EMV-Messungen dauern nur noch Sekunden

Bild 1: Der EMV-Messempfänger R&S ESW von Rohde & Schwarz erfüllt alle Anforderungen der einschlägigen zivilen und militärischen Normen (Bilder Rohde & Schwarz)

Moderne Störmessempfänger, die für künftige Herausforderungen ausgelegt sind, benötigen ausgezeichnete HF-Eigenschaften und sollen die Arbeit der EMV-Ingenieure in Entwicklungsabteilungen und akkreditierten Testlaboren erleichtern und beschleunigen. Ein Beispiel dafür ist der R&S ESW, der mit besonders hoher Messdynamik und Pegelgenauigkeit aufwartet. Mit FFT-basierten Zeitbereichs-Scans misst er normgerecht in Sekundenschnelle. Zudem eignet er sich für EMV-Messungen ab 2 Hz, wie sie im A&D- und Automotive-Bereich manchmal gefordert werden.

Bevor elektrische und elektronische Module, Bauteile, Geräte oder Systeme auf den Markt kommen und technische Einrichtungen in Betrieb gehen dürfen, muss der Hersteller nachweisen, dass die Lösungen elektromagnetisch verträglich arbeiten. Das wird über eine Zertifizierung geprüft. Dabei müssen sie Tests zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) bestehen. Ein EMV-Messempfänger für solche Zertifizierungsmessungen

Rohde & Schwarz
www.rohde-schwarz.com

Band	Frequenz	Auflösebandbreite	Messzeit	CISPR-Detektoren	Gesamtmesszeit
CISPR Band B	150 kHz bis 30 MHz	9 kHz	100 ms	Peak	110 ms
CISPR Band B	150 kHz bis 30 MHz	9 kHz	1 s	Quasi-Peak und CISPR Average	2 s
CISPR Band C/D	30 MHz bis 1000 MHz	120 kHz	10 ms	Peak	620 ms
CISPR Band C/D	30 MHz bis 1000 MHz	9 kHz	10 ms	Peak	840 ms
CISPR Band C/D	30 MHz bis 1000 MHz	120 kHz	1 s	Quasi-Peak	80 s
CISPR Band C/D	30 MHz bis 1000 MHz	9 kHz	1 s	Quasi-Peak und CISPR Average	67 s

Tabelle: Messzeiten für Standardeinstellungen in unterschiedlichen CISPR-Bändern Quelle: Rohde & Schwarz

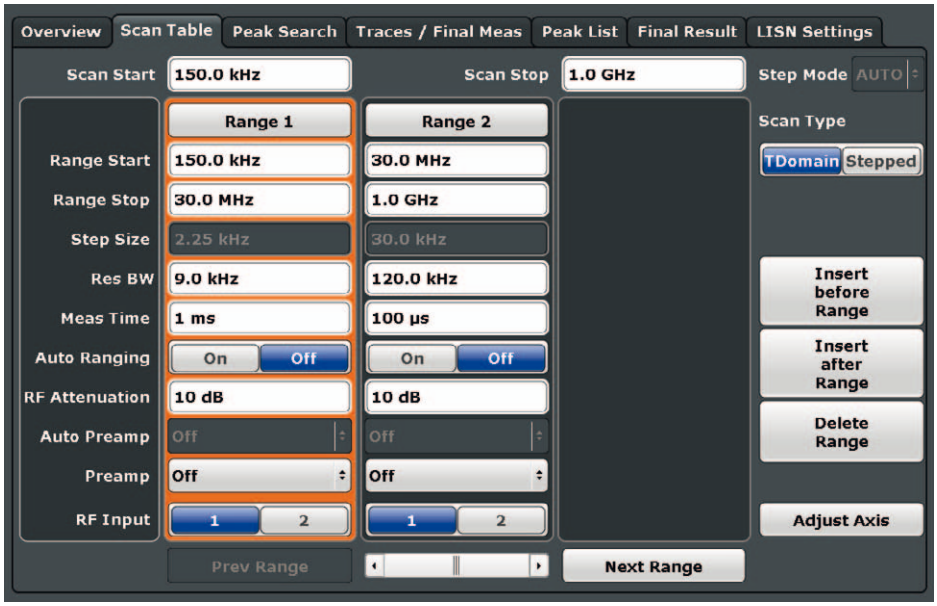

Bild 2: Programmierbare Scan-Tabelle des R&S ESW für eine Messung mit bis zu 10 Messbereichen (Ranges)

führt die vorgeschriebenen Tests nach den Anforderungen der einschlägigen zivilen und militärischen Normen wie CISPR, EN, MIL-STD-461, DO 160 und FCC durch. Darüber hinaus gibt es noch anwendungsspezifische EMV-Tests in den Bereichen Automotive und Aerospace & Defense. Der R&S ESW von Rohde & Schwarz eignet sich für all diese Messungen und erkennt - aufgrund seiner außergewöhnlich hohen Messgeschwindigkeit - auch Störer, die nur kurzfristig auftreten oder mit Drift behaftet sind.

FFT-basiertes Messprinzip für TD-Scan- und Echtzeitmessungen

Für die Zertifizierung scannen klassische Messempfänger den zu untersuchenden Frequenzbereich sequenziell in vielen kleinen Abtastschritten. Eine solche Messung kann Stunden dauern. Das lässt sich mit FFT-basierten (FFT: Fast Fourier Transformation) Scan-Techniken und moderner Chip-Technik um Größenordnungen beschleunigen. Die FTT-basierten Zeitbereichs-Scans erfüllen problemlos die hohen

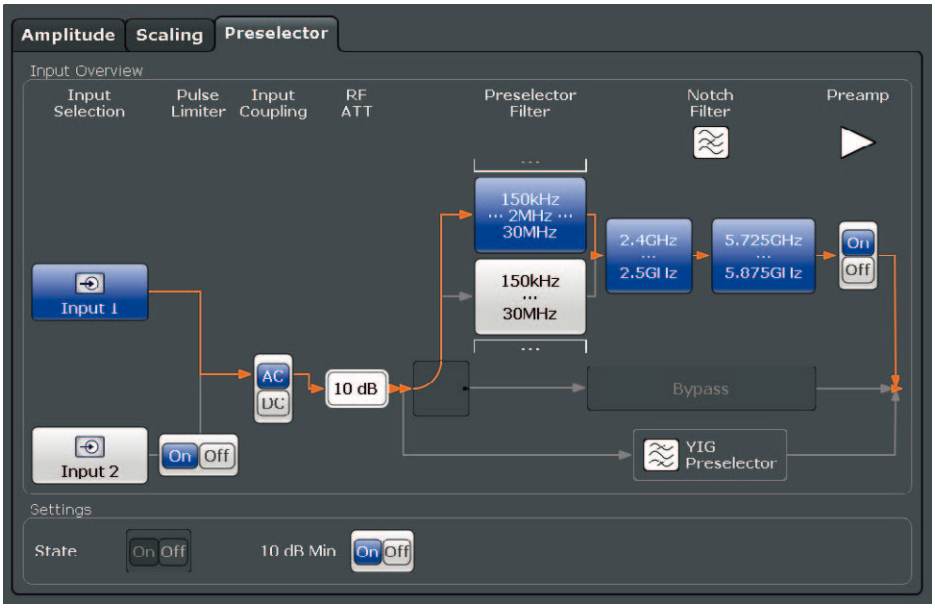

Bild 3: Konfigurierbare Vorselektionsfilter schützen vor Übersteuerung, Spezialfilter ermöglichen Messungen mit höchster Empfindlichkeit

Anforderungen an die Pegelgenauigkeit der EMV-Standards. Und auch die rechenintensiven digitalen Bewertungsfilter der EMI-Detektoren aus den Normvorgaben stellen keine Performance-Hürde mehr dar. Die FFT-Messmethode ist daher seit 2010 vom CISPR für Konformitätsmessungen offiziell zugelassen, nachdem die Industrie mit entsprechenden Messgeräten den Tauglichkeitsnachweis erbracht hatte.

Bei den ersten Messgeräten, die FFT-basierte Scans durchführten, lief die zugehörige Signalverarbeitung auf der Bordrechner-CPU. Das war schon deutlich schneller als die herkömmliche sequenzielle Abtastung. Beim R&S ESW ließ sich die Messgeschwindigkeit noch weiter erhöhen, indem die zugehörige Signalverarbeitung auf ein FPGA (Field-Programmable Gate Array) verlagert wurde. Frequenz-Scans in den CISPR-Bändern erfordern somit nur noch wenige Millisekunden. Leitungsgeführte Störgrößen lassen sich sogar in Echtzeit mit parallel arbeitenden CISPR-Detektoren (Quasi-Peak und CISPR Average) messen. Dabei werden die spektralen Signalanteile ohne zeitliche Lücken mit einer Bandbreite von etwa 30 MHz erfasst. Mit einer virtuellen Schrittweite von einem Viertel der Auflösebandbreite und einer zeitlichen Überlappung der FFT-Fenster von > 90 % erreicht das Messgerät eine merklich bessere Pegelmessgenauigkeit, als in der CISPR 16-1-1 gefordert.

Schnelligkeit ist immer dann nötig, wenn Prüflinge nicht lange betrieben werden können, weil sie aufgrund von schwankenden oder driftenden Störern ihr Verhalten ändern oder im Extremfall bei zu langem Betrieb zerstört werden. Bei vielen Anwendungen, wie dem elektrischen Fensterheber in Fahrzeugen, erfordert der Betriebszyklus eine schnelle Messung. Mit einem schnellen FFT-basierten Zeitbereichs-Scan lassen sich diese Szenarien leicht beherrschen.

Mit Scan-Tabellen schnell zum Ziel

Die Parameter für Störaussendungsmessungen werden bei jedem Messgerät ein bisschen anders und mehr oder weniger übersichtlich konfiguriert. Beim R&S ESW basiert die Konfiguration auf einer Scan-Tabelle. Der Anwender hat dabei die Möglichkeit, die Messung in bis zu zehn Frequenzbereiche aufzuteilen.

Er legt hierzu fest, ob er für den jeweiligen Messbereich einen Zeitbereichs- oder einen klassischen Stepped-Scan möchte. Er gibt den Start- und Endpunkt einer „Range“ ein oder lässt die Frequenzbereiche automatisch

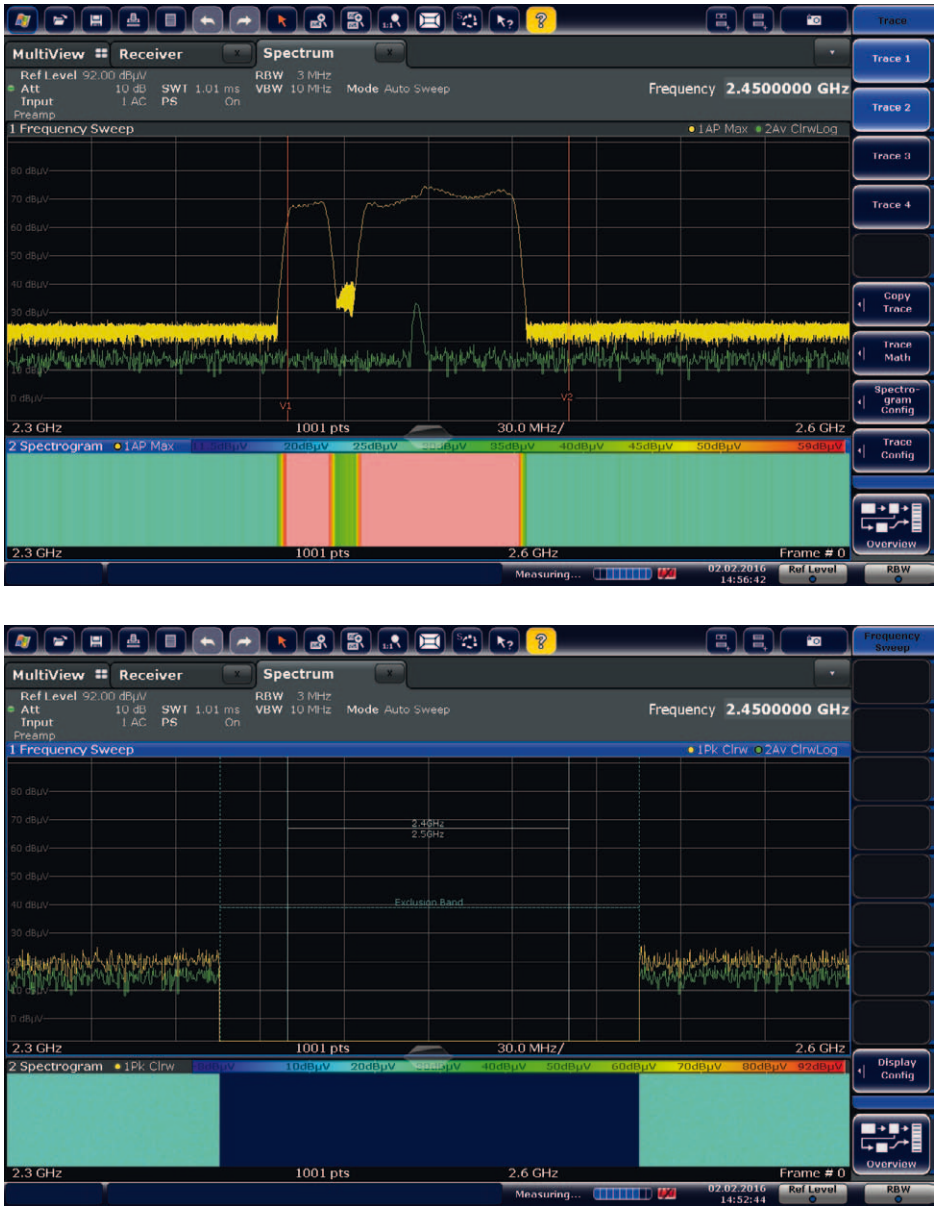

Bild 4a+b: Spektrum im Bereich des 2,4-GHz-ISM-Bands. Bei ausgeschaltetem Kerbfilter (oben) gelangt ein starkes WLAN-Signal zum Mischer; das eingeschaltete Kerbfilter (unten) hält den spektralen Beitrag des ISM-Bands von der ZF-Stufe fern

vom Gerät festlegen. Darüber hinaus gibt er zum Beispiel jeweils die Auflösebandbreite vor. Beim Stepped Scan kann der Anwender die Schrittweite einstellen, beim Zeitbereichs-Scan legt das Gerät sie automatisch auf ein Viertel der Messbandbreite fest.

In dieser Betriebsart liefert der Messempfänger laut Hersteller bereits nach zwei Sekunden normgerechte Ergebnisse für das komplette CISPR-Band B mit zwei CISPR-Detektoren, einschließlich der erforderlichen Einschwingzeit von einer Sekunde. Somit dauert die vollständige normgerechte Messung insgesamt vier Sekunden bei einphasigen und acht Sekunden bei dreiphasigen Prüflingen. Es gibt praktisch keine gerätebedingte Wartezeiten mehr.

Der Anwender kann sich innerhalb von Sekunden einen Überblick über das Störszenario verschaffen, Messungen aber auch mehrfach wiederholen. Mit einer verlängerten Beobachtungszeit erfasst das Messgerät auch solche Störer genau, die sich im Laufe der Zeit verändern oder nur selten auftreten.

Die kleine Investition in Messzeit führt selbst bei schwierig zu erfassenden Signalen zu verlässlichen Ergebnissen. Finden diese Messungen schon in der Entwicklungsphase eines Produkts statt, kann der Entwickler bei einem entdeckten Störer sofort darauf reagieren. Nachdem er die Ursache für das Störsignal identifiziert hat, lässt sich das Design entsprechend anpassen.

Werden Störer erst bei der abschließenden Zertifizierung entdeckt, dann muss die Entwicklung, für ein praktisch fertiges Produkt, eine Lösung finden.

Schutz vor Übersteuerung

Für EMV-Messungen unbekannter Störungen wird eine möglichst hohe HF-Dynamik gefordert. Breitbandstörer oder hohe Trägersignalpegel sollen das Gerät nicht übersteuern können. Hierzu sind in der Regel standardmäßig Vorselektionsfilter (Bandpässe) in den EMV-Messempfängern integriert. Sie schützen das Messgerät, indem sie nur den interessierenden Teil des HF-Spektrums zum Mischer durchlassen. Die CISPR-/EN-Normen beginnen bei 150 kHz für geleitete Störungen. Der Bereich darunter wird nicht gemessen, weil dort im Grunde nur Netzstörungen auftreten. Deren Pegel können ausreichen, um die Messgeräte zu übersteuern und Messungen unmöglich zu machen. Für normgerechte Messungen empfiehlt CISPR deshalb Messgeräte mit einem steilflankigen 150-kHz-Hochpassfilter. Es unterdrückt die unteren Frequenzen um bis zu 60 dB und lässt Messungen von 150 kHz bis 30 MHz übersteuerungsfrei zu. Manche Geräte bieten darüber hinaus einen impulsgeschützten Eingang an. Beim R&S ESW sind dann 21 Vorselektionsfilter vorgeschaltet. Darüber hinaus lässt sich der Eingang mit speziellen Vorselektionsfiltern schützen: Mit einem 2-MHz-Filter können z. B. Störsignale von Schaltreglern vom empfindlichen Frontend ferngehalten werden (Bild 3).

Auch pegelstarke Trägersignale aus den lizenzfreien ISM-Bändern, in denen WLAN-Netze und Bluetooth-Geräte operieren, lassen sich zum Beispiel mit Kerbfiltern (engl. Notch-Filter) bei 2,4 und 5,8 GHz aus der Messung ausblenden. So kann der verbleibende Frequenzbereich mit höherer Empfindlichkeit gemessen werden. (Bild 4a+b).

Im MIL- und Automotive-Bereich gibt es darüber hinaus spezifische Regelwerke, die über die Norm hinausgehen und zum Beispiel EMV-Messungen unter 150 kHz vorschreiben. Wer nach diesen Vorgaben messen muss, sollte darauf achten, dass das Messgerät dafür ausgelegt ist.

Höchste Empfindlichkeit schon ab 2 Hz

Die aufkommende Elektromobilität macht zum Beispiel im Automotive-Bereich EMV-Tests bei niedrigen Frequenzen ab 5 Hz notwendig. Wenn etwa ein Elektrofahrzeug mit einer Ladestation verbunden wird, entstehen

Szenarien mit hohen Strömen und langen, ungefilterten Leitungswegen, die Hersteller und Zulieferindustrie dazu veranlassen, Störmessungen bereits bei 5 Hz beginnen zu lassen. Der R&S ESW ist für diesen Einsatz bereits gerüstet und bietet eine ab 2 Hz spezifizierte untere Frequenzgrenze (Bild 1). Das Gerät tastet das Signal bis 30 MHz direkt am Eingang ab und schaltet so den Einfluss des Lokaloszillators in diesem Frequenzbereich völlig aus. Auf diese Weise ist eine besonders hohe Empfindlichkeit von beispielsweise typ. –110 dBm unter 10 Hz und typ. –120 dBm zwischen 10 Hz und 100 Hz möglich.

ZF-Analyse mit Spektrogrammfunktion

Mit einer ZF-Analyse (ZF: Zwischenfrequenz) kann ein Anwender herausfinden, ob es sich bei einem auftretenden Signal um ein Stör- oder ein Nutzsignal handelt. Der R&S ESW stellt hierzu das HF-Eingangssignal um die Empfängerfrequenz in einem einstellbaren Bereich dar – entweder parallel zur Balkendiagramm-Anzeige bei der aktuellen Empfangsfrequenz oder zusammen mit dem gespeicherten Übersichts-Scan. Mit der Funktion „Marker Track“ ermittelt das Gerät an der Markerposition im Übersichts-Scan die Mittenfrequenz des ZF-Spektrums. Da diese Position immer der eingestellten Empfangsfrequenz des Messempfängers entspricht, kann das Messgerät genau und schnell auf das zu untersuchende Signal abgestimmt werden. Empfangssignale lassen sich damit schnell als Stör- oder Nutzsignale klassifizieren. Die zuschaltbare parallele Audiodemodulation für AM oder FM erleichtert die Identifizierung der Signale, um beispielsweise Umgebungsstörer bei Freifeldmessungen zu erkennen und auszuschließen. Eine dem ZF-Spektrum zugeordnete ZF-Spektrogrammaufzeichnung hilft, zeitlich nicht konstante, sporadische oder driftende Störer besser zu erfassen (Bild 6).

Spektrumanalyse inklusive

Vor allem für Entwickler ist es hilfreich, wenn der Störmessempfänger - ergänzend zu den EMV-Messungen - auch Funktionen zur Spektrumanalyse anbietet. Dann ist mit demselben Gerät gleich eine entwicklungsbegleitende Diagnose von HF-Störemissionen möglich. Beim R&S ESW beispielsweise ist ein vollwertiger Spektrumanalysator integriert. Bei zugeschalteter Vorselektion lassen sich damit sogar normkonforme Messungen durchführen, sodass sich dem Anwender, neben dem klassischen Mess-

Bild 5: Der R&S ESW eignet sich für alle EMV-Tests in der Automobilindustrie, auch für Messungen im unteren Frequenzbereich ab 5 Hz, wie das bei Messungen zur Elektromobilität notwendig sein kann

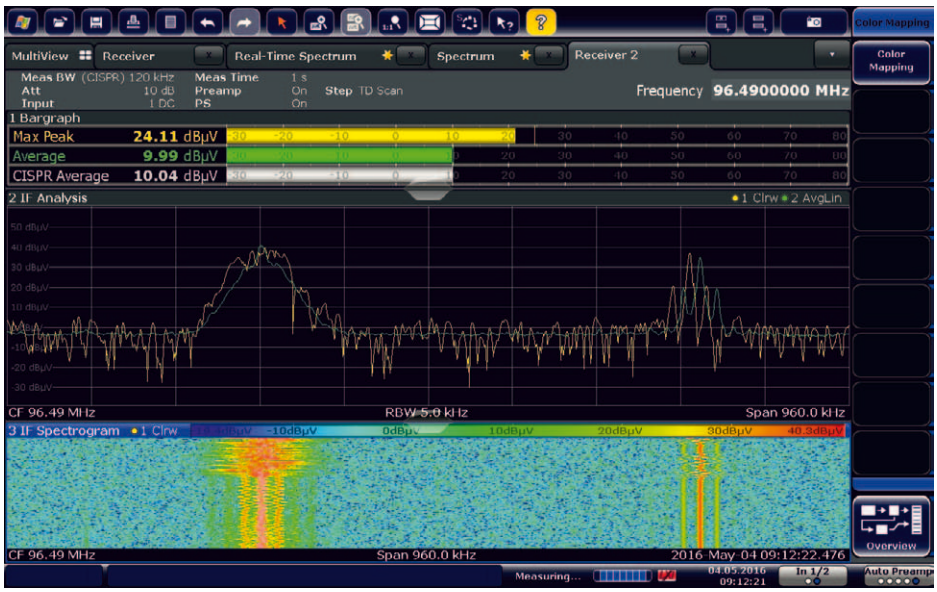

Bild 6: ZF-Darstellung mit Marker-Kopplung zum Preview-Scan-Spektrum und mit Spektrogramm-Aufzeichnung

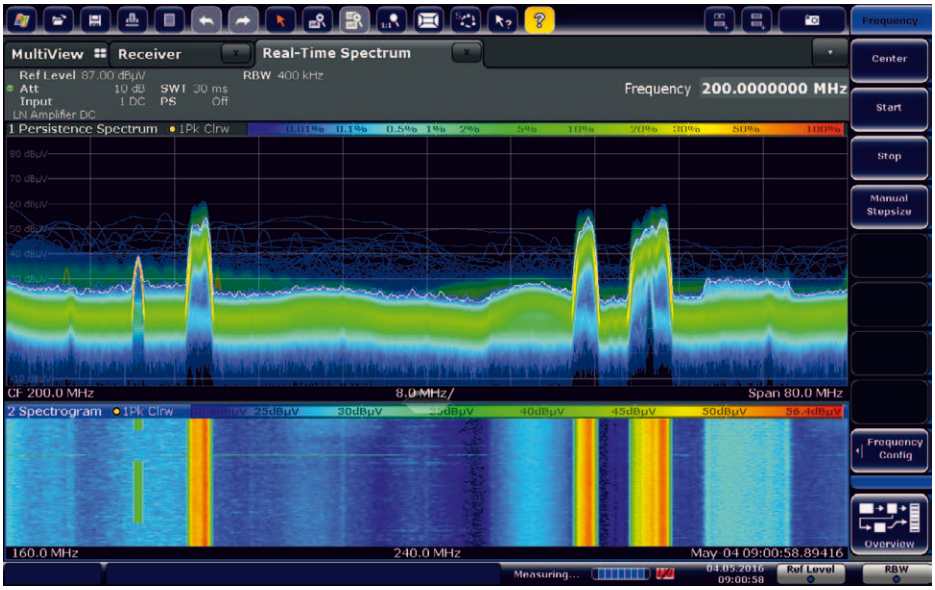

Bild 7: Echtzeitspektrum mit Nutz- und Störsignalen, dargestellt im Nachleuchtmodus

empfänger und dem Zeitbereichsanalysator, eine dritte Option eröffnet, auf die er je nach Messobjekt und persönlicher Vorliebe zurückgreifen kann.

Mit Messmarkern, die man auf die Frequenzen der erkannten Störsignale setzt, lässt sich eine gezielte Störanalyse durchführen. Die Kopplung der Messmarker mit einem CISPR-Bewertungsdetektor erlaubt den Vergleich mit den Grenzwerten. Die Spektrum-Darstellung mit logarithmischer Frequenzachse erleichtert die Diagnose von Messergebnissen über einen weiten Frequenzbereich und sichert die normgerechte Darstellung der Grenzwertlinien. Kritische Frequenzen werden in einer Peak-Liste dargestellt und für die schnelle normkonforme Auswertung des Störspektrums gegen die zulässigen Grenzwerte der Norm verwendet. Im Spektrumanalysator-Modus misst der R&S ESW mit bis zu 200.001 Punkten Auflösung. Im klassischen Messempfänger-Modus werden, mit beliebiger Schrittweite, bis zu 4 Millionen Messpunkte pro Kurve aufgenommen und gespeichert.

Echtzeit-Spektrumanalyse mit bis zu 80 MHz Bandbreite

Optional ist mit dem Messempfänger auch eine Spektrumanalyse in Echtzeit möglich. Mit dieser Funktion lassen sich sporadisch oder kurzzeitig auftretende Störungen aufspüren, wie sie etwa durch Schaltvorgänge verursacht werden. Solche Störungen sind mit herkömmlichen Methoden nur schwer und mit erheblichem Zeitaufwand zu entdecken. Das bis zu 80 MHz breite Echtzeit-Analysefenster stellt das spektrale Geschehen zeitlich lückenlos dar, sodass kein Ereignis übersehen werden kann. Dafür sorgen spezielle Anzeige-Modi, die auch das zeitliche Verhalten von Störern unmittelbar sichtbar machen.

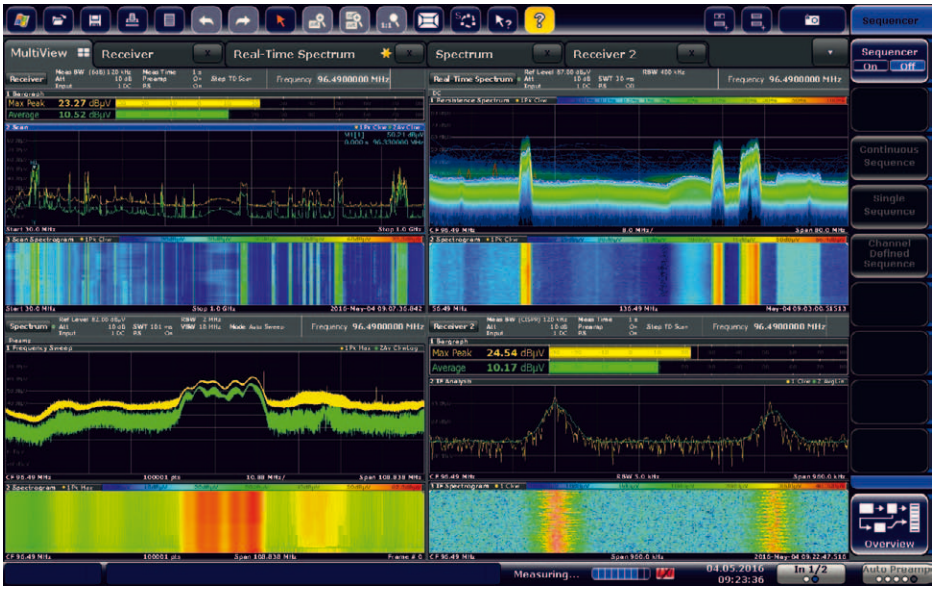

Bild 8: Der MultiView-Anzeigemodus des R&S ESW präsentiert die laufenden Ergebnisse verschiedener Betriebsmodi auf einen Blick

Spektrales Histogramm zur klaren Unterscheidung von Puls- und Dauerstörern

Für die Beurteilung des zeitlichen Verlaufs einer Störung stellt das Messgerät das gemessene Spektrum im zeitlichen Verlauf dar (Spektrogramm) und das in allen Betriebsarten (Scan, TD-Scan, ZF-Analyse, Sweep- und Echtzeitmodus). Dabei werden die Spektren als Linien untereinander gereiht und die Pegelwerte farblich unterschieden. Die Aufzeichnung erfolgt lückenlos und kontinuierlich mit einer Geschwindigkeit von bis zu 10.000 Spektrogrammlinien pro Sekunde. Im Nachleuchtmodus schreibt das Gerät die Spektren in einem einzigen Diagramm übereinander. Die Häufigkeit, mit der der Amplitudenwert einer bestimmten Frequenz auftritt, bestimmt die Farbe des betreffenden Bildpunktes. Sich oft wiederholende Signale werden beispielsweise rot und sehr seltene blau dargestellt. Kommen bestimmte Signale nicht mehr vor, verschwinden sie nach der vorgewählten Nachleuchtzeit. Pulsstörer, die nur zeitweise auftreten, heben sich klar von Dauerstörern ab und sind auch voneinander leicht unterscheidbar (Bild 7).

Panorama-Darstellung der Messergebnisse

Die MultiView-Ansicht (Bild 8) bringt die Messergebnisse aus verschiedenen Betriebsarten gemeinsam auf den 12,1-Zoll-Bildschirm. So kann der Anwender sie direkt miteinander vergleichen: beispielsweise das Spektrum in der Betriebsart Sweep und eine Einzelfrequenzmessung mit der ZF-Analyse-Funktion, auch mit Spektrogrammaufzeichnung. Die Darstellung von beispielsweise vier unabhängigen Einzelfrequenzmessungen ist ebenfalls möglich.

Dokumentation leicht gemacht

Zertifizierungsmessungen sind sorgfältig und umfänglich zu dokumentieren, um bei Bedarf den Konformitätsnachweis führen

zu können. Deshalb muss ein Reportgenerator eines EMV-Messempfängers in den Reports alle wichtigen Informationen zur Messung wiedergeben:

- Beschreibung der Messaufgabe
- verwendeter Standard
- besondere Benutzervorgaben,
- eingesetzte Messverfahren
- Grenzwertlinien und Korrekturwerttabellen
- Grafiken zur Vormessung
- Belastungszustände des Messobjekts
- Nachmesswerte als Tabelle und Grafik

Für die individuelle Interpretation und Kommentierung sollte ebenfalls genügend Platz vorhanden sein. Beim R&S ESW kann der Anwender ein Template für seine Reports anlegen und immer wieder verwenden. Ein Testlabor kann auch mehrere, spezifische Templates für Kunden erstellen, zum Beispiel mit dem jeweiligen Kundenlogo und dann jeweils darauf zugreifen.

Fazit

Mehrere Störmessempfänger von Rohde & Schwarz sind in der Branche als Referenzgeräte anerkannt und haben sich weltweit bewährt. Das neue Flaggschiff R&S ESW übertrifft seine Vorgänger in mehreren entscheidenden Punkten: Das Gerät misst nicht nur schneller, sondern weist auch eine höhere Aussteuerbarkeit, ein niedrigeres Eigenrauschen und geringste Messunsicherheit auf. Das Auffinden und die Analyse von Störern, selbst in komplexen Umgebungen, erleichtern verschiedene Mess-Modi wie z.B.:

- Scan (klassischer Messempfänger)
- zeitbereichsbasierter Scan
- ZF-Analyse
- Spektrumanalyse-Sweep und
- Echtzeit-Spektrumanalyse

Alle sind mit einer Spektrogramm-Darstellung kombinierbar. Das Gerät ist in drei Modellen für die Frequenzbereiche 2 Hz bis 8 GHz, 26 GHz und 44 GHz lieferbar.

Autor

Volker Janssen, ist Diplom-Ingenieur der Nachrichtentechnik mit Schwerpunkt Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik und bei Rohde & Schwarz weltweit als Produktmanager für die EMV-Messtechnik zuständig. ◄