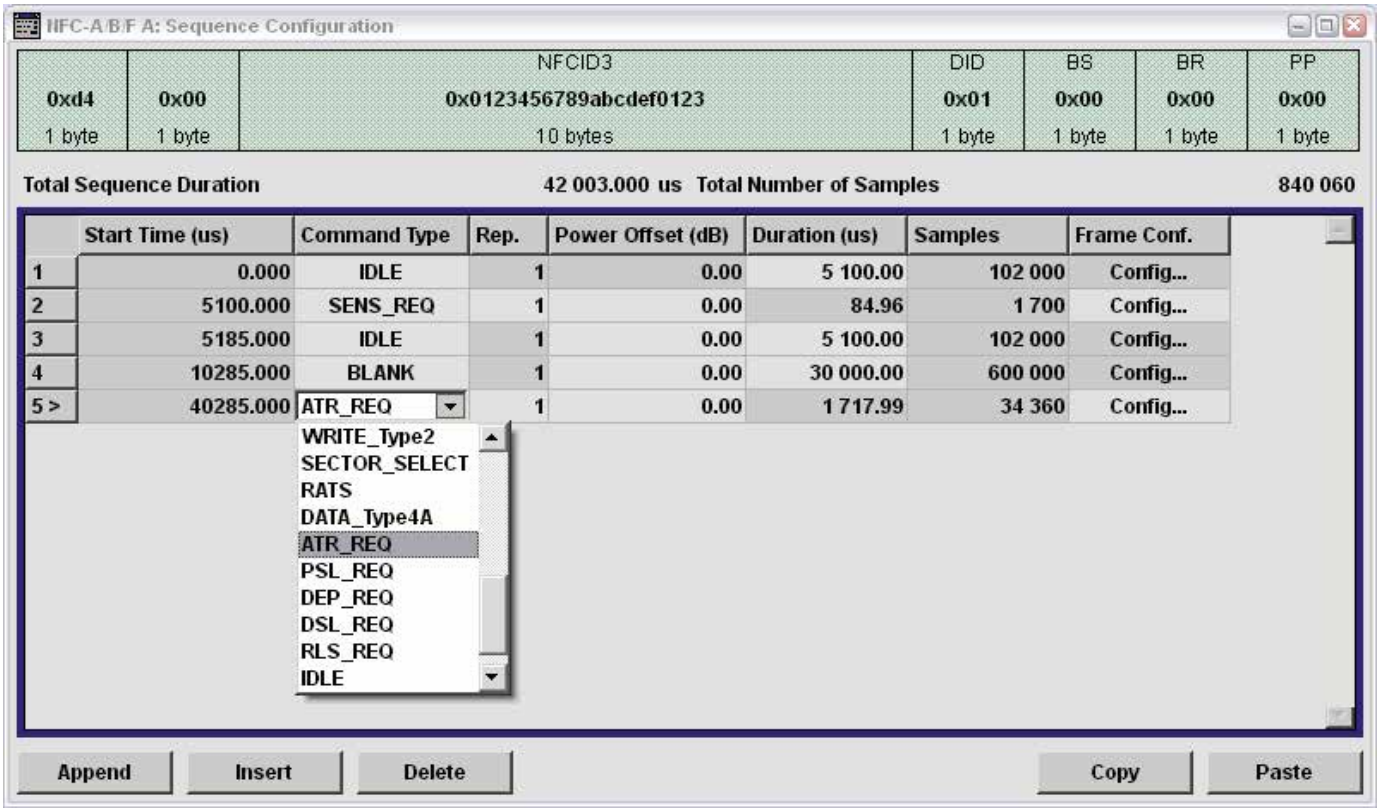


BILD 7 NFC-Kommandos sind flexibel zu längeren Sequenzen zusammenstellbar. Dabei werden auch die Kommandos für die auf NFC-A / -B / -F aufsetzenden Protokolle unterstützt (Type 1 bis 4 Tag Platform, ISO DEP und NFC-DEP.

NFC-Tests – alles aus einer Hand

Das Portfolio von Rohde&Schwarz für NFC-Tests enthält alles, was erforderlich ist, um die beschriebenen Tests durchzuführen. Als Schnittstelle zum NFC-Feld gibt es ein komplettes Set an Referenzantennen (NFC Forum Reference Equipment R&S®CSNFC-B8) [1].

Bereits vorhandenes Equipment von Rohde&Schwarz für Mobilfunkmessungen kann um NFC-Funktionalität erweitert werden, zusätzliche Geräte sind nicht erforderlich. So gibt es die NFC Measurement Software R&S®FS-K112PC, die NFC-Signale untersuchen kann, die mit dem Oszilloskop R&S®RTO oder mit dem Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSV aufgezeichnet wurden. Die neue Option R&S®SMx-K89 ist für alle aktuellen Vektorsignalgeneratoren von Rohde&Schwarz verfügbar und rundet damit das Angebot an NFC-Messtechnik ab [2].

Bertram Fesl

Weitere Informationen

[1] Rohde&Schwarz NFC / RFID Technology Page:
http://www.rohde-schwarz.com/technology/nfc
[2] R&S®SMBV-K89 NFC A/B/F Product Page:
http://www.rohde-schwarz.com/product/smbvk89

Rohde&Schwarz ist Associate Member des NFC-Forums.
NFC Forum and the NFC Forum logo are trademarks of the Near Field Communication Forum.

BILD 1 USB-Leistungssensor R&S®NRP-Z58 mit Adapter für das Hohlleiterband WR-10 (R900, WG-27) von 75 GHz bis 110 GHz.

Leistungssensor mit 1-mm-Koaxialstecker misst lückenlos von DC bis 110 GHz

Für die Leistungsmessung an breitbandigen Quellen bis 110 GHz oder für die Pegelkalibrierung von Netzwerkanalysatoren mit 1-mm-Messtoren gab es bis vor Kurzem keine attraktive Lösung am Markt. Die erhältlichen Leistungssensoren für das V-Band und das W-Band basieren auf veralteter Technik und erfassen nur Signalkomponenten innerhalb ihres Frequenzbands. Für breitbandige Messungen sind damit mehrere, aufeinander abgestimmte Sensoren erforderlich. Nicht so beim neuen thermischen Leistungssensor R&S®NRP-Z58: Er deckt lückenlos den Frequenzbereich von DC bis 110 GHz ab.

Bedarf erkannt …

Die Auswahl an Leistungssensoren für Applikationen im Millimeterwellenbereich am Markt ist sehr klein. Viele dieser Sensoren entsprechen schon lange nicht mehr dem Stand der Technik. Das gilt für den Frequenzbereich von 67 GHz bis 75 GHz, aber auch für das W-Band (75 GHz bis 110 GHz), für das nur ein älterer Sensortyp auf Diodenbasis sowie ein kalorimetrisch arbeitender Leistungsmesser erhältlich sind. Mit solchen Sensoren lassen sich beispielsweise keine Signale unterhalb der Cut-off-Frequenz des verwendeten Hohlleitertyps erfassen, was Leistungsmessungen an breitbandigen Quellen wie Fotodetektoren und Fotoempfängern für das 100G-Ethernet erschwert. Ähnliches gilt für die Pegelkalibrierung von Netzwerkanalysatoren mit 1-mm-Messtoren. Auch hier bestand bisher die einzige Kalibriermöglichkeit darin, sequenziell in einzelnen Frequenzbereichen mit dazu passenden Leistungssensoren zu messen. Leistungssensoren mit Hohlleiteranschluss waren dabei zusätzlich über Adapter mit dem koaxialen Anschluss der Quelle zu verbinden. Abgesehen vom Arbeitsaufwand und der fehlenden Automatisierbarkeit ist diese Vorgehensweise mit einem stärkeren Verschleiß des empfindlichen 1-mm-Anschlusses verbunden. Das ist nicht nur eine Folge der Mehrfachbelastung durch den Sensorwechsel, sondern hängt auch mit der mechanischen Beanspruchung durch das hohe Eigengewicht und die großen Abmessungen konventioneller Hohlleiter-Leistungssensoren zusammen.

Thermoelektrischer Messwandler

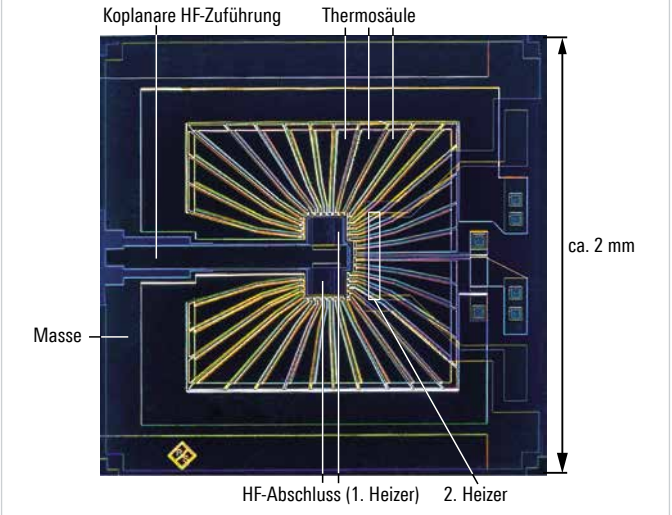


BILD 2 Aufbau des thermoelektrischen Messwandlers – eine Eigenentwicklung von Rohde&Schwarz.

… und mit innovativem Produkt am Markt

Mit dem neuen thermischen Leistungssensor R&S®NRP-Z58 (BILD 1) gehören die geschilderten Probleme der Vergangenheit an. Über einen koaxialen 1-mm-Anschluss (männlich) kann der gesamte Frequenzbereich von DC bis 110 GHz lückenlos erfasst werden. Der Leistungsmessbereich reicht dabei von 0,3 µW (–35 dBm) bis 100 mW (+20 dBm), sodass der messtechnisch interessanteste Bereich abgedeckt ist. Zudem ist der neue Leistungssensor leicht und handlich und lässt sich über eine USB-Schnittstelle direkt von einem PC aus bedienen. Weitere herausragende Features sind seine hohe Messgeschwindigkeit, exzellente Linearität, lückenlose Rückführbarkeit auf Primärnormale renommierter nationaler Metrologie-Institute und die Möglichkeit zur internen Verifikation. Damit ist der R&S®NRP-Z58 nicht nur erste Wahl für Leistungsmessungen an koaxialen 1-mm-Schnittstellen, sondern kann Hohlleiter-Leistungssensoren auch bei vielen anderen Anwendungen ersetzen (siehe Kasten Seite 25).

Der 110-GHz-Leistungssensor R&S®NRP-Z58 ist Teil der Produktfamilie R&S®NRP von Rohde&Schwarz und zeigt alle deren wesentlichen Merkmale. Herzstück ist der indirekt geheizte thermoelektrische Messwandler, eine Eigenentwicklung von Rohde&Schwarz, die sehr gute Anpassungswerte

mit einem hohen Dynamikbereich und einer Ansprechzeit von wenigen Millisekunden verknüpft (BILD 2). Die Verbindung zum HF-Anschluss erfolgt über einen zum Patent angemeldeten breitbandigen Übergang, der das radialsymmetrische Feld der einfallenden Welle auf die Feldverteilung des koplanaren Messwandler-Eingangs transformiert und gleichzeitig eine hervorragende thermische Isolation bewirkt (BILD 3). Diese und weitere Maßnahmen zum thermischen Design sorgen dafür, dass die Nullpunktdrift bei veränderlichen Umgebungstemperaturen oder beim Anschrauben des Sensors vernachlässigbar klein bleibt. Bei konstanten Umgebungsbedingungen ist praktisch keine Drift zu erwarten, weil durch die Architektur der Signalverarbeitungskette gewährleistet ist, dass das 1/f-Rauschen vollständig unterdrückt wird. Deswegen reicht in vielen Fällen der werkseitig durchgeführte Nullabgleich völlig aus. Zudem konnte auf die Funktion eines „internen Nullabgleichs" verzichtet werden, der zu keiner weiteren Verbesserung, wohl aber zu langen, asynchronen Unterbrechungen des Messablaufs geführt hätte.

Interne DC-Referenzspannung

Zur Verifikation des thermoelektrischen Messwandlers und der daran anschließenden analogen Signalverarbeitungskette enthält der Leistungssensor R&S®NRP-Z58 eine DC-Referenz (BILD 4), die die Kalibrierung an einer externen 50-MHz-Referenzquelle überflüssig macht. Dazu muss der Leistungssensor nicht einmal vom Messobjekt getrennt werden, solange dieses nur ein ausreichend stabiles Signal liefert. Mit einer Reproduzierbarkeit in der Größenordnung von 10^{-4} ist die Verifikation über die integrierte DC-Referenz einer mit HF-Signalen durchgeführten externen Kalibrierung weit überlegen.

Die werkseitige Kalibrierung bei über 200 Frequenzen ist lückenlos auf Primärnormale der nationalen Metrologie-Institute der Bundesrepublik Deutschland und der USA – die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) bzw. das National Institute of Standards and Technology (NIST) – rückführbar. Rohde&Schwarz profitiert dabei auch von einem kürzlich von der PTB in Betrieb genommenen Mikro-Kalorimeter, das das komplette W-Band abdeckt. Die Kalibrierunsicherheiten des neuen Leistungssensors betragen in diesem Bereich 6,0 % bis 7,0 % (berechnet nach GUM mit einem Erweiterungsfaktor von zwei).

Hochlineare Leistungsanzeige

Großer Wert wurde bei der Entwicklung auf eine hohe Linearität der Leistungsanzeige gelegt, eine Eigenschaft, die für relative Messungen wichtig ist. Das betrifft skalare Dämpfungs-, Verstärkungs- und Reflexionsmessungen ebenso wie indirekte Leistungsmessungen über Richtkoppler etc., bei denen der Absolutbezug über eine Systemkalibrierung bei einem einzigen Pegel erfolgt. Mit einer Linearitätsunsicherheit von maximal 0,23 % (0,01 dB) bewegt sich der R&S®NRP-Z58 auf dem Niveau klassischer Leistungssensoren auf Thermistor-Basis, bei denen eine DC-Substitution für hohe Linearität sorgt. Beim R&S®NRP-Z58 wird aus Gründen der Messgeschwindigkeit darauf verzichtet. Stattdessen wird eine numerische Linearitätskorrektur vorgenommen, die auf einer werkseitigen Kalibrierung des thermoelektrischen Messwandlers mit Gleichspannungen basiert und für die Lebenszeit des Sensors unverändert bleiben kann.

Messgeschwindigkeit

Die erreichbare Messgeschwindigkeit entspricht der moderner thermoelektrischer Leistungssensoren, hängt aber im Einzelfall sehr stark von der Applikation ab. Geht es nur darum, innerhalb einer gewissen Zeitspanne möglichst viele Messwerte aufzuzeichnen, so lassen sich im Modus mit Pufferung mehr als 500 Messungen pro Sekunde durchführen. Die Aperturzeit für einen Messpunkt lässt sich dabei auf eine halbe Millisekunde genau einstellen, die Messung kann

Frontend des R&S®NRP-Z58

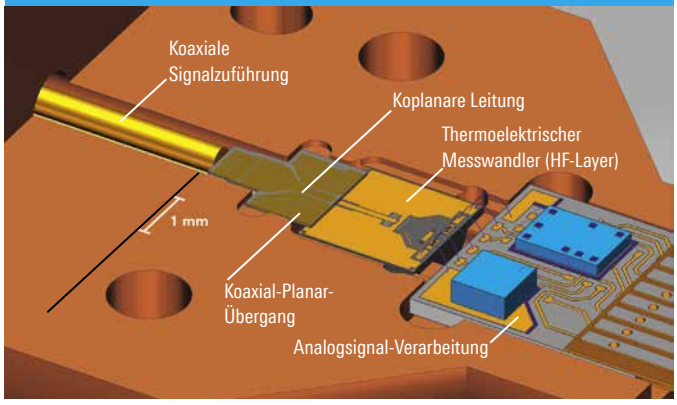


BILD 3 HF-Frontend mit Koaxial-Koplanar-Übergang.

Kalibrierung mit DC-Referenz

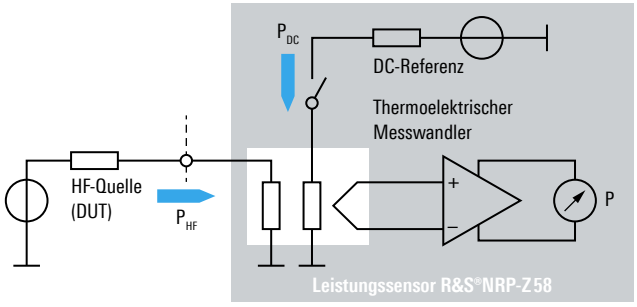


BILD 4 Schaltung zur internen Kalibrierung mit Gleichspannung.

Leistungsmessungen an jeder beliebigen Schnittstelle im Frequenzbereich bis 110 GHz

Obwohl der Leistungssensor R&S®NRP-Z58 für breitbandige Applikationen mit 1-mm-Anschluss entwickelt wurde, lässt er sich über geeignete Adapter (BILD 5) auch an Hohlleiter-Schnittstellen einsetzen. Damit eröffnen sich völlig neue Möglichkeiten bei diesen Anwendungen. So genügt im Prinzip ein einziger R&S®NRP-Z58, um Leistungsmessungen an jeder beliebigen Schnittstelle im Frequenzbereich bis 110 GHz durchzuführen. Insbesondere lässt sich auf diese Weise leicht in jenen Frequenzbändern messen, für die keine Hohlleiter-Leistungssensoren am Markt verfügbar sind, z. B. im Band WR-12 (R740, WG-26) von 60 GHz bis 90 GHz. Natürlich könnte man in diesem Fall auch einen Hohlleiter-Leistungssensor für das Band WR-10 mit einem Übergang auf WR-12 ausstatten, allerdings wäre eine solche Kombination nicht sehr attraktiv. Die große Baulänge des Hohlleiter-Sensors nähme weiter zu, und der ohnehin kleine Frequenzbereich würde auf die Schnittmenge mit dem Hohlleiter-Band des Messobjekts schrumpfen, d. h. auf das Band von 75 GHz bis 90 GHz.

Neben der universellen Verwendbarkeit gibt es aber noch weitere handfeste Argumente für den Einsatz des R&S®NRP-Z58 in Hohlleiter-Applikationen, Argumente, die den Nachteil der Adaptierung mehr als aufwiegen können. Dazu zählen die wesentlich höhere Messgeschwindigkeit, der Wegfall der umständlichen Justierung an einer 50-MHz-Referenzquelle, höhere Temperaturstabilität, die lückenlose Rückführbarkeit der Kalibrierung, das thermische Messprinzip und last, but not least, der Betrieb ohne spezielles Grundgerät.

Die Dämpfung des vorgeschalteten Adapters und seine Interaktion mit dem Eingang des Leistungssensors lassen sich elegant durch Embedding kompensieren. Dazu verfügt der R&S®NRP-Z58, wie alle Leistungssensoren aus der Reihe R&S®NRP, über die Funktion S-Parameter-Korrektur. Sie ermöglicht es, die vier S-Parameter des Adapters für eine Vielzahl von Frequenzen im Sensor zu speichern und so ohne weiteres Zutun des Anwenders im Messergebnis zu berücksichtigen. Die Auswirkung der Reflexion am Hohlleiter-Eingang des Leistungssensors, die durch den Adapter im Mittel etwas erhöht wird, lässt sich nur durch Gamma-Korrektur kompensieren. Diese Methode ist ebenfalls im R&S®NRP-Z58 implementiert, setzt aber die Kenntnis des komplexen Reflexionskoeffizienten am Ausgang des Messobjekts voraus. Wenn dieser bekannt ist, sind die verbleibenden Fehlanpassungsunsicherheiten vernachlässigbar. Sonst sollte, zumindest bei hohen Genauigkeitsanforderungen und bei schlecht angepasstem Messobjekt, die mögliche Auswirkung der Fehlanpassung auf das Messergebnis abgeschätzt werden.

BILD 5 Leistungssensor R&S®NRP-Z58 mit Adapter für das Hohlleiterband WR-10 (R900, WG-27) von 75 GHz bis 110 GHz.

getriggert oder freilaufend erfolgen. Wird auf Pufferung verzichtet und jeder Messwert einzeln ausgegeben, sind pro Sekunde immerhin noch 350 getriggerte Messergebnisse möglich. Müssen beim Messen kleiner Leistungen mehrere Messergebnisse gemittelt werden, um ein stabiles Messergebnis zu erhalten, reduziert sich natürlich die effektiv erzielbare Messrate. Im Vergleich zu anderen Produkten für das W-Band reichen beim R&S®NRP-Z58 aber kleinere Mittelungsfaktoren aus, weil das Eigenrauschen deutlich geringer ist. Dadurch ergeben sich Einschwingzeiten, die um mehr als den Faktor zehn kürzer sind als bisher, sodass sich auch Pegel bis –10 dBm fast verzögerungsfrei und gleichzeitig ausreichend stabil messen lassen.

Mechanisch robust und hochpräzise

Der 1-mm-Anschlussstecker des R&S®NRP-Z58 bestimmt ganz entscheidend Anpassung, Reproduzierbarkeit und Belastbarkeit des neuen Produkts. Rohde&Schwarz stellt ihn deshalb in Eigenfertigung her und unterwirft ihn einer rigorosen Qualitätskontrolle. Zusätzlich ist die Überwurfmutter des Steckers kugelgelagert. Dadurch lässt sich der Leistungssensor so feinfühlig von Hand anschrauben, dass auf die Verwendung eines Drehmomentschlüssels verzichtet werden kann. Außerdem wird der Steckerverschleiß reduziert, weil die verringerte Reibung eine Rotation des Außenleiters beim Festziehen der Überwurfmutter verhindert.

Thomas Reichel

Die bessere Wahl: USB-Leistungssensoren von Rohde&Schwarz

Leistungssensoren mit USB-Schnittstelle für die Hochfrequenz- und Mikrowellenmesstechnik haben innerhalb weniger Jahre das Gespann aus analogem Leistungssensor und analog-digitalem Grundgerät weitgehend abgelöst. Die wesentlichen Ursachen sind Kostenreduzierung und universelle Verwendbarkeit dank der flächendeckenden Verbreitung des USB. Weniger bekannt ist, dass das Konzept des vollständig in den Sensor integrierten Leistungsmessers Voraussetzung war für die Weiterentwicklung der HF-Leistungsmesstechnik in funktionaler und qualitativer Hinsicht.

Warum es Sensoren sein müssen

Leistungsmesser nehmen unter den Messgeräten für die Hochfrequenztechnik eine Sonderstellung ein: als Einzige werden sie direkt, d.h. ohne HF-Verbindungskabel, mit dem Messobjekt verbunden. Das hängt eng mit ihrer Aufgabenstellung zusammen, die Leistung des Messobjekts bei wellenwiderstandsrichtigem Abschluss zu erfassen. Ein Kabel, selbst wenn es fest mit dem Leistungsmesser verbunden wäre, würde durch Verschlechterung von Anpassung und Reproduzierbarkeit nur stören.

Da es nicht möglich ist, ein komplettes Messgerät mit einer Masse von mehreren Kilogramm direkt an den HF-Anschluss eines Messobjekts anzuschließen, hat man den hochfrequenten Messwandler schon früh vom restlichen Gerät getrennt und in einem kleinen Leistungssensor untergebracht. Dieser ließ sich dann direkt anschließen, und es musste nur das relativ unkritische, niederfrequente Ausgangssignal des Messwandlers an das Grundgerät übertragen werden.

BILD 1 Auswahl von Leistungssensoren aus der Produktfamilie R&S®NRP.

Dieses Gerätekonzept hat sich sehr lang am Markt behaupten können, am Ende waren aber damit die Anforderungen, wie sie vor allem durch den digitalen Mobilfunk entstanden, nicht mehr lösbar: Die Herstellkosten, und in Folge der Verkaufspreis, ließen sich trotz aller Fortschritte in der Elektronik kaum noch reduzieren, die Funktionalität blieb klein, und auch der Messgeschwindigkeit und -genauigkeit waren durch das geteilte Gerätekonzept Grenzen gesetzt. Wollte man diese überwinden, so war dies nur durch Integration der Funktionalität des Grundgeräts in den Sensor möglich.

BILD 2 Schnittstellen für Leistungssensoren im Größenvergleich (maßstäblich): Spitzenleistungssensor (links), standardisierte Schnittstelle für R&S®NRP (Mitte) und Micro-USB.

Rohde&Schwarz als Integrations-Pionier

Mitte der 1990er Jahre war die Miniaturisierung und Leistungsfähigkeit elektronischer Bauelemente so weit fortgeschritten, dass man diese Integration realisieren konnte. Rohde&Schwarz vollzog als Erster diesen Schritt und entwickelte die per RS-422-Schnittstelle steuerbaren Durchgangsleistungssensoren R&S®NRT-Z. Diese Sensoren konnten nicht nur an einem darauf zugeschnittenen digitalen Grundgerät R&S®NRT, sondern auch an den RS-232- bzw. PC-Card-Schnittstellen von PCs betrieben werden. Das Konzept hat Maßstäbe gesetzt und wurde von Mitbewerbern mehrfach nachgebaut.

Richtig populär wurden integrierte Leistungsmesser mit den Leistungssensoren der Reihe R&S®NRP-Z mit USB-Schnittstelle, die Anfang der 2000er Jahre im Markt eingeführt wurden (BILD 1). Sie haben ganz wesentlich von der Attraktivität dieser Schnittstelle profitiert und finden deswegen nicht nur als Zubehör für die verschiedensten Messgeräte Verwendung, sondern können mittlerweile sogar ein Tablet oder ein Mobiltelefon in einen Leistungsmesser verwandeln (siehe Titelbild*). Die flächendeckende Verbreitung des USB ist aber nur der offensichtlichste Grund für ihren Erfolg.

Kleiner, leichter und preiswerter

Bei einem klassischen Leistungsmesser entfallen etwa $^2/_3$ der Kosten auf das Grundgerät. Integriert man dessen Funktionalität, soweit für die Messwerterzeugung benötigt, in den Sensor, so lassen sich die Kosten im Vergleich zu früheren Systemen halbieren – natürlich unter der Maßgabe, dass ein Rechner oder ein anderes Messgerät für die Ausgabe zur Verfügung steht.

Noch günstiger wird dieses Verhältnis bei einem Vergleich integrierter Breitbandsensoren mit den funktional gleichwertigen Spitzenleistungsmessern. Letztere nahmen lange Zeit eine Sonderstellung unter den Leistungsmessern ein, da sie gepulste oder modulierte Signale analysieren und im Zeitbereich darstellen konnten. Weil der damit verbundene messtechnische Aufwand deutlich größer als bei normalen Leistungsmessern ist, sind sie bis heute entsprechend teuer. Exemplarisch zeigt sich das an der aufwendigen Sensor-Schnittstelle eines solchen Geräts (BILD 2), die aber auch nicht verhindert, dass sich die Länge des Verbindungskabels im Messergebnis bemerkbar machen kann.

Integrierte Breitbandsensoren, z. B. aus der Reihe R&S®NRP-Z8x, sind zu einem Bruchteil der Kosten herstellbar und bieten trotzdem fast die volle von Spitzenleistungssensoren bekannte Performance: 30 MHz Video-Bandbreite, 13 ns Anstiegszeit, Echtzeit-Abtastrate von 80 Msample/s, interne und externe Triggerung und die automatische Ermittlung von Pulsparametern. Die Länge des Verbindungskabels spielt keine Rolle. Bei den Breitbandsensoren von Rohde&Schwarz kommt noch hinzu, dass sie über einen konkurrenzlos großen Dynamikbereich und eine ultraschnelle statistische Analysefunktion verfügen.

Mindestens genauso wichtig wie die Kostenersparnis ist die Reduktion an Gewicht und Volumen: Das Einsparpotenzial kann mehr als 90 % betragen, wenn auf einen integrierten Leistungsmesser übergegangen wird.

Besser und genauer ohne Grundgerät

Die standardisierte, einkanalige Schnittstelle herkömmlicher Leistungssensoren ist ihre größte Stärke und Schwäche zugleich. Einerseits ermöglicht sie die Verwendung unterschiedlicher Sensoren an einem Grundgerät, andererseits schränkt sie die Möglichkeiten bei der Signalverarbeitung erheblich ein. Am offensichtlichsten ist das bei den heute immens wichtigen Mehrpfadsensoren. Weil sie nur durch sequenzielles Übertragen der Detektorsignale an einem klassischen Grundgerät betrieben werden können, werden ihre Möglichkeiten dort kaum ausgeschöpft. Nicht nur, dass Umschaltverzögerungen und Hystereseeffekte beim Wechsel des Messpfades auftreten, auch sonst ist der standardisierte Messkanal wenig geeignet: weder für signalsynchrone Messungen in Zeitfenstern noch für die Messung der Hüllkurvenleistung.

* Dafür ist die kostenlose App „Power Viewer Mobile“ für Android-Geräte bei Google play erhältlich. Die zugehörige Application Note „Using R&S®NRP-Z Power Sensors with Power Viewer Mobile for Android Handheld Devices“ steht zum Download bereit (Suchbegriff: 1MA215).

Bei Mehrpfadsensoren mit integrierter Signalverarbeitung kann hingegen ein Konzept verfolgt werden, das kompromisslos auf die Eigenheiten dieses Detektortyps zugeschnitten ist. Dazu werden die Signale der bis zu drei Messpfade parallel verarbeitet, sodass immer ein gültiger Messwert vorhanden ist. Die Notwendigkeit, eine Messung zu wiederholen, weil der gewählte Messpfad über- bzw. untersteuert war, entfällt. Außerdem kann der gesamte Messkanal so ausgelegt werden, dass sich signalsynchrone Leistungsmessungen durchführen lassen, z. B. an Kommunikationssignalen mit TDMA-Struktur.

Man könnte meinen, dass das klassische Konzept wenigstens den Vorteil der größeren Genauigkeit hätte. Doch ausgerechnet bei den ohnehin sehr genauen thermoelektrischen Sensoren zeigt sich, dass integrierte Lösungen noch besser sein können. Das liegt daran, dass analoge Grundgeräte eigene Fehlerbeiträge liefern, die bei integrierten Konzepten nicht gesondert zu Buche schlagen (BILD 3).

Mit dem Wegfall des Grundgeräts sind aber noch andere Vorteile verbunden: Weil das Messergebnis nur noch vom Leistungssensor abhängt, lassen sich Verhältnismessungen mit geringerer Unsicherheit durchführen, Messergebnisse besser reproduzieren und Nullpunktoffsets sensorspezifisch bei der Herstellung kalibrieren. Der Genauigkeitsgewinn bei der Verhältnismessung ist erheblich: Statt einer systematischen Unsicherheit (Typ B) von mindestens 1 % für das System Sensor – Grundgerät bei einem klassischen Leistungsmesser müssen bei den integrierten thermoelektrischen Sensoren aus der Reihe R&S®NRP-Z5x nicht mehr als 0,23 % veranschlagt werden, und das im gesamten Leistungsmessbereich.

50-MHz-Referenzquelle nicht zeitgemäß

Die von klassischen Leistungsmessern bekannte Referenzquelle gehörte nicht von Anfang an dazu. Eingeführt wurde sie beim Übergang von den heute veralteten Thermistor-Leistungssensoren auf thermoelektrische Ausführungen. Waren Erstere durch DC-Substitution inhärent langzeitstabil, gilt dies für Detektoren auf thermoelektrischer und Dioden-Basis nicht generell. Deswegen werden Letztere von den Mitbewerbern bis heute nicht absolut, sondern nur relativ mit Bezug auf 50 MHz kalibriert. Den Absolutbezug liefert erst die im Grundgerät eingebaute 50-MHz-Referenzquelle.

Obwohl Rohde&Schwarz mit seinen absolut kalibrierten Leistungssensoren aus den Familien R&S®NRV und R&S®NRP von Anfang an einen anderen Weg ging, war die 50-MHz-Quelle auch hier ein wichtiges Zubehör: zur Verifikation der Sensoren, die – obwohl nachweislich langzeitstabil – beschädigt werden könnten.

Aus heutiger Sicht ist die Referenz- bzw. Testquelle nicht mehr zeitgemäß. Zum einen erfordert ihre Verwendung, dass der Leistungssensor vom Messobjekt getrennt und an die Quelle angeschlossen werden muss: eine Maßnahme, die nicht nur umständlich und zeitaufwendig, sondern häufig gar nicht durchführbar ist. Zum anderen ist es die Unsicherheit der Quelle selbst, die ihre Verwendung infrage stellt. Mit einem Wert von 0,4 % bis 1,2 % liegt diese weit oberhalb beobachtbarer Drift, sodass als eigentlicher Nutzen nur das Erkennen grober Beschädigungen verbleibt.

Den entscheidenden Anstoß für eine Änderung des bestehenden Konzepts haben wieder die USB-Leistungssensoren geliefert. Weil an ihrem Einsatzort in der Regel keine 50-MHz-Referenzquelle zur Verfügung steht, kann die Verifikation nur in den Sensoren selbst erfolgen. Dies wurde zum ersten Mal, und zwar auf hohem Genauigkeitsniveau, bei den thermoelektrischen Sensoren der Reihe R&S®NRP-Z5x realisiert (siehe Seite 22). Diese Sensoren enthalten einen Referenzkreis auf Basis einer hochstabilen Gleichspannungsquelle, dessen

Zusammensetzung von Messunsicherheiten

BILD 3 Zusammensetzung der Messunsicherheit bei absoluten Leistungsmessungen mit einem thermoelektrischen Leistungssensor für eine übliche Applikation: Signalfrequenz 2 GHz, Leistungspegel –3 dBm, SWR der Quelle 1,10. Links: klassisches Leistungsmessgerät aktueller Bauart; rechts: R&S®NRP-Z51 (Modell 03). Die Zahlenwerte stellen mit k = 2 erweiterte Unsicherheiten nach GUM dar. Fett gedruckt: Gesamte erweiterte Messunsicherheit nach quadratischer Addition der Teilunsicherheiten. Klammerwerte: Summe der Teilunsicherheiten nach linearer Addition.

3-Pfad-Konzept

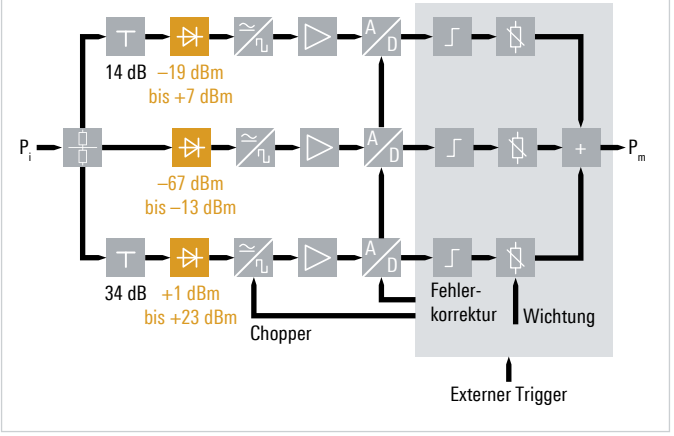


BILD 4 Architektur der Dreipfad-Sensoren aus der Reihe R&S®NRP.

Vergleich Messzeiten

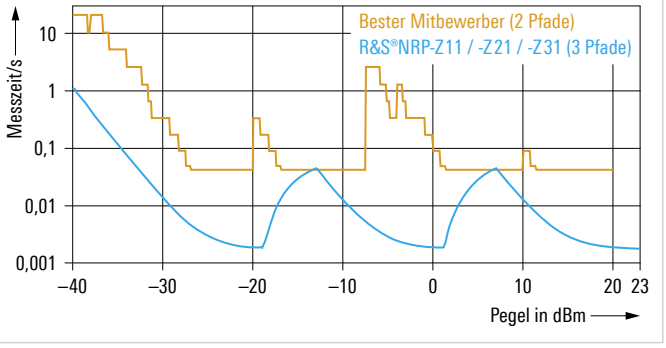


BILD 5 Kürzest mögliche Messzeit für eingeschwungene Messungen mit Mehrpfadsensoren, 2-sigma-Rauschanteil im Messergebnis auf 0,01 dB begrenzt.

Ausgangssignal sich dem Messsignal überlagern lässt. Damit ist die Möglichkeit gegeben, die gesamte Messkette vom thermoelektrischen Wandler bis zum A/D-Umsetzer in wenigen Sekunden zu überprüfen, ohne dass der Leistungssensor ausgebaut werden müsste. Mit einer Reproduzierbarkeit in der Größenordnung von 10^{-4} wird zudem ein Vertrauensniveau erreicht, wie es nur die Thermistor-Leistungsmesser boten. Es ist anzunehmen, dass dieses Konzept auch für andere Sensortypen übernommen wird.

Sensor ist nicht gleich Sensor

Nur wenige Produkte schöpfen das Potenzial integrierter Sensorkonzepte so vollständig aus wie die Leistungssensoren der Reihe R&S®NRP. Viele der neu auf den Markt drängenden Produkte wurden ausschließlich als billige Alternative zu klassischen Leistungsmessern entwickelt und erreichen deswegen nicht deren Genauigkeits- und Geschwindigkeitsniveau. Auch kommen Detektoren zum Einsatz, mit denen unwissentlich grobe Messfehler gemacht werden können.

Die Rede ist von CW-Sensoren und Sensoren mit logarithmischen Detektoren. Beide Typen eignen sich definitionsgemäß nur für spektralreine Sinussignale, versagen also bei überlagerten Störsignalen (Rauschen, Oberwellen) und bei Modulation. War der Einsatz von CW-Sensoren in der Vergangenheit noch berechtigt, weil sie wegen des großen Signal/Rausch-Abstands kurze Messzeiten ermöglichten, müssen sie heutzutage als überholt gelten. Integrierte Mehrpfadsensoren sind für diese Applikationen die weitaus bessere Wahl. Sie zeigen die genannten Anfälligkeiten nicht – und sind überdies schneller.

Natürlich gibt es auch bei ihnen erhebliche Qualitätsunterschiede, vor allem bei der Messgeschwindigkeit. Drei Merkmale müssen nämlich zusammenkommen, damit Top-Performance entsteht. Beim Ersten handelt es sich um Mehrfach-Detektordioden, das sind integrierte Arrays von in Serie geschalteten Dioden. Sie verbessern die HF-Eigenschaften und vergrößern den Dynamikbereich eines einzelnen Messpfades. Das zweite Merkmal ist ein für Rohde&Schwarz patentiertes Wichtungsverfahren, das es ermöglicht, auf eine harte Umschaltung zwischen den Pfaden zu verzichten und stattdessen einen gleitenden Übergang zu erreichen (BILD 4). Dazu werden die Messergebnisse benachbarter Messpfade zur Berechnung des Endergebnisses herangezogen, und zwar in einem breiten Überlappungsbereich von 6 dB (Leistungsspanne 4:1). Allein die beiden genannten Merkmale tragen dazu bei, dass sich die Mittelungsfaktoren in den Übergangsbereichen um den Faktor 100 reduzieren lassen.

Das dritte Merkmal ist ein dritter Messpfad – ein Feature, das es bisher nur von Rohde&Schwarz gibt. Mit den Mehrpfadsensoren können Messzeiten erzielt werden, die im Mittel noch einmal um den Faktor 20 kürzer sind als beim besten Mitbewerber (BILD 5). Gleichzeitig ist der Dynamikbereich dieser Sensoren um 10 dB größer.

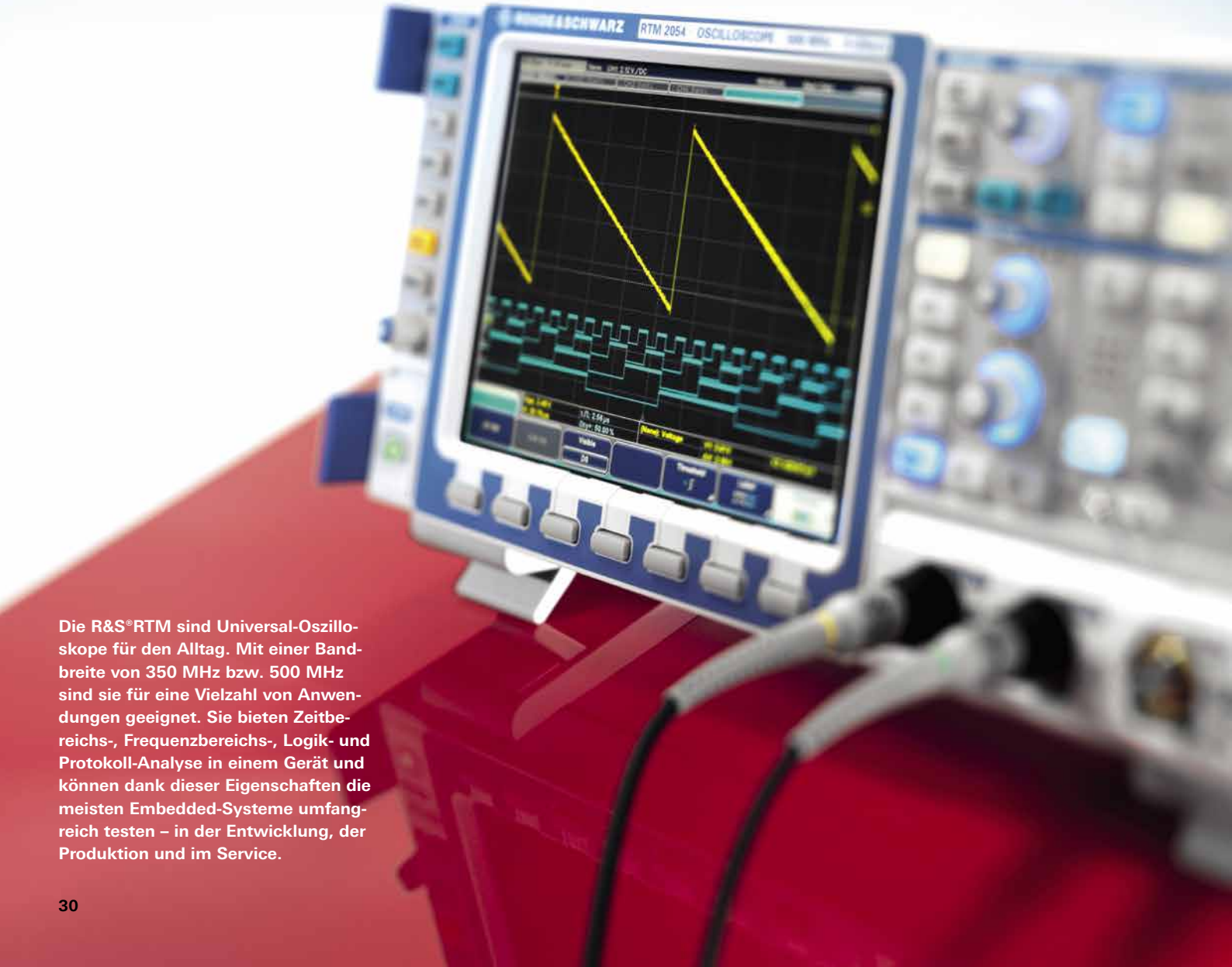
Ausblick

Die vorangegangene Schilderung könnte leicht den Eindruck erwecken, dass die Entwicklung von USB-Leistungssensoren abgeschlossen sei. Tatsächlich handelt es sich wohl erst um deren Beginn, weil all die Einschränkungen fehlen, welche das klassische Konzept prägten. So lässt die anhaltende Miniaturisierung auf dem Bauelemente-Sektor noch leistungsfähigere Konzepte erwarten, zum Beispiel für die Etablierung einer gemeinsamen Zeitbasis für Mehrkanalmessungen mit verteilten Sensoren.

Thomas Reichel

Das neue R&S®RTM 2000: einschalten – messen – fertig

Einfache Bedienung, schneller Zugriff auf Funktionen, prompte und zuverlässige Ergebnisse – das wünschen sich Anwender von Oszilloskopen im täglichen Messeinsatz. Die neuen Universal-Oszilloskope R&S®RTM 2000 erfüllen diese Bedürfnisse. Mit ihnen werten Anwender bereits Messungen aus, während andere noch booten. Und sie sehen Signale, die sonst im Rauschen untergehen.



Die R&S®RTM sind Universal-Oszilloskope für den Alltag. Mit einer Bandbreite von 350 MHz bzw. 500 MHz sind sie für eine Vielzahl von Anwendungen geeignet. Sie bieten Zeitbereichs-, Frequenzbereichs-, Logik- und Protokoll-Analyse in einem Gerät und können dank dieser Eigenschaften die meisten Embedded-Systeme umfangreich testen – in der Entwicklung, der Produktion und im Service.

Universal-Oszilloskope: Welche Eigenschaften sollten sie haben?

Universal-Oszilloskope – wie das R&S®RTM – werden für allgemeine Messaufgaben in der Entwicklung, der Produktion, im Service und in der Ausbildung eingesetzt. Sie punkten durch Kompaktheit, geringes Gewicht und geringe Geräuschemission, vor allem aber durch einfache und intuitive Bedienung. Vorteilhaft ist ein Gerätekonzept, das sich flexibel auf zukünftige Anforderungen von Anwendern einstellt und erweiterbar ist. Kunden können nicht nur Software- und Hardware-Optionen, sondern auch die Bandbreite ihres Oszilloskops aufrüsten.

Was hat Rohde&Schwarz darüber hinaus beim R&S®RTM besser gemacht?

Die R&S®RTM-Oszilloskope im Überblick

Bandbreite	
R&S®RTM2032 / 2034	350 MHz (2 / 4 analoge Kanäle)
R&S®RTM2052 / 2054	500 MHz (2 / 4 analoge Kanäle)
Abtastrate	2,5 Gsample/s, 5 Gsample/s interleaved
Speichertiefe	10 Msample, 20 Msample interleaved
Logikanalyse (Option R&S®RTM-B1)	
Max. Abtastrate	5 Gsample/s
Max. Speichertiefe	20 Msample

Logikanalyse: Mehr Details mit dem R&S®RTM

Die Option R&S®RTM-B1 erweitert die R&S®RTM-Oszilloskope um 16 Logik-Kanäle. Mit Abtastraten von bis zu 5 Gsample/s messen die Oszilloskope das Timing von Logiksignalen sehr genau. Da die Signale präzise in zeitlichen Bezug zueinander gesetzt werden können, sind Timing- oder Clock-Fehler an seriellen und parallelen Bussignalen leichter zu finden. Die hohe Abtastrate steht über die gesamte Aufnahmedauer zur Verfügung und sichert damit die feine zeitliche Auflösung auch bei längeren Aufzeichnungen.

Logiksignale speichert das R&S®RTM mit einer Tiefe von bis zu 20 Msample. Dadurch ist beispielsweise bei der Entwicklung eines CAN-Bus-Steuergeräts in der Automobilindustrie die vollständige Aufnahme und Analyse einer komplexen Steuersequenz möglich. Enthält diese schwer zu entdeckende Fehler, so sind sie mit der Logikanalyse der R&S®RTM-Oszilloskope schnell aufgedeckt.

Außerdem wurde der VirtualScreen in die R&S®RTM-Oszilloskope integriert: Er verdoppelt den nutzbaren Bildschirm und stellt alle Kanäle ohne Überlappung dar. Mathe-, Referenz-, Logiksignale und Protokolldaten können ober- oder unterhalb der analogen Kanäle dargestellt werden und erlauben so die volle Übersicht über alle Messdaten. Zusätzlich zeigt die Aktivitätsanzeige der R&S®RTM-Oszilloskope den vollständigen aktuellen Status aller Logiksignale (high, low, toggle), unabhängig von den Einstellungen der Triggerparameter (BILD 1).

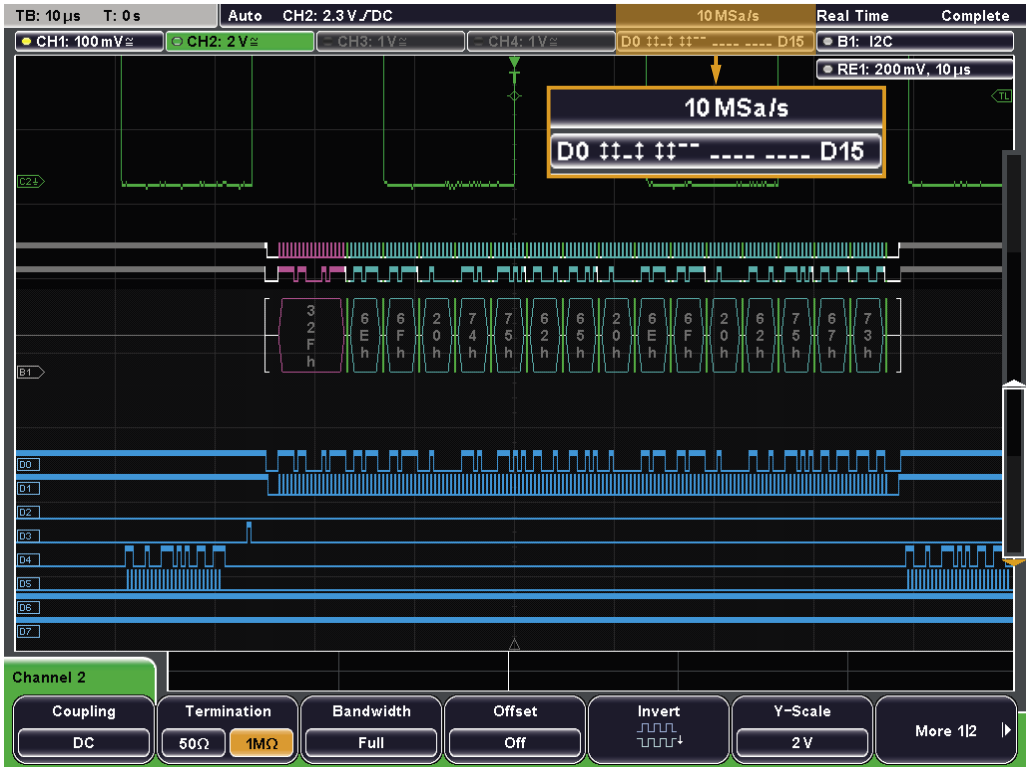


BILD 1 Anzeige des Status der digitalen Signale unabhängig von Erfassungs- und Geräteeinstellungen.

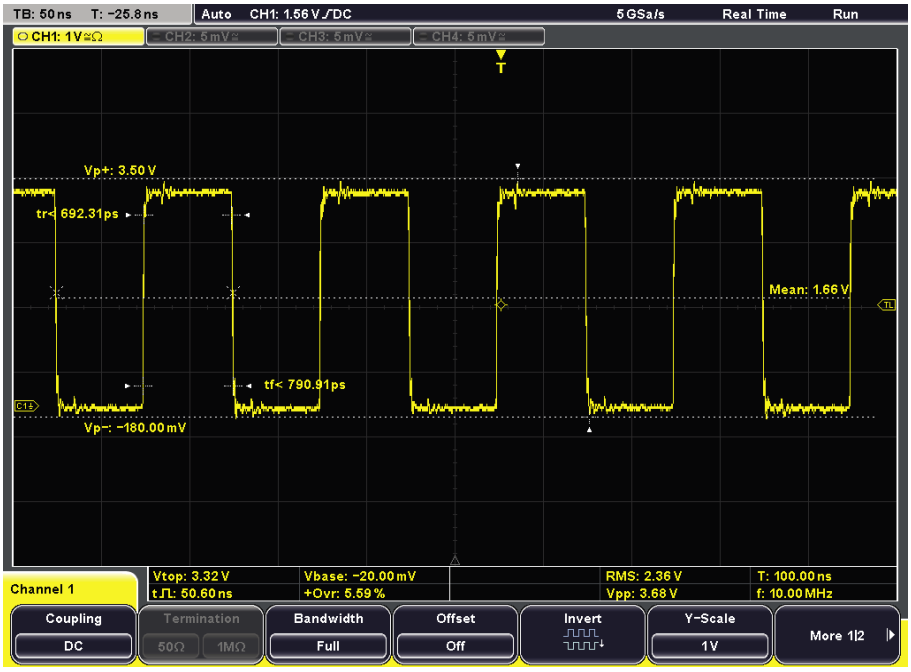


BILD 2 QuickMeas: Auf Knopfdruck automatisch messen und grafisch darstellen.

Messfunktion QuickMeas

Messwerte		Darstellung
Vp+	positive Spitzenspannung	grafische Darstellung direkt an der Signalkurve
Vp–	negative Spitzenspannung	
tr	Anstiegszeit	
tf	Abfallzeit	
Mean	Spannungsmittelwert	
Vpp	Spitze-Spitze-Spannung	tabellarische Anzeige unten rechts im Bildschirm
RMS	Effektivwert	
T	Periodendauer	
f	Frequenz	

BILD 3 Die Messfunktion QuickMeas liefert automatisch wichtige Messwerte.

Signalanalyse: Mit dem R&S®RTM schneller am Ziel

Gerade in der Entwicklung wollen Anwender Messsignale im Detail analysieren und ihre Eigenschaften, wie Frequenz oder Anstiegs- und Abfallzeiten, bestimmen. Dafür bieten die R&S®RTM-Oszilloskope leistungsfähige Werkzeuge, die die Signalanalyse erleichtern und genaue Ergebnisse liefern. Einzigartig ist die Messfunktion QuickMeas. Auf Knopfdruck stellt sie stets aktuell die wichtigsten Messwerte des gerade aktiven Signals mittels Hilfslinien und Markern dar (BILD 2 und 3). Zusätzlich steht eine Vielzahl automatischer Funktionen zur raschen Signalanalyse wie beispielsweise die Messung der Spitze-Spitze-Spannung oder der Signalfrequenz zur Verfügung. Diese Ergebnisse werden in tabellarischer Form, wahlweise mit statistischer Auswertung, dargestellt.

Ein weiteres Highlight der R&S®RTM-Oszilloskope sind die cursorbasierten Messungen. Neben den üblichen ΔT- und ΔV-Messungen bieten die Oszilloskope im Cursormenü zusätzliche Auswahlfunktionen wie das Messen von Spannungsmittelwert oder Effektivwert und einen Pulszähler über einen frei definierbaren Bereich des Signals.

Fehlersuche: Alles im Blick mit dem R&S®RTM

Signalfehler zu finden, ist häufig zeitraubend. Die R&S®RTM-Oszilloskope verkürzen die Fehlersuche durch leistungsfähige Werkzeuge wie den integrierten Maskentest und die FFT-Analyse. Maskentests zeigen schnell, ob ein gegebenes Signal innerhalb definierter Toleranzgrenzen liegt, und bewerten die Qualität und Stabilität eines Testobjekts mittels statistischer Pass/Fail-Auswertung. Wird eine aktive Maske verletzt, kann entweder ein automatischer Stopp der Erfassung oder die Ausgabe eines akustischen Signals folgen. Signalanomalien und unerwartete Ereignisse sind dadurch leicht zu isolieren. Die Maskentest-Funktion ist einfach zu bedienen. Mit wenigen Tastendrücken ist eine neue Maske aus einem Referenzsignal definiert (BILD 5). Für die Automatisierung von Qualitätstests in Produktionsanwendungen steht der Maskentest natürlich auch fernsteuerbar zur Verfügung.

Mittels FFT, die auf Knopfdruck abrufbar ist, werden Fehler im Spektrum eines Signals aufgedeckt und analysiert. In dieser Betriebsart zeigen die R&S®RTM-Oszilloskope neben der Spektraldarstellung des Signals gleichzeitig ein kleines Zeitbereichsfenster, das die Kontrolle des Abtastintervalls unterstützt. Maximalen Komfort bietet der „Autoset“: Das Gerät stellt die Amplituden- und Frequenzskalierung anhand des Messsignals optimal ein. Mit der FFT-Analyse können so in kurzer Zeit z.B. DC/DC-Konverter-Designs auf Störfrequenzen analysiert werden.

Genauigkeit: Eine Stärke von Rohde&Schwarz

Rohde&Schwarz hat langjährige Erfahrung in der Entwicklung von professioneller Messtechnik. Die R&S®RTM-Oszilloskope bringen diese Expertise beispielsweise durch das sehr rauscharme und präzise analoge Frontend zum Ausdruck. Das Frontend erreicht eine hohe Vertikalauflösung mit einer Eingangsempfindlichkeit von bis zu 1 mV/Div über den gesamten Bandbreitenbereich. Da keine softwarebasierten Zoomverfahren zum Einsatz kommen, zeigen die R&S®RTM-Oszilloskope auch bei 1 mV/Div die echten Messpunkte eines Signals an. Die Kombination aus genauem analogen Frontend und

Aufzeichnungsdauer		
	5 Gsample/s	**2,5 Gsample/s**
10 ksample	2 µs	4 µs
1 Msample	200 µs	400 µs
10 Msample	2000 µs	4000 µs
20 Msample	4000 µs	8000 µs

BILD 4 Aufzeichnungsdauer mit dem R&S®RTM in Abhängigkeit von Speichertiefe und Abtastrate.

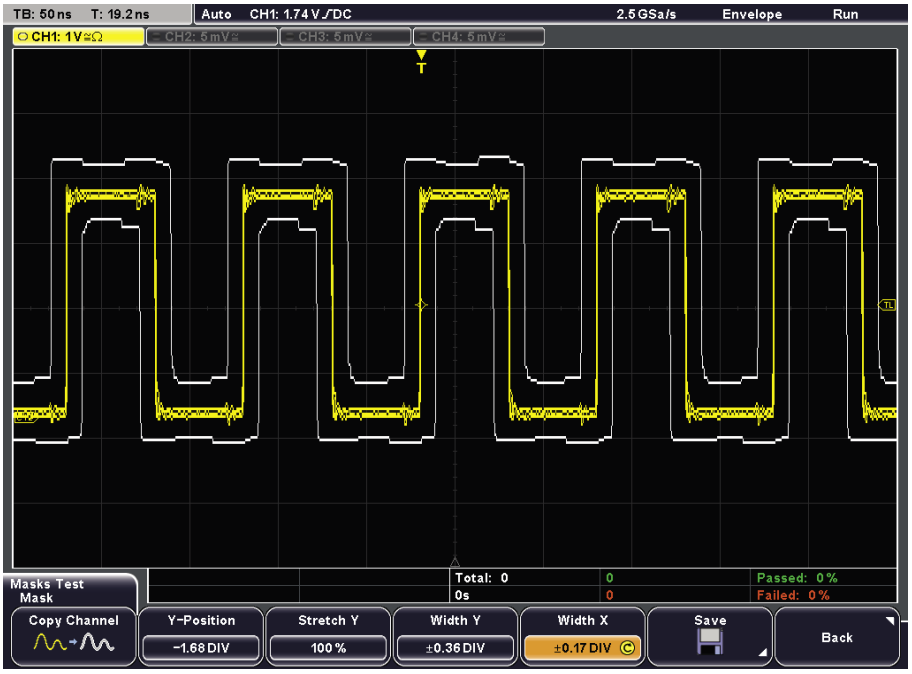


BILD 5 Maskentest-Funktion: Mit wenigen Tastendrücken ist eine Maske aus einem Referenzsignal definiert.

leistungsfähigem Triggersystem ermöglicht das Analysieren schwacher und hochfrequenter Signale.

Die Genauigkeit der Abbildung eines Messsignals ist stark vom Eigenrauschen eines Oszilloskops abhängig. Deshalb haben die R&S®RTM-Oszilloskope rauscharme Eingangsstufen und A/D-Umsetzer. Sie können selbst bei den kleinsten vertikalen Auflösungen präzise messen. Diese Präzision bleibt unverändert, auch wenn weitere Kanäle verwendet werden. Mit ihrer Kanal-zu-Kanal-Isolierung von > 50 dB bis 500 MHz zeigen sie eine sehr gute Charakteristik. Die Kanal-zu-Kanal-Isolierung stellt sicher, dass das Messsignal eines Kanals einen möglichst geringen Einfluss auf die Signale der anderen Kanäle hat.

Tiefer Speicher: Lange Sequenzen mit hoher Auflösung

Je mehr Details ein Oszilloskop anzeigen kann, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, Signalfehler oder relevante Ereignisse zu finden. Voraussetzung dafür ist eine hohe zeitliche Auflösung, also eine hohe Abtastrate. Viele Anwendungen erfordern eine lange Aufzeichnungsdauer, beispielsweise die Analyse von Einschwingvorgängen oder von seriellen Protokollen. Hier punkten die R&S®RTM-Oszilloskope, denn sie bieten eine Speichertiefe von 20 Msample bei einer zeitlichen Auflösung bis zu 200 ps (Abtastrate 5 Gsample/s). Mit so tiefem Speicher werden bei maximaler Abtastrate bis zu 4 ms aufgezeichnet und damit auch seltene Signalfehler gefunden (BILD 4). Die Aufzeichnungsdauer lässt sich durch Reduktion der Abtastrate weiter erhöhen.

Einfache Bedienung: Klares Plus für Anwender

Die R&S®RTM-Oszilloskope lassen den Anwenderwunsch Realität werden: Gerät auspacken, einschalten und messen. Farblich codierte Bedienelemente für Vertikaleinstellung und Trigger visualisieren den gerade im Fokus befindlichen Kanal. Diese Farbcodierung entspricht der Signaldarstellung auf dem Bildschirm. Dadurch finden sich Anwender leicht zurecht und können selbst bei komplexen Messaufgaben immer flüssig arbeiten. Dabei unterstützen sie auch die logisch gruppierten Menüs mit flachen Strukturen. Für häufig genutzte Funktionen sind dedizierte Tasten vorhanden.

Zur einfachen Bedienung gehört auch, dass Bedienfehler leicht zu korrigieren sind. Die Undo- / Redo-Funktion erlaubt, vorherige Einstellungen einfach wiederherzustellen. Kein Problem also, falls versehentlich mal der falsche Knopf gedrückt wurde. Und mit der Sprachauswahl sind die R&S®RTM Oszilloskope bestens für den internationalen Einsatz gerüstet: Neben Deutsch und Englisch stehen sieben weitere Sprachen zur Auswahl.

Fazit

Anwender fordern von einem Universal-Oszilloskop Schnelligkeit, einfache Bedienbarkeit und zuverlässige Ergebnisse. Es soll in einem Gerät Zeitbereichs-, Frequenzbereichs-, Logik- und Protokoll-Analyse abdecken. Als „Scope of the art" kann das R&S®RTM2000 all das – und zwar richtig gut.

Ernst Flemming

R&S®RTO-Oszilloskope verifizieren die Konformität von USB-2.0-Schnittstellen

Die USB-Schnittstelle ist bei mobilen Endgeräten, elektronischen Konsumgütern und Industrieprodukten so dominant wie keine andere. Entsprechend groß ist der Bedarf in der Entwicklung und Integration an zuverlässigen, schnellen Testlösungen. Die gibt es: Mit den High-Performance-Oszilloskopen R&S®RTO und einer neuen Software sind automatisierte USB-2.0-Konformitätstests durchführbar.

Gefragt: automatische USB-2.0-Testlösungen für das Labor

USB-2.0-Schnittstellen erreichen im HS Mode (High Speed) eine Datenübertragungsrate von 480 Mbit/s. In der PC-Welt, in der diese Schnittstelle ihren Ursprung hat, ist mittlerweile der Standard 3.0 mit 5 Gbit/s etabliert (Super-speed Mode). Für viele mobile Anwendungen, PC-Peripherie-Geräte und Geräte und Anlagen in der Industrie, Medizin oder im A&D-Umfeld ist die Datenrate der USB-2.0-Schnittstelle jedoch völlig ausreichend, weshalb sie sich in diesen Bereichen weiter verbreitet.

Der Standard USB-2.0 wurde im Jahr 2000 veröffentlicht, die entsprechenden Komponenten am Markt sind inzwischen technologisch ausgereift. Trotzdem bleiben Herausforderungen für die Entwickler, und zwar bei der Integration dieser Komponenten auf Leiterplatten und in Endgeräte. So kann beispielsweise eine ungenügende Isolierung zu anderen Baugruppen Masse-Rückkopplungen oder Übersprechen zur Folge haben und die Funktion der USB-Schnittstelle stören. Zur Fehlersuche und für Stabilitätstests sind Entwickler deshalb auf standardkonforme Testlösungen angewiesen. Dazu hat die USB-Standardisierungsorganisation – das USB Implementers Forum (USB-IF) – einen Testprozess mit entsprechenden Konformitätsmessungen definiert, der fehlerfreies Interagieren verschiedenster mit USB-Schnittstellen ausgestatteter Geräte garantieren soll. Produkte, die das USB-Logo führen sollen, müssen diesen Konformitätstest bestehen.

Für die erfolgreiche Vorbereitung auf den Konformitätstest, der von zertifizierten Testlabors durchgeführt wird, sind automatische USB-Testlösungen für das Labor gefragt.

Automatische Lösung von Rohde&Schwarz für Konformitätstests

Die hohe Messgenauigkeit der R&S®RTO-Oszilloskope ist eine gute Voraussetzung für zuverlässige Ergebnisse bei den Konformitätstests. Für den Test von USB-2.0-Schnittstellen im HS Mode eignen sich das Oszilloskop R&S®RTO1024 (2 GHz Bandbreite) oder das R&S®RTO1044 (4 GHz). Mit der Software R&S®ScopeSuite von Rohde&Schwarz steht ein Werkzeug zur Verfügung, welches Schritt für Schritt durch Konformitätstests führt, das Oszilloskop konfiguriert, Messungen automatisch durchführt und Ergebnisse in einem Messprotokoll übersichtlich zusammenfasst. Die dazugehörige Software-Option R&S®RTO-K21 umfasst USB-2.0-Konformitätstests für USB-Devices, -Hubs und -Hosts (BILD 1). Für die Verbindung des Testobjekts zum Oszilloskop bietet Rohde&Schwarz das Test Fixture Set R&S®RT-ZF1 an, das für USB-2.0-Signalqualitäts- und für die Legacy-Tests an USB-1.1- und USB-1.0-Schnittstellen einsetzbar ist.

Testaufbau

Der Testaufbau hängt davon ab, ob ein USB-Device, -Host oder -Hub getestet und welcher Speed Mode für den Konformitätstest gewählt wird. Die Test Fixture Boards (Signal Quality Board und Load Board) enthalten unterschiedliche Sektionen für die einzelnen Tests. BILD 2 zeigt den Testaufbau für HS Device Signal Quality (SQ) Tests. Die R&S®ScopeSuite läuft auf einem PC, der das R&S®RTO steuert. Das Oszilloskop ist über einen differenziellen Tastkopf und das Test Fixture Board mit dem DUT verbunden. Das DUT wird mit der USB-IF-Software „HS Electrical Test Tool" in den entsprechenden Testzustand versetzt. Diese Software sollte auf einen separaten PC betrieben werden, da sie den USB-Stack während des Betriebs umstellt.

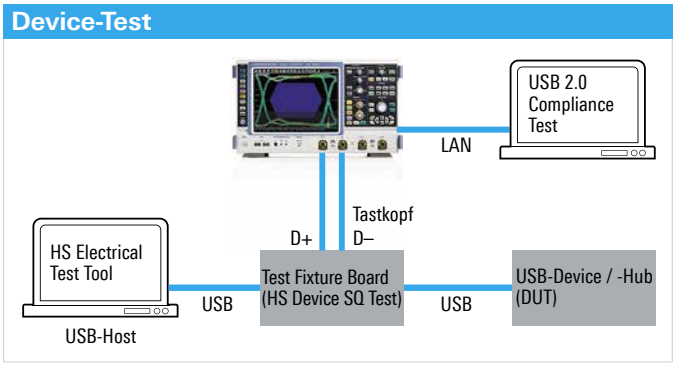


BILD 2 Testaufbau für HS Device Signal Quality (SQ) Test.

	USB-Test			Tastköpfe	
	Device	Host	Hub	Differenziell	Massebezogen
High-speed-Tests					
Signal Quality (SQ)	•	•	•	1	
Packet Parameter	•	•	•	1	
Chirp Timing	•	•	•		2 aktiv oder passiv
Suspend/Resume/Reset	•	•	•		2 aktiv
J / K, SEO_NAK Levels	•	•	•		2 aktiv
Receiver Sensitivity (2 Generatorkanäle erforderlich)	•		•	1	
Hub Jitter			•	1	
HS Repeater			•	1	2 aktiv
Full-speed-Test					
Full-speed SQ	•	•	•		3 aktiv oder passiv
Low-speed-Test					
Low-speed SQ	•	•	•		2 aktiv oder passiv
Legacy-Tests					
Inrush Current (mit Stromzange)	•		•		
Back Voltage	•		•		3 aktiv
Host drop		•			2 aktiv
Host droop		•			2 aktiv oder passiv

BILD 1 Die von der Software-Option R&S®RTO-K21 unterstützten Konformitätstests und die erforderlichen Ergänzungen.

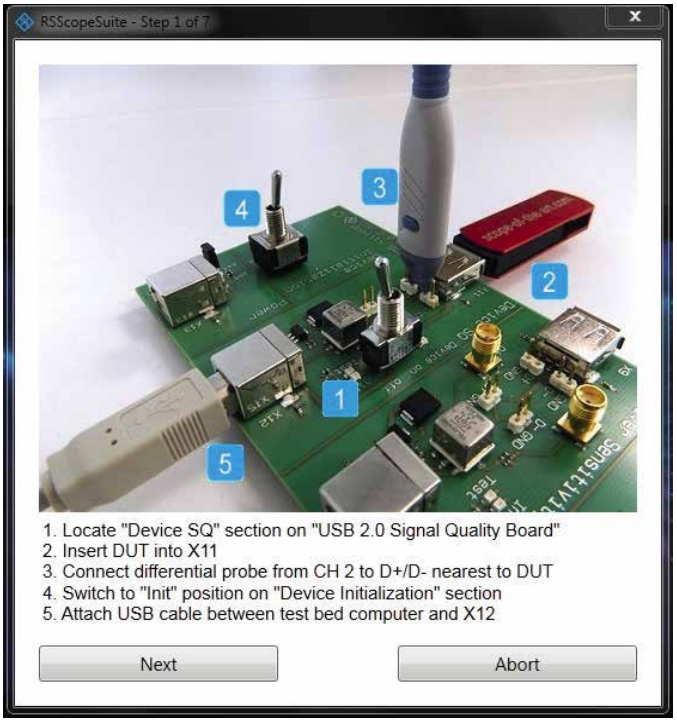


BILD 3 Bildgestützte Anleitung des Testablaufes: Device HS Mode, Signal Quality Test mit Test Fixture Set R&S®RT-ZF1.

Schnell und sicher durch die Tests mit der Software R&S®ScopeSuite

Die R&S®ScopeSuite steuert die Messeinstellungen und den Messablauf des R&S®RTO-Oszilloskops über die LAN-Schnittstelle. Vor Testbeginn lassen sich Benutzerdaten, alle Einstellungen zum Messaufbau und Messprotokolldefinitionen festlegen und mit dem Limit-Editor standardspezifische Testgrenzen individuell anpassen. Die Suite führt den Anwender unter Berücksichtigung des Messaufbaus durch alle ausgewählten Konformitätstests. Die detaillierte und bildgestützte Anleitung erleichtert die richtige Kontaktierung der Tastköpfe mit der Test Fixture und dem DUT (BILD 3).

Ein typischer Test startet mit der Konfiguration des Test Modes für das DUT durch das HS Electrical Test Tool. Anschließend sendet das DUT spezifische Testsignale, die mit dem Oszilloskop aufgenommen (BILD 4) und an die Software R&S®ScopeSuite zur Auswertung übergeben werden. Die Suite setzt zur Ergebnisanalyse die offizielle Analysesoftware USB-IF Electrical Test Tool ein.

Der Testablauf mit der R&S®ScopeSuite ist flexibel durchführbar. Zum Beispiel kann der Anwender Testfälle für die Fehlersuche oder für Stabilitätstests mit der Funktion „Repeat – Keep Previous" beliebig oft wiederholen (BILD 5). Alle Ergebnisse werden im Messprotokoll dokumentiert. Unterläuft dem Anwender während des Tests ein Fehler, beispielsweise ein falsch verbundener Tastkopf oder eine inkorrekte Konfiguration des Test Modes mit dem HS Electrical Test Tool, kann er das Ergebnis verwerfen und den Testfall mittels der Funktion „Repeat – Discard Previous" wiederholen.

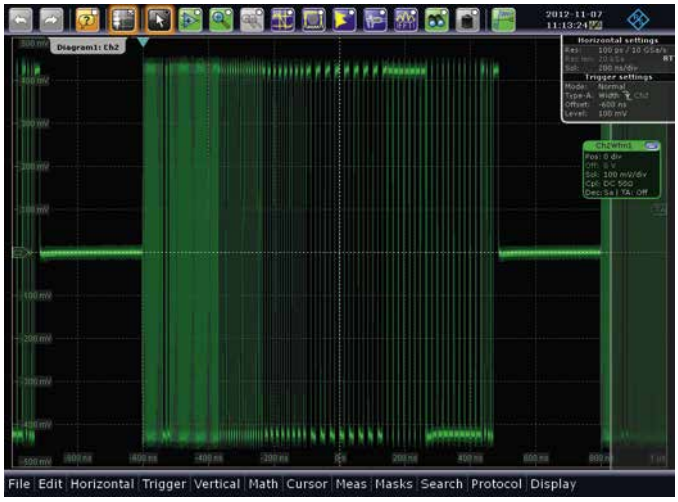


BILD 4 Messkurve beim HS Signal Quality Test.

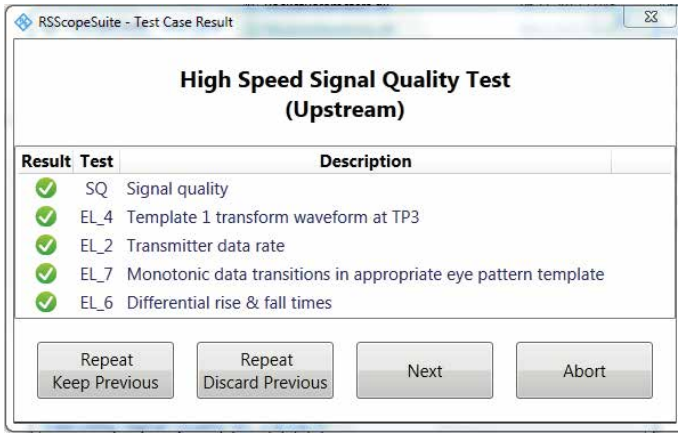


BILD 5 Flexible Testablaufsteuerung.

Detaillierte Reports dokumentieren die Testabläufe

Die detaillierte Dokumentation der Messergebnisse ist ein essenzieller Bestandteil eines Konformitätstests, aber auch wichtig für die Fehlersuche und den Datenaustausch mit Kollegen und Kunden. Dafür bietet die R&S®ScopeSuite umfangreiche Funktionen. Zum Beispiel sind die Pass/Fail-Testergebnisse wahlweise mit Messwertdetails und Bildschirmfotos dokumentierbar. Die Suite erlaubt auch das Hinzufügen neuer Tests zu einem unterbrochenen Testablauf, sodass alle Ergebnisse in einem Report verfügbar sind (BILD 6). Reports können auch nachträglich generiert werden. Als Ausgabeformat stehen PDF, RTF und HTML zur Verfügung.

Guido Schulze

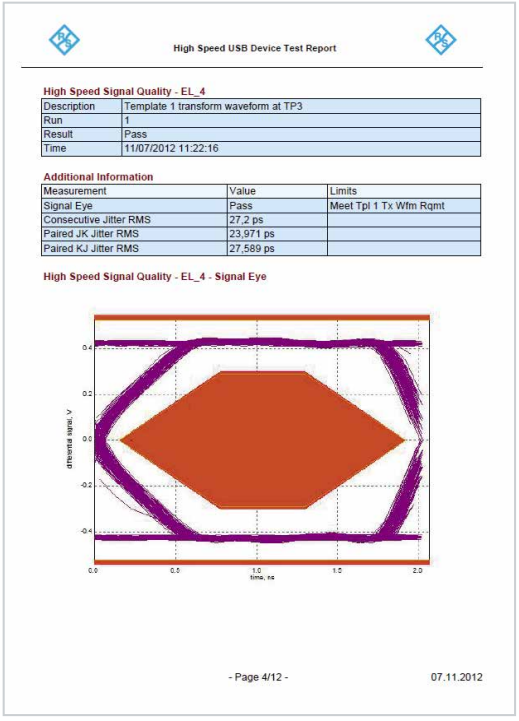


BILD 6 Reports können detailliert konfiguriert werden: Numerische Ergebnisse und Diagramm des Augenmaskentests.

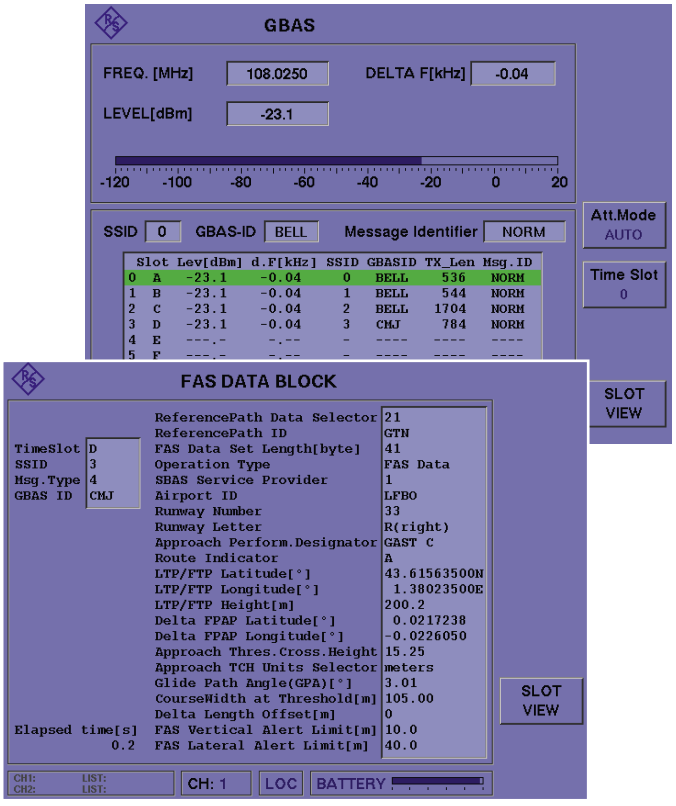
Präzise Messungen von Signalen satellitengestützter Landesysteme

Ganz gleich, ob die VHF-Datenverbindung bodengestützter Ergänzungssysteme GBAS (Ground Based Augmentation System), konventionelle ILS-Bodenanlagen oder VOR-Systeme vermessen werden müssen: Sowohl am Boden als auch in der Luft beherrscht der akkubetriebene ILS/VOR Analyzer R&S®EVS300 diese Aufgaben und zeigt sich als Allround-Tester im Bereich terrestrischer Navigation und bodengestützter Satellitennavigation.

GBAS – das neue Landesystem

Seit Jahrzehnten dienen analoge ILS-Anlagen (Instrument Landing System) als Präzisionsanflugsysteme. Die deutsche Flugsicherung (DFS) betreibt in Bremen nun seit Anfang 2012 ein vom Bundesamt für Flugsicherheit als Muster zugelassenes Ground Based Augmentation System, das erstmalig satellitengestützte Präzisionsanflüge der Kategorie CAT I erlaubt. Dazu werden dem Multimode-Empfänger an Bord des Flugzeugs über eine VHF-Datenverbindung (D8PSK, 108,025 MHz bis 117,95 MHz) Korrekturdaten von zwei bis vier exakt vermessenen GPS-Referenzempfängern zur Verfügung gestellt.

Die Anlagen müssen in den von der ICAO festgelegten Grenzen unter allen Umständen sicher funktionieren. Neue Aufgaben also für Dienstleister weltweit, die in den nächsten Jahren eine Mischung aus konventioneller und neuer Technik am Boden und in der Luft zu betreuen und zu qualifizieren haben. Ein Allround-Tester dafür ist der R&S®EVS300, denn er kann neben der messtechnischen Bewertung analoger Anlagen mit der Option R&S®EVS-K9 zusätzlich GBAS-Installationen analysieren.



Übersicht der GBAS-Zeitschlitze (oberes Bild) und decodierte GBAS-Daten für einen Landeanflug.

Präzise Messungen mit hoher Reproduzierbarkeit

Die Option R&S®EVS-K9 misst Pegel und Frequenz von GBAS-Signalen in der VHF-Ebene mit höchster Genauigkeit. Von großer Bedeutung für die Bewertung der Anlagen sind die Messung der Leistung über der Landebahn (Bodenmessung) sowie die Flugvermessung. In beiden Einsatzfällen liefert der R&S®EVS300 genaue Werte. Neben der Messung der analogen Signalparameter ermittelt er auch die Dateninhalte, die dem anfliegenden Flugzeug zur Korrektur des GPS-gestützten Landeanflugs dienen. So kann der Anwender unter anderem die GBAS ID, den Message Block Identifier sowie den Final Approach Segment Data Block (FAS DB) am Display oder via Fernsteuerung am PC prüfen.

ILS/VOR Analyzer R&S®EVS300.

Der R&S®EVS300 liefert effizient den Nachweis der korrekten Funktion moderner Präzisionsanflugsysteme und trägt dazu bei, die höchstmögliche Sicherheit im Luftverkehr zu gewährleisten.

Klaus Theißen

Signal- und Spektrumanalysatoren R&S®FSW: Spitzenklasse nun bis 50 GHz

Die beiden neuen Signal- und Spektrumanalysatoren R&S®FSW43 und R&S®FSW50 machen die herausragenden Eigenschaften der Familie R&S®FSW nun auch im Mikrowellenbereich bis 50 GHz verfügbar: ausgezeichnete HF-Performance mit dem derzeit besten Phasenrauschen und herausragend niedrigem Eigenrauschen, große Analysebandbreiten und die Vorteile eines Touchscreens. Harmonischen-Mischer erweitern ihren Frequenzbereich bis 110 GHz und darüber hinaus.

Beste Performance im Mikrowellenbereich für anspruchsvolle Anwender

Typische Anwendungsgebiete der neuen Modelle R&S®FSW43 und R&S®FSW50 (BILD 1) sind Messungen an Mikrowellen-Komponenten und -Systemen für die Radar- oder Richtfunktechnik. Hohe Ansprüche an das Phasenrauschen des Messgeräts sind hier Standard, beispielsweise in der Entwicklung von Überlagerungsoszillatoren für Radar-Sender oder Kommunikationssysteme, bei Messungen dicht belegter Spektren mit stark unterschiedlichen Signalpegeln oder von Störleistungen in den Nachbarkanälen von Richtfunkübertragungssystemen. Zeigten die bisherigen R&S®FSW-Modelle hier bereits Weltbestleistung, so weisen auch die beiden neuen Modelle Werte auf, die selbst viele Signalgeneratoren nicht erreichen: –117 dBc (1 Hz) bei 40 GHz in 10 kHz Abstand vom Träger. Bei 1 GHz erreichen sie, wie die anderen R&S®FSW-Modelle auch, typisch –137 dBc (1 Hz).

Niedriges Eigenrauschen und hohe Aussteuerfähigkeit sind Grundvoraussetzung für das Messen von Nebenaussendungen. Auch hier zeigen die neuen Analysatoren hervorragende Werte. Beispielsweise der R&S®FSW43: mit einer Eigenrauschanzeige von typisch –144 dBm (1 Hz) bei 40 GHz bzw. –164 dBm mit eingeschaltetem Vorverstärker misst er niedrige

BILD 1 Der Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSW erfüllt mit seiner hohen Performance die Wünsche anspruchsvoller Anwender. Sein niedriges Phasenrauschen, die große Signalanalysebandbreite und die eingängige Bedienung helfen dabei, Messaufgaben schnell und einfach zu lösen.

Signalpegel mit gutem Signal/Rausch-Verhältnis und somit geringer Messunsicherheit (BILD 2). Dennoch muss man meist mit sehr schmalen Auflösebandbreiten messen, um das Eigenrauschen ausreichend zu verringern und genügend Abstand zum nachzuweisenden Grenzwert zu gewinnen. Dies verlängert die Messzeit bei traditionellen Analysatoren enorm, besonders wenn ein großer Frequenzbereich zu analysieren ist. Der R&S®FSW erzielt hier im FFT-Sweep auch bei kleinen Auflösebandbreiten und gleichzeitig großem Span hohe Messwiederholraten. Die bisher zeitraubende Nebenwellensuche ist damit schnell abgeschlossen [1].

BILD 2 Eigenrauschanzeige des R&S®FSW43 bis 43 GHz mit ausgeschaltetem (gelb) und eingeschaltetem Vorverstärker (blau).

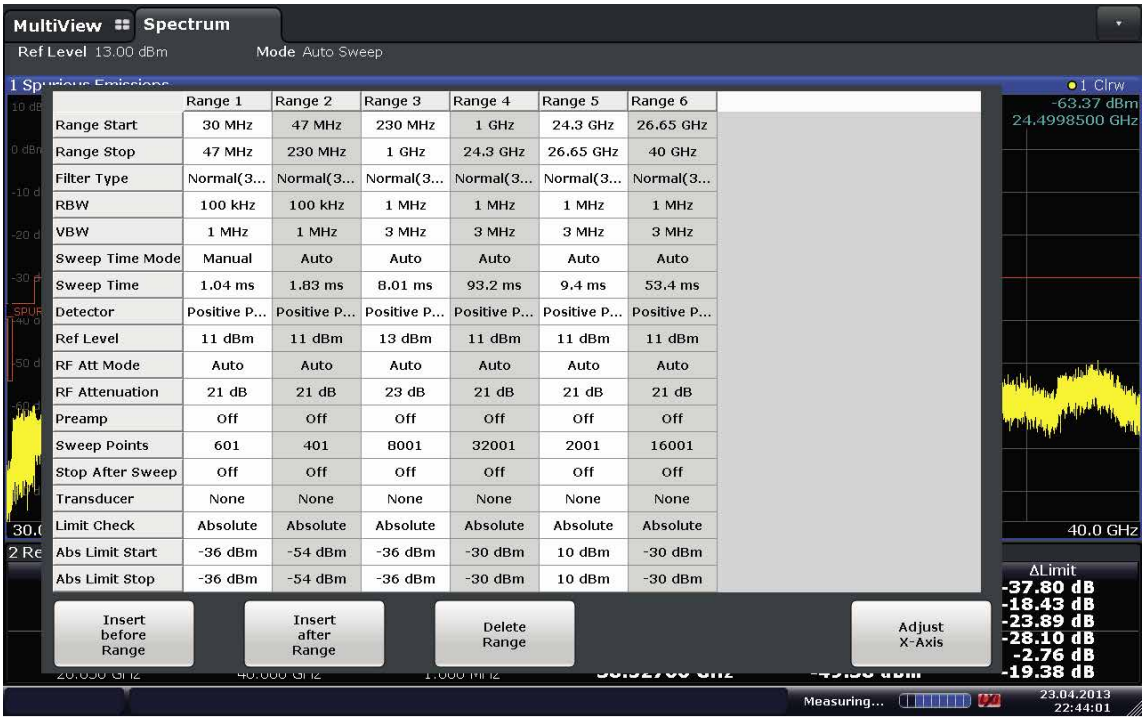


BILD 3 Die Messfunktion für Nebenwellenaussendungen misst mit je nach Frequenzbereich unterschiedlichen Einstellungen. Diese werden in einer übersichtlichen Tabelle vorgenommen.

Die Funktion Spurious Emissions unterstützt die Messung von Nebenwellen. Dabei trägt man einfach in einer Tabelle die für verschiedene Frequenzbereiche notwendigen Einstellungen ein (BILD 3). Der R&S®FSW arbeitet diese Tabelle in einem Frequenzdurchlauf ab und zeigt gefundene Nebenwellen sowie deren Abstand zum Grenzwert in einer Tabelle an. Dadurch ist es leicht möglich, abhängig vom Frequenzbereich mit unterschiedlichen Bandbreiten oder auch jeweils optimierten Pegeleinstellungen zu arbeiten (BILD 4).

Signale bis 110 GHz und darüber hinaus sicher analysieren

Die Bedeutung der Frequenzbereiche oberhalb 50 GHz bzw. 67 GHz ist in den letzten Jahren gestiegen. Es werden zunehmend kommerzielle Anwendungen z. B. bei 77 GHz (Kfz-Radar) und 85 GHz (Mikrowellen-Richtfunk) realisiert. Zudem gibt es immer mehr Normen, die die Messung der Nebenaussendungen bis 110 GHz oder darüber hinaus fordern.

Signale, die außerhalb der oberen Frequenzgrenze der drei Modelle liegen, werden üblicherweise unter Verwendung externer Harmonischen-Mischer analysiert. Diese können mit Hilfe der Option Externe Mischung R&S®FSW-B21 an den Modellen R&S®FSW 26 / 43 / 50 betrieben werden. Die Option stellt die notwendigen Anschlüsse für das LO- und das ZF-Signal zur Verfügung. Rohde&Schwarz bietet dazu passend die Harmonischen-Mischer R&S®FS-Z60 / -Z75 / -Z90 / -Z110 an, die lückenlos die Frequenzen von 40 GHz bis 110 GHz abdecken. Der individuelle Frequenzgang bzw. Konversionsverlust wird mit wenigen Tastendrücken von einem USB-Stick geladen. Der Betrieb ist aber nicht auf diese Mischer von Rohde&Schwarz beschränkt, der R&S®FSW kann auch mit anderen Mischern unterschiedlicher Bauart betrieben werden. Er unterstützt sowohl Dreitor-Mischer (bei denen LO-Eingang und ZF-Ausgang an getrennten Anschlüssen liegen) als auch Zweitor-Mischer (mit LO-Eingang und ZF-Ausgang auf einem gemeinsamen Anschluss); der für den Betrieb notwendige Diplexer ist in die Option R&S®FSW-B21 integriert. Der Analysator unterstützt Harmonischen-Nummern > 100, somit lassen sich Signale bis 1,1 THz analysieren.

Beim Betrieb von Harmonischen-Mischern sind einige Kriterien zu beachten. Sie mischen das zu analysierende Signal mit Harmonischen des LO-Signals in die ZF-Lage. Diese Harmonischen entstehen im Mischer selbst, weshalb immer mehrere LO-Frequenzen vorhanden sind und die Mischung nicht nur mit der gewünschten Harmonischen, sondern auch mit allen anderen stattfindet – auch mit den niedrigeren und den höheren. Dies zeigt sich bei der Darstellung über einen großen Frequenzbereich (großer Span), die diese Mischprodukte sichtbar macht, wo sie allerdings auf einer falschen Frequenz liegen (BILD 5). Ist die Frequenz des zu analysierenden Signals nicht bekannt, gilt es herauszufinden, welche der unter Umständen zahlreichen Signale die tatsächlich interessierenden Signale und welche sog. Multiple-Response-Signale sind, also solche,

BILD 4 Ergebnis einer Messung mit der Messfunktion Spurious Emissions.

die durch Mischung mit einer unerwünschten Harmonischen entstanden. Diese Aufgabe übernimmt die Funktion Signal ID (Signal Identification), welche die Multiple-Response-Signale kennzeichnet und wahlweise ausblendet (BILD 6). Die Funktionsweise ist in [2] beschrieben.

Besonders wichtig ist es, dass die LO-Frequenz möglichst hoch ist. Dies reduziert nicht nur die Anzahl der angezeigten Multiple-Response-Signale, sondern auch das Phasenrauschen. Beim R&S®FSW liegt der LO-Frequenzbereich mit 7,65 GHz bis 17,45 GHz sehr hoch. Damit genügt eine niedrigere Harmonische, um einen bestimmten Frequenzbereich zu analysieren (75 GHz bis 110 GHz: z. B. n = 8 statt n = 16).

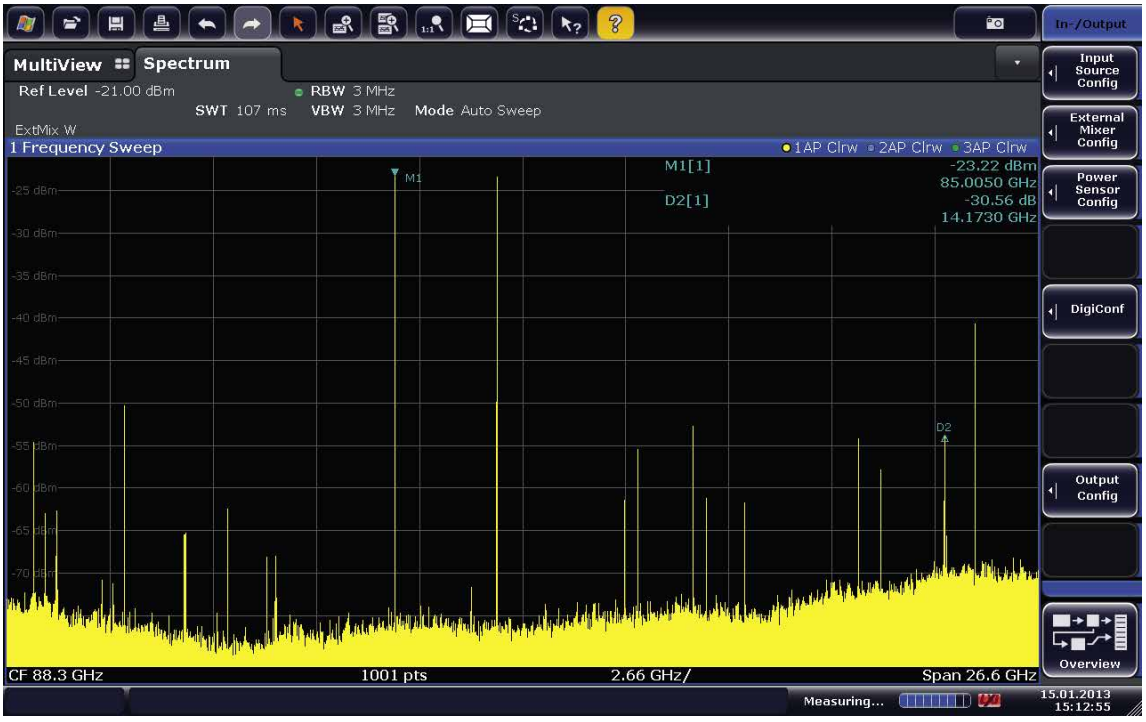


BILD 5 Die Messung an einem Harmonischen-Mischer, der ein 14-GHz-Signal auf 85 GHz vervielfacht, zeigt nicht nur das eigentliche Signal, sondern zahlreiche Multiple-Response-Signale.

BILD 6 Mit der eingebauten Signal-Identifizierung werden Multiple-Response-Signale erkannt und ausgeblendet, sodass nur echte Signale dargestellt werden.

Da Harmonischen-Mischer keine Eingangsselektion haben, ist der Spiegelfrequenzempfang im Abstand der doppelten Zwischenfrequenz nicht unterdrückt, man sieht also meist Paare von Signalen auf dem Bildschirm. Für stationäre und nicht zu breitbandige Signale hilft auch hier die Signalidentifizierung. Schwierig wird es allerdings bei nichtstationären, beispielsweise gepulsten oder breitbandig modulierten Signalen, wie sie gerade im Millimeterwellenbereich wegen des großen verfügbaren Frequenzbereichs oft verwendet werden, beispielsweise FMCW-Radare für Automobilanwendungen oder Richtfunksysteme im 80-GHz-Band. In diesen und anderen Messfällen, bei denen die Signalidentifizierung versagt, ist eine hohe Zwischenfrequenz besonders wichtig. Dadurch erreicht man auch ohne Signalidentifizierungsroutinen einen großen eindeutigen Frequenzbereich, in dem weder Multiple-Response- noch Spiegelfrequenz-Signale angezeigt werden. Beim R&S®FSW liegt die ZF mit 1,3 GHz weit höher als bei den meisten handelsüblichen Analysatoren (bei denen sie oft im Bereich weniger Hundert Megahertz liegt). Damit werden Signale mit Bandbreiten bis zu 2,6 GHz spektral eindeutig analysiert.

Externe Generatorsteuerung R&S®FSW-B10

Die externe Generatorsteuerung R&S®FSW-B10 macht aus dem R&S®FSW einen skalaren Netzwerkanalysator. Dazu steuert sie Signalgeneratoren wie den R&S®SMB und den R&S®SMF aber auch Geräte anderer Hersteller an, sodass diese als Mitlaufgenerator arbeiten. Damit können Transmissionsmessungen direkt durchgeführt werden. Für Reflexionsmessungen (skalar) ist noch eine VSWR-Messbrücke bzw. ein Richtkoppler erforderlich. Zum Ausgleich des Frequenzgangs von Zuleitungen bietet der R&S®FSW Normalisierungsfunktionen sowohl für Transmission als auch für Reflexion an. Die Verwendung externer Generatoren macht es einfach, auch frequenzumsetzende Messungen durchzuführen, selbst für Multiplier oder Divider kann der R&S®FSW entsprechend eingestellt werden.

Gruppenlaufzeitmessung mit dem Signalanalysator

Diese traditionellerweise einem Netzwerkanalysator zugewiesene Aufgabe kann der R&S®FSW mit Hilfe eines Mehrträgersignals durchführen. Darin haben alle Träger denselben Frequenzabstand. Der R&S®FSW misst die Trägerphasen vor und nach einem Messobjekt und berechnet Verstärkung bzw. Einfügedämpfung sowie die Gruppenlaufzeit aus der Differenz. Diese Funktion ist besonders dann interessant, wenn in einem Messsystem ein Netzwerkanalysator nur zur Gruppenlaufzeitmessung eingeplant werden müsste. Übernimmt der R&S®FSW diese Messaufgabe zusätzlich, so vereinfachen sich Aufwand und Verkabelung eines Testsystems (siehe Artikel Seite 43).

Fazit

Mit dem R&S®FSW43/R&S®FSW50 und der Option R&S®FSW-B21 stehen jetzt die herausragenden HF-Eigenschaften der R&S®FSW-Familie, deren große Analysebandbreiten und innovativen Analysefunktionen auch Anwendern im Mikrowellenbereich zur Verfügung.

Herbert Schmitt

Literatur

[1] Application Note 1EF80 von Rohde&Schwarz: „Speed Considerations for Spurious Level Measurements with Spectrum Analyzers".
[2] Application Notes 1EF43 („Frequency Range Extension of Spectrum Analyzers with Harmonic Mixers") und 1EF75 („Using Harmonic External Mixers To Extend the Frequency Range").

Alle Application Notes stehen im Internet zum Download bereit.

Messung von Gruppenlaufzeiten: präzise, schnell, breitbandig

Mit Gruppenlaufzeitmessungen werden die Phasenverzerrungen in einem Übertragungssystem ermittelt. Diese Verzerrungen müssen so gering wie möglich sein. Für diese wichtige Aufgabe in der Entwicklung und im Test komplexer Kommunikationssysteme, beispielsweise in der Satellitentechnik, steht nun ein umfassendes Messwerkzeug zur Verfügung: der Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSW mit der Option R&S®FSW-K17.

Überzeugende Eigenschaften durch Vielträgerverfahren

Zum Charakterisieren der Qualität eines Übertragungswegs spielt das Erfassen von Amplituden- und Phasenverzerrungen eine entscheidende Rolle. Denn Signalverformungen aufgrund dieser Verzerrungen stehen in direktem Zusammenhang mit einer Verschlechterung des Signal/Rausch-Verhältnisses bzw. einer erhöhten Bitfehlerrate auf Empfängerseite.

Traditionell wird die Gruppenlaufzeit als Maß der Phasenverzerrung mit Vektor-Netzwerkanalysatoren gemessen. Die Option Multicarrier Group Delay R&S®FSW-K17 eröffnet nun erstmals die Möglichkeit, diese wichtige Messung umfassend mit dem Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSW durchzuführen (BILD 1). Die neue Applikation verwendet ein Vielträgerverfahren und überzeugt durch ihre Leistungsfähigkeit:

- Hochpräzise Gruppenlaufzeitmessungen mit einer Messunsicherheit von nur ±300 ps
- Sehr schneller Testdurchlauf
- Relative und absolute Gruppenlaufzeitmessungen
- Sehr breitbandige Messungen realisierbar (bis 160 MHz)
- Einfacher und auch fernsteuerbarer Messablauf sowie intuitive Handhabung

Neben der Auswertung der Gruppenlaufzeit ist auch die Anzeige der Amplitudenverzerrung möglich. Damit bietet die R&S®FSW-K17 eine vollständige Analyse der bestehenden linearen Signalverzerrungen.

Einfach und schnell ans Ziel

BILD 2 zeigt den Messaufbau zur Ermittlung der Gruppenlaufzeit: Ein Signalgenerator, z. B. aus der Familie R&S®SMx, erzeugt ein Vielträgersignal im zu betrachtenden Frequenzbereich. Die Verwendung breitbandiger Vielträgersignale ermöglicht das schnelle Ermitteln der Gruppenlaufzeit über den kompletten Frequenzbereich. Das Vielträgersignal ist durch die Mittenfrequenz, den Trägerabstand und den umfassenden Span beschrieben. Diese Parameter werden im Konfigurationsdialog der R&S®FSW-K17 eingegeben. Allein mit diesen Informationen ist die Applikation in der Lage, alle weiteren Parameter selbsttätig zu bestimmen und einzustellen. So zum Beispiel eine günstige Messzeit, die einen sinnvollen Kompromiss zwischen hoher Genauigkeit und schneller Messung gewährleistet.

Zuerst wird ein Kalibrier-Schritt ohne das Testobjekt durchgeführt, um die Referenz-Phasen und -Amplituden der einzelnen Träger zu erfassen. Die ermittelten Kalibrierdaten sind einfach und bequem als Datei ablegbar und jederzeit wieder aufrufbar. Das spart Zeit bei späteren Messungen und ermöglicht den schnellen Wechsel zwischen verschiedenen Messszenarien.

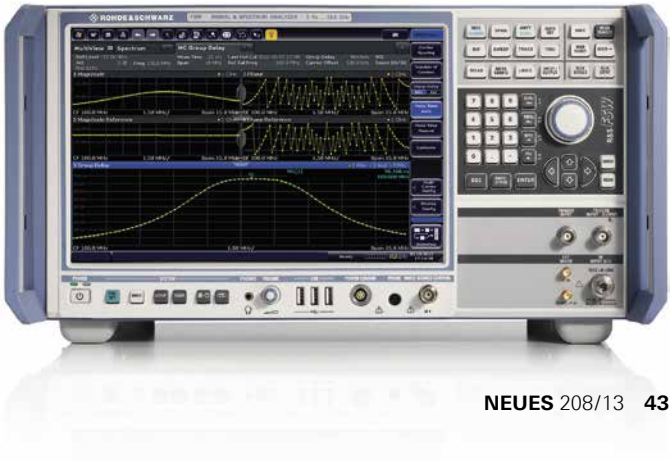


BILD 1 Der Signal- und Spektrumanalysator R&S®FSW26 mit der Option Multicarrier Group Delay R&S®FSW-K17. Die Kombination aus niedrigem Phasenrauschen, großer Analysebandbreite und moderner Bedienoberfläche macht den R&S®FSW zu einem einzigartigen Messgerät in seiner Klasse. Ausgestattet mit der Bandbreitenerweiterung R&S®FSW-B160 sind Gruppenlaufzeitmessungen bis zu einer Bandbreite von 160 MHz durchführbar.

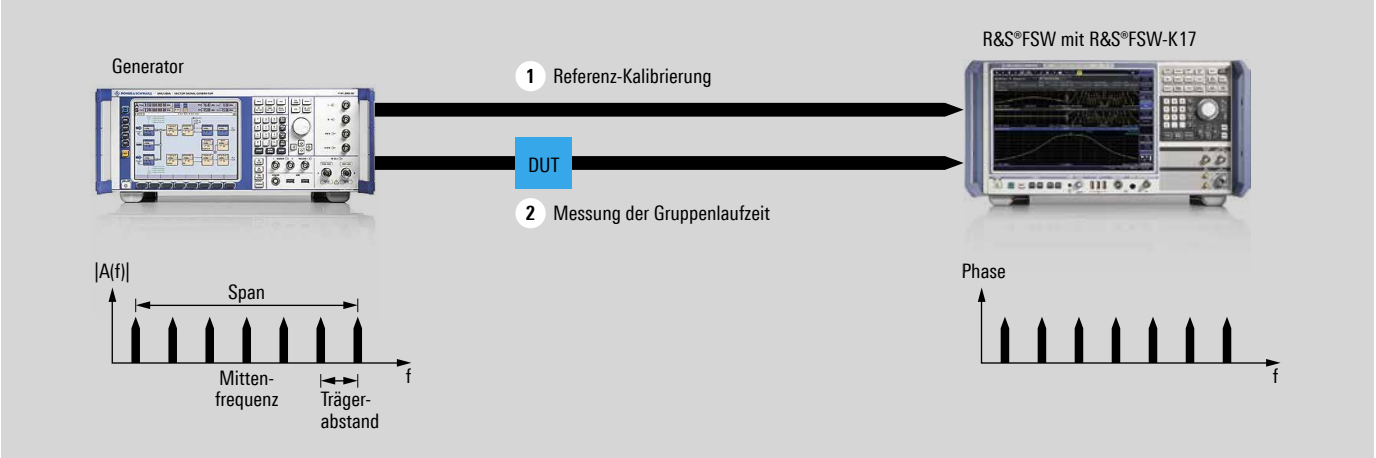


BILD 2 Messaufbau zur Ermittlung der Gruppenlaufzeit: Ein Signalgenerator erzeugt ein Vielträgersignal, das durch Mittenfrequenz, Trägerabstand und Span beschrieben ist. In einem Kalibrierschritt (❶) wird das Signal ohne Testobjekt (DUT) der R&S®FSW-K17 direkt zugeführt. Die Applikation nimmt die Referenzphase der Träger auf. Anschließend kann die Gruppenlaufzeit des DUT vermessen werden (❷).

Für die Messung der Gruppenlaufzeit wird das Vielträgersignal am Ausgang des Testobjekts aufgenommen. Aus der Phasendifferenz zwischen Referenzmessung und aktueller Messphase kann die Option R&S®FSW-K17 die Gruppenlaufzeit über den Frequenzbereich der Träger bestimmen. Und dies mit großer Genauigkeit: Für ein Signal mit 100 kHz Trägerabstand und 601 Trägern (60 MHz Bandbreite) ergibt sich bei einer Mittenfrequenz zwischen 100 MHz und 6 GHz für die Gruppenlaufzeit eine Messunsicherheit von nur ±300 ps.

Relative Gruppenlaufzeitmessungen ignorieren die vom Testobjekt verursachte konstante Laufzeit. Diese wirkt auf alle Frequenzkomponenten gleichermaßen und führt nicht zu einer Veränderung der Signalform. In bestimmten Fällen ist jedoch die absolute Gruppenlaufzeit von Interesse, beispielsweise dann, wenn die Signalverzögerungen zweier Übertragungskanäle anzupassen sind. Auch solche Messungen sind mit der R&S®FSW-K17 durchführbar. Um einen absoluten Phasenbezug herzustellen, wird am R&S®FSW der externe Triggereingang aktiviert und mit dem Generator verbunden. Durch Mittelung der Gruppenlaufzeit über fortlaufende Messungen ist es auch hier möglich, eine Messunsicherheit von nur ±300 ps zu erreichen.

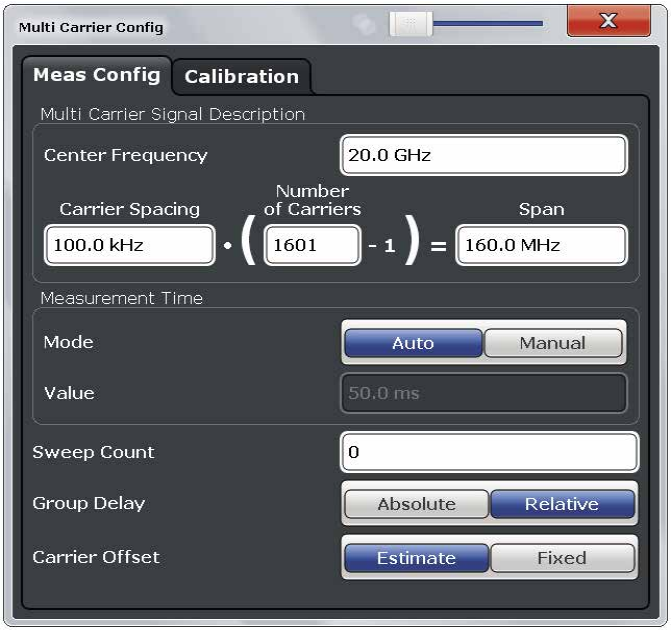
Intuitiv bedient über Touchscreen

Alle wesentlichen einzustellenden Parameter sind schnell in einem einzigen Konfigurationsdialog der neuen Option erreichbar (BILD 3). Darüber hinaus kann der Anwender die Bildschirmansicht frei nach seinen Ansprüchen komfortabel gestalten. Dabei erlauben die verschiedenen Diagramme der Gruppenlaufzeit-Applikation auf dem großen Touchscreen des R&S®FSW einen intuitiven Arbeitsfluss und stellen die Ergebnisse übersichtlich dar (BILD 4).

Vielseitig anwendbar in der Satellitenmesstechnik

Die komplexe Übertragungstechnik, die breitbandige Auslegung und effiziente Kanalauslastung in der Satellitentechnik erfordern eine Vielzahl qualitätsbestimmender Messungen. Eine besondere Bedeutung kommt hier der Messung der Gruppenlaufzeit zur Analyse von Phasenverzerrungen zu. Die Option R&S®FSW-K17 erschließt sich in diesem Umfeld dank ihrer Vielseitigkeit verschiedenste Einsatzbereiche. Zum Beispiel in der Herstellung von Satellitentranspondern oder

BILD 3 Der Konfigurationsdialog der R&S®FSW-K17 bietet einen kompletten Überblick über alle wichtigen Parameter der Gruppenlaufzeitmessung. Nach Konfiguration der Kenngrößen Mittenfrequenz, Trägerabstand und Span kann sofort mit der Messung begonnen werden.



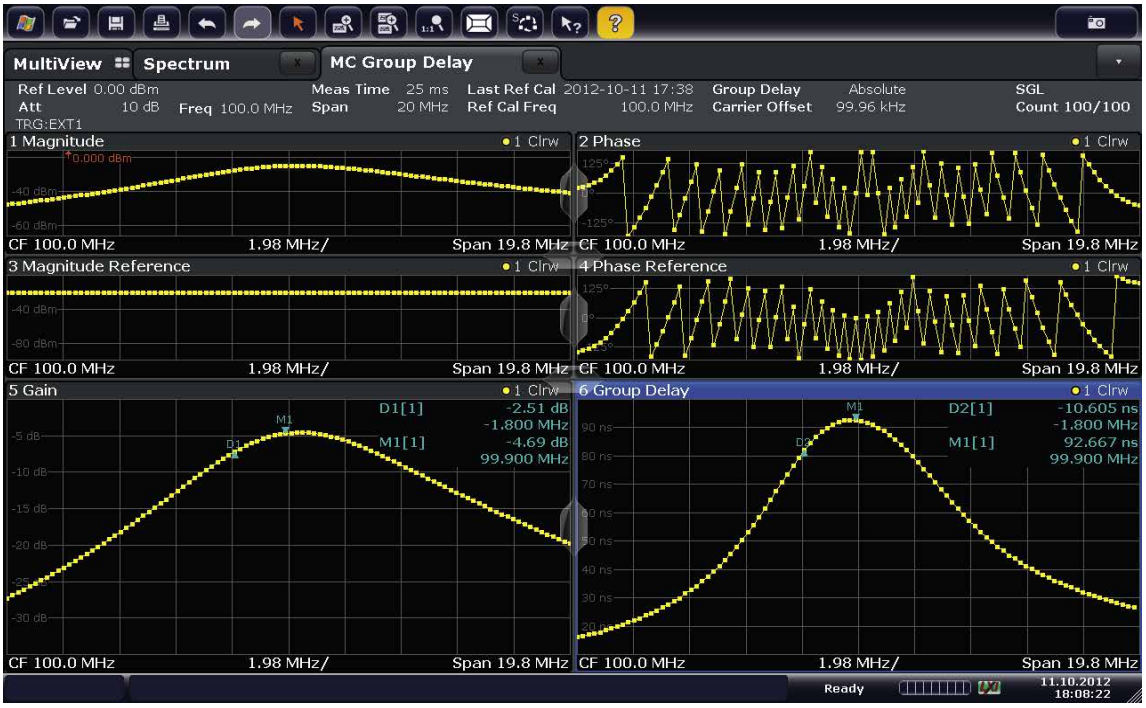


BILD 4 Schön übersichtlich: Beispiel für eine Messung an einem Testobjekt mit Bandpasscharakteristik. Der Anwender kann Amplitude und Phase des angelegten Vielträgersignals sehen (Fenster 1 und 2). Außer diesem Signal, das am Ausgang des DUT anliegt, ist es jederzeit möglich, die Referenzsignale aus der Kalibriermessung anzuzeigen (Fenster 3 und 4). Durch Vergleich von Referenz- und Messsignal ermittelt die R&S®FSW-K17 die Übertragungsfunktion als Maß für die Amplitudenverzerrungen (Fenster 5) sowie die Gruppenlaufzeit als Maß für die Phasenverzerrungen (Fenster 6).

kompletter Bodenstationen. So ist eine verzerrungsfreie Signalübertragung nur bei flachem Amplituden- und linearem Phasenverlauf möglich. Damit die Systeme diese Bedingungen möglichst gut erfüllen, werden mit der R&S®FSW-K17 Messungen durchgeführt und auf Basis der Ergebnisse die Kompensationsschaltungen entsprechend dimensioniert. In zahlreichen anderen Anwendungen wird in gleicher Weise verfahren, beispielsweise bei der Messung an Baugruppen für Radar-Anwendungen.

Um sicherzustellen, dass die Übertragungstechnik eines Satelliten ohne Performanceeinbußen eingesetzt werden kann, sind vor dessen Inbetriebnahme Payload-Tests durchzuführen. In vielen Fällen haben frequenzumsetzende Übertragungsglieder zur Folge, dass das ursprüngliche Signal in einem anderen Frequenzband gemessen werden muss. Auch dies ist mit der R&S®FSW-K17 möglich. Die Konfiguration der Anwendung ist dabei denkbar einfach: Nach der Kalibrierung auf der Ursprungsfrequenz muss für die Messung nur ein Parameter – die Mittenfrequenz – in der Applikation geändert werden. Damit stellt die Option R&S®FSW-K17 automatisch den Bezug zwischen den Referenzträgern des Vielträgersignals und dem frequenzumgesetzten Messsignal her.

Bei Payload-Tests spielt die Messgeschwindigkeit eine wichtige Rolle. Auch hier erweist sich die Option R&S®FSW-K17 als äußerst nützlich: Für eine breitbandige, relative Gruppenlaufzeitanalyse über 160 MHz Span bei einem Trägerabstand von 200 kHz (800 Träger) benötigt die Applikation lediglich 350 ms, bei einem Trägerabstand von 1 MHz (160 Träger) sogar nur 80 ms. Weil für die Analyse nur die Phasenrelation zwischen Referenzkalibrierung und Messung von Bedeutung ist, kann am Generator mit Crest-Faktor-Optimierung gearbeitet werden. Ein Vielträgersignal mit niedrigem Crest-Faktor verbessert das SNR bei der Gruppenlaufzeitanalyse und schont das Testobjekt.

Fazit

Die Option Multicarrier Group Delay R&S®FSW-K17 bietet umfassende Messungen der Verzerrungseigenschaften von Übertragungssystemen. Die Gruppenlaufzeit als Maß der Phasenverzerrung kann sowohl relativ als auch absolut gemessen werden. Durch die äußerst einfache Bedienung, den schnellen Messablauf und die hohe Genauigkeit kann die Applikation in der Praxis überzeugen. Und sie erweitert damit das umfangreiche Portfolio an Messmöglichkeiten des High-End-Signal- und Spektrumanalysators R&S®FSW. Zusammen mit Signalgeneratoren wie dem R&S®SMU oder dem R&S®SMBV bietet Rohde&Schwarz damit ein komplettes Messpaket zur Analyse von Gruppenlaufzeiten.

Josef Zwack

Einfach und genau: Analyse der Messunsicherheit mit Verifizierkits

Wie genau sind die erzielten Messergebnisse nach der Kalibrierung eines Netzwerkanalysators? Einfach zu beantworten ist diese Frage nicht, denn zur Messunsicherheit tragen viele Faktoren bei. Eine schnelle und vor allem verlässliche Antwort geben Software und Verifizierkits von Rohde&Schwarz.

Wie gut ist die Kalibrierung?

Entscheidend für die Größe der Messunsicherheit nach einer Kalibrierung ist natürlich die Messgenauigkeit des Netzwerkanalysators selbst, doch auch das verwendete Kalibrierkit und die Messkabel haben darauf einen erheblichen Einfluss. Um eine Aussage über die Qualität der Kalibrierung bzw. die Messgenauigkeit zu bekommen, mag mancher Anwender der Versuchung unterliegen, die eben verwendeten Kalibrierstandards erneut anzuschließen. Doch das ist ein Irrtum. Selbst Standards aus einem anderen Kalibrierkit können keine Aussage über die tatsächliche Messunsicherheit liefern. Allenfalls geben sie einen Hinweis darauf, ob die Kalibrierung brauchbar ist oder nicht. Einzig der Vergleich mit Messungen an den sogenannten Verifizierstandards, vom Hersteller genau charakterisierten Messobjekten, ergibt eine präzise Aussage über die absolute Messunsicherheit nach erfolgter Kalibrierung.

BILD 1 Der T-Checker von Rohde&Schwarz bietet eine einfache Möglichkeit zum Verifizieren einer Kalibrierung.

Verifizierung der effektiven Systemdaten mit symmetrischem T-Stück

Die einfachste Methode zum Verifizieren einer Kalibrierung ist die Messung an einem symmetrischen T-Stück, beispielsweise am T-Checker von Rohde&Schwarz (BILD 1). Dessen S-Parameter stehen in einem bestimmten Verhältnis zueinander und werden nach der Kalibrierung bei angeschlossenem T-Checker ermittelt. Die Auswertung zeigt die Abweichung vom theoretisch zu erwartenden Ergebnis und liefert eine Aussage über die Qualität der Kalibrierung. Der Einsatz des T-Checkers empfiehlt sich in Produktions- oder normalen Laboranwendungen, da nur dieser eine Standard angeschlossen werden muss und man deshalb schnell eine Aussage über die Qualität der Kalibrierung bekommt.

Wenn es um höchste Genauigkeit geht: Verifizierkits von Rohde&Schwarz

Die genauesten Ergebnisse bei der Bestimmung der Messunsicherheit liefern Verifizierkits, die sich aus mehreren Standards zusammensetzen. Kits von Rohde&Schwarz enthalten einen männlichen und einen weiblichen Kurzschluss mit Längenversatz (Offset Short), einen männlichen und einen weiblichen Fehlabschluss (Mismatch), ein Dämpfungsglied (Attenuator) und eine Durchverbindung mit gestufter Impedanz (Stepped Through). Auf die schwer zu handhabende Luftleitung (Airline) wird bewusst verzichtet. Alle diese Kalibrierstandards unterscheiden sich signifikant von den üblichen Standards Leerlauf (Open), Kurzschluss (Short) und Abschluss (Match), da sie eine andere Impedanz aufweisen und somit als Verifizierstandards verwendet werden können. Sie werden im Kalibrierlabor von Rohde&Schwarz, das von der nationalen Akkreditierungsstelle der Bundesrepublik Deutschland (DAkkS) bestätigt ist, im 250-MHz-Raster vermessen und mit Messunsicherheitsdaten spezifiziert.

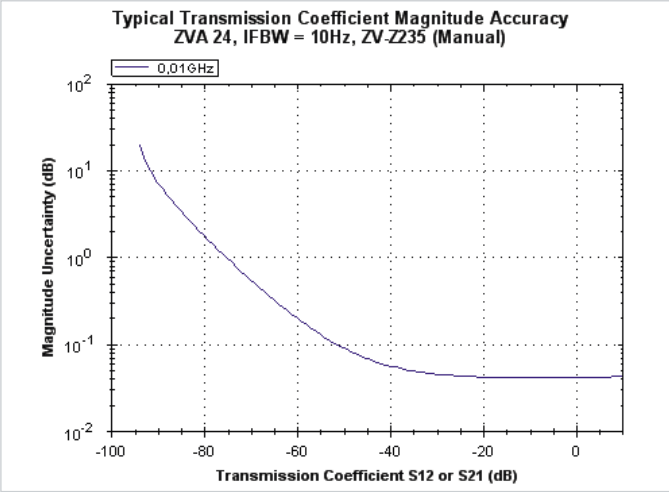


BILD 2 Die Software VNAMUC berechnet die zu erwartende theoretische Messunsicherheit.

Beispiel für eine grafische Auswertung

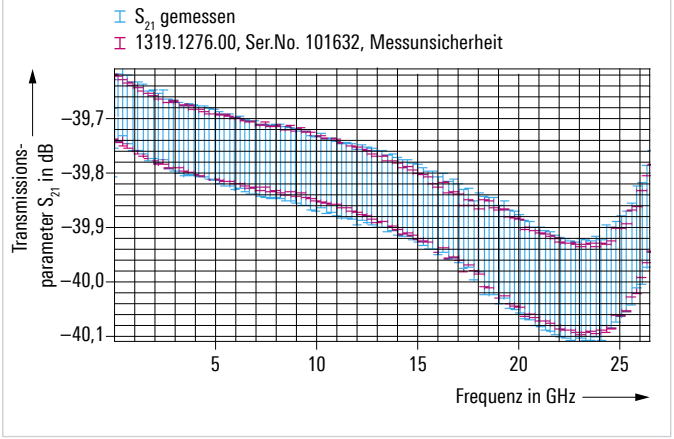


BILD 3 Grafische Darstellung der Ergebnisse einer Verifikationsmessung an einem 40-dB-Dämpfungsglied.

Bestimmung der Messunsicherheit

Die Rohde&Schwarz-Software VNAMUC (Vector Network Analyzer Measurement Uncertainty Calculator, BILD 2) berechnet die zu erwartende theoretische Messunsicherheit (ohne Kabel). Nach Eingabe von Typ, Optionierung und Geräteeinstellungen des Rohde&Schwarz-Analysators sowie des verwendeten Kalibrierkits liefert die Software die Ergebnisse und stellt sie grafisch dar.

Für eine präzise Aussage über die tatsächliche Messunsicherheit sind Messungen mit angeschlossenen Standards aus einem Verifizierkit durchzuführen. Deren Ergebnisse werden mit den von Rohde&Schwarz dokumentierten Messwerten verglichen und grafisch ausgewertet. Das Ergebnis sollte, wie in BILD 3 dargestellt, innerhalb des für den jeweiligen Standard angezeigten Toleranzschlauchs liegen.

Rohde&Schwarz hat derzeit zwei Verifizierkits im Programm: das R&S®ZV-Z435 mit 3,5-mm-Anschlüssen für Frequenzen bis 26,5 GHz (BILD 4) und das R&S®ZV-Z470 für N-Anschlüsse und bis 18 GHz. Weitere Kits für die Stecksysteme 2,92 mm, 2,4 mm und 1,85 mm werden folgen. Zusammen mit der Messunsicherheitssoftware VNAMUC sind sie ein unersetzliches Werkzeug zur genauen Bestimmung der Messunsicherheit und geben eine klare Antwort auf die eingangs gestellte Frage nach der Genauigkeit der Messergebnisse nach erfolgter Kalibrierung.

Andreas Henkel

BILD 4 Standards im Verifizierkit R&S®ZV-Z435 (v.l.): 2 × Offset Short, 2 × Mismatch, ein Dämpfungsglied und ein Stepped Through.

R&S®ZNB: Komfortable Netzwerkanalyse mit bis zu 32 Toren

Heutige Smartphones und Tablet-PCs unterstützen mehrere Frequenzbänder und bieten Funktionen wie WLAN, Bluetooth® oder GPS. Die dafür eingebauten Module haben zahlreiche HF-Tore, deren Parameter komplett charakterisiert werden müssen. Bis zu acht HF-Tore kann man mit dem 8-Tor-Netzwerkanalysator R&S®ZVT charakterisieren. Sind es mehr – Komponenten neuester Generation haben mehr als 20 Tore – sind andere Lösungen gefragt. Die bietet Rohde&Schwarz für den Netzwerkanalysator R&S®ZNB.

Mehr Tore durch Matrizen

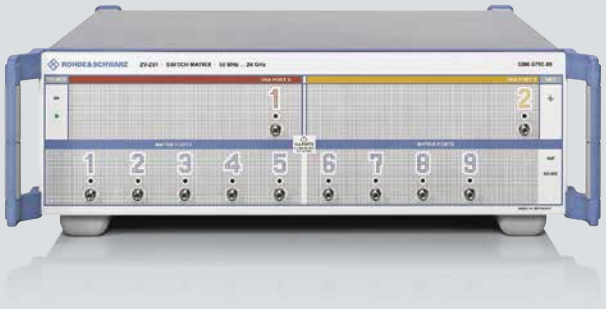
Zahlreiche Messtore charakterisieren können und trotzdem einfach zu bedienen sein: Diese beiden Forderungen bringt der Netzwerkanalysator R&S®ZNB bei Einsatz von Schaltmatrizen unter einen Hut (BILD 1). Matrizen zur Erhöhung der Torzahl sind nichts Neues. Neu jedoch ist, dass die Ansteuerung der Matrix und die Auswahl der Messparameter direkt durch die Firmware des Netzwerkanalysators erfolgen. Mit den von Rohde&Schwarz gegenwärtig angebotenen Schaltmatrizen lässt sich die Zahl der Messtore des R&S®ZNB auf bis zu 32 erweitern (BILD 2) – und er bleibt trotzdem so einfach und schnell zu bedienen wie das Grundgerät mit zwei oder vier Toren. So wird beispielsweise der 2-Tor-R&S®ZNB mit der Schaltmatrix R&S®ZV-Z81 (Modell 09) mit ihren zwei Eingängen und neun Ausgängen (BILD 3) zu einem 9-Tor-Netzwerkanalysator. Ein 4-Tor-R&S®ZNB ist mit zwei Matrizen, die zwei Eingänge und 16 Ausgänge haben, zu einem 32-Tor-Analysator erweiterbar. Mit dieser Ausstattung lassen sich theoretisch alle 1024 (32 × 32) S-Parameter eines Messobjekts mit 32-Toren in einem Durchgang charakterisieren.

BILD 1 Mehrtor-Netzwerkanalyse mit dem R&S®ZNB. Mit der Schaltmatrix R&S®ZV-Z81 (Modell 66) stehen bis zu 16 Messtore zur Verfügung.

Schaltmatrix	Eingänge	Ausgänge	Typ / Schalter
R&S®ZV-Z81 Modell 05	2	5	Full crossbar / elektronisch
Modell 09	2	9	Full crossbar / elektronisch
Modell 66	2	16	Full crossbar / elektro-mechanisch
R&S®ZV-Z82 Modell 10	4	10	Full crossbar* / elektronisch

BILD 2 Die aktuellen Schaltmatritzen von Rohde&Schwarz.

* Für Messungen mit Full-Crossbar-Möglichkeit ist ein 4-Tor-R&S®ZNB erforderlich.



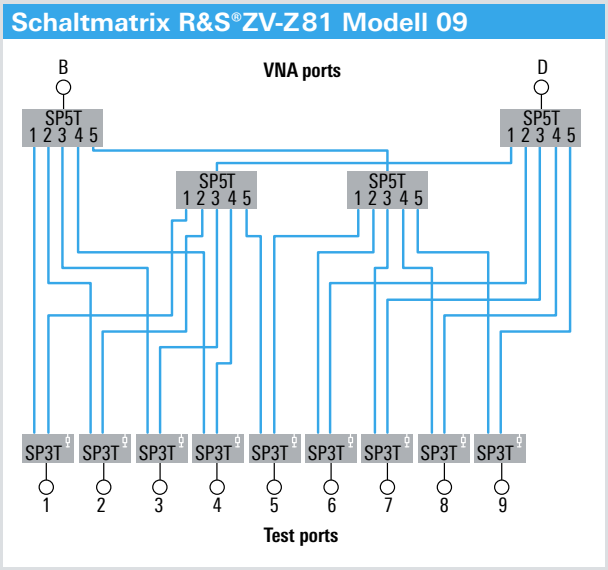


BILD 3 Schaltmatrix R&S®ZV-Z81 Modell 09 mit zwei Eingängen und neun Ausgängen.

Die verhältnismäßig geringe Belastbarkeit der elektronischen Schalter in den Matrizen ließ Messungen mit hohen Signalpegeln, beispielsweise an Verstärkern, bisher nur eingeschränkt zu. Jetzt lässt sich das Problem umgehen: Schließt man eine Matrix mit zwei Eingängen an einen 4-Tor-R&S®ZNB an, so stehen die beiden verbleibenden Tore des Analysators mit ihrer hohen Ausgangsleistung von +15 dBm und ihrer großen Aussteuerfestigkeit bis +27 dBm zum Charakterisieren der aktiven Komponenten des Messobjekts zur Verfügung, beispielsweise für die Messung des Kompressionspunkts (BILD 4). Diese Konfiguration vermeidet die bisher übliche Verwendung von trägen mechanischen Schaltern. Damit lässt sich z. B. der Durchsatz in der Produktion steigern, denn die hohe Messgeschwindigkeit des R&S®ZNB und die kurzen Schaltzeiten der elektronischen Schalter in den Matrizen verkürzen die Messzeiten.

Konfiguration mühelos wie nie – in drei Bedienschritten zum Ergebnis

Im Gegensatz zu den bisher auf dem Markt erhältlichen Lösungen sind zur Konfiguration sowie zur Ansteuerung des Aufbaus oder der Messung weder zusätzliche Software noch Makros notwendig. Der R&S®ZNB steuert die Matrizen über eine LAN- oder USB-Verbindung. Einmal am R&S®ZNB angeschlossen wird der Matrixtyp und die Zuordnung der Tornummern automatisch erkannt, sodass der Anwender sofort mit der Messung beginnen kann. Der große Touchscreen mit 30 cm Bildschirmdiagonale und das intuitive Bedienkonzept des Analysators sorgen für übersichtliche Darstellung und Auswertung auch bei vielen Messkurven.

S-Parameter (symmetrisch und unsymmetrisch) sowie Wellengrößen und deren Verhältnisse zueinander werden bei den 2-Tor- und 4-Tor-Netzwerkanalysatoren R&S®ZNB direkt über die Bedienoberfläche ausgewählt und dort angezeigt. Hier bewährt sich, dass ihr Bedienkonzept konsequent für Mehrtoranwendungen konzipiert ist. Die Indizes der S-Parameter oder Leistungen lassen sich direkt über die numerische

BILD 4 11-Tor-Messsystem mit zwei Toren des R&S®ZNB als zusätzliche Messtore.

Tastatur eingeben, sodass auch bei Messobjekten mit vielen Toren jeder Parameter mit maximal drei Bedienschritten ausgewählt werden kann (BILD 5).

BILD 5 Auswahl der S-Parameter durch direkte Eingabe der Indizes.

Kalibrierung – einfach und schnell

Gerade bei Verwendung von Matrizen ist es unerlässlich, vor der Messung zu kalibrieren, um vor allem den Einfluss der Dämpfung der Schalter auf das Messergebnis zu eliminieren. Der R&S®ZNB bietet manuelle Mehrtorkalibrierverfahren, die eine minimale Anzahl von Durchverbindungen benötigen. Dennoch empfiehlt sich die Kalibrierung mit automatischen Kalibriereinheiten, um die Zahl der notwendigen Schraubverbindungen zu minimieren und lange Kalibrierzeiten und frühzeitigen Verschleiß der Anschlüsse und Kalibrierstandards zu vermeiden.

Rohde&Schwarz bietet dazu Kalibriereinheiten mit zwei, vier, sechs oder acht Toren an (BILD 7). Noch mehr Tore lassen sich durch mehrmaliges Anschließen der Kalibriereinheit an die verschiedenen Messtore kalibrieren. Dazu führt ein Assistent den Anwender Schritt für Schritt sicher durch die Kalibrierung (BILD 6).

BILD 6 12-Tor-Kalibrierung mit einer 4-Tor-Kalibriereinheit.

Fazit

Der R&S®ZNB bildet in Verbindung mit Matrizen ein zuverlässiges Netzwerkanalyse-Messsystem zum Charakterisieren von symmetrischen und unsymmetrischen Modulen und Komponenten mit bis zu 32 Toren. Das System konfiguriert sich quasi automatisch. Die Bedienung und Auswertung ist auch bei großen Torzahlen einfach und intuitiv und erfolgt direkt über die Bedienoberfläche des R&S®ZNB. Mit Hilfe von Kalibriereinheiten mit bis zu acht Toren lassen sich auch Systeme mit vielen Toren einfach und schnell kalibrieren.

Thilo Bednorz

BILD 7 Kalibriereinheiten von Rohde&Schwarz. Rechts: Kalibriereinheit R&S®ZV-Z51, unten R&S®ZV-Z58.

Breitbandverstärker für Anwendungen im Mikrowellenbereich

Der neue Breitbandverstärker R&S®BBA150 startet mit dem Frequenzbereich 800 MHz bis 3 GHz. In Kombination mit der etablierten Breitbandverstärkerfamilie R&S®BBA100 sind nun Verstärkersysteme mit mehreren Frequenzbereichen zwischen 9 kHz und 3 GHz und zahlreichen Leistungsklassen realisierbar.

Neue Einsatzgebiete bis 3 GHz

Im Mittelpunkt der Entwicklung des neuen Leistungsverstärkers R&S®BBA150 standen ein für hohe Frequenzen optimiertes Design, kompakte Abmessungen und geringes Gewicht (BILD 1). Er erschließt neue Einsatzgebiete, beispielsweise Störfestigkeitsmessungen bis 3 GHz nach verschiedenen Standards. Oder im industriellen Umfeld in der Komponentenfertigung und Qualitätssicherung, in der Forschung und physikalischen Technik sowie in der Kommunikationstechnik. Der Verstärker steht derzeit mit einem durchgängigen Frequenzbereich von 800 MHz bis 3 GHz und Ausgangsleistungen von 30 W, 60 W, 110 W und 200 W zur Verfügung.

Fortschrittlichstes HF-Design am Markt

Jahrzehntelange Erfahrung von Rohde&Schwarz in der Entwicklung von Leistungsverstärkern, die Verwendung modernster Design- und Simulationsprogramme sowie der Einsatz aktueller Leistungshalbleiter sind der Grund dafür, dass der R&S®BBA150 das fortschrittlichste HF-Design am Markt aufweist. Beeindruckend sind Leistungen bis 200 W in einem Gehäuse mit nur vier Höheneinheiten sowie das durch konsequente Leichtbauweise erzielte verhältnismäßig geringe Gewicht, z. B. nur 24 kg für das 200-W-Gerät.

Effizient, robust und in Serie gefertigt

Die große Robustheit ist Garant für störungsfreien Betrieb – ein nicht zu unterschätzender wirtschaftlicher Faktor. Der R&S®BBA150 wird als Serienprodukt nach hohen Qualitätsmaßstäben im Werk Teisnach gefertigt, einem der modernsten Werke seiner Art in Europa. Für die Sicherheit im laufenden Betrieb bietet die schlanke Firmware des Verstärkers effiziente Überwachungs- und Schutzmechanismen. Die großzügig dimensionierten HF-Leistungsstufen haben ausreichend Reserven, sodass zugesicherte Parameter im Datenblatt eingehalten werden, ohne die Verstärker an die Grenzen ihrer Belastbarkeit zu bringen. Nicht zuletzt auch ihre hohe Toleranz gegenüber Fehlanpassungen (z. B. gegen HF-seitigen Kurzschluss bzw. einen offenen HF-Ausgang) gewährleistet ihre hohe Zuverlässigkeit.

BILD 1 Der Leistungsverstärker R&S®BBA150 steht mit Ausgangsleistungen von 30 W, 60 W, 110 W und 200 W zur Verfügung.

Vielseitig zu steuern und zu bedienen

Über das Display und die Bedientasten auf der Frontplatte ist der Verstärker komplett steuerbar. Er lässt sich aber auch über eine grafische Bedienoberfläche in gebräuchlichen Webbrowsern bedienen (BILD 2). Für automatisierte Messabläufe bietet sich die EMV-Testsoftware R&S®EMC32 an, die den R&S®BBA150 vollständig unterstützt. Aber auch die Steuerung per Ethernet ist möglich, dazu steht ein umfangreicher Satz an Fernsteuerkommandos entsprechend der SCPI-Nomenklatur zur Verfügung.

BILD 2 Bedienpanel für den R&S®BBA150 in einem Webbrowser.

Zwei Familien – ein Verstärkersystem

Selbstverständlich ist der R&S®BBA150 allein einsetzbar. Seine Stärken kommen aber auch im Verbund mit den Breitbandverstärkern R&S®BBA100 zum Tragen, mit denen er sich nahtlos in Verstärkersysteme für den Frequenzbereich von 9 kHz bis 3 GHz einbinden lässt (BILD 3). In solchen Systemen profitiert der R&S®BBA150 von den HF-Schaltoptionen, die der R&S®BBA100 anbietet, zum Beispiel von den HF-Eingangs- und -Ausgangsschaltern sowie vom HF-Messstellenumschalter (BILD 4).

Auf Wunsch übernimmt der R&S®BBA100 als Master die Steuerung des R&S®BBA150 und bindet diesen wie einen zusätzlichen HF-Pfad ein. Nach außen hin erscheint das gesamte System damit wie ein Multiband-Verstärker, der optional über einen gemeinsamen HF-Eingang sowie über gemeinsame Messstellen und HF-Schalter verfügt. Die Fernsteuerung erfolgt ebenfalls zentral über eine Schnittstelle.

Exzellenter Service und schnelle Wartung

Sollte einmal ein Defekt auftreten, so sorgt der modulare Aufbau des R&S®BBA150 für schnelle Hilfe und minimale Ausfallzeiten. Alle Module lassen sich meist schon in der lokalen Rohde&Schwarz-Vertretung oder dem nächsten Service-Stützpunkt austauschen. Die weltweite Verfügbarkeit von Ersatzteilen ist selbstverständlich. Sollte das Problem einmal nicht durch Modultausch zu beheben sein, wird die Reparatur im Werk innerhalb von höchstens zehn Arbeitstagen durchgeführt (zzgl. der Zeit für den Versand des Geräts).

Noch ein Pluspunkt: Die Verlängerung der Gewährleistung bietet hohe Verfügbarkeit des R&S®BBA150 zu niedrigen, kalkulierbaren Betriebskosten. Laufzeiten von ein bis vier Jahren – zusätzlich zur Gewährleistung von drei Jahren – bieten Sicherheit für lange Zeit.

BILD 3 Gesamtsystem aus Verstärkern R&S®BBA100 und R&S®BBA150.

Verstärkersystem mit R&S®BBA100 und R&S®BBA150

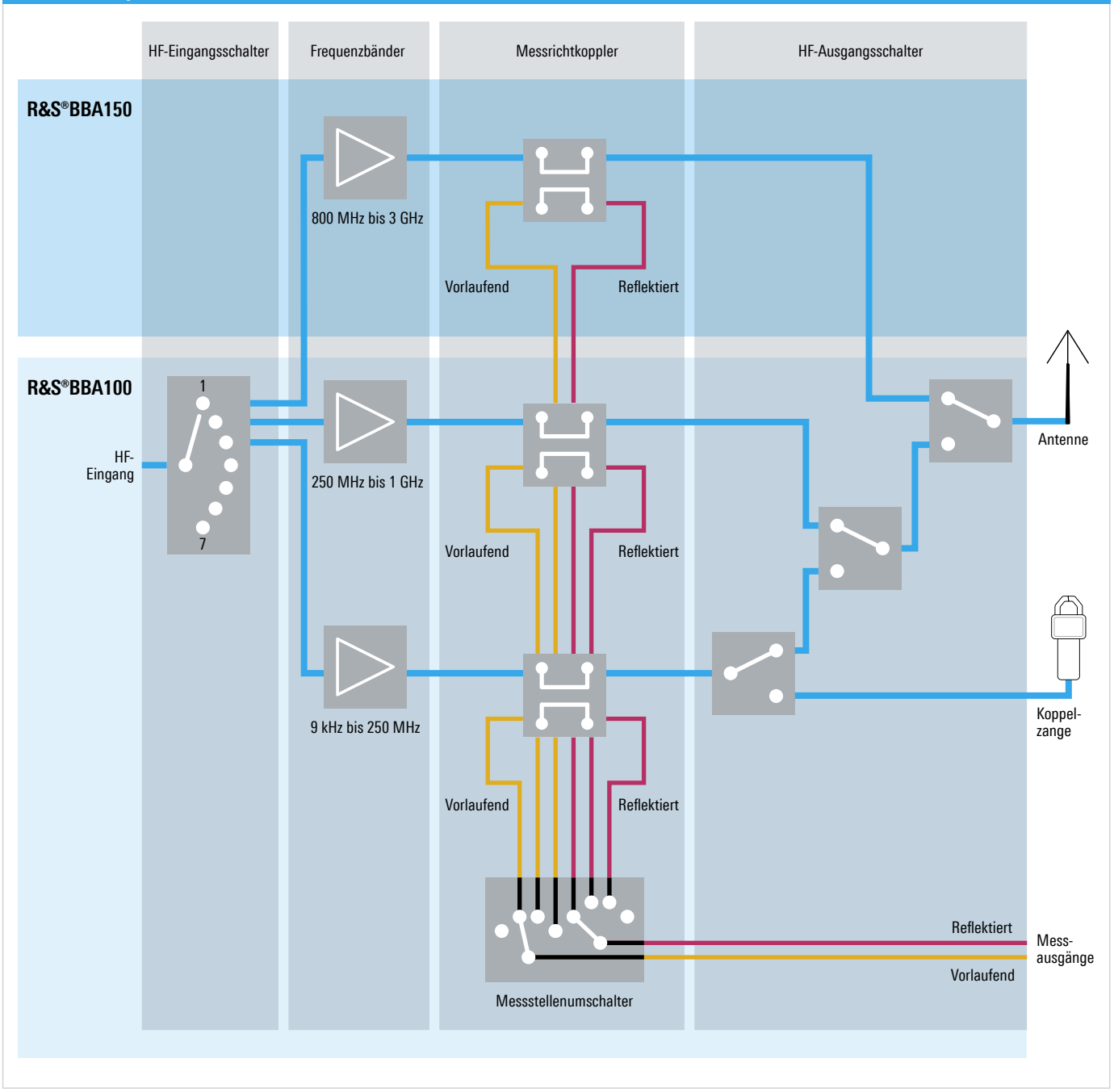


BILD 4 System mit Verstärkern R&S®BBA150 und R&S®BBA100 mit den Frequenzbereichen 9 kHz bis 250 MHz (Band A), 250 MHz bis 1 GHz (Band C) und 800 MHz bis 3,0 GHz (Band D).

Fazit

Mit der Vorstellung der neuen Leistungsverstärker R&S®BBA150 komplettiert ein weiterer Baustein das EMV-Portfolio von Rohde&Schwarz. Modernes Design, nahtlose Integration in die bewährte Breitbandverstärkerfamilie R&S®BBA100 sowie der weltweit agierende Service machen den neuen Verstärker zur richtigen Wahl für EMV-Anwendungen und andere Applikationen. Das modulare Konzept bietet die Voraussetzung für eine spätere Erweiterung hinsichtlich Leistung und Frequenzbereich und sichert Investitionen.

Sandro Wenzel

Einfach und schnell: Diagnose- und Precompliance-Messungen mit dem R&S®ESRP

Viele Anforderungen, die an EMV-Messempfänger für die Zertifizierung gestellt werden, spielen auch im Laboralltag oder für vorbereitende Messungen eine große Rolle, beispielsweise Geschwindigkeit, Funktionsumfang und Bedienfreundlichkeit. Der neue EMV-Messempfänger R&S®ESRP für die Precompliance-Klasse ist optimiert für diese Anforderungen. Mit ihm dauern EMV-Messungen, die sich sonst Stunden hinziehen, nur noch einen Bruchteil der Zeit.

Hochgeschwindigkeit auch im Precompliance-Bereich

Nachdem Rohde&Schwarz im letzten Jahr den weltweit schnellsten EMV-Messempfänger R&S®ESR* für Konformitätsmessungen vorstellte, mussten Anwender nicht lange auf ein vergleichbares Gerät für Diagnosemessungen in Entwicklung und Labor warten. Wie der R&S®ESR bietet auch der R&S®ESRP (BILD 1, linke Seite) einen FFT-basierten Zeitbereichs-Scan (Time Domain Scan) und kann damit Precompliance-Messungen um Größenordnungen schneller durchführen. Sein Einsatzschwerpunkt sind entwicklungsbegleitende EMV-Diagnosemessungen und alle Messungen, die im Vorfeld einer Produktzertifizierung anfallen – und zwar für zivile EMV-Normen wie auch für militärische Messvorschriften bis 7 GHz.

Der Empfänger ist in zwei Modellen für die Frequenzbereiche 9 kHz bis 3,6 GHz bzw. 7 GHz lieferbar. Die untere Frequenzgrenze lässt sich mit der Option R&S®ESRP-B29 auf jeweils 10 Hz erweitern. (BILD 2). Die Bedienung erfolgt über einen komfortablen Touchscreen.

Basisnorm unterstützt FFT-basierte Empfängertechnik

Mit Publikation der Änderung A1:2010 zur 3. Ausgabe der Basisnorm für Störemissionsmessgeräte CISPR 16-1-1 ist viel in Bewegung geraten. Die nächsten Ausgaben und Änderungen der Produktfamilienstandards, z.B. EN 55011 bis EN 55032, referenzieren für EMV-Prüfungen dann, soweit noch nicht geschehen, die neueste Ausgabe dieser wichtigen Basisnorm. Sie erlauben somit die Verwendung von Messergebnissen, die mit FFT-basierter Empfängertechnik erzielt wurden. Diese Messungen können durch Basisbandumsetzung (BILD 3) oder mit Hilfe breitbandig ausgelegter Zwischenfrequenzstufen realisiert werden. Bei gleicher und vor allem reproduzierbarer Genauigkeit kommt man so deutlich schneller ans Ziel.

* Der weltweit schnellste EMV-Messempfänger reduziert Prüfzeiten drastisch. NEUES (2012) Nr. 207, Seite 22–27.

Schneller messen mit Zeitbereichs-Scan

Für die rasante Beschleunigung der Messungen sorgt die Option Time Domain Scan R&S®ESRP-K53 mit ihrer leistungsfähigen FFT-Berechnung. Im Modus Time Domain Scan misst der R&S®ESRP um ein Vielfaches schneller als mit der klassischen schrittweisen Frequenzabstimmung (Stepped Scan). Dabei wird das Zeitsignal mit 128 MHz Abtastrate erfasst und mit einem 16-bit-A/D-Umsetzer für die Weiterverarbeitung digitalisiert. Um wie viel schneller die Messergebnisse erzielt werden, zeigt BILD 4, das den Unterschied zwischen schrittweiser Frequenzabstimmung und Zeitbereichs-Scan in den CISPR-Bändern B und C/D verdeutlicht.

Die in BILD 4 rot markierten Gesamtmesszeiten sind ein Beispiel für typische Messungen im CISPR-Band C/D, wie sie Automobilzulieferer und -hersteller gemäß Produktfamilienstandard CISPR 25 bis 1 GHz bei einer Messbandbreite von 9 kHz (–6 dB) durchführen müssen. Bei schrittweiser Frequenzabstimmung werden 4-kHz-Schritte zugrunde gelegt, um lückenlos zu messen und bei einer Messzeit von 10 ms werden noch Pulse mit einer Wiederholrate von ca. 100 Hz erfasst.

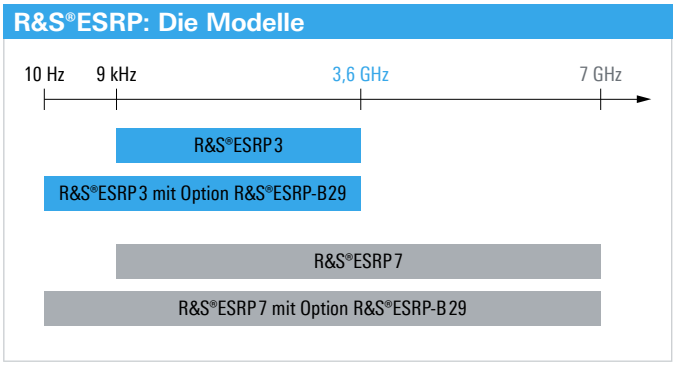


BILD 2 EMV-Messempfänger R&S®ESRP: Übersicht über Modelle und deren Frequenzbereich.

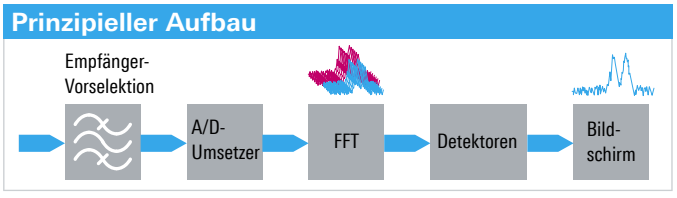


BILD 3 Blockschaltbild des R&S®ESRP mit Basisbandumsetzung bis 30 MHz.

Im Zeitbereichs-Scan stehen die Messergebnisse ca. 500-mal schneller zur Verfügung, obwohl sich in diesem Modus – bedingt durch die Schrittweite von 2,25 kHz – die Anzahl an Messpunkten fast verdoppelt. Wie BILD 4 zeigt, sind auch bei Messungen in anderen Bändern deutliche Zeitersparnisse möglich, wodurch sich Aufwand und Kosten, um ein Produkt zur Serienreife zu bringen, erheblich reduzieren lassen.

Lückenloses Erfassen von Störemissionen

Mit dem Zeitbereichs-Scan sind EMV-Messungen in den CISPR-Bändern jetzt in wenigen Sekunden durchgeführt. Der R&S®ESRP erfasst dabei die spektralen Signalanteile ohne zeitliche Lücken mit einer Bandbreite bis zu 30 MHz. Mit einer virtuellen Schrittweite von ¼ der Auflösebandbreite und einer Überlappung der Gaußschen FFT-Fenster von über 90 % erreicht der Empfänger eine sehr gute Pegelmessgenauigkeit bei pulsförmigen Störern (BILD 5). Die Gesamtmessunsicherheit erfüllt damit auch für Precompliance-Messungen die Anforderungen nach CISPR 16-1-1.

Hohe Messgeschwindigkeit ist auch erforderlich, wenn Prüflinge nur kurzzeitig betrieben werden dürfen – entweder, weil sie ihr Verhalten ändern (schwankende und driftende Störer), im Extremfall bei zu lange andauerndem Betrieb zerstört werden oder der Betriebszyklus Schnelligkeit erfordert, beispielsweise bei elektrischen Fensterhebern in Fahrzeugen. Mit dem Zeitbereichs-Scan des R&S®ESRP sind solche Messszenarien besser beherrschbar.

Der Anwender kann die Beobachtungszeit auch selbst erhöhen, um damit schmalbandige intermittierende Störer oder selten auftretende Einzelstörer sicher zu ermitteln.

Frequenzbereich	Detektor, Messzeit, Messbandbreite	R&S®ESRP	
		Schrittweise Frequenzabstimmung	Zeitbereichs-Scan (Option)
CISPR Band B 150 kHz bis 30 MHz	Peak, 100 ms, 9 kHz	7462 Messpunkte: 755 s	13 267 Messpunkte: 2 s
CISPR Band B 150 kHz bis 30 MHz	Quasipeak, 1 s, 9 kHz	7462 Messpunkte: 12 960 s	13 267 Messpunkte: 60 s
CISPR Band C/D 30 MHz bis 1000 MHz	Peak, 10 ms, 120 kHz	24 250 Messpunkte: 254 s	32 334 Messpunkte: 6 s
CISPR Band C/D 30 MHz bis 1000 MHz	Peak, 10 ms, 9 kHz	242 500 Messpunkte: 4310 s	431 112 Messpunkte: 8 s
CISPR Band C/D 30 MHz bis 1000 MHz	Quasipeak, 1 s, 120 kHz	24 250 Messpunkte: ca. 600 min	32 334 Messpunkte: ca. 33 min

BILD 4 Vergleich der Gesamtmesszeiten bei schrittweiser Frequenzabstimmung und beim Zeitbereichs-Scan bei typischen Messeinstellungen. Rot markiert: Beispiel der Gesamtmesszeiten für typische Messungen, die Automobilzulieferer und -hersteller gemäß Produktfamilienstandard CISPR 25 bis 1 GHz bei einer Messbandbreite von 9 kHz (–6 dB) durchführen müssen.

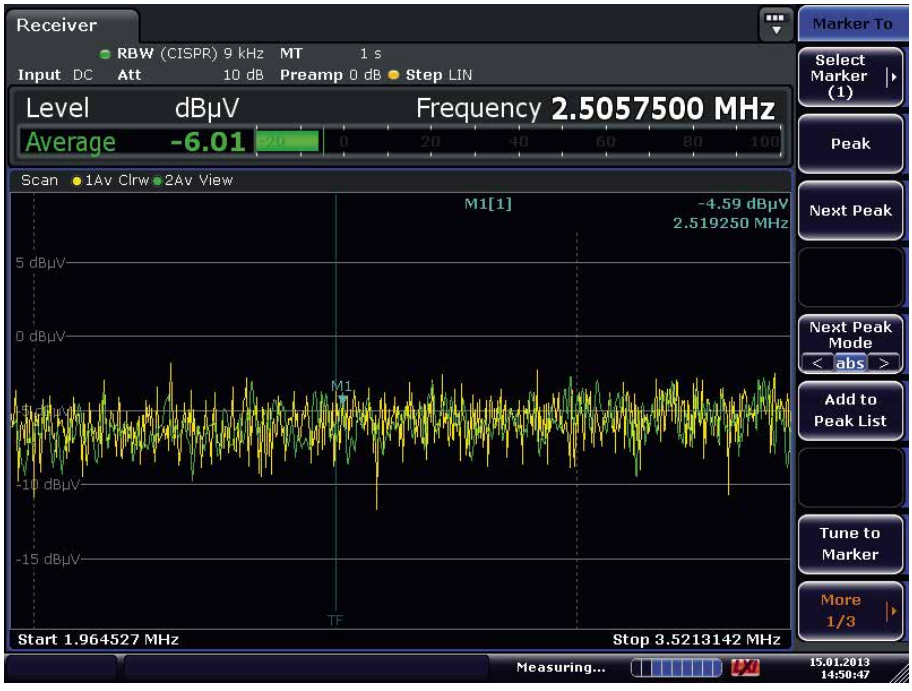


BILD 5 Pegelabweichung bei schrittweiser Frequenzabstimmung (gelb) versus Zeitbereichs-Scan (grün).

Die Option Vorselektionsfilterbaugruppe R&S®ESRP-B2 ist aus 16 Filtern aufgebaut und enthält einen 20-dB-Vorverstärker bis max. 7 GHz. Damit führt der R&S®ESRP Messungen von intermittierenden Störern mit Pulswiederholfrequenzen ab 10 Hz normenkonform gemäß CISPR 16-1-1 aus. Mit der Vorselektionsfilterbandbreite von 150 kHz bis 30 MHz werden geleitete Störemissionen in einem einzigen Schritt im Zeitbereichs-Scan auf 13 267 Frequenzen gleichzeitig gemessen (BILD 6).

Mehr Auflösung in der spektralen Darstellung durch die ZF-Analysefunktion

Kritische Signalamplituden im Spektrum lassen sich mit der ZF-Analysefunktion im R&S®ESRP genauer untersuchen. In der ZF-Analyse wird die spektrale Darstellung des HF-Eingangssignals um die Empfängerfrequenz über einen einstellbaren Bereich (bis 10 MHz) gezeigt. Diese Darstellung erfolgt entweder parallel zur Bargraph-Anzeige bei der aktuellen

BILD 6 In einem Schritt: geleitete Störemissionsmessung im CISPR-Band B.

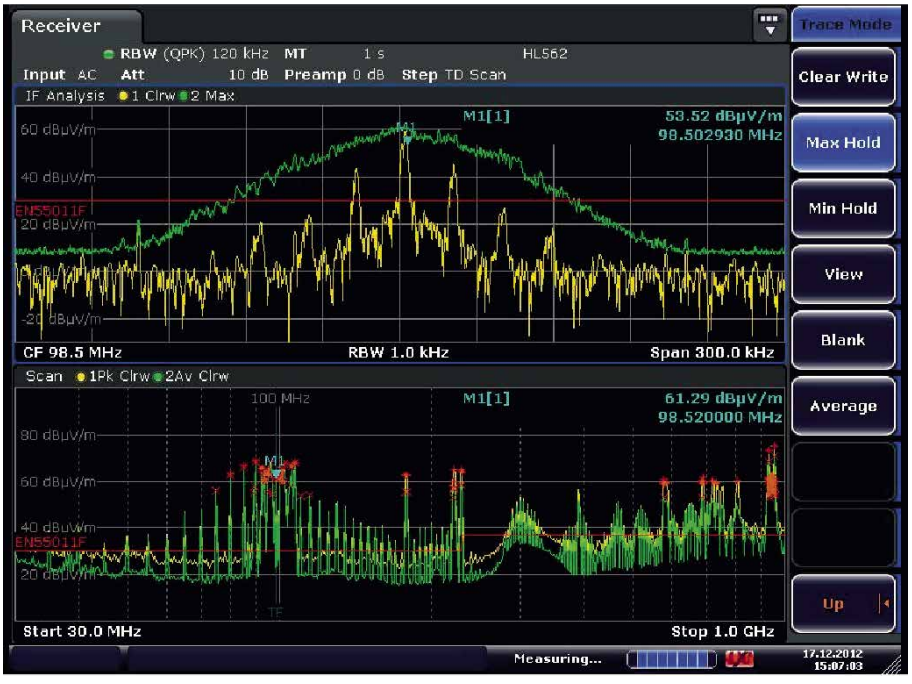


BILD 7 ZF-Analyse bei paralleler Kopplung mit Marker-Track im Vormessspektrum.

Empfangsfrequenz oder ist über das vorhandene Ergebnis aus einem Frequenz-Scan, z. B. aus einer Vormessung, per Marker-Track an die Markerposition gekoppelt (BILD 7). Durch die Kopplung entspricht die Mittenfrequenz des ZF-Spektrums immer der eingestellten Empfangsfrequenz des Messempfängers. So kann dieser sehr genau und vor allem schnell auf das zu untersuchende Signal abgestimmt werden. Darüber hinaus erhält der Anwender einen genauen Überblick über die Belegung des Spektrums rund um den Messkanal und – bei entsprechend großer Darstellbreite des ZF-Analysespektrums – über die spektrale Verteilung eines modulierten Signals im Messkanal. Empfangssignale lassen sich damit schnell als Stör- oder Nutzsignale klassifizieren. Die zuschaltbare, parallele Audiodemodulation für AM oder FM erleichtert das Identifizieren der erfassten Signale, um beispielsweise Umgebungsstörer bei Freifeldmessungen zu erkennen und auszuschließen.

Spektrumanalysefunktionen und EMV-Messungen im Spektrumanalysator-Modus

Der Frequenzbereich von 9 kHz bis 3,6 bzw. 7 GHz ist mit der Option R&S®ESRP-B29 auf jeweils 10 Hz Startfrequenz erweiterbar. Bei abgeschalteter Vorselektion in der Betriebsart Spektrumanalysator kann die Empfindlichkeit des R&S®ESRP mit der separaten Vorverstärkeroption R&S®FSV-B22 erhöht werden. Dank seines niedrigen Eigenrauschens (DANL typ. –168 dBm bei 1 Hz Bandbreite und eingeschaltetem Vorverstärker) kann der R&S®ESRP auch Signale mit geringem Pegel genau messen. Mit seinem sehr guten Dynamikbereich erfüllt er die speziellen Anforderungen von CISPR 16-1-1 Ed. 3 („Verwendung von Spektrumanalysatoren ohne Vorselektion für normenkonforme Messungen von Störaussendungen"), also für Störsignale ab 20 Hz Pulswiederholfrequenz.

Messungen von HF-Störemissionen sind in der Betriebsart Spektrumanalysator wahlweise mit oder ohne zugeschalteter Vorselektion möglich. Die Anzahl der dabei gemessenen Sweep-Punkte ist wählbar. Für eine aussagekräftige Bewertung lassen sich bis zu 200 001 Messpunkte vorgeben. Im Vergleich dazu stehen im Messempfänger-Modus bis zu 4 Millionen Messpunkte pro Kurve zur Verfügung. Aber auch entwicklungsbegleitende Diagnosemessungen müssen genau und reproduzierbar sein. „Normale" Auflösungen von 8000 oder 32 000 Messpunkten, wie sie bei anderen Spektrumanalysatoren üblich sind, stoßen hier meist schnell an Grenzen und sind für EMV-Messungen nicht ausreichend.

Konfigurierbare Messmarker im R&S®ESRP (bis zu 16), die auf die Frequenzen der Störsignale gesetzt werden, erlauben die gezielte Störanalyse. Die Kopplung der Messmarker mit einem zugehörigen CISPR-Bewertungsdetektor erlaubt den Vergleich mit den Grenzwerten. Die wahlweise Spektrumdarstellung mit logarithmischer Frequenzachse erleichtert die Diagnose von Messergebnissen über einen weiten Frequenzbereich und sichert die normgerechte Darstellung der Grenzwertlinien. Die kritischen Frequenzen werden übersichtlich in einer Peak-Liste dargestellt. Dies ermöglicht die schnelle Auswertung des Störspektrums im Vergleich zu den Grenzwerten.

Mitlaufgenerator für skalare Netzwerkanalyse

Ein interner Mitlaufgenerator (Option R&S®FSV-B9) erweitert den R&S®ESRP zu einem skalaren Netzwerkanalysator für den Frequenzbereich 9 kHz bis zu 7 GHz. Damit lässt sich der frequenzabhängige Dämpfungsverlauf beispielsweise von Messkabeln oder Filtern schnell und einfach bestimmen und im R&S®ESRP als Korrekturtabelle (Transducer) speichern.

BILD 8 Der R&S®ESRP, geschützt mit Stoßecken und mit Tragebügel für Außeneinsätze.

Präpariert für den Außeneinsatz

Für Außeneinsätze im PKW oder im Freifeld kann der R&S®ESRP mit dem DC-Netzteil R&S®FSV-B30 (12 V bis 15 V) erweitert sowie in einer anderen Gehäusevariante mit Stoßschutzecken und Tragebügel geliefert werden (BILD 8). Bei Freifeldmessungen arbeitet der Empfänger, ausgestattet mit dem Li-Ionen-Batterie-Pack R&S®FSV-B32, über mehrere Stunden hinweg zuverlässig, z. B. für das Aufnehmen von Messreihen.

In der Standardausführung ist der R&S®ESRP mit einer Festplatte zum Speichern der Daten ausgerüstet. Für die größeren Schock- und Vibrationsbelastungen im Fahrzeug oder bei überdurchschnittlich stark schwankenden Betriebstemperaturen kann diese gegen ein Solid-State-Wechsellaufwerk ausgetauscht werden.

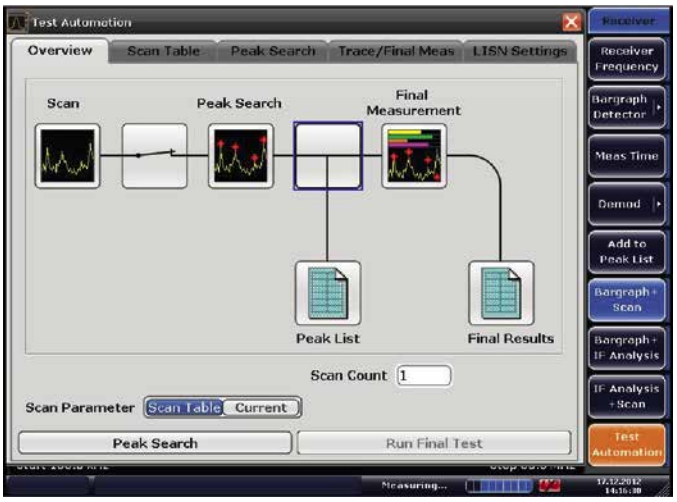


BILD 9 Das Menü Test Automation für die Konfiguration automatisch ablaufender Messungen.

Automatische Messungen und Softwareunterstützung

Der R&S®ESRP verfügt mit der integrierten Funktion Test Automation über einen konfigurierbaren Testablauf, der nach dem Prinzip Vormessung – Datenreduktion – Nachmessung aufgebaut ist (BILD 9). Dabei werden die Anzahl der nachzumessenden Frequenzen und der Abstand zu einer oder mehreren Grenzwertlinien festgelegt. Der Ablauf wird per Tastendruck gestartet und läuft dann vollautomatisch ab. Wahlweise kann die Nachmessung auch interaktiv durchgeführt werden. Durch Berühren des Symbols „Peak List" öffnet sich die Liste der gefundenen Frequenzen. Die Anzahl der Nachmessfrequenzen kann so noch verändert werden und danach erfolgt die Endbewertung mit den Detektoren Quasi-Peak, CISPR-AV oder CISPR RMS-AV. Die Zuordnung der jeweiligen Detektoren erfolgt dabei im Trace Wizzard.

Darüber hinaus stehen für externe, rechnergesteuerte Anwendungen die EMV-Softwareapplikationen R&S®EMC32 und R&S®ES-SCAN für die automatische und semi-automatische Ablaufsteuerung zur Verfügung. Die EMI-Software R&S®ES-SCAN ist eine kostengünstige und bedienfreundliche Windows-Software, die speziell für entwicklungsbegleitende Störemissionsmessungen konzipiert wurde und damit den R&S®ESRP ideal ergänzt.

Auch die EMV-Messsoftware R&S®EMC32 unterstützt den R&S®ESRP. Sie ist modular aufgebaut und bietet sowohl manuelle als auch teil- und vollautomatisierte Störemissions- und Störfestigkeitsmessungen nach zivilen und militärischen Standards. Die zuverlässige Erfassung, Auswertung, Dokumentation und Rückführbarkeit der Messresultate und die Fernsteuerung einer Vielzahl von Zubehörkomponenten wie Mast- und Drehtischsysteme sind enthalten.

Die Fernsteuerung des R&S®ESRP über GPIB oder LAN mit eigens erstellten Programmen erfolgt wahlweise über standardmäßige Schnittstellen gemäß IEC 625-2 (IEEE 488.2) und über LAN-Schnittstellen (10 / 100 / 1000BaseT). Für die Einbindung des R&S®ESRP stehen kostenlose Treiber für LabVIEW, LabWindows/CVI und VXI Plug & Play auf den Rohde&Schwarz-Internetseiten zur Verfügung.

Fazit

Der R&S®ESRP ist ein Funkstörmessempfänger für den Frequenzbereich 10 Hz bis 7 GHz, der speziell konzipiert ist für entwicklungsbegleitende Diagnosemessungen sowie zur Vorbereitung auf die abschließende Zertifizierungsmessung. Aufgrund seiner herausragenden HF-Eigenschaften, seiner Messgeschwindigkeit und der Vielfalt an Messfunktionen ist er prädestiniert für den Einsatz in Entwicklung und Labor. Er ist dahingehend optimiert, die EMV-Messungen so schnell wie möglich und so genau wie nötig durchzuführen. Dafür erfasst sein FFT-basierter Zeitbereichs-Scan die Störspektren mit hoher Geschwindigkeit. Der R&S®ESRP ist aber auch ein vollwertiger, leistungsfähiger Spektrumanalysator für Laboranwendungen. Mit der klar strukturierten Bedienoberfläche und dem Touchscreen ist er einfach zu bedienen, ein Feature, das man bei seinem vielseitigen Anwendungsspektrum kaum hoch genug schätzen kann. Mit diesem Allrounder kommt der Anwender schneller zum Ziel – und damit zur Serienreife seines zuzulassenden Produkts.

Volker Janssen

Literatur
Amendment 1:2010-06 to CISPR 16-1-1:2010-01 (Edition 3) Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus.
Weitere Informationen zum R&S®ESRP finden Sie unter:
http://www.rohde-schwarz.com/en/product/esrp-productstartpage_63493-35077.html

Effiziente Sendesysteme für alle Leistungsklassen

2011 gingen sie an den Start: die UHF-Hochleistungssender R&S®THU 9. Konsequent erweitert Rohde & Schwarz inzwischen diese völlig neue Sendergeneration. Nun erobern die UHF-Mittelleistungssender R&S®TMU 9 und die Kleinleistungssender R&S®MLx den Markt. Allen gemeinsam ist ihr geringer Platzbedarf und ihr hoher Wirkungsgrad (siehe auch Artikel Seite 63).

BILD 1 Das MultiTX-Konzept der neuen Sender R&S®TMU 9 macht es möglich: Bis zu sechs Sender lassen sich in einem Gestell unterbringen – eine Platzersparnis von bis zu 80 % gegenüber der bisher dafür notwendigen Stellfläche. In diesem Beispiel sind drei Sender eingebaut, jeder liefert einer Ausgangsleistung von 1,14 kW.

TV-Senderfamilie R&S®TMU9: Minimale Betriebskosten – maximale Flexibilität

Geringer Platzbedarf, kurze Lieferzeiten, niedrige Betriebskosten und höchste Verfügbarkeit – das sind die wichtigsten Anforderungen der Netzbetreiber an Sender für terrestrische Rundfunknetze. Und all diese erfüllt die Sendergeneration R&S®Tx9, die nun um die luftgekühlten Sender R&S®TMU9 mit Leistungsklassen zwischen 300 W und 2,85 kW erweitert wurde.

MultiTX – erfolgreiches Konzept gegen Platzmangel und Mietkosten

Platzmangel und steigende Mietkosten – Probleme, die jeder Netzbetreiber kennt. Denn häufig müssen Sendestationen mit zusätzlichen Multiplexen erweitert werden und oft herrscht dort Platzmangel. Von zusätzlichen Mietkosten für den Platzbedarf weiterer Sendergestelle gar nicht zu reden. Diese für Betreiber gravierenden Probleme standen bei der Entwicklung der neuen UHF-Senderfamilie R&S®TMU9 für Leistungen zwischen 300 W und 2,85 kW mit im Fokus. Ihr MultiTX-Konzept ermöglicht es, bis zu sechs Sender in einem Gestell unterzubringen – eine Platzersparnis von bis zu 80 % der bisher dafür notwendigen Stellfläche (BILD 1). Darüber hinaus sind nun auch komplette Reservesysteme in einem einzigen Sendergestell realisierbar, z. B. ein 2+1-System mit einer Ausgangsleistung von 1,14 kW. Das spart nicht nur Stellfläche, sondern auch Zeit bei der Inbetriebnahme. Zudem ist der R&S®TMU9 bis Ausgangsleistungen von 1,14 kW auch ohne Gestell lieferbar, sodass er Lücken in vorhandenen Gestellen platzsparend füllen kann.

BILD 2 Der R&S®TMU9 ist vielseitig konfigurierbar: Hier die herausgezogenen Basisgeräte R&S®TCE900, die per Einsteckkarte als Steuersender oder als Sendersteuerung arbeiten können.

Modular und seriengefertigt – allen Projekten und Terminen gewachsen

Feste Termine für das Einschalten der Sender gehören zum Alltag von Netzbetreibern. Hier helfen Sender, die in Serie gefertigt und deshalb zügig lieferbar sind. Die sich aber trotzdem so vielseitig konfigurieren lassen, als wäre jeder eine maßgeschneiderte Sonderanfertigung. So wie der seriengefertigte, konsequent modular aufgebaute R&S®TMU9. Standardmäßig ist er per Baukastenprinzip in mehr als 50 Variationen konfigurierbar. Das bewährt sich z. B. beim Konzept für die Kühlung: In vielen Ländern sind geführte Abluftsysteme im Einsatz, in anderen wird die warme Abluft direkt in den Raum geblasen und muss dort gekühlt werden. Wie auch immer, das Kühlsystem für den R&S®TMU9 ist selbst an ausgefallene Anforderungen anpassbar. Und dank seiner konsequenten Modularität sind spätere Anforderungen einfach und schnell nachgerüstet.

Modular ist auch das Basisgerät R&S®TCE900: Je nach Einsteckkarte arbeitet es als Steuersender oder als Sendersteuerung (BILD 2). Die Karten können jederzeit erweitert oder getauscht werden. Sind in einem Netz mehrere Senderfamilien der neuen Generation R&S®Tx9 im Einsatz, so ist die Ersatzteilhaltung dank der durchgängigen Verwendbarkeit des R&S®TCE900 einfach und kostengünstig.

Doherty-Verfahren – reduziert Betriebskosten über die Lebenszeit um mehr als 40 %

Die aktuellen Sendergenerationen vieler Hersteller brauchen typischerweise vier bis fünfmal mehr Energie, als sie aussenden. Besser macht es der R&S®TMU9: Er erreicht einen Wirkungsgrad bis zu 38 % und ist damit der erste luftgekühlte Sender, mit dem sich die Energiekosten um mehr als 40 % reduzieren lassen. Dahinter steckt das Doherty-Verfahren in den Leistungsverstärkern. Es basiert auf einer Erfindung von William H. Doherty in den 1930er Jahren. Sie wird im Mobilfunk bereits seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzt und trägt auch hier zu geringerem Energiebedarf bei. Das Grundprinzip dieses Verfahrens ist es, die Verstärkung des Signals in zwei Pfade aufzuteilen. Einer übernimmt die Verstärkung der

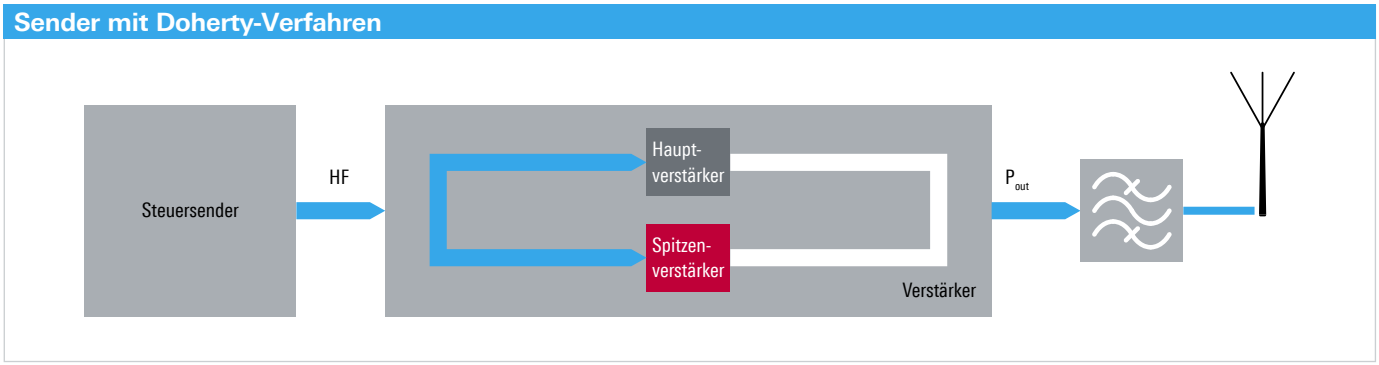


BILD 3 Der R&S®TMU9 arbeitet nach dem Doherty-Verfahren und erreicht dadurch einen Wirkungsgrad von bis zu 38 %.

Spitzensignale, der andere, der Hauptverstärker, die der Mittelwert-Signale (BILD 3). Dies hat den Vorteil, dass im Hauptverstärker keine Leistungsreserve für die Spitzensignale vorgehalten werden muss. Der Spitzenverstärker kommt nur dann zum Zug, wenn tatsächlich Leistungsspitzen auftreten. Mit dieser Methode wird in beiden Verstärkern Energie gespart. Rohde&Schwarz hat das Doherty-Verfahren mit dem R&S®TMU9 revolutioniert. Erstmalig ist es gelungen, das vormals schmalbandige Verfahren in breitbandigen Verstärkern einzusetzen. Dies vereinfacht auch hier die Ersatzteilhaltung in großen Sendernetzen mit vielen verschiedenen Frequenzen, da nicht so viele unterschiedliche Verstärker vorgehalten werden müssen.

Innovative Redundanzkonzepte für höchste Verfügbarkeit

Verträge zwischen Netzbetreibern und Rundfunkanstalten regeln die entstehenden Kosten für den Fall, dass die Übertragung unterbrochen wird oder der Sendebetrieb nicht fristgerecht beginnt. Im letzteren Fall sorgt der R&S®TMU9 für Entspannung. Die Sender werden vorverkabelt geliefert und müssen nur noch eingeschoben werden – das erleichtert die fristgerechte Inbetriebnahme erheblich. Eine große Unterstützung ist auch ihre vielseitige Bedienbarkeit: lokal per Laptop, über einen optionalen Touchscreen sowie aus der Ferne über einen Web-Browser oder per SNMP.

Instabile Stromnetze, ausfallende Klimaanlagen oder Probleme bei der Signalzuführung – diesen Gefährdungen der Verfügbarkeit begegnet der R&S®TMU9 mit verschiedenen Optionen. So schützen redundante Netzteile in den Verstärkern vor dem Ausfall einzelner Phasen und eines kompletten Netzteils. Spezielle Lösungen zur Abluftführung ermöglichen es, die Sender unabhängig von Klimaanlagen zu betreiben. Das steigert die Verfügbarkeit und reduziert auch hier den Energieverbrauch. Für noch höhere Ansprüche an die Verfügbarkeit stehen ausgeklügelte Redundanzkonzepte zur Wahl, beispielsweise Dual Drive, Backup Drive oder N+1-Systeme.

R&S®TMU9: Im September vorgestellt und im Dezember schon preisgekrönt auf Sendung

Auf der IBC im September 2012, die jedes Jahr in Amsterdam stattfindet, wurde der R&S®TMU9 dem Fachpublikum vorgestellt. Schon zwei Monate später gingen die ersten beiden Sender on air. Ihre hohe Effizienz sowie ihr kompakter Aufbau überzeugten den zum größten französischen Fernsehsender TF1 gehörenden Netzbetreiber Onecast (Firmengruppe Bouygues). Er bestellte die beiden Sender in einer MultiTX-Konfiguration mit Doherty-Verfahren und geführter Abluft. Das Projekt beinhaltete auch zehn Sender der neuen Hochleistungsgeneration R&S®THU9*, ebenfalls in MultiTX-Konfiguration und mit Doherty-Verfahren. Mit diesem Projekt konnte Onecast den „Wettbewerb für verantwortungsvolle Beschaffungsprojekte“ in der Kategorie „wirtschaftlichste und umweltfreundlichste Projekte“ innerhalb der Firmengruppe Bouygues gewinnen, der erstmalig im Dezember 2012 ausgelobt wurde.

Christian Wachter

* Sie definieren Effizienz neu: UHF-Hochleistungssender R&S®THU9. NEWS 2011 (Nr. 204), S. 46–52.

TV-Kleinleistungssender R&S®MLx: Stromversorgung und Antennen genügen

TV-Sendernetze müssen ein Gebiet möglichst lückenlos versorgen, also auch Täler oder Abschattungen zwischen Hochhäusern. Diese Versorgungslücken werden meist mit zahlreichen Kleinleistungssendern geschlossen. Sie erfordern eine mehr oder weniger aufwendige Infrastruktur mit entsprechend schwer kalkulierbarem Investitionsbedarf. Potenzielle Kostenfallen dieser Art entschärft der neue Kleinleistungssender R&S®MLx, denn er kommt mit einem Minimum an Infrastruktur aus.

Verdeckte Kostentreiber: Sender mit hohem Infrastrukturbedarf

Terrestrische Rundfunknetze werden üblicherweise zuerst großräumig mit Hoch- und Mittelleistungssendern (> 600 W) aufgebaut. In einem zweiten Schritt ergänzen die Netzbetreiber verbleibende Lücken in der Netzabdeckung, beispielsweise Täler, Hochhausschluchten und Tunnel, mit Sendesystemen kleinster Leistungen (< 10 W). Der Betrieb dieser Kleinleistungssender erfordert eine geeignete Infrastruktur: geschützte Unterbringung in einem Gebäude oder Outdoor-Gestell, Kühlung, Stromversorgung, Transportstromzuführung, Netzwerkinfrastruktur zur Überwachung, GPS-Signale sowie Sende- und gegebenenfalls Empfangsantennen (BILD 1). Gerade diese Anforderungen an die Infrastruktur sind ein nicht zu unterschätzender Faktor, denn üblicherweise sind viele Standorte erforderlich, um ein Gebiet möglichst lückenlos abzudecken – mit entsprechend schwer kalkulierbarem Investitionsbedarf.

Infrastrukturbedarf

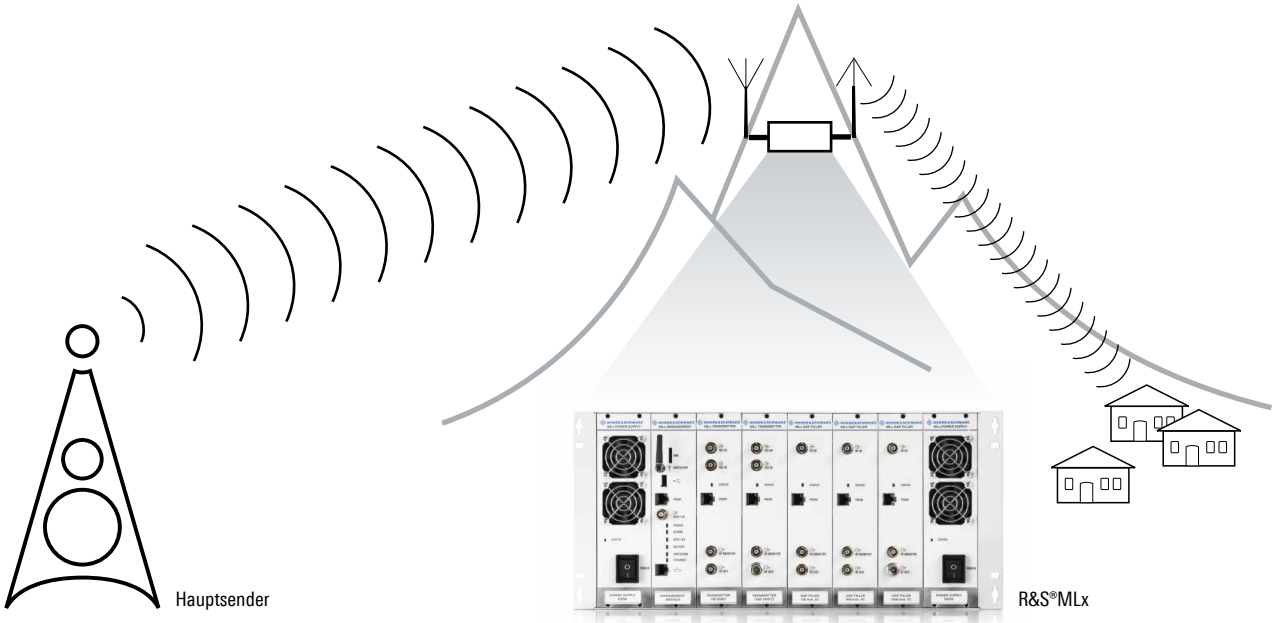


BILD 1 Das erforderliche Budget zum Füllen von Lücken in TV-Netzen hält sich in Grenzen, wenn Kleinleistungsssender eingesetzt werden, die an die Infrastruktur möglichst geringe Anforderungen stellen.

R&S®MLx: robuster Kleinleistungssender mit geringen Ansprüchen

Der neue Multichannel Low-Power Transmitter R&S®MLx (BILD 2) wurde mit besonderem Fokus auf geringe Anforderungen hinsichtlich benötigter Infrastruktur entwickelt. Sein modulares Systemdesign vereint Vielseitigkeit und Ausfallsicherheit mit geringem Platzbedarf. Im kompakten 19"-Gehäuse mit fünf Höheneinheiten und nur 250 mm Bautiefe lassen sich insgesamt bis zu sechs Sender, Gap Filler und Retransmitter für DVB-T, DVB-H und DVB-T2 in den Leistungsklassen 1 W, 5 W und 10 W beliebig kombinieren und parallel betreiben.

Durch seine kompakte Bauform und die günstige Platzierung der Schnittstellen ist der R&S®MLx auf engstem Raum, z. B. in Outdoor Racks ohne Zugang zur Rückseite, integrierbar – ein Senderraum oder gar ein Gebäude sind nicht erforderlich. Dank seiner geringen Abwärme und der konvektionsunterstützten Kühlung kann er in vielen Regionen betrieben werden, ohne dass eine Klimatisierung erforderlich ist. Sein integrierter Satellitenempfänger ermöglicht die kabellose Transportstromzuführung, und das eingebaute UMTS-Modem erübrigt eine kabelgebundene Infrastruktur zur Senderüberwachung (BILD 3). Weitere Features wie der GPS-Receiver und die ausgereifte Echounterdrückung für bis zu +24 dB Echo Gain komplettieren das Systemkonzept. Unentbehrlich vor Ort sind lediglich die Stromversorgung sowie Sende- und Empfangsantennen.

Ein weiteres Schlüsselmerkmal des neuen Senders ist die hohe Verfügbarkeit. Das Redundanzkonzept ermöglicht eine feinabgestimmte Absicherung von 1+1- bis zu 6+1-Systemen. Zur weiteren Steigerung der Verfügbarkeit lässt sich ein redundantes Netzteil einbauen.

Flexibel in der Standortwahl

Konkurrierende Produkte in der 10 W-Leistungsklasse benötigen häufig viel Platz, da sie eine Bautiefe von 450 mm oder mehr aufweisen und außerdem an der Vorder- und an der Rückseite mit Schnittstellen ausgestattet sind. Diese Schnittstellen müssen für Wartungsarbeiten zugänglich bleiben, weshalb der tatsächliche Platzbedarf dieser Sender deutlich über ihrer eigentlichen Bautiefe liegt. Setzen mit solchen Nachteilen behaftete Produkte auch noch kabelgebundene Infrastrukturen voraus, so verringert sich die Zahl der für sie geeigneten Aufstellungsorte deutlich.

BILD 2 Der R&S®MLx ist kompakt und unabhängig von kabelgebundenen Infrastrukturen.

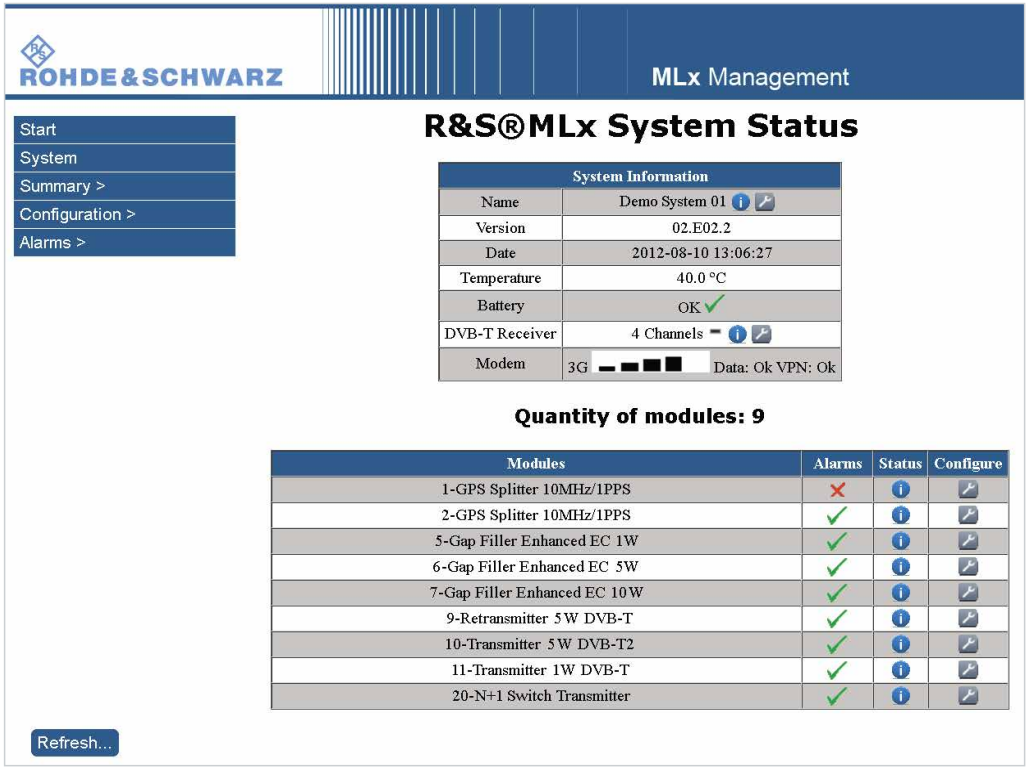


BILD 3 Der R&S®MLx ist über eine Web-Browser-Bedienoberfläche aus der Ferne bedienbar.

Kompromisse dieser Art sind mit dem R&S®MLx nicht erforderlich. Dank seiner kompakten Bauform und seiner weitgehenden Unabhängigkeit von Klimatisierung und kabelgebundenen Infrastrukturen lässt sich der R&S®MLx problemlos in ein Outdoor-Gehäuse einbauen – und eröffnet damit eine nahezu freie Positionierung des Sendersystems.

Fazit: ein Sender für zahlreiche Applikationen

Ob in einer Sendestation oder im Outdoor-Schrank, ob im urbanen Bereich oder in abgelegenen Regionen, der R&S®MLx ist dank seiner kompakten Bauform und des modularen Systemkonzepts für ein breites Spektrum von Einsatzszenarien bestens geeignet. In Hochhausschluchten mit ihren vielen Abschattungszonen, komplexen Signalausbreitungsbedingungen und begrenzten Platzverhältnissen punktet er mit Flexibilität bei der Standortwahl, Unabhängigkeit von kabelgebundenen Infrastrukturen und konkurrenzloser Echounterdrückung.

In abgelegenen Gebieten wie z. B. auf kleinen Inseln fehlt dagegen häufig jegliche Infrastruktur. Oft gibt es keinen Muttersender, keine kabelgebundene Signalzuführung oder keine Überwachungsmöglichkeit. In einem solchen Szenario ist ein R&S®MLx, der mit Satellitenempfänger, UMTS-Modem und Sendermodulen ausgestattet ist, eine überlegene Lösung, die ohne umfangreiche zusätzliche Investitionen zügig realisierbar ist.

Im Gegensatz zu konkurrierenden Rundfunksendern seiner Leistungsklasse ist der R&S®MLx ein auf minimale Infrastrukturanforderungen optimiertes Produkt, das hohe Flexibilität bei der Positionierung von Sendersystemen und universelle Einsetzbarkeit in verschiedensten Anwendungsszenarien bietet.

Maurice Uhlmann

Module für den R&S®MLx

- Netzteil
- Redundantes Netzteil (optional)
- Management-Modul
- GPRS/UMTS-Modem (optional)
- Channel-Module mit 1 W, 5 W oder 10 W Ausgangsleistung (bis zu sechs pro System)
- Sendemodule für DVB-T oder DVB-T2
- Retransmitter-Module für DVB-T
- Gap-Filler-Module für DVB-T / DVB-T2 / ISDB-T
- GPS-Empfänger-Modul
- Redundantes GPS-Empfänger-Modul (optional)
- Satellitenempfänger-Modul
- N + 1-Umschalteinheit für die Sender- und Gap-Filler-Module

DVB-T2-Feldversuch des Bayerischen Rundfunks in München

Bevor Netze mit neuen Rundfunkstandards in den Regelbetrieb gehen dürfen, sind umfangreiche Tests erforderlich. So auch beim Übergang vom TV-Standard DVB-T auf DVB-T2. Der Bayerische Rundfunk startete dazu im Jahr 2010 einen Feldversuch in München und Rohde&Schwarz unterstützte mit entsprechender Sende- und Messtechnik.

Ein weiter Weg – vom Standard zum umfassend getesteten Netz

Im Frühjahr 2007 wurden erste technische Details zum neuen terrestrischen Rundfunkstandard DVB-T2 veröffentlicht. Rohde&Schwarz schloss Ende 2009 die Implementierung des neuen Standards in das Broadcast Test System R&S®SFU ab, sodass Tests an Consumer-Empfängern durchgeführt werden konnten. Die ersten Testnetze im Jahr 2010 waren zunächst reine Mehrfrequenz-Netze (MFN). Erfahrungen mit DVB-T2-Gleichwellennetzen (SFN) gab es damals noch nicht, denn Voraussetzung dafür sind T2-Gateways, und die mussten erst noch entwickelt werden.

Anfang 2010 startete der Bayerische Rundfunk (BR) eine Initiative für einen weiteren Feldversuch mit dem Ziel, die Betriebsfähigkeit von DVB-T2-Gleichwellennetzen zu testen und ein Distributionsnetz auf IP-Basis aufzubauen, das die Senderstandorte mit dem DVB-T2-MI-Transportstrom versorgt. Dazu wählten die Experten drei Senderstandorte des Bayerischen Rundfunks, die für MISO-Tests gut geeignet im Abstand von etwa je knapp 10 km Entfernung voneinander liegen und prinzipiell das Stadtgebiet München abdecken (BILD 1). Denn im Testfokus stand auch das Verfahren Distributed MISO, das mit SISO, der klassischen Konfiguration bei DVB-T, verglichen werden sollte.

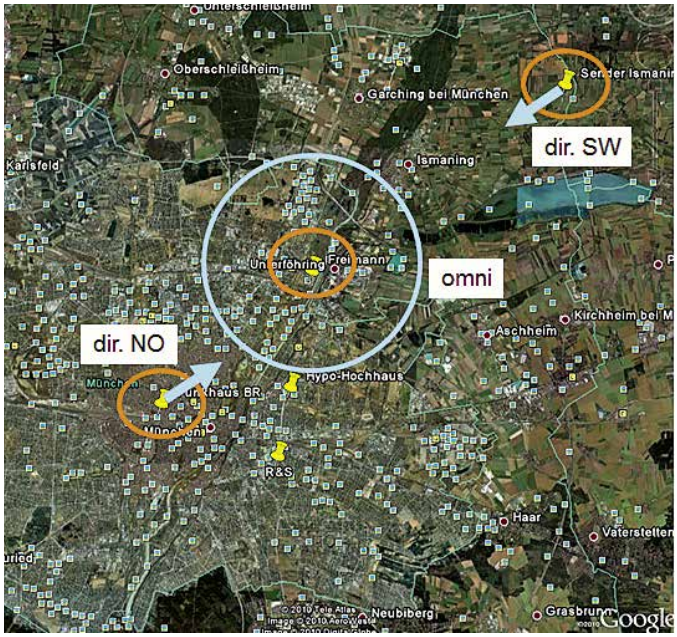
MFN mit drei Sendern

Im September 2010 ging als erster Standort Freimann mit seiner 110 m hohen Antenne und mit einer ERP von etwa 5 kW als reiner Rundstrahler in Betrieb. Anfangs arbeitete der dort aufgestellte luftgekühlte 800-W-Mittelleistungssender R&S®NV8302V mit den Betriebsparametern 16K normal, Code Rate = $^{2}/_{3}$, g = $^{1}/_{16}$, SISO, Single PLP; später wurde auf 32K „extended carrier“ umgeschaltet. Zunächst war ein MFN mit einer TS-ASI-Zuführung vorgesehen, wobei der Transportstrom aber schon in ein IP-Verteilnetz eingebettet war. Das Mess-Team montierte im Herbst 2010 auf dem BR-Funkmast in Ismaning auf 210 m Höhe Antennenfelder in Richtung Freimann, ebenfalls mit einer ERP von etwa 5 kW. An die Antennen wurde ein luftgekühlter Kompaktsender R&S®SCV8302R mit 600 W Ausgangsleistung angeschlossen. Dem folgte im März 2011 ein Sender des gleichen Typs für das BR-Funkhaus am Münchner Hauptbahnhof. Damit waren alle drei Standorte als MFN im SISO-Betrieb on Air. Messfahrten in diesem DVB-T2-Netz zeigten bereits die im Vergleich zu DVB-T-Netzen doppelte Nettodatenrate von etwa 26 Mbit/s – bei gleicher Robustheit. Und wie bei DVB-T auch gab es destruktive Einbrüche im Spektrum im Bereich von ungefähr gleichen Pegeln und Laufzeitdifferenzen von wenigen Mikrosekunden zwischen zwei Senderstandorten (BILD 2).

Gleichwellennetz in der Betriebsart MISO

Das Netz wurde sukzessive durch Einbau der Transmitter System Extension R&S®TSE800 an jedem Standort auf MISO- und volle DVB-T2-Funktionalität aufgerüstet sowie auf Multi-PLP-Betrieb mit einer einzigen verwendeten PLP umgestellt. Dann folgte die Konfiguration als Gleichwellennetz und ab dem Frühjahr 2012 liefen Tests in der Betriebsart MISO an.

BILD 1 Testgebiet des DVB-T2-Versuchsnetzes in München.



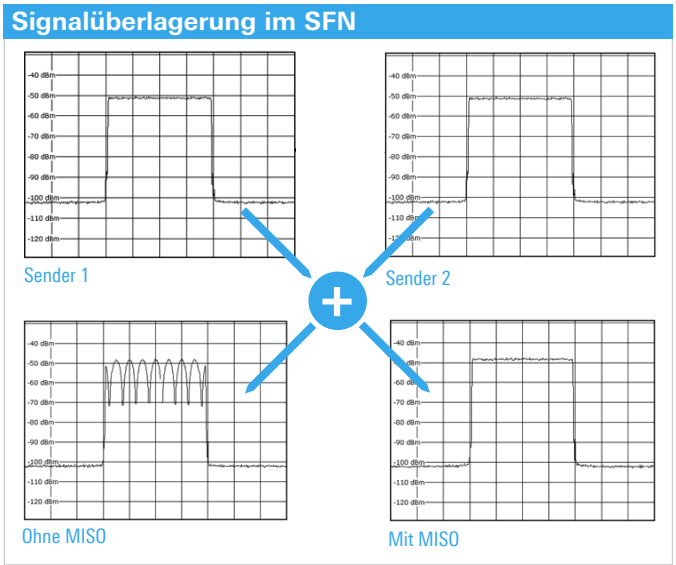


BILD 2 Auswirkung von Signalüberlagerungen im SFN bei MISO und bei SISO. Zwischen den Signalen von Sender 1 und Sender 2 besteht keine Korrelation.

Technische Parameter des Feldversuchs

- **Frequenz:** 706 MHz, Kanal 50
- **Senderstandorte** im Gleichwellennetz
  Standort Freimann: 5 kW ERP, 800 W Senderausgangsleistung, 110 m Rundstrahlantenne
  Standort Ismaning: 5 kW ERP, 600 W Senderausgangsleistung, 210 m Richtantenne SW
  Standort Funkhaus BR: 5 kW ERP, 600 W Senderausgangsleistung, 90 m Richtantenne NO
- **Playout Center Ismaning:** mit in der Datenrate angepassten Live-Inhalten (SD- und HD-Programme aus der ARD und dem Bayerischen Rundfunk) zunächst mit Messtechnik-Komponenten, dann mit Standard-Headend-Bausteinen und schließlich mit dem neuen Rohde&Schwarz-Headend R&S®AVHE100
- **Sender-Betriebsparameter** meist 32K ext., Code Rate = $^{2}/_{3}$, g = $^{1}/_{16}$, MPLP mit einer PLP (T2-Netz-Parameter wurden variiert)

Mit Hilfe einer Netzplanungssoftware definierte das Team interessante Messorte für die geplanten Messfahrten. Die Software erleichterte die Auswahl, denn damit ließen sich die berechneten Feldstärken, Impulsantworten und Orte gleicher Laufzeitdifferenzen usw. übersichtlich in Karten und Diagrammen visualisieren.

Fahrzeuge des BR und des Instituts für Rundfunktechnik (IRT), die mit Messtechnik von Rohde&Schwarz ausgestattet waren, absolvierten nun zahlreiche Messfahrten im SFN. Ergänzende Feldstärkewerte lieferte eine schwenkbare, gerichtete Messantenne auf dem Firmengelände von Rohde&Schwarz. GPS-Zeit- und Frequenznormale synchronisierten das SFN an den Senderstandorten; das Rohde&Schwarz-Gateway wurde über einen an GPS angebundenen NTP-Server synchronisiert.

Mit dem Messempfänger R&S®ETL bewertete das Mess-Team die Empfangssituation an allen Messorten hinsichtlich Pegel, Konstellation, MER, Spektrum und Impulsantwort. Das Messfahrzeug des Bayerischen Rundfunks war mit einer horizontal polarisierten Rundempfangsantenne mit bekanntem Antennengewinn bzw. k-Faktor ausgestattet. Mit einer daran angeschlossenen Eichleitung ließ sich das Empfangssignal in präzisen Schritten dämpfen. An die Eichleitung wurden abwechselnd der R&S®ETL sowie verschiedene Empfänger aus dem Consumer-Bereich angeschlossen. Das Mess-Team ermittelte mit einer Auflösung von einem zehntel Dezibel an jedem Empfänger die maximal mögliche Dämpfung des Signals bzw. den Fall-off-the-Cliff-Punkt – und das an jedem Messort und bei unterschiedlichen Netzkonfigurationen (SISO, MISO, usw.). Basis für die Festlegung dieses Dämpfungswerts war die manuelle visuelle und akustische Beurteilung der Video- und Audiosignale der Empfänger. Je größer dieser Wert war, umso besser kam der jeweilige Empfänger mit der Empfangssituation bzw. mit den eingestellten Netzparametern zurecht.

Fazit

Der Feldversuch lieferte wertvolle praktische Erkenntnisse hinsichtlich zahlreicher Design-Parameter von DVB-T2-Gleichwellennetzen. Dies hilft dabei, um solche Netze versorgungstechnisch optimieren zu können.

Roland Janik (Bayerischer Rundfunk);
Walter Fischer; Peter Knidlberger (Rohde&Schwarz)

Die wichtigsten Abkürzungen

ERP	Effective Radiated Power
g	Guard Interval
MER	Modulation Error Ratio
MFN	Multi Frequency Network
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MISO	Multiple Input, Single Output
NTP	Network Time Protocol
PLP	Physical Layer Pipe
SFN	Single Frequency Network
SISO	Single Input, Single Output

Maßgeschneidert: Messempfänger für die Lecksuche in Breitbandkabelnetzen

Undichte Stellen sind inakzeptabel. Was Klempner und Geheimagenten schon lange wissen, ist neuerdings auch für Betreiber von Breitbandkabelnetzen brisant. Denn das frühere UHF-Fernsehband steht in Folge der Digitalisierung des terrestrischen Fernsehens jetzt als „digitale Dividende" für drahtlose Kommunikationsdienste zur Verfügung. Diese Dienste können durch ungewollte Ausstrahlungen aus Breitbandkabelnetzen massiven Störungen unterliegen, die es schnell zu beseitigen gilt.

Konfliktpotenzial: LTE-Netze und Kabelfernsehen im UHF-Bereich

Nach Abschluss der Digitalisierung des terrestrischen Fernsehens wurde in vielen Ländern die Fernsehausstrahlung im UHF-Bereich eingestellt. Das so frei gewordene Frequenzband – die sog. „digitale Dividende" – wurde an private Betreiber versteigert. Diese planen LTE-Netze im UHF-Bereich für schnelles mobiles Internet und zur Internetanbindung des ländlichen Raums. Die neuen Lizenzbesitzer achten genau darauf, dass in ihrem Teil des Spektrums keine Störungen auftreten, die die Qualität ihrer Dienste beeinträchtigen und damit ihrem Geschäft schaden könnten. Im Gegensatz zum terrestrischen Fernsehen verwendet das Kabelfernsehen aber weiterhin das UHF-Band und überlappt sich mit den neuen LTE-Netzen. Treten undichte Stellen in Breitbandkabelnetzen auf, so sind Störungen unvermeidlich.

BILD 1 R&S®EFL110 mit Richtantenne R&S®EFL-Z100.

Vorreiterrolle der USA

Die US-amerikanische Regulierungsbehörde FCC hat schon vor längerer Zeit strenge Grenzwerte für Störausstrahlungen im Flugfunkband von 108 MHz bis 139 MHz festgelegt. Seit Neuestem gibt es auch Grenzwerte* für den Bereich zwischen 700 MHz und 800 MHz, in dem die neuen LTE-Netze arbeiten (BILD 2). Das Ziel der FCC-Grenzwerte ist es, diese LTE-Netze vor ungewollten Störausstrahlungen aus dem Breitbandkabelnetz zu schützen. Dies nimmt Kabelnetzbetreiber in die Pflicht, denn LTE-Netzbetreiber können als Besitzer des Spektrums die Einhaltung der Grenzwerte einklagen.

Kabelnetzbetreiber in der Pflicht

Kabelnetzbetreiber haben häufig noch keine geeigneten Messmittel zum Aufspüren von Störausstrahlungen im UHF-Band. Zwar gibt es seit Langem Messgeräte für das VHF-Flugfunkband, diese sind aber schmalbandig und können UHF-Signale nicht nachweisen. Das ist jedoch notwendig, da undichte Stellen oft bei höheren Frequenzen deutlich stärker strahlen als bei niedrigen. Mitunter ist die Feldstärke der Ausstrahlung aus einem schlecht festgezogenen Schraubverbinder im VHF-Band kaum messbar, im UHF-Band dagegen kann sie aber weit über dem zulässigen Grenzwert liegen.

Ein geeignetes Messgerät zum Aufspüren undichter Stellen in Breitbandkabelnetzen muss entsprechend breitbandig und empfindlich sein, um das Überschreiten der strengen Grenzwerte sowohl im VHF- als auch im UHF-Band sicher nachweisen zu können. Es muss schnell genug sein, damit auch kurzzeitige Störungen aufgedeckt werden können, und es muss diese Störungen ausreichend lang sichtbar machen, damit Anwender sie auch sehen.

* FCC Electronic Code of Federal Regulations, Title 47, Part 76 „Multichannel video and cable television service", §76.605.

Frequenzbereich	Grenzwert für Störausstrahlungen
f ≤ 54 MHz	15 µV/m in 30 m Abstand
54 MHz < f ≤ 216 MHz (beinhaltet Flugfunkband von 108 MHz bis 139 MHz)	20 µV/m in 3 m Abstand
f > 216 MHz (beinhaltet LTE-Band von 700 MHz bis 800 MHz)	15 µV/m in 30 m Abstand

BILD 2 Grenzwerte der FCC für Störausstrahlungen im VHF- und UHF-Bereich.

Störungssuche mit FFT-Analyse und Richtantenne

Das Mittel der Wahl ist die FFT-Analyse, zusammen mit einer Spektrogrammdarstellung. Die FFT-Analyse erfasst das zu untersuchende Frequenzband komplett oder in einigen wenigen Teilbändern und errechnet daraus das Signalspektrum. Die Spektrogrammdarstellung dient dazu, kurzzeitige Effekte für eine gewisse Zeit sichtbar zu halten. Dazu schreibt der Messempfänger das aktuelle FFT-Spektrum farbcodiert in die oberste Zeile des Spektrogramms. Ältere Messwerte verschieben sich dann nach unten. Deshalb heißt diese Art der Darstellung auch Wasserfalldiagramm.

Der Nachweis der Störausstrahlung allein reicht nicht aus – es gilt auch, ihre Ursache bzw. die Störquelle zu lokalisieren. Dazu ist eine Richtantenne erforderlich. Zeigt diese auf eine Störquelle, so registriert der Messempfänger einen erhöhten Pegel, der im Spektrogramm für eine Weile sichtbar bleibt (BILD 3). Dadurch sind Störausstrahlungen am Display auch dann noch zu erkennen, wenn die Antenne nur kurzzeitig auf sie gerichtet war. Das Spektrogramm hilft dem Anwender also dabei, eine Störquelle einzukreisen. Von Vorteil ist, wenn das Messgerät ein akustisches Signal erzeugt, dessen Höhe sich proportional zur gemessenen Feldstärke ändert.

Maßgeschneiderte Messempfänger von Rohde&Schwarz

Der Cable TV Leakage Detector R&S®EFL110 und der Cable TV Analyzer & Leakage Detector R&S®EFL210 sind zwei neue Messempfänger speziell für die Lecksuche in Breitbandkabelnetzen (BILD 1). Beide Geräte enthalten einen FFT-Analysator mit Spektrogrammdarstellung sowie einen Sweep-Spektrumanalysator. Sie messen im Frequenzbereich von 5 MHz bis 2500 MHz. Um die Einhaltung der FCC-Grenzwerte nachweisen zu können, ist ihre Empfindlichkeit für die Bänder 108 MHz bis 139 MHz und 700 MHz bis 800 MHz optimiert. Eine VHF/UHF-Richtantenne ist als Zubehör erhältlich. Der R&S®EFL210 enthält zusätzlich einen TV-Messempfänger für die US-amerikanische Kabelfernsehnorm J.83/B sowie für analoges Fernsehen nach den Standards NTSC, PAL und SECAM. Damit kann der Anwender nach der Beseitigung eines Fehlers abschließend die Qualität des TV-Signals prüfen. Der R&S®EFL110 und der R&S®EFL210 sind für die Arbeit im Freien optimiert. Dementsprechend sind sie klein, leicht, robust und akkubetrieben. Ihr 5,7"-Display passt sich der Umgebungshelligkeit an und ist so immer gut ablesbar, mit einem speziellen Tageslicht-Modus auch im hellen Sonnenschein.

Die Messempfänger R&S®EFL110 und R&S®EFL210 sind die richtigen Werkzeuge für Kabelnetzbetreiber, mit denen sie Lecks in ihren Netzen preisgünstig und schnell finden können – bevor Behörden aktiv werden müssen.

Peter Lampel

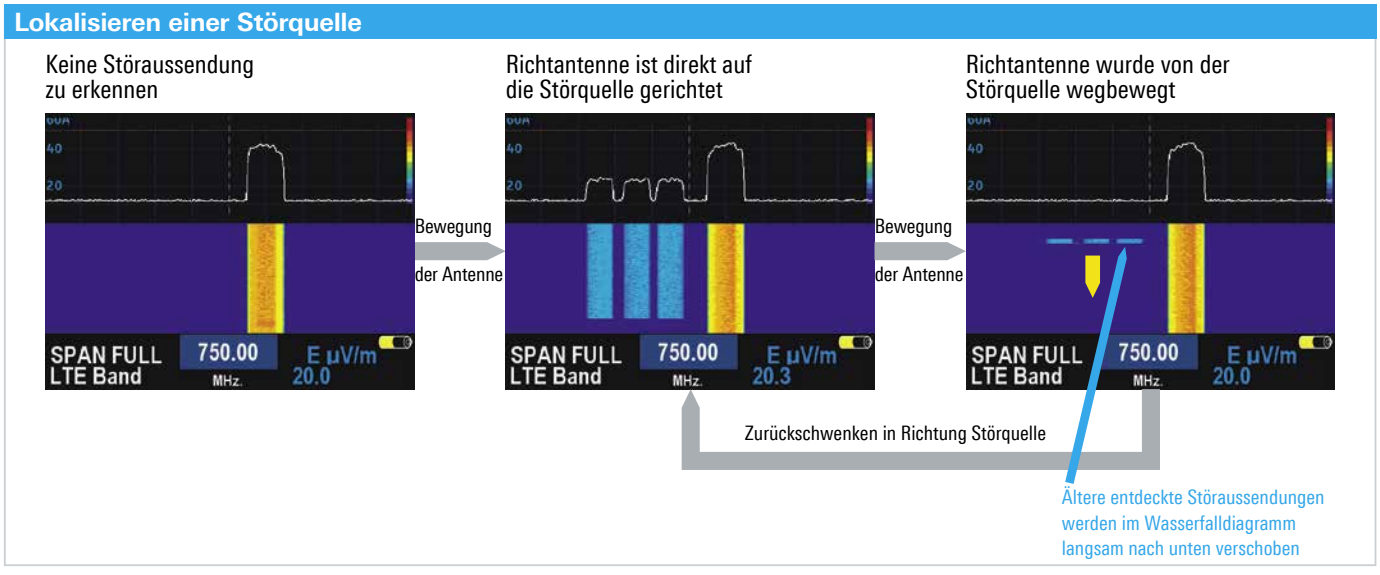


BILD 3 Mit der Richtantenne und der Spektrogrammdarstellung ist eine Störquelle schnell lokalisiert.

Völlig neu gedacht: Kommunikations- und Aufklärungsantennen für Schiffe

Selbst auf großen schwimmenden militärischen Plattformen wird es eng für die zahlreichen Antennen, die dort zur Kommunikation, Navigation und Aufklärung sowie für Waffen- und Radarwarnsysteme erforderlich sind. Die Antennensysteme müssen hinsichtlich Frequenzbereich und Richtcharakteristik individuell optimiert sein, denn diese kritischen Einsatzfälle tolerieren keine Abstriche bei der Performance. Wie man dieser Probleme Herr wird, das hat Rohde&Schwarz in aufwendigen Studien im Auftrag der Deutschen Marine erforscht – und die Ergebnisse in neuartige Produkte umgesetzt.

Antennensysteme – weniger ist oft mehr

Der Bedarf an Kommunikationslinien und zusätzlichen antennenbasierten Anwendungen an Bord von Schiffen steigt – ein Trend, der sich auch künftig fortsetzen wird. Konstrukteure stehen da vor schwierigen Aufgaben, müssen sie doch auf beschränktem Platz alle Antennen an günstigen Stellen platzieren, wo hinsichtlich ihrer Performance die geringsten Abstriche zu erwarten sind. Entsprechend groß ist das notwendige Know-how für ihre Konstruktion und Platzierung, denn die Antennen dürfen weder durch umliegende Schiffsaufbauten noch von benachbarten Antennen negativ beeinflusst werden oder andere beeinträchtigen. Die Folgen wären fatal, die Effizienz der betroffenen Kommunikationssysteme würde sich verringern. So könnte sich beispielsweise die Rundheit ansonsten omnidirektionaler Antennen verschlechtern oder sich ihre vertikale Abstrahlcharakteristik ungünstig ändern. Das würde die Hauptstrahlkeule verschieben und den Antennengewinn in der erforderlichen Richtung verringern – bis hin zu Nullstellen bei bestimmten Azimut- und Elevationsrichtungen. Aussichtslos wäre damit die Erfüllung besonderer militärischer Anforderungen (STANAG), beispielsweise nach omnidirektionaler Abdeckung für Kommunikationsverbindungen.

Seit Langem beschäftigt sich Rohde&Schwarz deshalb mit diesem heiklen Thema und erarbeitete in aufwendigen Studien im Auftrag der Deutschen Marine Lösungen. Die im Lauf der Forschungsarbeiten entwickelten theoretischen Resultate wurden nun in entsprechende Produkte umgesetzt: in neuartige Kommunikationsantennen und in ein hochintegriertes Peil- und Monitoring-Antennensystem. Alle neuen Systeme benötigen deutlich weniger Einzelantennen und erfüllen hervorragend die wachsenden, komplexen technischen Anforderungen für den Einsatz auf Schiffen.

Neue Antennenkonzepte gegen Gedränge an Bord

Neben der bereits erwähnten Forderung nach uneingeschränkter Omnidirektionalität stand für Rohde&Schwarz auch die Optimierung der Strahlungscharakteristik in der Elevationsebene im Pflichtenheft. Denn oftmals sind die Strahlungsdiagramme konventioneller Antennen, sofern es sich nicht um schmalbandige Antennentypen handelt, stark aufgezipfelt. Bei solchen Antennen zeigt der Gewinn in Richtung Horizont einen deutlichen Abfall. Die Folge: Die Hauptkeule deckt den Horizont nicht ab. Ferner können Nullstellen Verbindungsabbrüche verursachen – völlig unakzeptabel, wenn es beispielsweise um die Kommunikation mit anfliegenden Flugzeugen geht.

Was mit anspruchsvollem Antennendesign machbar ist, zeigen die eindrucksvollen Strahlungsdiagramme der neuen Breitbandigen VHF/UHF-Kommunikationsantenne R&S®AD066FW (BILD 1), die im extrem breiten Frequenzbereich von 118 MHz bis 453 MHz arbeitet. Der Clou: Sie ist aus zirkular angeordneten Einzelstrahlern aufgebaut, die über ein Anschaltnetzwerk – ein sogenanntes Beam Forming Network (BFN) – zusammengeschaltet sind. Dieses ausgeklügelte Design erreicht eine hervorragende Rundheit des Strahlungsdiagramms von typisch ±0,6 dB und erlaubt ihren Einsatz als Multiple-Link-Antenne. Dabei werden mehrere VHF- und UHF-Funklinien (je nach Funkkonzept auch alle) an Bord des Schiffs auf eine Antenne geschaltet und simultan betrieben (BILD 2). Dies reduziert die Anzahl notwendiger Antennen auf einem Schiff erheblich und verringert die vielen Probleme, die ihre gegenseitige Beeinflussung hervorruft.

Um die für einwandfreien Empfang notwendige Entkopplung zwischen Sende- und Empfangszweig zu erzielen, empfiehlt sich der Einsatz einer zweiten, identischen Antenne, die oberhalb der ersten angeordnet ist. Durch die designbedingte optimierte Mastentkopplung der R&S®AD066FW sind selbst bei direkter Stockung hohe Isolationswerte von 40 dB und mehr zu erreichen. Der modulare Aufbau der Antenne lässt

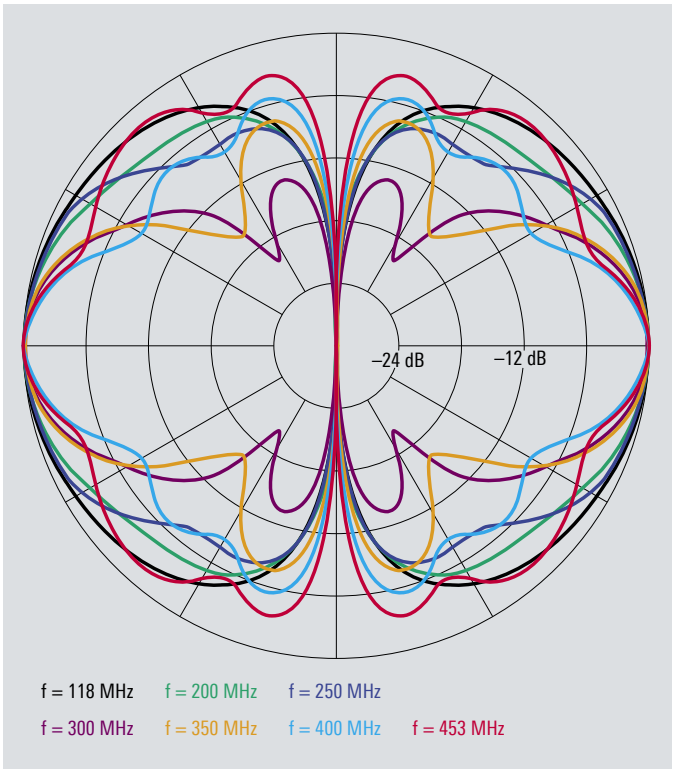


BILD 1 Die neue Breitbandige VHF/UHF-Kommunikationsantenne R&S®AD066FW und ihre Vertikaldiagramme (relative elektrische Feldstärke).

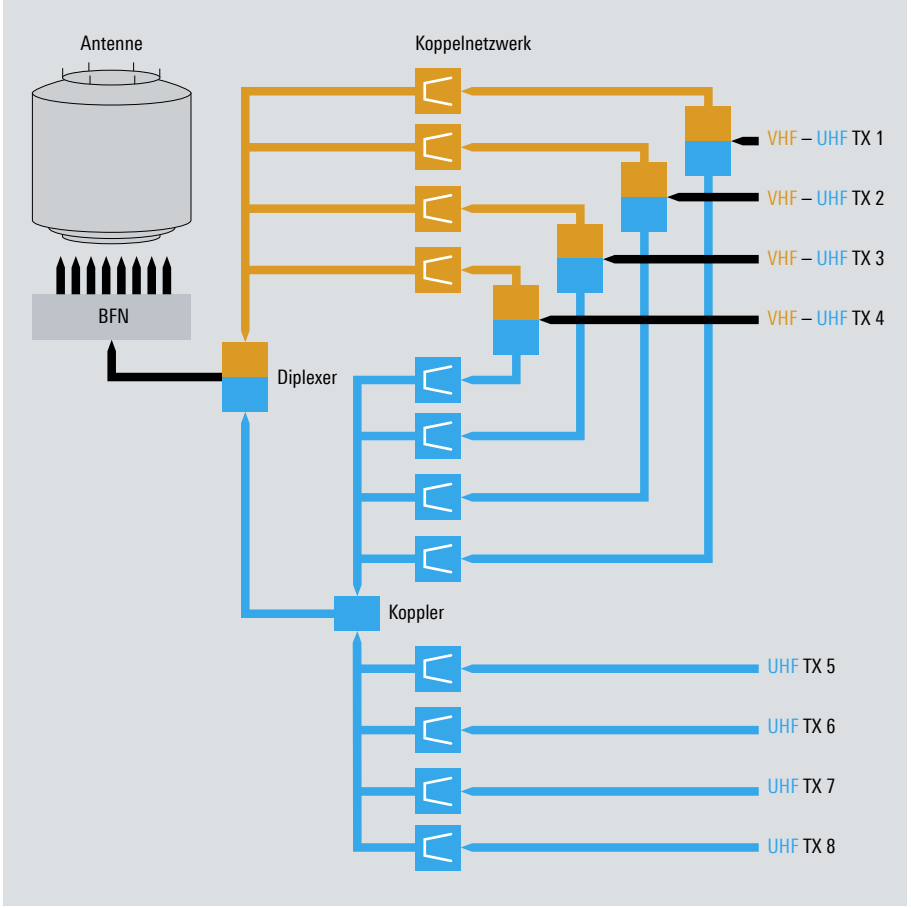


BILD 2 Prinzip einer Multiple-Link-Antenne mit Anschaltnetzwerk an acht Funklinien.

BILD 3 Die Breitband-Kommunikationsantenne R&S®AD016M arbeitet im Frequenzbereich von 960 MHz bis 1220 MHz und ist daher hervorragend für den Datenfunkstandard Link 16 einsetzbar. Dank ihrer Stockbarkeit bleibt die Mastspitze frei für andere Sensoren.

eine Anpassung an unterschiedlichste Mastdurchmesser bei vergleichbaren elektrischen Daten zu. Das abgesetzte, austauschbare BFN verbessert die Stockbarkeit und erleichtert die Wartung.

Ein weiterer Vorteil von Antennen dieser Bauart ist, dass sie auch in exponierter Lage um einen entsprechend dimensionierten Mast montiert werden können. Ein geeigneter Mast, der zweckmäßigerweise zum höchsten Punkt des Schiffs führt, nimmt sowohl unterhalb als auch oberhalb der R&S®AD066FW weitere Sendeantennen oder Sensoren auf, deren Performance von der dort herrschenden „Rundumsicht" profitieren kann. Dafür kommen beispielsweise TDL-Antennen (Tactical Data Link) infrage, insbesondere die ebenfalls neue Breitband-Kommunikationsantenne R&S®AD016M (BILD 3), die ähnlich wie die R&S®AD066FW aufgebaut ist.

Die R&S®AD016M arbeitet im Frequenzbereich von 960 MHz bis 1220 MHz und ist daher hervorragend für den Datenfunkstandard Link 16 einsetzbar. Dank ihrer Stockbarkeit ist für diese Applikation weder ein eigener Mast noch die Montage auf einem Ausleger erforderlich, der zwangsläufig die Rundheit ihres Strahlungsdiagramms beeinträchtigen würde. Und die Mastspitze bleibt für weitere Anbauten frei – eine Grundanforderung an innovative neue Antennenkonzepte. Denn die Spitze eines Masts muss Antennen vorbehalten bleiben, deren Anwendung zwangsläufig den höchsten Punkt eines Schiffes erfordert, beispielsweise den Sensoren für empfindliche Aufklärungssysteme.

Platzsparend: hochintegriertes Antennensystem

Geräte und Antennen für Aufklärungssysteme sind bei Rohde&Schwarz schon seit Jahrzehnten im Programm. Da diese Systeme immer größere Frequenzbereiche abdecken müssen, kommt optimierten Antennensystemen, die Sensoren für verschiedenste Frequenzbänder beinhalten, eine immer wichtigere Rolle zu. Dem trägt Rohde&Schwarz mit einem neuen hochintegrierten Peil- und Monitoring-Antennensystem Rechnung: Das Integrierte C-/R-ESM-Antennensystem R&S®ACD001 (BILD 4) deckt den Frequenzbereich von 1 MHz bis 18 GHz ab, mit einer integrierbaren Option erreicht es 40 GHz. Idealerweise wird das Antennensystem an der Spitze eines Masts positioniert und erzielt in Systemen mit digitalen Peilern, Empfängern und Signalanalysatoren von Rohde&Schwarz hervorragende Gesamteigenschaften.

Die Hauptmerkmale des R&S®ACD001 sind:

- Empfang vertikaler, horizontaler und zirkularer Signale
- Omni- und Richtcharakteristiken simultan im gesamten Frequenzbereich
- Verwendbar als Peil- und Monitoring-Antenne
- Leistungsfähiger Blitzschutz (unabdingbar, da Positionierung an der Mastspitze)
- Große EMV-Festigkeit (z.B. bezüglich einstrahlender Radarsignale)

BILD 4 Integriertes C-/R-ESM-Antennensystem R&S®ACD001 für den Frequenzbereich 1 MHz bis 18 (40) GHz.

Das Antennensystem R&S®ACD 001 ist sowohl eigenständig einsetzbar als auch in Kombination mit den hier bereits vorgestellten stockbaren Antennen. Durch geeignete Auswahl der Antennen und ihre geschickte Anordnung auf dem Schiff lassen sich viele Anforderungen auf engstem Raum erfüllen. BILD 5 zeigt ein Beispiel für das Design eines kompakten Mastaufbaus und wie solche hochleistungsfähigen Antennenanordnungen auf Schiffen platziert werden können.

Alle Antennen von Rohde&Schwarz halten extremen Umwelteinflüssen stand, denn ihre aus hochfrequenztechnischen Gründen exponierte Lage verlangt ein hohes Maß an Schockfestigkeit und große Immunität gegenüber elektrischen Entladungen. Gleichzeitig wurde ihr Radarquerschnitt minimiert, um bestmögliche Eigenaufklärungssicherheit zu gewährleisten.

Weitere Neuheiten im Überblick

Um den gestiegenen Umweltanforderungen Rechnung zu tragen, verbesserte Rohde&Schwarz parallel zur Entwicklung der neuen „integrierten Antennen" auch sein bestehendes Antennenportfolio an konventionellen Schiffsantennen. Die im folgenden gezeigten Antennen wurden speziell für den Schiffseinsatz ausgelegt und auf hohe HF-Performance, geringes Gewicht und kleine Abmessungen optimiert.

Beispielsweise die schlanke, mechanisch sehr robuste UHF-Rundstrahlantenne R&S®AD 066 ST (BILD 6). Sie eignet sich hervorragend für frequenzagile Kommunikationssysteme im Frequenzbereich 225 MHz bis 400 MHz, die eine hohe Entkopplung zwischen Sende- und Empfangszweig erfordern.

BILD 5 Beispiel für das Design eines Mastaufbaus und mögliche Anordnung auf einem Schiff.

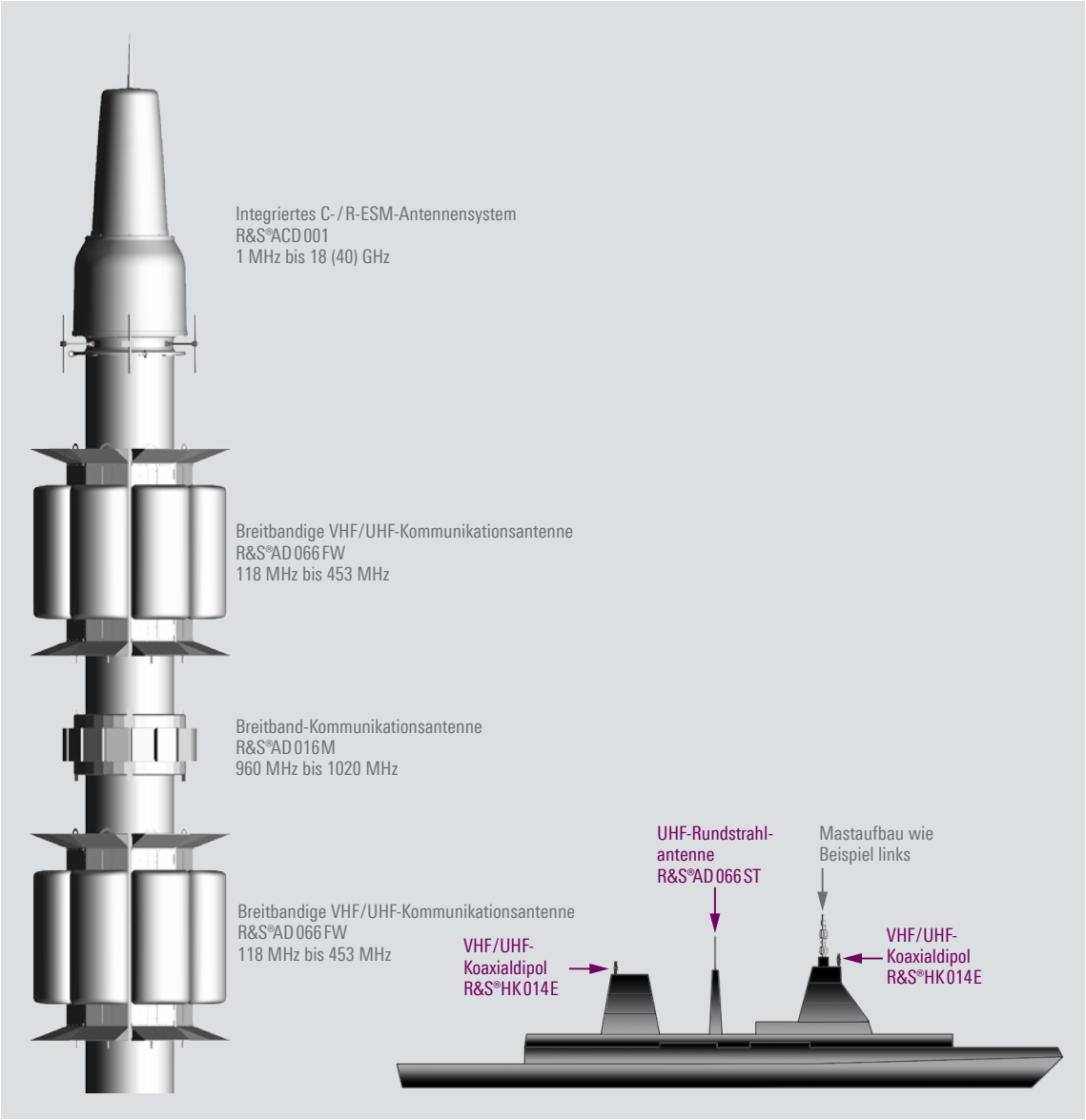


BILD 6 UHF-Rundstrahlantenne R&S®AD 066 ST.

Bei der neuen UHF-Rundantenne R&S®AD033V3 (BILD 7) wurde ein ähnlicher Ansatz wie bei der Breitbandigen VHF/UHF-Kommunikationsantenne R&S®AD066FW (BILD 1) verwendet. Bis auf den veränderten Frequenzbereich (nur UHF; 225 MHz bis 450 MHz) hat sie vergleichbare Eigenschaften, ist aber kleiner und leichter.

Auch den – bezogen auf seine Größe – sehr breitbandigen, omnidirektionalen VHF/UHF-Koaxialdipol R&S®HK014, der seit Jahrzehnten erfolgreich in unterschiedlichsten zivilen und militärischen Anwendungen eingesetzt wird, unterzog Rohde&Schwarz hinsichtlich der gestiegenen Umweltanforderungen einer Überarbeitung. Das Ergebnis ist der VHF/UHF-Koaxialdipol R&S®HK014E (BILD 8), der zusätzlich mit verbesserten HF-Werten und günstigerer Strahlungscharakteristik überzeugt.

Die neue Kompakte Breitband-Sendeantenne R&S®AD016MC (BILD 9) kann als Alternative zur Breitband-Kommunikationsantenne R&S®AD016M eingesetzt werden, solange man nicht stocken muss. Trotz gleicher Leistungsbelastbarkeit ist sie wesentlich kompakter und leichter als die R&S®AD016M. Ihr breiter Frequenzbereich von 800 MHz bis 8000 MHz ermöglicht ihren Einsatz auch für andere Dienste als Link 16.

BILD 8 Der VHF/UHF-Koaxialdipol R&S®HK014E überzeugt mit verbesserten HF-Werten und günstiger Strahlungscharakteristik.

Fazit

Das Portfolio an Einzelantennen und Antennensystemen von Rohde&Schwarz für den Einsatz auf Schiffen wurde wesentlich erweitert und rundum erneuert. Es lassen sich damit Antennenanlagen realisieren, die höchsten elektrischen und mechanischen Ansprüchen genügen, aber auch individuellen Kundenwünschen Rechnung tragen.

Klaus Fischer; Andreas Knüttel

BILD 7 UHF-Rundantenne R&S®AD033V3 für 225 MHz bis 450 MHz.

BILD 9 Kompakte Breitband-Sendeantenne R&S®AD016MC: Ihr breiter Frequenzbereich von 800 MHz bis 8000 MHz ermöglicht ihren Einsatz auch für andere Dienste als Link 16.

R&S®EB510: lückenlose Funküberwachung im Kurzwellenbereich

Nach wie vor sind Kommunikationsverbindungen über die Kurzwelle attraktiv, bietet sie doch auch in Zeiten des Internets und weltweiter SATCOM-Verbindungen große Vorteile. Entsprechend ungebrochen ist auch der Bedarf an Funküberwachung im HF-Bereich. An einigen Beispielen in diesem Artikel wird gezeigt, wie universell der HF-Überwachungsempfänger R&S®EB510 dafür einsetzbar ist.

HF-Überwachungsempfänger R&S®EB510

Nach wie vor ist die Kurzwelle als Kommunikationsmedium attraktiv, denn sie überbrückt große Entfernungen, ohne dass aufwendige technische Infrastruktur erforderlich ist (siehe Kasten Seite 77). Entsprechend ungebrochen ist auch der Bedarf an Funküberwachung im HF-Bereich. Dafür prädestiniert ist der kompakte und hochempfindliche HF-Überwachungsempfänger R&S®EB510 (BILD 1), der den Frequenzbereich 9 kHz bis 32 MHz überstreicht. Er bietet Echtzeitbandbreiten bis 32 MHz und digitale I/Q-Daten bis 5 MHz. Mit seinen exzellenten HF-Eigenschaften (z. B. Direktabtastung mit niedrigem Phasenrauschen), der leistungsfähigen digitalen Signalverarbeitung und den zahlreichen nützlichen Funktionen (z. B. unterschiedliche Scanmodi und Vielkanal-Demodulation) deckt er alle Funküberwachungsaufgaben ab: als Sensorknoten, als Absetzempfänger, als eigenständiger Überwachungsempfänger für die Funküberwachung, für das Frequenzmanagement und vieles mehr.

Schneller Frequenz-Scan mit hoher Auflösung

Dank seiner Echtzeitbandbreite von 32 MHz sind aktive Sender auf einen Blick im HF-Spektrum erkennbar. Für höhere Auflösungen (Schrittweiten kleiner als 10 kHz) ist die Option Panorama-Scan erhältlich (R&S®EB510-PS), mit der sich die Auflösung unabhängig vom interessierenden Frequenzbereich bis auf 0,1 kHz verringern lässt. Kleinere Auflösungen bieten größere Empfindlichkeit, erweiterten Dynamikbereich und größere Immunität gegen Signale in Nachbarkanälen, weshalb mehr Signale im Spektrum erfasst werden (BILD 2).

BILD 1 HF-Überwachungsempfänger R&S®EB510, hier in der Ausführung mit Display.

BILD 2 Oben: Fixed Frequency Mode (FFM) innerhalb der Echtzeitbandbreite von 32 MHz mit einer Auflösung von 10 kHz. Unten: Im Modus PScan (Panorama-Scan) mit verbesserter Auflösung von nur 1 kHz werden mehr Aussendungen erfasst (rot markiert).

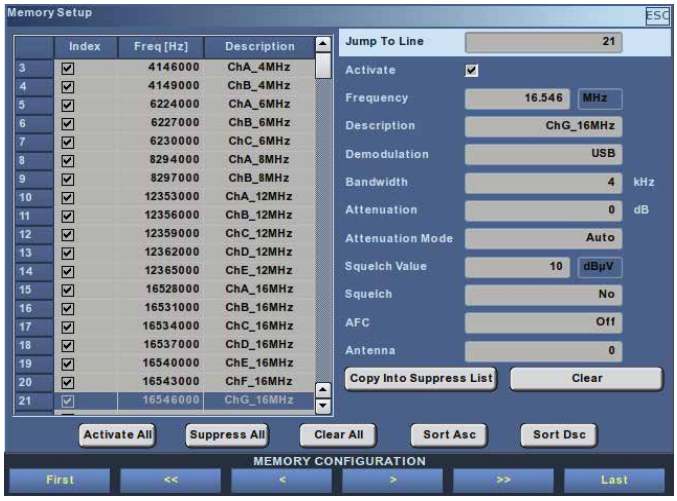


BILD 3 Einstellmenü für die Frequenzspeicherplätze.

BILD 4 Überwachung von bis zu vier Signalen gleichzeitig.

Vielseitiger R&S®EB510: Anwendungsbeispiele

Überwachung des Funkverkehrs per Memory-Scan

Die Kommunikation über Kurzwelle unterliegt zahlreichen Einflüssen, beispielsweise Schwankungen der Höhe und Intensität der ionisierten Schichten, Perioden starker Sonnenaktivitäten oder jahreszeitlich bedingten Einwirkungen. Deshalb müssen die Anwender für das Zustandekommen einer Funkverbindung je nach Jahres- und Tageszeit und zu überbrückender Distanz jeweils geeignete Frequenzen wählen. Um den Funkü berwachern die Arbeit unter dieser Vielzahl unterschiedlichster Bedingungen zu erleichtern, sind im R&S®EB510 bis zu 10 000 programmierbare Speicherplätze zum Ablegen interessierender Frequenzen vorhanden, die mit einer Scan-Geschwindigkeit von 1600 Kanälen/s aufgerufen werden können. Jeder Speicherplatz lässt sich mit Frequenz, individueller Beschreibung, Demodulationsart und -bandbreite, Dämpfung und mit Rauschunterdrückungswerten belegen (BILD 3). Gespeicherte Frequenzen können in eine Ausschlussliste kopiert werden, um sie aus dem Scan-Vorgang auszuschließen.

Vielkanal-Monitoring

Mit der Option R&S®EB510-DDC verfügt der Empfänger über drei Digital Down Converter (DDC), mit denen er zusammen mit dem Hauptdemodulator bis zu vier Signale gleichzeitig überwachen kann (BILD 4). Für die Demodulation sind allen Kanälen gemeinsame oder den einzelnen Kanälen unterschiedliche Einstellungen zuordenbar, z. B. Bandbreite und Demodulationsart, damit die jeweiligen Audioinhalte demoduliert werden können. Alle oder auch nur einzelne Kanäle lassen sich über ein LAN ausgeben und für die spätere Klassifizierung aufzeichnen (beispielsweise mit der Signalanalysesoftware R&S®GX430).

BILD 5 Anzeige einer Kommunikationsverbindung, die nach dem CTCSS-Verfahren arbeitet.

Identifizieren von Selektivrufen

Im Allgemeinen wird in der mobilen Land- oder Schiffsfunkkommunikation der sog. Selektivruf verwendet. Damit lässt sich eine Untergruppe von Empfängern adressieren oder auch direkt ein Ruf an ein bestimmtes Funkgerät absetzen. Dies verhindert, dass sich der Funkverkehr auf gemeinsam genutzten Kanälen gegenseitig behindert. Der Empfänger zeigt empfangene Selektivrufstandards automatisch an bzw. ermöglicht das Filtern der Ergebnisse nach speziell gesuchten Selektivruftypen.

Mit der Option Selective Call R&S®EB510-SL kann der R&S®EB510 zahlreiche Selektivrufverfahren decodieren und anzeigen: CCIR1, CCIR7, CCITT, EEA, EIA, EURO, DCS, DTMF, CTCSS, NATEL, VDEW, ZVEI1 und ZVEI2. Das Beispiel in BILD 5 zeigt ein erfasstes Signal, das entsprechend dem CTCSS (Continuous Tone-Coded Squelch System) codiert ist. Die beiden zugeteilten Töne haben die Frequenz 97,6 Hz und 250,3 Hz (Nummer 13 und 51).

Fazit

Mit seiner großen Echtzeitbandbreite und der innovativen lückenlosen Signalverarbeitung ohne jegliche Blindzeiten erfasst der HF-Überwachungsempfänger R&S®EB510 LPI-Signale (Low Probability of Intercept) oder Frequenzsprung- und Radarsignale und kann zahlreiche analoge Aussendungen demodulieren (AM, FM, USB und LSB). Durch seine Schnittstellenkompatibilität ist er einfach und effizient in bestehende Systeme einzubinden und ersetzt Empfänger älterer Bauart, z. B. den R&S®ESMB und den R&S®EB200.

Nellie Pang; Peter Kronseder

Vorteile der Kommunikation über Kurzwelle

Im Kurzwellenbereich (3 MHz bis 30 MHz) sind Kommunikationsverbindungen sowohl über kurze Distanzen als auch über sehr große Entfernungen möglich. Außer der direkten Wellenausbreitung (line of sight) gibt es zwei weitere Ausbreitungsformen: per Bodenwelle und per Raumwelle.

Bodenwellen sind im HF-Bereich mit seinen vergleichsweise niedrigen Frequenzen und den damit einhergehenden großen Wellenlängen robust und können Flüssigkeiten, beispielsweise Meerwasser, oder auch feste Hindernisse durchdringen.

Raumwellen überbrücken durch mehrfache Reflexion zwischen dem Boden und der Ionosphäre große Entfernungen, unter günstigen Bedingungen erreichen sie sogar die andere Seite der Erdkugel. Funkkommunikation unter den Bedingungen der Raumwellenausbreitung erfordert Wissen über Effekte in der Ionosphäre und über die Sonnenaktivitäten sowie über die jeweils geeigneten Frequenzen – abhängig von Jahres- und Tageszeit sowie von zu überbrückender Distanz.

HF-Kommunikationssysteme sind einfach zu errichten und benötigen keine komplizierte Netzinfrastruktur. Frequenzen im HF-Bereich werden gewöhnlich für die Weitbereichskommunikation verwendet. Sie dienen nicht nur der Luft-Boden-Sprachkommunikation, sondern auch dem Flugverkehrsmanagement, der Marinekommunikation und der Verbreitung meteorologischer Informationen.

Das Wichtigste zum R&S®EB510

- Frequenzbereich von 9 kHz bis 32 MHz
- Echtzeitbandbreite bis 32 MHz und parallele Demodulation mit Bandbreiten von 100 Hz bis 5 MHz
- Schneller Panorama-Scan bis zu 60 GHz/s über den gesamten Frequenzbereich
- Extrem schneller Frequenz- und Memory-Scan bis zu 1600 Kanäle/s
- Polychromes ZF-Spektrum für die zuverlässige Erfassung überlagerter gepulster Signale

HF-Überwachungsempfänger R&S®EB510 in der Ausführung ohne Frontplatte für den fernbedienten Einsatz über ein Netz (LAN).

Signalanalysesoftware R&S®GX430 verarbeitet nun bis zu vier Kanäle

Die bewährte PC-basierte Signalanalyse und -verarbeitungs-Software R&S®GX430 erfasst, klassifiziert, demoduliert und decodiert analoge und digitale Signale. Die neue Version 4 bietet leistungsstarke Features, insbesondere die Möglichkeit zur gleichzeitigen Verarbeitung von Signalen aus bis zu vier Kanälen – und das vollautomatisch nach anwenderdefinierten Regeln.

Die neue Softwareversion 4 im Überblick

Die R&S®GX430 ist eine seit Jahren bewährte autonome Funküberwachungssoftware, die analoge und digitale Signale analysiert, klassifiziert, demoduliert und decodiert. Sie läuft auf einem Standard-PC unter Windows®, ist schnell eingerichtet und einfach zu bedienen. Der PC kommuniziert per Ethernet mit den Überwachungsempfängern oder Peilern von Rohde&Schwarz. Die Software wurde in vielfacher Hinsicht verbessert und erweitert:

- Signalverarbeitung auf bis zu vier Kanälen gleichzeitig (bisher ein Kanal), zusammen mit Empfängern oder Peilern, die über interne Digital Down Converter (DDC) verfügen, so wie der Breitbandüberwachungsempfänger R&S®ESMD
- Vollautomatische Signalverarbeitung nach anwenderdefinierten Regeln
- Kompatibel zu Empfängern von Drittherstellern durch die Möglichkeit, gerätespezifische Treiber zu entwickeln und einzubinden
- Aufnahme der Signale auf dem Signalaufzeichnungs- und -wiedergabesystem R&S®AMREC. Signalwiedergabe mit Übersichtsspektrum

Mehrkanal-Monitoring

In dicht belegten Signalszenarien ist es erforderlich, mehrere Kanäle gleichzeitig zu verarbeiten. In solchen Fällen ist der Breitbandüberwachungsempfänger R&S®ESMD der ideale Partner für die Software R&S®GX430, bietet er doch einen großen Frequenzbereich, herausragende Empfangseigenschaften, eine Echtzeitbandbreite von 20 MHz (optional bis 80 MHz) und eine Fülle weiterer interessanter Funktionen. Die Option R&S®ESMD-DDC stattet ihn mit vier Digital Down Converters (DDC) aus, die parallel innerhalb der Echtzeitbandbreite arbeiten und unabhängig voneinander konfiguriert werden können. Damit sind außer dem breitbandigen Demodulationspfad vier weitere digitale Signalkanäle verfügbar, die der Software R&S®GX430 über die Ethernet-LAN-Schnittstelle bis zu vier heruntergemischte Signale anbieten. Je nach Systemkonfiguration stehen bereit:

- Mit R&S®ESMD / Peiler R&S®DDF255: Vier interne DDCs (**4 × 1 MHz** Bandbreite) mit beliebiger Platzierung innerhalb der Echtzeitbandbreite von bis zu **80 MHz** des Empfängers (BILD 1 bis 3)
- Mit Funkerfassungsempfänger R&S®EB500 / Peiler R&S®DDF205: drei interne DDCs (**3 × 1 MHz** Bandbreite) mit beliebiger Platzierung innerhalb der Echtzeitbandbreite von bis zu **20 MHz** des Empfängers
- Mit Funkerfassungsempfänger R&S®EB510: drei interne DDCs (**3 × 150 kHz**) mit beliebiger Platzierung innerhalb der Echtzeitbandbreite von bis zu **32 MHz** des Empfängers

Vollautomatische Signalverarbeitung

Eine neue bedeutende Eigenschaft der R&S®GX430 ist die Kombination aus Erfassung und Klassifizierung mit

Das Wichtigste zur R&S®GX430

- **NEU**: Überwachung von Signalen aus bis zu vier Kanälen gleichzeitig (Echtzeit-Signalverarbeitungsbandbreite bis 4 ×1 MHz)
- **NEU**: Vollautomatische Signalverarbeitung nach anwenderdefinierten Regeln
- **NEU**: Einbindung von Treibern für Empfänger von Drittherstellern
- **NEU**: Aufnahme von Signalen auf dem Signalaufzeichnungs- und -wiedergabesystem R&S®AMREC
- Erfassung, Klassifizierung, Demodulation und Decodierung von analogen und digitalen Signalen
- Online- und Offline-Signalverarbeitung
- Automatische oder manuelle Messungen an den Signalen
- Klassifizierung der Modulationsart und des Senders
- Leistungsfähiger Klassifikator und umfangreiche Bibliothek an Demodulatoren und Decodern
- Automatische Suche und Klassifizierung von Signalen in einem einstellbaren Frequenzbereich
- Genaue Messung der technischen Signalparameter (Bandbreite, Pegel, Modulationsart, Symbolrate, Frequenzversatz usw.)
- Messungen gemäß ITU-R SM.1600

vollautomatischer Signalverarbeitung (Demodulation, Decodierung und Aufzeichnung). Damit kann das System selbsttätig einen großen Frequenzbereich überwachen und den Bediener von Routinearbeit entlasten. Der Überwachungsempfänger lässt sich auf einer festen Frequenz oder im Scan Mode betreiben. Ein automatisch arbeitender Signalerfasser

BILD 1 Beispiel für eine Systemkonfiguration mit dem Breitbandüberwachungsempfänger R&S®ESMD. Er stellt der Software R&S®GX430 im Bereich von 9 kHz bis 26,5 GHz bis zu vier DDC-Kanäle mit je 1 MHz Bandbreite zur Verfügung. Diese können beliebig innerhalb der 80-MHz-Echtzeitbandbreite des Empfängers platziert werden.

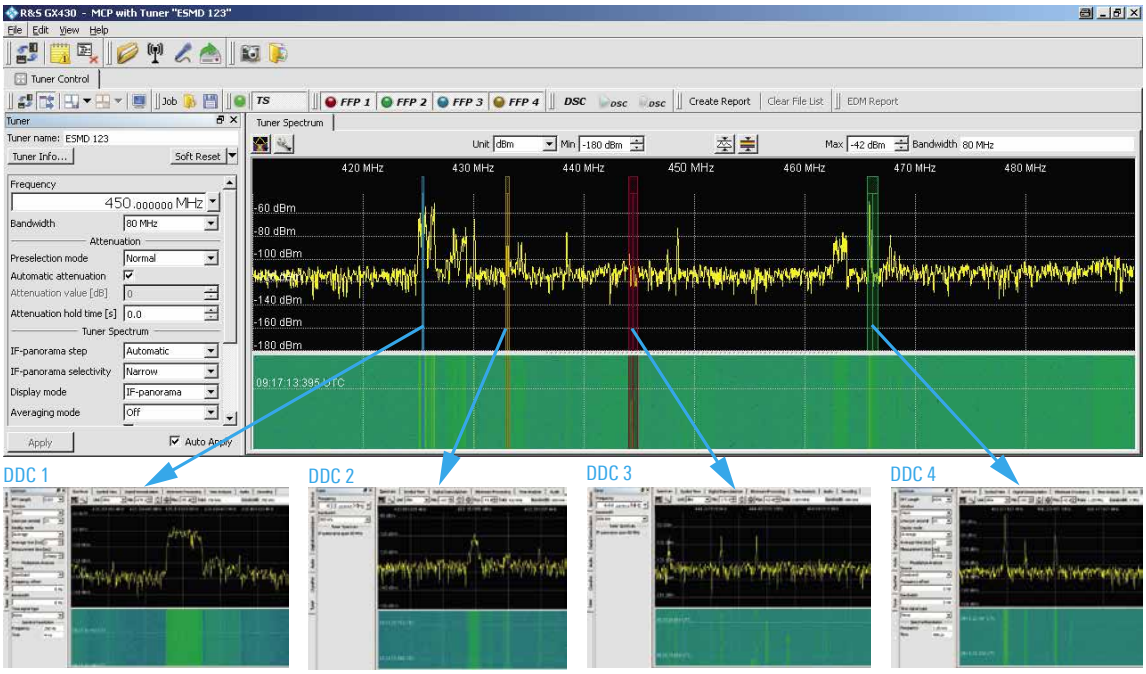


BILD 2 Die Signalanalysesoftware R&S®GX430 verarbeitet bis zu vier Kanäle unter Verwendung der DDCs im Empfänger.

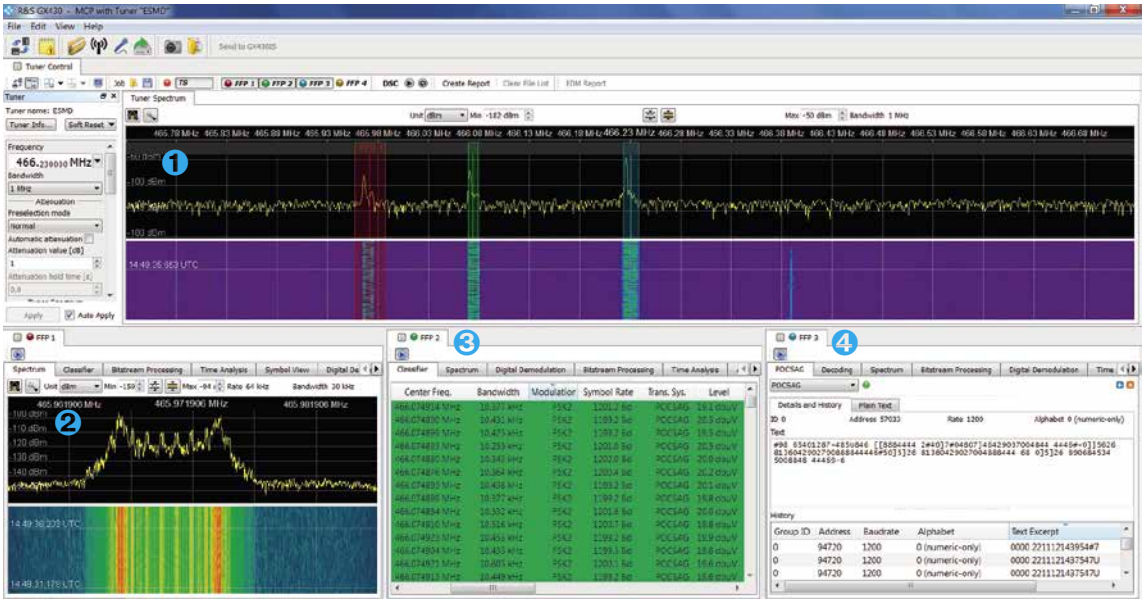


BILD 3 Beispiel für die Verarbeitung von drei Signalen:
❶ Breitbandspektrum des Empfängers R&S®ESMD mit der Position der drei aktivierten DDCs;
❷ Spektrum des ersten Signals;
❸ Ergebnis der Klassifizierung des zweiten Signals;
❹ decodierter Text des dritten Signals.

untersucht die Signale hinsichtlich ihrer spektralen Energie. Die verfügbaren DDC-Kanäle werden den erfassten Signalen zugeordnet und der jeweilige Signaltyp klassifiziert. Abhängig vom Signaltyp startet die Software automatisch Aktionen, deren Regeln der Anwender über eine bedienfreundliche Script-Schnittstelle definiert: beispielsweise das Triggern von Alarmen oder Meldungen, den Start einer Aufzeichnung, die Demodulation oder Decodierung (BILD 4).

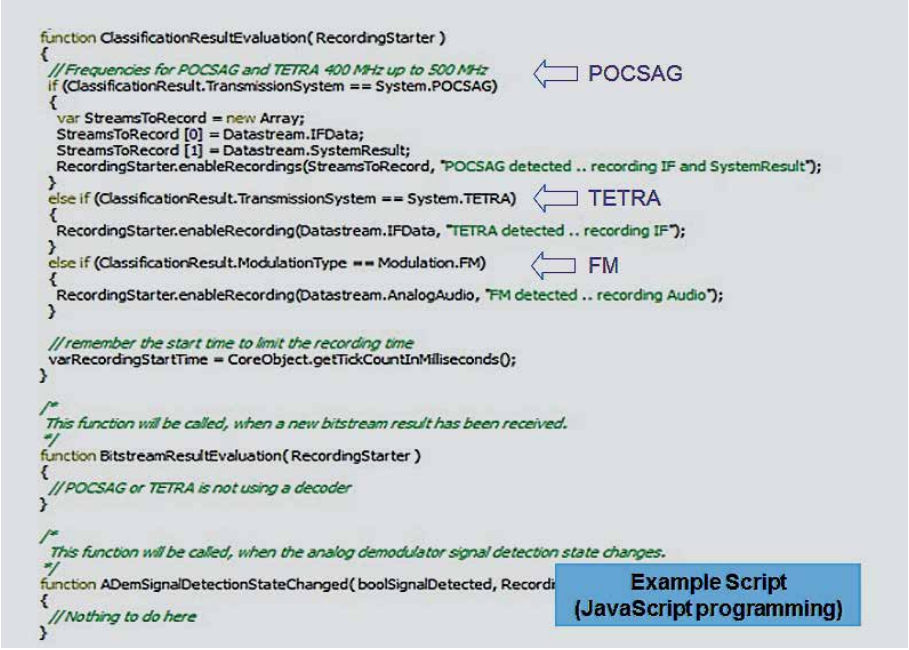


BILD 4 Beispiel für ein Script mit anwenderdefinierten Regeln (hier die automatische Bearbeitung von Signalen der Typen POCSAG, TETRA und analoge FM). Jede Aktion wird selbsttätig ausgelöst und entlastet den Anwender durch die automatische Verarbeitung der erfassten Signale.

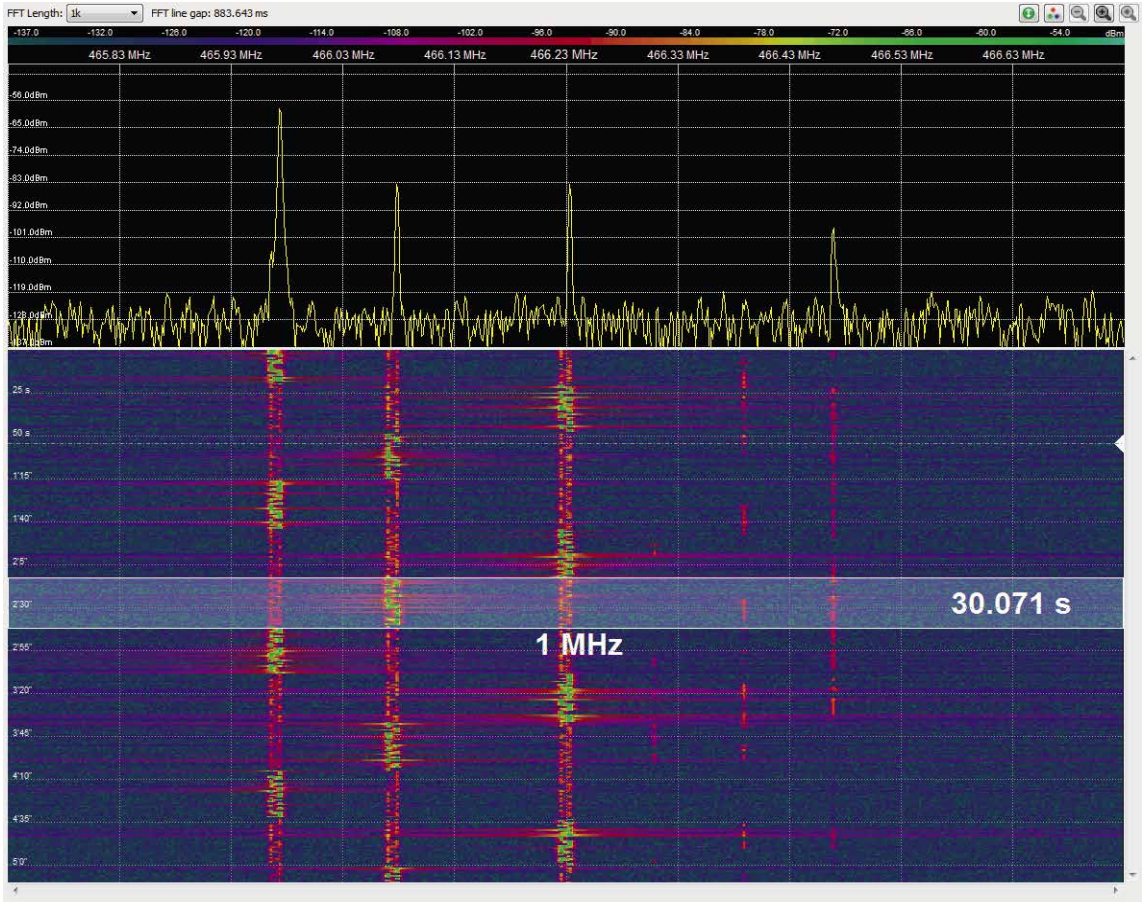


BILD 5 Spektrogramm mit einer Übersicht über eine Signalaufzeichnung mit einer Dauer von 5 min. Für die Wiedergabe wurde ein 30 s langes Segment ausgewählt.

Einbindung von Empfängern von Drittherstellern

Es empfiehlt sich, die R&S®GX430 zusammen mit Peilern und Empfängern von Rohde&Schwarz einzusetzen, beispielsweise mit dem R&S®ESMD, R&S®EB500 oder R&S®EB510. Um die Verwendbarkeit der Software noch flexibler und vielseitiger zu gestalten, wurde die Möglichkeit ergänzt, kundenspezifische Treiber einbinden zu können. Damit sind nun auch Empfänger von Drittherstellern einsetzbar. Anwender können Treiber selbst entwickeln und installieren, sie laufen als Windows® Dynamic Link Library (DLL) in der R&S®GX430-Applikation. Die Treiber sind erforderlich, um die Befehle und Datenformate der Empfänger von Drittherstellern in die von Rohde&Schwarz-Empfängern verwendeten zu konvertieren. Rohde&Schwarz bietet einen entsprechenden Quellcode in C++ sowie erfahrene Trainer zur Unterstützung der Programmierer beim Kunden an.

Signalaufzeichnung mit R&S®AMREC

Die Software R&S®GX430 kann nun direkt auf R&S®AMREC-Breitbandspeichermedien zugreifen, beispielsweise auf R&S®GX425, R&S®GX460 und R&S®GX465. Bei komplexen Signalszenarien empfiehlt es sich, die Signale für eine spätere Analyse aufzuzeichnen. Die R&S®GX430 kann die Aufzeichnung und Wiedergabe auch über die lokale Festplatte durchführen.

Zusätzlich bietet die Software eine Funktion zur Verwaltung der aufgezeichneten Signale. Sie zeigt sie in einem Übersichtsspektrum an, aus dem sie per Cursor für die Wiedergabe ausgewählt werden (BILD 5). Beim Bewegen des Cursors über das Spektrogramm berechnet sie sofort die Spektrallinien, wodurch sich der Start- und Endpunkt der Wiedergabeschleife bequem festlegen lässt. Die neue Funktion bietet mehrere Vorteile:

- Komfortable Navigation auch in Signalaufzeichnungen mit mehreren Stunden Dauer
- Guter Überblick über die komplette Aufzeichnung des Signalszenarios
- Sicheres Entdecken relevanter Signalaktivitäten
- Reduzierung der Wiedergabezeit durch Fokussierung auf den ausgewählten Bereich eines Signals

Vergleich zwischen R&S®GX430 und R&S®GX435

Die R&S®GX430 und das Multikanal-Signalanalysesystem R&S®GX435 (Artikel ab Seite 82) haben ähnliche Eigenschaften, zielen aber auf unterschiedliche Anwendungen (BILD 6). Die R&S®GX430 ist bestimmt für die Installation auf einem PC unter Windows®, wird vom Anwender bedient und ist deshalb auch nicht fernsteuerbar. Sie steuert nur einen Empfänger und verarbeitet bis zu vier Kanäle gleichzeitig. Im Wiedergabemodus kann sie nur einen Kanal verarbeiten, da hier die DDCs des Empfängers nicht verfügbar sind. Für die Zusammenarbeit mit R&S®RAMON-Systemen stehen folgende Schnittstellen zur Verfügung: ReportEdit, Master Slave Handover, Reporting to RAMON signal database, AllAudio.

Kriterium	R&S®GX430	R&S®GX435
Max. Anzahl gleichzeitig unterstützter Überwachungsempfänger	1	mehrere
Maximal verarbeitbare Kanäle pro Überwachungsempfänger	4	126
Maximale Anzahl verarbeitbarer Kanäle bei der Wiedergabe aufgezeichneter Signalszenarien	1	32
Fernsteuerbar über LAN oder WAN	nein	ja

BILD 6 Die wichtigsten Unterschiede zwischen R&S®GX430 und R&S®GX435.

Das Multikanal-Signalanalysesystem R&S®GX435 dagegen ist vorgesehen für Konfigurationen mit mehreren Überwachungsempfängern und kann bis zu 126 Kanäle pro Empfänger verarbeiten. Im Wiedergabemodus verarbeitet es bis zu 32 Kanäle, da es die eigenen DDCs nutzt. Das R&S®GX435 lässt sich optimal zusammen mit anderen Sensoren vollständig in R&S®RAMON-Systeme integrieren. Dadurch ist auch die Fernsteuerbarkeit über LAN oder WAN gegeben.

Neue Dongles

Anwender können die vorhandene Softwareversion 02.8x kostenpflichtig auf die Version 4 aktualisieren. Der USB-Kopierschutz- und Lizensierungs-Dongle wird dabei ersetzt durch einen neuen Kopierschutz, bei dem die Wahl besteht zwischen einem USB-Dongle, einem USB-Mini-Dongle oder einer SD-Karte.

Fazit

Die R&S®GX430 ist eine Software für die Installation auf einem Standard-Windows®-PC, die Signalszenarien manuell oder vollautomatisch nach anwenderdefinierten Regeln überwacht. In der neuen Version 4 verarbeitet sie maximal vier Kanäle gleichzeitig. Es lassen sich nun Treiber für Empfänger von Drittherstellern einbinden und es besteht die Möglichkeit zur Signalaufzeichnung und -wiedergabe auf R&S®AMREC-Systemen.

YingSin Phuan

Automatische Funkerfassung mit dem Signalanalysesystem R&S®GX435

Das R&S®GX435 ist ein leistungsfähiges und vielseitiges System, das Funkkommunikationssignale vollautomatisch erfasst, klassifiziert und verarbeitet. Es wird in Mehrkanal-Monitoringsystemen zusammen mit Überwachungsempfängern von Rohde&Schwarz eingesetzt und deckt den Bereich von HF bis SHF ab.

R&S®GX435 im Überblick

Das Multikanal-Signalanalysesystem R&S®GX435* unterstützt einen weiten Anwendungsbereich, von der manuellen Verarbeitung und Analyse eines einzelnen Signals bis hin zur automatischen Erfassung aller Aussendungen in einem breitbandigen Szenario. Die Software läuft auf modular kombinierbaren, wartungsfreundlichen Hardwarekomponenten (BILD 1), die mit Überwachungsempfängern von Rohde&Schwarz verbunden sind. Damit ist das R&S®GX435 skalierbar, von Systemen mit wenigen Kanälen bis hin zu solchen mit 126 Kanälen pro Empfänger. Offene Schnittstellen erlauben das Einbinden kundenspezifischer Signalverarbeitungsmodule.

Das R&S®GX435 vereint leistungsfähige Signalklassifikatoren und eine umfangreiche Bibliothek an Demodulatoren und Decodern mit automatischen Signalverarbeitungsabläufen. Diese umfangreichen Ressourcen können die Anwender flexibel ihren Anforderungen und Vorschriften anpassen. Um effektive Arbeitsabläufe für die Signalsuche und -erfassung zu gewährleisten, kann das System in drei verschiedenen Betriebsarten arbeiten.

Erfassung von Festfrequenz- und Burst-Signalen

Grundlagen

Das R&S®GX435 ist speziell zugeschnitten auf die vollautomatische Signalsuche, -überwachung und- verarbeitung. Das System unterstützt die Kombination aus automatischer Erfassung und Klassifizierung mit nachfolgender automatischer Verarbeitung der Signale (Demodulation, Decodierung Aufzeichnung).

Bei der Signalerfassung überwacht das System ausgewählte Frequenzbereiche automatisch auf Festfrequenz- und Burst-Signale. Dabei erfasst der Detektor im FFT-Spektrum des Empfängers Signalereignisse basierend auf ihrer spektralen Energie, die über eine einstellbare, an das jeweilige Grundrauschen anpassbare Schwelle hinausgeht. Für jedes erfasste Signal, auf das vordefinierte Kriterien (Bandbreite, Pegel usw.) zutreffen, generiert die Software einen Ergebnis-Vermerk und vergleicht die Ergebnisse periodisch mit denen

* Das System wurde unter der Bezeichnung „Sensorik-Subsystem R&S®GX435“ in der NEUES (2011) Nr. 204, Seite 58–61 vorgestellt. Inzwischen wird es unter der Bezeichnung „Multikanal-Signalanalysesystem R&S®GX435“ mit erweiterten Eigenschaften und neuen Hardware-Modulen vermarktet.

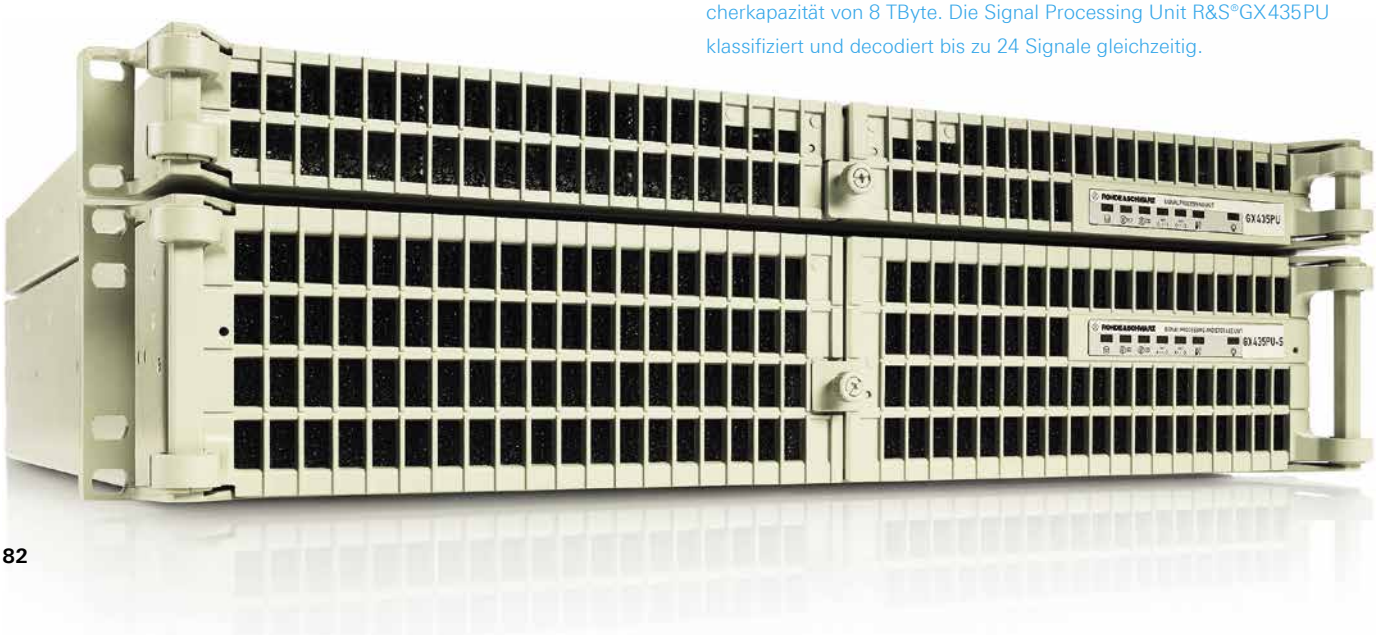


BILD 1 Das R&S®GX435 wird aus zwei Basis-Hardwarekomponenten zusammengestellt, die auf Mehrkern-PC-Server-Technik basieren. Die Signal Processing and Storage Unit R&S®GX435PU-S (untere Komponente) steuert das System, erfasst die Signale, berechnet die Digital Down Converter und dient als Aufzeichnungs- / Wiedergabe-Einheit mit einer Speicherkapazität von 8 TByte. Die Signal Processing Unit R&S®GX435PU klassifiziert und decodiert bis zu 24 Signale gleichzeitig.

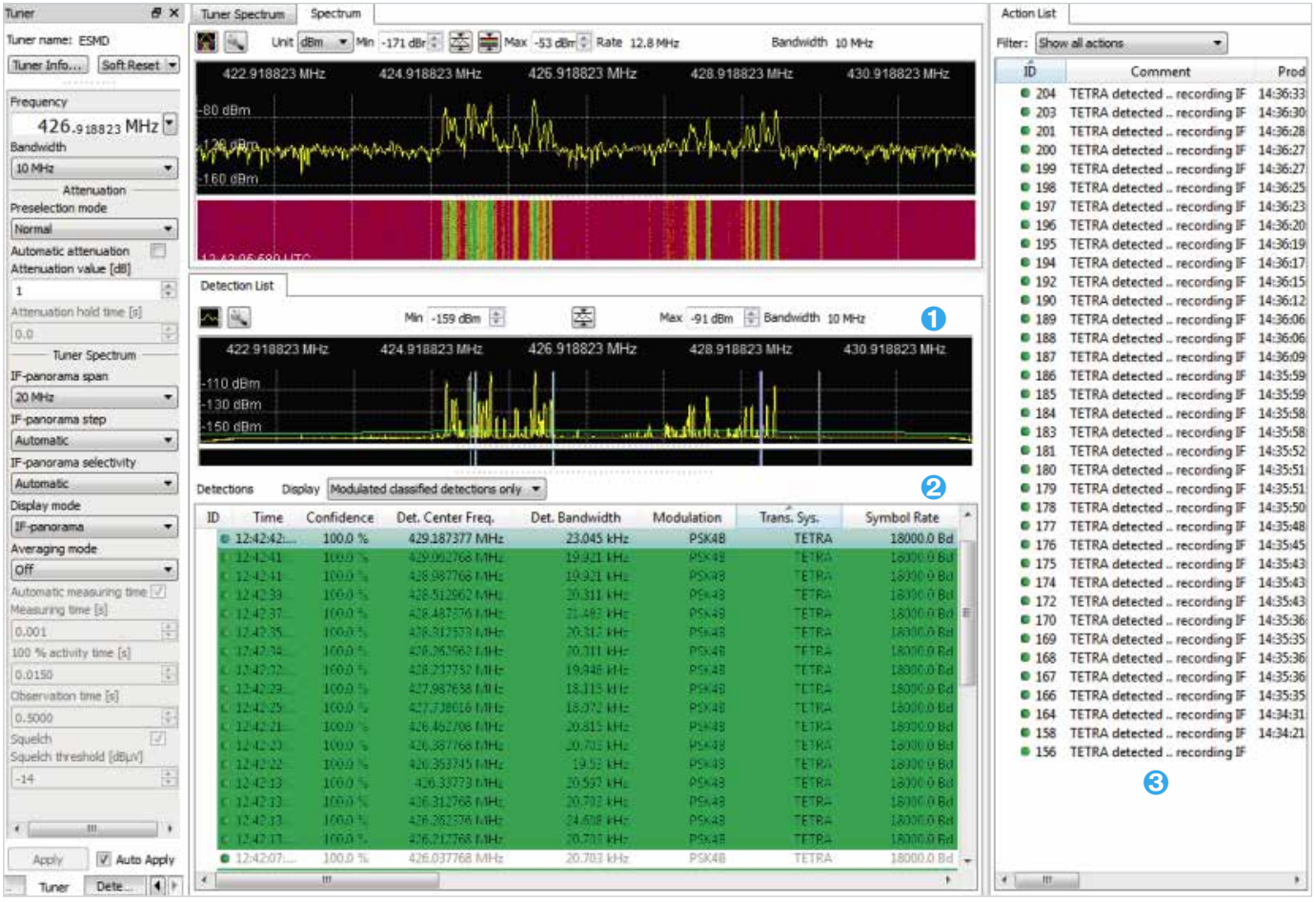


BILD 2 Der Fixed Frequency Mode (FFM) sucht und erfasst vollautomatisch alle Signale im vorgegebenen Frequenzbereich innerhalb der Echtzeitbandbreite des Empfängers anhand ihrer spektralen Energie (❶). Dabei werden die Klassifikatoren automatisch nacheinander diesen Signalen zugeordnet und die Ergebnisse in einer Liste gesammelt (❷). Für jedes erfasste Signal wird eine vom Anwender definierte Regel durchlaufen. Die sich daraus ergebenden automatischen Aktionen werden in der Ergebnisliste protokolliert (❸).

aus vorausgegangenen Verarbeitungszyklen. Die erfassten Signale können automatisch klassifiziert und gemessen werden. Das System meldet folgende Auffälligkeiten:

- Neue Signale (die zum ersten Mal die vorgegebene Schwelle überschreiten)
- Änderungen der Charakteristik bekannter Aussendungen (Pegel, Bandbreite oder Mittenfrequenz)
- Inaktive Aussendungen (deren Pegel unter die vorgegebene Schwelle gefallen ist)
- Signalende

Der Detektor überwacht den Emissionsverlauf, bestimmt die Parameter und verfolgt die Signale anhand der ihnen zugeordneten Emissions-IDs.

Für die automatische Suche und Klassifizierung gibt der Anwender die Anzahl der zu verwendenden Klassifikatoren, die gewünschte Klassifizierungstiefe und die Regeln für die automatische Verarbeitung der erfassten Signale an. Die Klassifikatoren bestimmen selbsttätig die Modulationsparameter und die Codierung der gefundenen Aussendungen. Je mehr Klassifikatoren eingesetzt werden, umso größer ist die Zahl der Aussendungen, die parallel klassifiziert werden können, und umso schneller ist ein Signalszenario aufgeklärt. Für die vollautomatische Signalverarbeitung sind regelbasierte Arbeitsabläufe konfigurierbar.

Das R&S®GX435 bietet für die Signalerfassung drei Betriebsarten:

1. Fixed Frequency Mode (FFM)
2. Scan Mode (mit mehreren abgesetzten Empfängern)
3. Stepping Mode (mit nur einem Breitbandempfänger)

1. Fixed Frequency Mode (FFM)

Anwendung: automatisches Erfassen und Überwachen eines Signalszenarios bei einer Echtzeitbandbreite bis 80 MHz mit weiterer automatischer Verarbeitung der Signale und Ermittlung des Inhalts.

Die Überwachungsempfänger sind über die Ethernet-LAN-Schnittstelle an das R&S®GX435 angeschlossen. In der Grundausstattung liefert jeder Empfänger einen I/Q-Datenstrom mit einer Echtzeitbandbreite von 10 MHz. Die Inhalte werden mit Hilfe der Digital Down Converter (DDC) extrahiert und anschließend parallel weiterverarbeitet, d.h. klassifiziert, demoduliert, decodiert und die I/Q-Daten werden aufgezeichnet (BILD 2). Jeder DDC kann seine Mittenfrequenz und Bandbreite innerhalb der Grenzen der Echtzeitbandbreite des Überwachungsempfängers beliebig einstellen. Das R&S®GX435 arbeitet bestens mit Überwachungsempfängern von Rohde&Schwarz zusammen, beispielsweise mit R&S®ESMD, R&S®EB500 oder R&S®EB510. Mit anwenderprogrammierten Treibern lassen sich auch Empfänger von Drittherstellern einbinden.

Breitbandüberwachungsempfänger wie der R&S®ESMD oder der Digitale Funkpeiler R&S®DDF225 können optional mit einem Board für hardwarebeschleunigte Signalverarbeitung ausgestattet werden. Das Board ist mit vier FPGA-Bausteinen (Field Programmable Gate Array) ausgestattet, die Hochleistungsfunktionen für die Signalverarbeitung bereitstellen. Die wichtigsten Funktionen sind die zur Vergrößerung der Erfassungsbandbreite auf 80 MHz und zur Extraktion einer großen Anzahl von Signalen per DDCs. Damit stehen am Multikanal-Signalanalysesystem R&S®GX435 Breitbandsignalszenarien bis 80 MHz (HF: 20 MHz) pro Empfänger in Echtzeit für die gleichzeitige Verarbeitung von maximal 32 (HF: 126) Kanälen an.

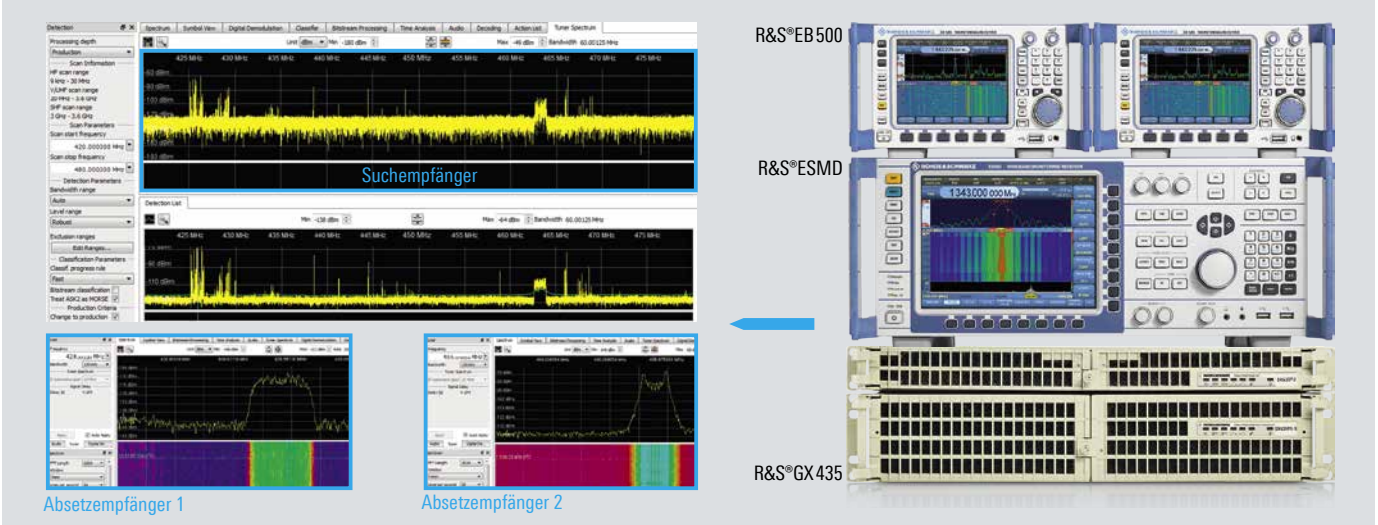
2. Scan Mode
(mit mehreren abgesetzten Empfängern)
Anwendung: kontinuierliche Suche nach neuen Emissionen in einem großen Frequenzbereich, während gleichzeitig die erfassten Signale verarbeitet werden.

Um Signale in einem großen Frequenzbereich zu finden, ist der Einsatz eines Suchempfängers unumgänglich. Dieser wird im Scan Mode betrieben und arbeitet mit mehreren abgesetzten Empfängern zusammen. Der Suchempfänger erfasst innerhalb des eingestellten Frequenzbereichs und unter Verwendung des Panorama-Scans kontinuierlich das Spektrum, in dem dann der automatische Detektor im R&S®GX435 alle Signale ermittelt. Die abgesetzten Empfänger fungieren als parallele Verarbeitungskanäle und klassifizieren, demodulieren und decodieren die erfassten Signale (BILD 3).

3. Stepping Mode (mit einem einzelnen Breitbandüberwachungsempfänger)
Anwendung: automatisches Erfassen und Überwachen eines großen Frequenzbereichs mit einem einzelnen Breitbandüberwachungsempfänger. Dieser Modus ist geeignet für Systeme mit begrenzten Ressourcen.

Im Vergleich zum oben aufgeführten Scan Mode ist beim Stepping Mode nur ein einziger Breitbandüberwachungsempfänger mit Scan-Möglichkeit erforderlich. Zunächst arbeitet der Empfänger im Scan Mode und sucht nach Aussendungen im eingestellten Frequenzbereich. Anschließend wird der Scan Mode gestoppt und der automatische Detektor durchsucht das Spektrum nach Aussendungen, wie im Beispiel Fixed Frequency Mode beschrieben. Die Signalverarbeitung im gesamten Scan-Bereich wird anschließend in Schritten zu je 10 MHz unter Einsatz von DDCs durchgeführt, um die Signale zu extrahieren. Dabei sind auch Schritte zu je 80 MHz

BILD 3 Der Breitbandüberwachungsempfänger R&S®ESMD untersucht als Suchempfänger im Scan Mode kontinuierlich das Spektrum nach Aussendungen. Zwei abgesetzte Überwachungsempfänger R&S®EB500 fungieren als Verarbeitungskanäle und klassifizieren, demodulieren und decodieren die Signale.



möglich, wenn der Empfänger R&S®ESMD oder der Peiler R&S®DDF255 mit dem Board für hardwarebeschleunigte Signalverarbeitung ausgestattet ist.

Erfassen frequenzagiler Kurzzeitsignale

Anwendung: Überwachung frequenzagiler Funkkommunikation.

Außer der Erfassung von Festfrequenz- oder Burst-Signalen bietet das R&S®GX435 auch die automatische Erfassung frequenzagiler Kurzzeitsignale (Frequenzsprungsignale bzw. Hopper). Solche Signale werden von einem speziell für diese Aufgaben optimierten Kurzzeitsignaldetektor erfasst. Dieser analysiert jeden einzelnen Hop und bestimmt die relevanten technischen Parameter. Dadurch kann der Hop klassifiziert und dem jeweiligen Sender zugeordnet werden. Die Software wertet die Parameter statistisch aus und stellt sie in einem Histogramm dar (BILD 4). Sie präsentiert das Ergebnis der Erfassung in einer Liste der Kurzzeitaussendungen zusammen mit deren Parametern wie Frequenz, Bandbreite, Leistung, Informationen zu Start- / Stopp-Zeitintervallen, Dauer sowie Modulationstyp und -parametern. Diese Angaben ermöglichen es, aktive Frequenzsprungsender und die entsprechenden Funkgeräte zu bestimmen.

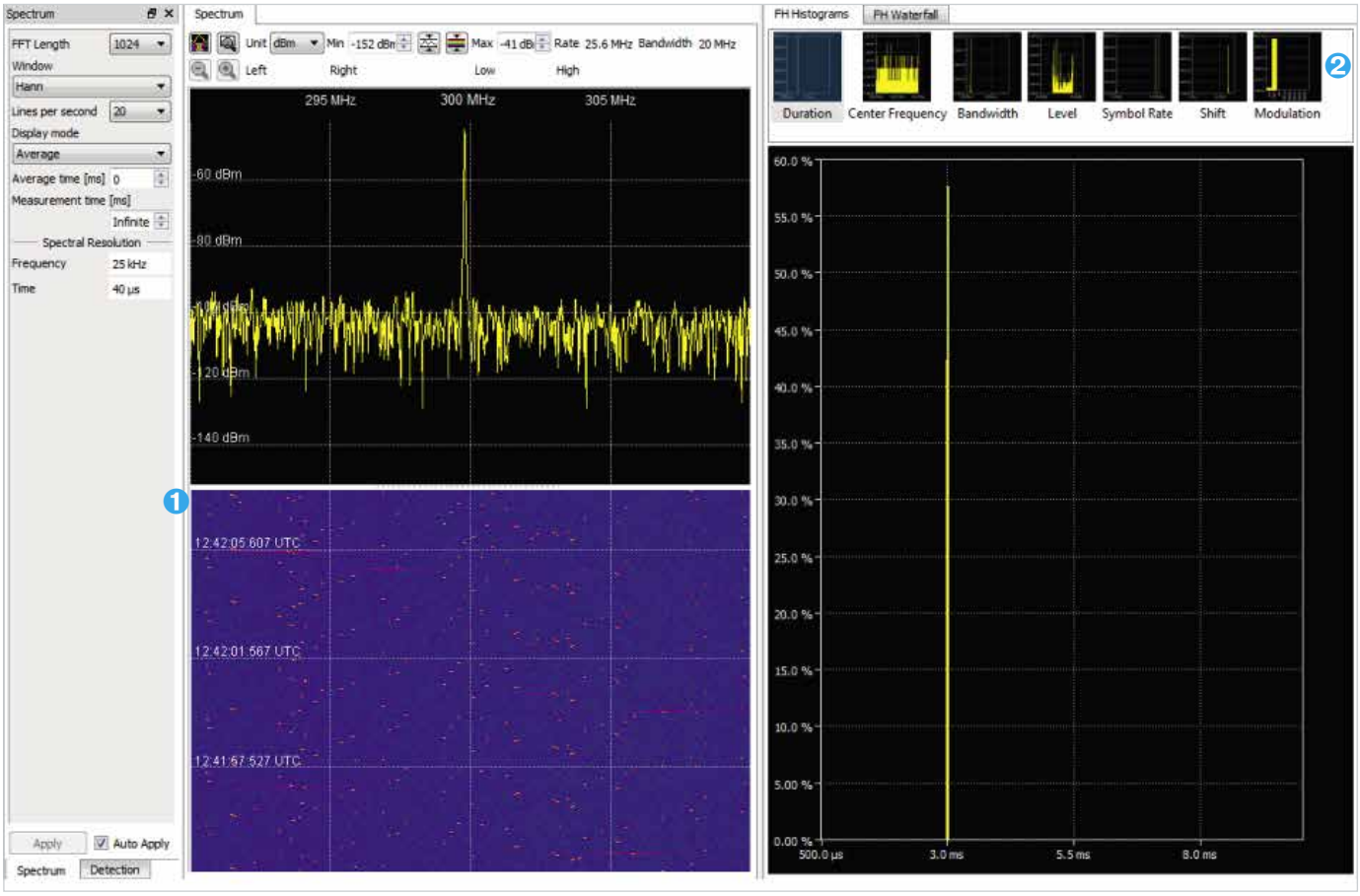
Fazit

Das R&S®GX435 ist ein modulares automatisches Funkerfassungssystem für die mehrkanalige Analyse und Verarbeitung analoger und digitaler Signale. Durch seine verschiedenen Betriebsarten für die Signalerfassung und die ausgefeilten Signaldetektoren bietet das System schnelle, zuverlässige und präzise Signalerfassung mit anschließender Klassifizierung, Demodulation, Decodierung und Aufzeichnung der Signale.

Für die zweite Jahreshälfte 2013 ist ein weiterer Detektor geplant, ein sog. Spektraler Mustererkenner, der Signale anhand ihres Spektrumprofils erkennt. Anwender können dann die sie interessierenden Spektralformen frei definieren, egal ob von Live-Signalen oder von aufgezeichneten Signalen.

YingSin Phuan

BILD 4 Das Spektrum und das Wasserfalldiagramm zeigen ein Frequenzsprungsignal im definierten Frequenzbereich (❶). Die Histogramme (❷) veranschaulichen verschiedene Eigenschaften der Aussendung (Hop-Dauer und -Bandbreite, Modulationsart, Symbolrate usw.).



Neues Fertigungswerk in Malaysia eröffnet

Anfang Dezember 2012 hat Rohde&Schwarz sein neues Fertigungswerk in Malaysia eröffnet. Geschäftsführer von Rohde&Schwarz Technologies Malaysia Sdn Bhd ist Johann Kraus, der bereits Werkleiter von Werk Teisnach ist. Am neuen Produktionsstandort in Johor Bahru sind 25 Mitarbeiter beschäftigt. Hauptaufgabe ist die Montage und Endprüfung von Test- und Messgeräten für den Weltmarkt.

Schnitten das symbolische Band durch (v.l.): Patrick Pötschke (Aufsichtsrat), Peter Riedel (Aufsichtsrat), Dr. Günter Gruber (Deutscher Botschafter in Malaysia), Manfred Fleischmann (Vorsitzender der Geschäftsführung von Rohde&Schwarz), Dr. Dirk-Eric Loebermann (Bereichsleiter Produktion und Materialwirtschaft) und Johann Kraus (Geschäftsführer RSTMY).

Rohde&Schwarz beliefert Bundesnetzagentur

In einer europaweiten Ausschreibung der Bundesnetzagentur konnte sich Rohde&Schwarz gegen die Konkurrenz durchsetzen. Als modernes Peilsystem für den VHF-UHF-Bereich kommt künftig der digitale Breitbandpeiler R&S®DDF550 einschließlich der benötigten Antennen bei der Bundesnetzagentur zum Einsatz. Rohde&Schwarz rüstet somit in sechster Generation die Regulierungsbehörde mit Peilsystemen aus. Der Auftrag umfasst 20 Gerätesätze sowie eine Option auf fünf weitere Peiler. Rohde&Schwarz ist weiterhin für den Aufbau und die Inbetriebnahme der Peilsysteme verantwortlich. Die Peiler werden in das bestehende Funkmess- und Ortungssystem (FuMOS) der Bundesnetzagentur integriert.

Mit Top-Themen und Top-Applikationen auf dem MWC 2013

Der Mobile World Congress in Barcelona, die wichtigste Messe für den Mobilfunk, fand 2013 zum ersten Mal auf dem neuen Messegelände statt. Rohde&Schwarz präsentierte dort auf 132 Quadratmetern Produkte aus den Bereichen Mobilfunk-Messtechnik und sichere Kommunikationstechnik. Im Mittelpunkt stand dabei wie schon in den vergangenen Jahren der Mobilfunktester R&S®CMW500 mit Lösungen für WLAN Offloading, IP-Analyse, eCall (LBS LTE-Notruf) u.a. Top-Thema der Messe war LTE-Advanced Carrier Aggregation. Insgesamt zeigte Rohde&Schwarz mehr als ein Dutzend Messtechnik-Applikationen am Stand. Zahlreiche Messgeräte von Rohde&Schwarz waren auch an Ständen von Kunden und Partnerfirmen zu sehen. Auch SwissQual und ipoque waren mit eigenen Ständen vertreten. Die beiden Tochterunternehmen ergänzten mit ihren Produkten das Angebot für die Betreiber von Mobilfunknetzen.

Der Stand von Rohde&Schwarz stand ganz im Zeichen des Mottos „R&S 4Genius – Your Companion for new technologies".

Technology Week: Besucherrekord im Jubiläumsjahr

Einen neuen Besucherrekord verzeichnete die Technology Week, die Rohde&Schwarz Taiwan Mitte November 2012 bereits zum zehnten Mal veranstaltete. Rund 850 Teilnehmer strömten im Jubiläumsjahr zu den Veranstaltungsorten Taipei und Hsinchu. Neben den eigenen Fachvorträgen überzeugten auch Gastredner von ST-Ericsson, SGS, Wistron NeWeb Corp und GCT Semiconductors. Themen waren unter anderem 4G Mobile Solutions, Herausforderungen bei Compliance-Tests und Entwicklungstendenzen bei Netzbetreibern. Darüber hinaus wurden auf der begleitenden Ausstellung Produkte und Applikationen aus den Geschäftsbereichen Messtechnik, Rundfunktechnik sowie Überwachungs- und Ortungstechnik präsentiert.

Niederlassungsleiter Tsai Chi-Wen von Rohde&Schwarz Taiwan (Mitte) mit den Gastrednern von ST-Ericsson, SGS, GCT und WNC.

R&S®VTC: zweifach ausgezeichnet

Mit gleich zwei Preisen wurde das Video Test Center R&S®VTC von Rohde&Schwarz im vergangenen halben Jahr ausgezeichnet. Während der DesignCon 2013 im kalifornischen Santa Clara wurde dem R&S®VTC der Best in Test Award verliehen, den die Leser des international renommierten Fachmagazins Test&Measurement World jährlich wählen.

Das Votum der Leser war auch bei der Wahl „ITK-Produkte des Jahres" entscheidend, die die deutsche Fachzeitschrift Funkschau jährlich durchführt. Hier gewann das R&S®VTC Mitte Oktober 2012 in der Kategorie „Messgeräte" den ersten Preis. Ausschlaggebend für die Wahl war nach Ansicht der Redaktion, dass das R&S®VTC nahezu alle notwendigen Tests und Analysen in einem Gerät bietet.

R&S®RTO ist zum zweiten Mal Produkt des Jahres

Die Leser der Fachzeitschrift Elektronik haben die Laboroszilloskop-Serie von Rohde&Schwarz bereits zum zweiten Mal zum Produkt des Jahres gewählt. Wie schon 2011 wurde die R&S®RTO-Familie in der Kategorie „Messtechnik" ausgezeichnet. In diesem Jahr sicherte sich das 4-GHz-Modell den ersten Platz. Die Elektronik-Leser kürten aus den 111 innovativsten Produkten des Jahres ihre Favoriten in insgesamt zehn Kategorien.

Elektronik-Redakteur Wolfgang Hascher (rechts) überreicht Guido Schulze, Leiter Produktmanagement Oszilloskope, den Pokal für den ersten Platz.

Der stellvertretende Chefredakteur der Funkschau, Markus Kien (ganz rechts), gratulierte dem Entwicklerteam des R&S®VTC zum Sieg in der Kategorie „Messgeräte".

Kooperation mit Dolby

Seit Februar 2013 arbeitet Rohde&Schwarz mit Dolby Laboratories Inc. zusammen und beliefert den Spezialisten für digitale Audioformate mit Audioanalysatoren. Die Plattformen R&S®UPP und R&S®UPV wurden für diesen Zweck mit neuer Software ausgestattet. Damit können Dolby-Lizenznehmer Compliance-Tests zur Einhaltung der Dolby-Vorgaben einfach und zeitsparend durchführen.

Mitte November trafen sich die beiden Unternehmen für abschließende Verhandlungen. Wolfgang Kernchen, Leiter des Fachgebiets Signalgeneratoren, Audioanalysatoren und Leistungsmesser (vierter von rechts) mit dem Leiter der Consumer Audio Broadcast Business Group der Dolby Laboratories, Mathias Bendull (zweiter von rechts).

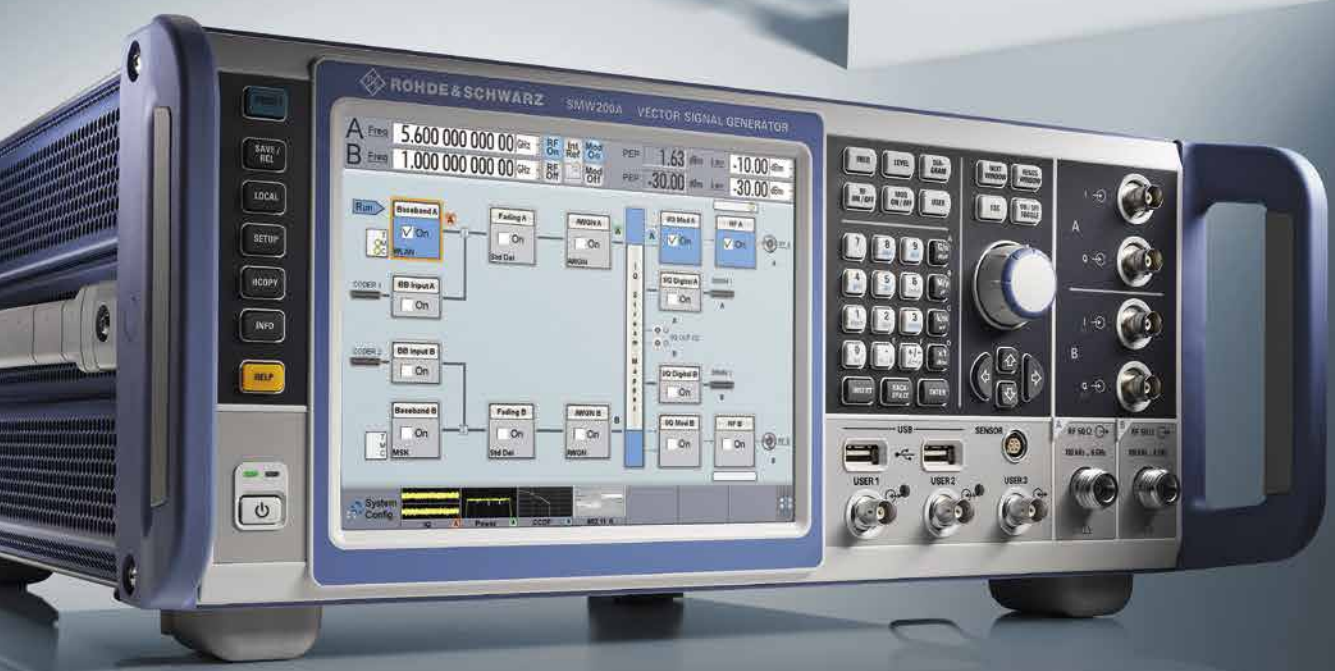
Basisband & HF
MIMO & Fading
Rohde & Schwarz SMW 200A

Der neue Vektorsignalgenerator für breitbandige Kommunikationssysteme
Einziger Generator mit Basisband, Signalberechnung, Fading, MIMO, AWGN und HF-Erzeugung in einem Gerät. Zwei Pfade bis 6 GHz. Volle Modularität. Und eine Touch-Bedienung, mit der Sie die komplexesten Signale souverän beherrschen. In 3G- und 4G-Szenarien wie auch im Aerospace & Defense-Bereich.

- 160 MHz I/Q-Modulationsbandbreite mit internem Basisband
- Alle wichtigen MIMO-Modi inkl. 3×3, 4×4 und 8×2
- Alle wichtigen Kommunikationsstandards
- Zahlreiche Bedienhilfen für effizientes Arbeiten
- Exzellente Modulations- und HF-Eigenschaften

R&S®SMW 200A. Die hohe Schule der Signalerzeugung.

www.rohde-schwarz.com/ad/smw-mr



Zum Video

ROHDE&SCHWARZ