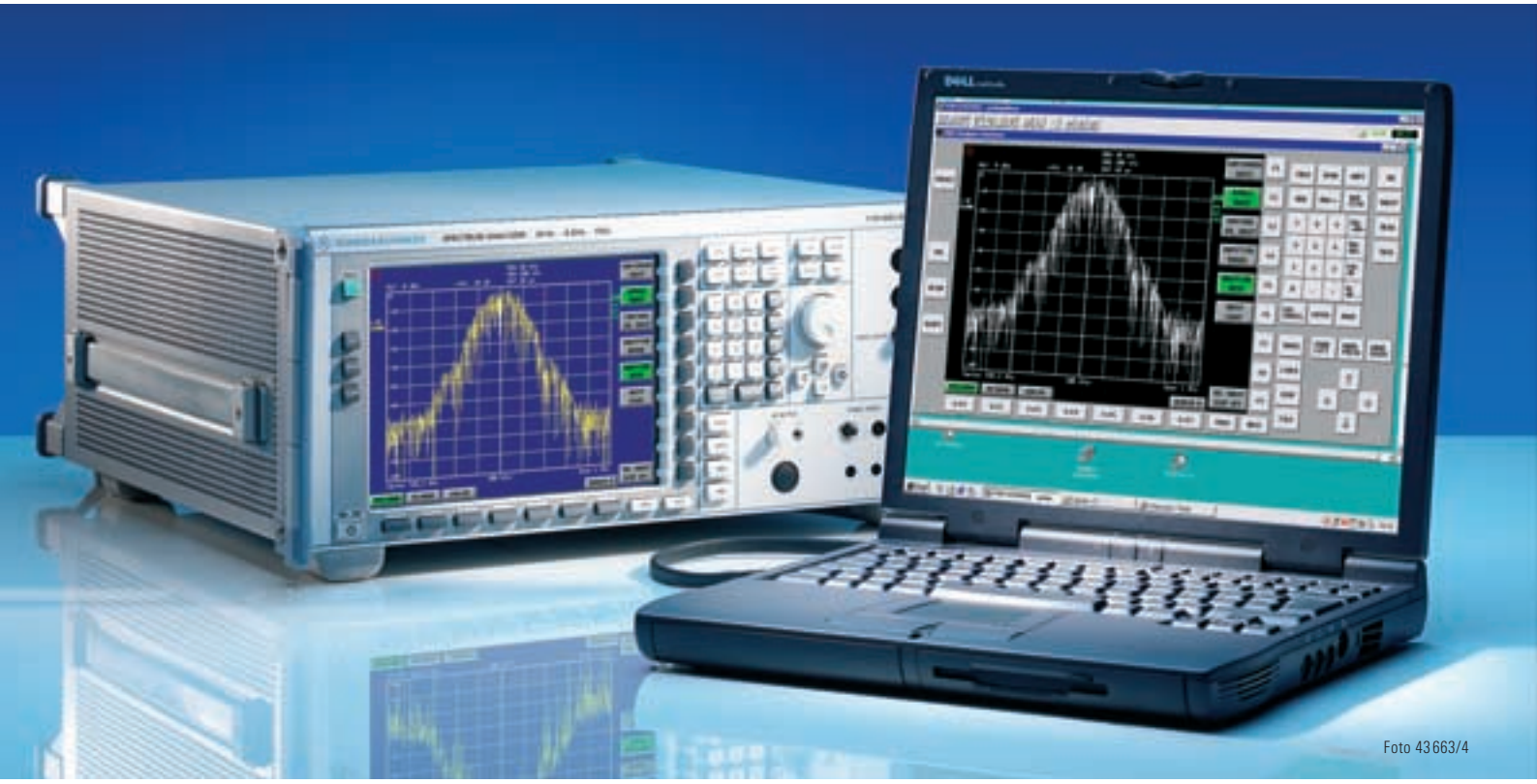

BILD 1 Die FSU-Familie besteht zunächst aus zwei Analysatoren für den HF-Bereich und den unteren Mikrowellenbereich: dem FSU 3 (20 Hz bis 3,6 GHz) und dem FSU 8 (20 Hz bis 8 GHz). Mit der Software PCAnywhere lassen sie sich ferngesteuert per Maus bedienen.

Spektrumanalysator FSU

Beste HF-Werte: High-End-Analysatoren der dritten Generation

Mit den FSU bringt Rohde & Schwarz nun seine dritte Generation von High-End-Analysatoren auf den Markt. Sie setzen – wie die Vorgängergenerationen FSA (1986) und FSE (1995) [1] – wiederum Maßstäbe und bieten Messungen, wie sie bisher mit Spektrumanalysatoren überhaupt nicht oder nur unzureichend möglich waren.

Exzellente HF-Performance

Spitzen-Spektrumanalysatoren unterscheiden sich von Mittelklasse-Geräten durch herausragende HF-Performance, die vor allem bestimmt wird von minimalem Eigen- und Phasenrauschen und besten Intermodulationseigenschaften. Der FSU (BILD 1) greift in diesen Disziplinen künftigen, erhöhten Anforderungen an Messdynamik, -genauigkeit und -geschwindigkeit weit voraus. FSU 3 und FSU 8 basieren auf den General-Purpose-Spektrumanalysatoren der Familie FSP [2], deren HF-Hardware durch ein höchsten Ansprüchen genügendes High-End-Konzept ersetzt wurde.

Der Fortschritt beim FSU zeigt sich vor allem im Großsignalverhalten wie Eigenintermodulation und Kompressionseigenschaften sowie im Phasenrauschen. In den für mobile Kommunikation wichtigen Frequenzbereichen um 1 und 2 GHz garantiert der FSU – erstmalig für einen Spektrumanalysator – einen Intercept-Punkt dritter Ordnung von > +20 dBm, typisch werden sogar +25 dBm erreicht. Der 1-dB-Kompressionspunkt des Eingangsmischers beträgt +13 dBm. Eine derart hohe Aussteuerfähigkeit ist mit einem hohen nutzbaren Mischerpegel verbunden, der Referenzpegel lässt sich ohne HF-Dämpfung bis +5 dBm ein-

stellen (Mischerpegel: Pegel am HF-Eingang abzüglich der Dämpfung des HF-Abschwächers). Alle anderen marktüblichen Spektrumanalysatoren begrenzen den maximalen Mischerpegel auf –10 dBm. Somit stellt der FSU einen wesentlich größeren Dynamikbereich am Bildschirm dar, beispielsweise für Phasenrausch- oder Spurious-Messungen, ohne dass das Trägersignal den Signalzweig übersteuert.

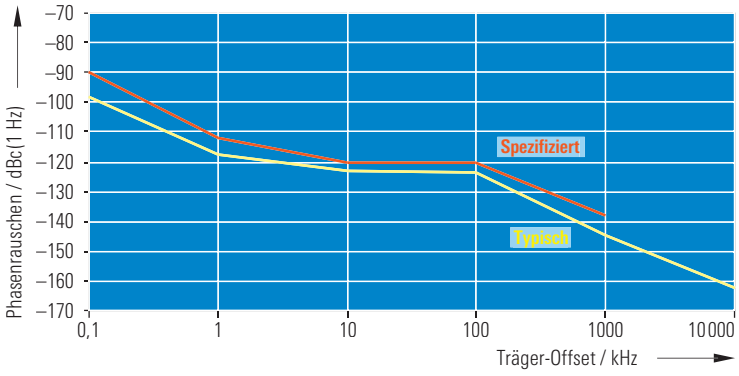

BILD 2 Phasenrauschen des FSU bei einer Eingangsfrequenz von 1 GHz.

Phasenrauschen konkurrenzlos niedrig

Die hohe Aussteuerfähigkeit wird jedoch nicht durch ein erhöhtes Eigenrauschen erkauft; mit <–145 dBm und typisch –148 dBm mittlerer Eigenrauschanzeige bei 10 Hz Auflösebandbreite bleibt der FSU state-of-the-art. Diese hervorragende Dynamik ist das Resultat eines neuartigen, zum Patent angemeldeten symmetrischen Frontend-Designs.

Das Phasenrauschen hat, als weitere Größe, einen besonderen Einfluss auf Messungen dicht belegter Spektren mit stark unterschiedlichen Signalpegeln sowie auf Störleistungs-Messungen in den Nachbarkanälen von Funkübertragungssystemen. Das äußerst geringe Phasenrauschen der FSU-internen Umsetzoszillatoren verhindert, dass sehr kleine Signale überdeckt werden. Bei den breitbandigeren Übertragungssystemen wie WCDMA nach 3GPP ist ein geringes Phasenrauschen weitab vom Träger wichtig. Aber auch Messungen von Störaussendungen, etwa bei GSM, werden oft vom Phasenrauschen begrenzt. Hier bietet der FSU die besten Werte, die ein Spektrumanalysator jemals vorweisen konnte. Bei 10 MHz Träger-Offset beträgt der Phasenrauschabstand beispielsweise –162 dBc(1Hz), wie BILD 2 zeigt. Zur Minimierung des Phasenrauschens bei kritischen Anwendungen und verschiedenen Trägeroffsets kann der Anwender beim FSU – wie auch beim FSA und FSE – die Regelbandbreiten des ersten Umsetzoszillators umschalten. Für allgemeine Einsatzfälle stellt der FSU die Regelbandbreite selbstverständlich auch automatisch ein.

Als Beispiel für die extrem hohe nutzbare Dynamik sei die Nachbarkanalleistungsmessung an einem 3GPP-WCDMA-Signal angeführt. Mit 77,5 dBc Abstand der Nachbarkanalleistung übertrifft der FSU sogar den Signal Analyzer FSIQ von Rohde&Schwarz, der mit 75 dBc die bisher besten Werte am Markt aufwies. BILD 3 zeigt den erzielbaren Nachbarkanal-Leistungsabstand in Abhängigkeit vom angelegten Mischerpegel.

Die 5-dB-Schritte des HF-Eichteilers gewährleisten eine optimale Einstellung des Mischerpegels für maximale Dynamik. Damit erreicht der FSU eine ACLR-Dynamik (ACLR: Adjacent Channel Leakage Ratio) von mindestens 76 dB bei allen HF-Signalpegeln.

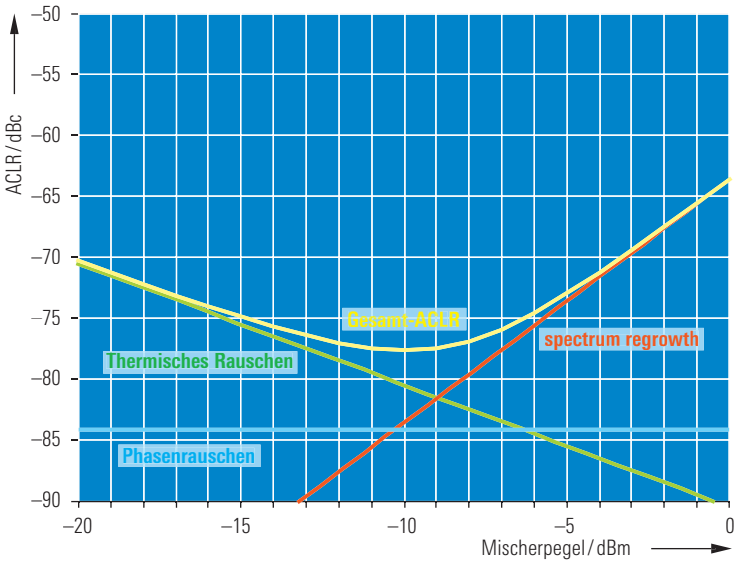

BILD 3 ACLR für ein WCDMA-Signal (Bandbreite 3,84 MHz, Crest-Faktor 12 dB).

Bisher unerreichte Pegelmessgenauigkeit

Neben der HF-Dynamik spielt bei allen Anwendungen die Pegelmessgenauigkeit eine besondere Rolle. Auch in dieser Disziplin wartet der FSU mit bisher unerreichten Werten auf. Ein geringer Pegelmessfehler lässt in der Fertigung mehr Raum für Toleranzen und verhilft so beispielsweise zu einem höheren Ausstoß (BILD 4).

Ein Parameter mit Einfluss auf die Pegelgenauigkeit ist der Frequenzgang des HF-Eingangs. Aufgrund der hervorragenden 50-Ω-Anpassung des ersten Mischers verläuft bereits der unkorrigierte Frequenzgang ausgesprochen eben, so dass der FSU dank umfangreicher Korrekturtabellen für alle Eichleitungsstellungen einen Frequenzgang von nur 0,3 dB bis 3,6 GHz garantiert. Dieser Wert gilt für alle Eichleitungsstellungen ab 10 dB Dämpfung. Der FSU stellt während des Sweeps nach einem von Rohde & Schwarz patentierten Verfahren die Verstärkung des Signalzweigs so ein, dass alle Frequenzgangfehler bis zur ersten Zwischenfrequenz korrigiert werden (BILD 5).

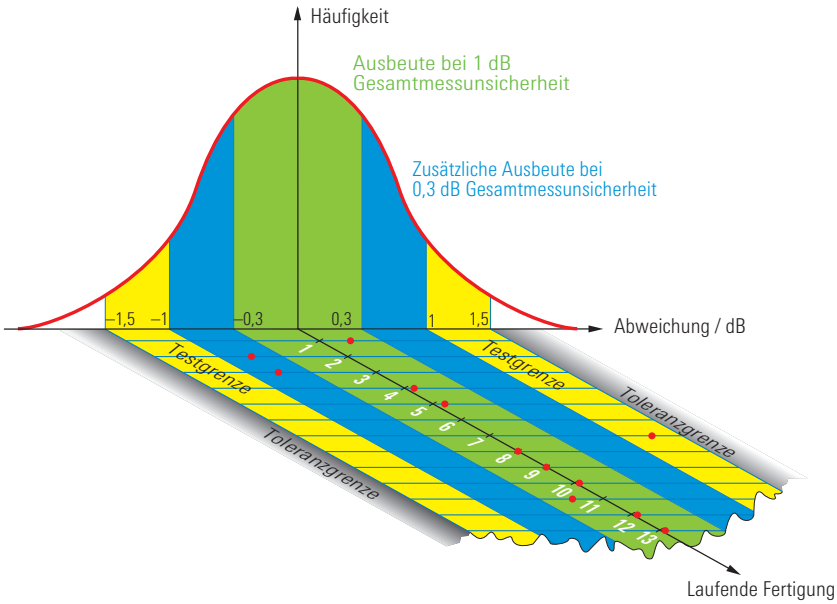

BILD 4 Der extrem genaue FSU kann die Ausbeute in der Fertigung vergrößern.

Die digitalen Filter (10 Hz bis 100 kHz Bandbreite) ergeben einen äußerst geringen Linearitätsfehler der Anzeige. Die Pegellinearität ist praktisch nur von der Linearität des verwendeten 14-bit-A/D-Wandlers der letzten Zwischenfrequenz abhängig, dessen Nichtlinearitäten durch Dithering sehr gering gehalten werden.

Die Linearität der Anzeige, die in konventionellen Geräten von analogen Logarithmierverstärkern abhängt, ist im FSU dank rechnerischer Logarithmierung praktisch fehlerfrei. So sind die Garantiewerte für die Anzeigelinearität des FSU eher ein Problem für die Verifizierung durch externe Messgeräte und deren Rückführbarkeit auf Standards. Der Wandler selbst hat eine Nichtlinearität von etwa 0,03 dB über einen Anzeigebereich von 70 dB. Der mit vertretbarem Aufwand an die Kalibriermittel garantierte Wert für die Anzeigelinearität liegt bei ≤0,1 dB.

Die Gesamtmessunsicherheit des FSU im Frequenzbereich bis 3,6 GHz und 70 dB Anzeigebereich beträgt 0,3 dB (95% Vertrauensintervall), was in vielen Fällen einen Leistungsmesser überflüssig macht und bei selektiver Leistungsmessung zu bisher nicht gekannter Genauigkeit führt, ohne dass umständliche Korrekturverfahren erforderlich sind. Vor allem bei digital modulierten Signalen wie WCDMA trägt der RMS-Detektor erheblich zur genauen und stabilen Leistungsmessung bei, deren Ergebnis von der Signalcharakteristik unabhängig ist. Ihre Reproduzierbarkeit kann der Anwender durch Wahl der Sweep-Zeit beeinflussen.

Das Videosignal zur Leistungsintegration steht im FSU mit einer Auflösung von 24 bit zur Verfügung, woraus für den RMS-Detektor eine uneingeschränkte Dynamik von über 100 dB resultiert.

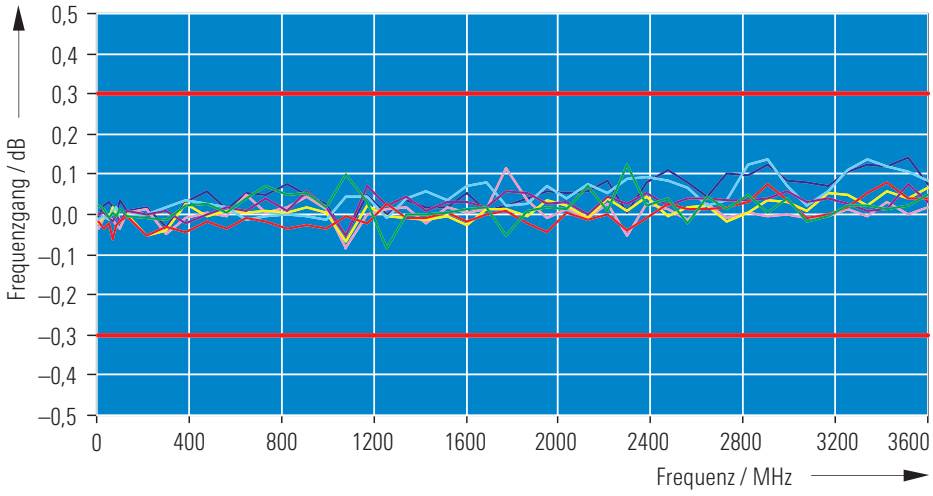

BILD 5 Frequenzgang des FSU zwischen 10 MHz und 3,6 GHz (7 verschiedene Geräte).

Zahlreiche Bandbreiten

Eine wesentliche Eigenschaft von Spektrumanalysatoren sind die Auflösebandbreiten, denn diese bestimmen die Auf-

BILD 6
Der FSU verfügt über alle Detektoren.

lösung der gemessenen Signalspektren. Der FSU bietet eine Vielfalt an Bandbreiten und Filtercharakteristiken. Für sehr kleine Auflösebandbreiten ab 1 Hz bis 30 kHz stehen FFT-Filter zur Verfügung, die vor allem bei der Untersuchung sehr trägernaher Spektren, z. B. dem Phasenrauschen in unmittelbarer Nähe von Oszillatoren, von Vorteil sind. Die Messzeit im Vergleich zu Sweep-Filtern reduziert sich vor allem bei sehr kleinen Bandbreiten durch den FFT-Algorithmus deutlich.

Im Bereich von 10 Hz bis 100 kHz verwendet der FSU digital realisierte Sweep-Filter mit Gaußcharakteristik (Stufung 1/2/3/5). Sie verfügen nicht nur über eine höhere Selektion (Shape-Faktor 60 dB : 3 dB = 4,5) als konventionell realisierte 5-Pol-Filter (Shape-Faktor 60 dB : 3 dB = 9), sondern erlauben aufgrund ihrer exakt bekannten Charakteristiken und ihres Einschwingverhaltens einen um den Faktor 2,5 schnelleren Sweep. Wegen ihrer höheren Selektion lässt sich in vielen Anwendungen ein breiteres Filter verwenden: Eine doppelte Bandbreite reduziert die Ablaufzeit des Sweeps auf ein Viertel.

Schließlich verbessern digitale Sweep-Filter die Messgenauigkeit, weil deren Verstärkung exakt bekannt ist und damit bei der Bandbreitenumschaltung kein zusätzlicher Pegelfehler auftritt.

Im Bandbreitenbereich von 200 kHz bis 50 MHz stehen analoge Sweep-Filter in Stufung 1/2/3/5 zur Verfügung, die bis 5 MHz Bandbreite als 5-Pol-Filter aufgebaut sind. Die Bandbreiten 10 MHz, 20 MHz und 50 MHz sind als fest abgestimmte Kanalfilter ausgeführt. Mit 50 MHz bietet der FSU die größte Bandbreite, die bisher in einem Spektrumanalysator für allgemeine industrielle Anwendung realisiert wurde und trägt damit der Entwicklung breitbandiger Übertragungssysteme Rechnung.

Wie schon der FSP, so enthält auch der FSU zusätzliche Kanalfilter mit nahezu rechteckiger Durchlasscharakteristik, verbunden mit 38 verschiedenen Bandbreiten ab 100 Hz. So sind im FSU und FSP – wiederum erstmals in einem Spektrumanalysator – Root-Raised-Cosine-Filter verfügbar, die bei Leistungsmessungen in den Standards IS 136, TETRA oder WCDMA vorgeschrieben sind. Außerdem stehen Kanalfilter für die Nachbarkanalleistungsmessung nach ETS 300… für analoge Funkübertragungssysteme mit 12,5 kHz oder 25 kHz Übertragungsbandbreite zur Verfügung. Auch hier erlaubt der FSU Messungen, die mit Spektrumanalysatoren bisher nicht oder nur unzureichend möglich waren.

Kompletter Detektor-Satz

Der FSU verfügt über einen kompletten Satz an Detektoren (BILD 6). Neben den üblichen Detektoren Max Peak, Min Peak, Auto Peak und Sample enthält er selbstverständlich auch die bei der FSE-Familie eingeführten RMS- und Average-Detektoren. Für EMI-Übersichtsmessungen lassen sich zusätzlich die Quasi-Peak-Detektoren nach CISPR16 mit den zugehörigen 6-dB-Bandbreiten 200 Hz, 9 kHz und 120 kHz nutzen. Alle Detektoren sind digital realisiert, so dass Erfassungs- und Haltezeiten, Temperaturdrift, Alterung und Umschaltfehler nicht vorhanden sind. Die Trace-Operationen Max Hold, Min Hold und Average sind selbstverständlich implementiert, wobei sich die Mittelwertbildung bei Trace Average sowohl in der logarithmischen als auch in der linearen Skalierung durchführen lässt.

Vielfältige Standard-Funktionen für Labor und Produktion

Für allgemeine Anwendungen im Labor oder in der Produktion bietet der FSU zahlreiche Funktionen, die das Messen wesentlich erleichtern und Fehler vermeiden helfen:

- Zwei unabhängige Messeinstellungen auf Knopfdruck umschaltbar
- Split-Screen-Darstellung mit unabhängigen Messeinstellungen in beiden Fenstern
- 4 Marker oder Delta-Marker
- Rausch-Marker zur Messung der Rauschleistungsdichte
- Phasenrausch-Marker zur Messung des Phasenrauschens von Oszillatoren
- Automatische Intermodulationsmessung zur Bestimmung des Intercept-Punkts dritter Ordnung
- Frequenzzähler mit einer Auflösung von 0,1 Hz bei nur 30 ms Messzeit
- Messung des Amplitudenmodulationsgrades
- AM- und FM-Hördemodulator
- Leistungsmessung im Zeitbereich (Mean, RMS und Peak Power)
- Messung der belegten Bandbreite
- Frei definierbare Grenzwertlinien (absolut oder relativ) mit einstellbaren Grenzwerten und Pass-/Fail-Auswertung

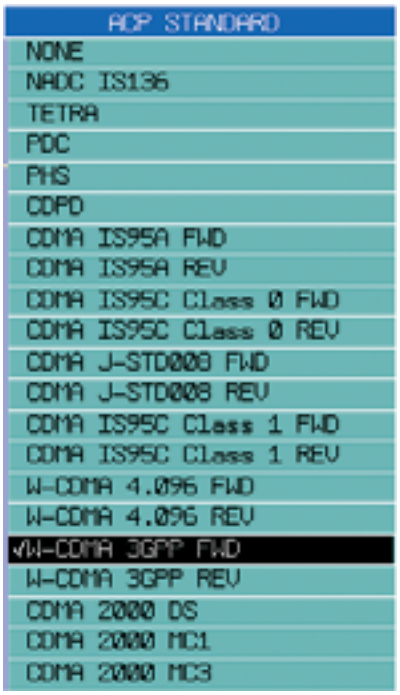

BILD 7 Der FSU stellt für alle wichtigen Übertragungsstandards einfach zu bedienende Funktionen bereit.

Zahlreiche Funktionen für komfortables Messen

Seine hervorragende HF-Dynamik kombiniert der FSU mit einer Reihe von Funktionen, die Messungen speziell an digital modulierten Signalen wesentlich vereinfachen oder sie jetzt mit einem Spektrumanalysator überhaupt erst möglich machen. Besonderes Augenmerk gilt dabei den digitalen Übertragungsverfahren, sei es TDMA wie bei GSM bzw. EDGE oder CDMA wie bei WCDMA nach 3GPP.

Nachbarkanalleistung

Eine der wichtigsten Messungen im Spektralbereich ist die Messung der Nachbarkanalleistung, die feststellt, ob Teilnehmer im Nachbarkanal nicht durch überhöhte Leistungen gestört werden. Der FSU stellt für alle wichtigen Übertragungsstandards (BILD 7) einfach zu bedienende Funktionen bereit, die den Analysator so konfigurieren, dass die betreffende Messung mit richtiger Einstellung und optimaler Dynamik durchgeführt wird. Der Anwender wählt aus einer Liste den gewünschten Standard aus, der FSU stellt dazu Dämpfung und Referenzpegel optimal ein.

Bei allen Standards verwendet der FSU automatisch die vorgeschriebenen Messfilter und errechnet die Leistung in den verschiedenen Kanälen durch Integration der Messwerte innerhalb des Kanals. Dabei gewährleistet der RMS-Detektor sehr präzise und reproduzierbare Messergebnisse. Neben der Integrationsmethode bietet der FSU auch die Messung der Nachbarkanalleistung im Zeitbereich; die Leistung wird über eine wählbare Messzeit in den einzelnen Kanälen gemessen, was im Vergleich zur Integrationsmethode deutlich Zeit spart. So erreicht man beim WCDMA-Standard einen Geschwindigkeitsvorteil um den Faktor 4,5 bei gleich stabilen Messergebnissen. Vor allem in der Massenproduktion ist dies von Vorteil, wenn etwa ein 100-%-Test aller Komponenten durchgeführt werden muss.

Die Messung der Leistung oder Nachbarkanalleistung in TDMA-Systemen erfordert spezielle Funktionen wie Triggerung auf einen TDMA-Burst, Gated Sweep und Messung der Leistung im Zeitbereich. Für die Triggerung erzeugt der FSU eine aus dem HF-Signal abgeleitete einstellbare Schwelle. Mit einer Bandbreite von 50 MHz und der Gated-Sweep-Funktion triggert sie im Zeit- oder Frequenzbereich auf ein TDMA-Signal und misst im gewählten Zeitraum. Messobjekte, die kein Triggersignal zur Verfügung stellen, lassen sich damit ohne Zusatzschaltungen handhaben. Im Zeitbereich misst der FSU die Leistung durch Integration über den gewählten Zeitausschnitt und gibt neben dem numerischen Wert sogar die Standardabweichung aus, die Aufschluss über die Stabilität des Messergebnisses gibt.

Amplitudenstatistik

Digital modulierte Signale enthalten oft neben dem FM-Anteil auch einen AM-Anteil, so zum Beispiel das QPSK-modulierte 3GPP-WCDMA-Signal. Zum Dimensionieren von Sendern und Empfängern interessiert daher nicht nur die mittlere Leistung, sondern auch Leistungsspitzen und deren Häufigkeit. Der FSU misst neben dem Spektrum und dem Zeitverlauf die Amplitudenverteilung von Signalen; die allgemein übliche Darstellung dafür ist die CCDF-Funktion (Comple-

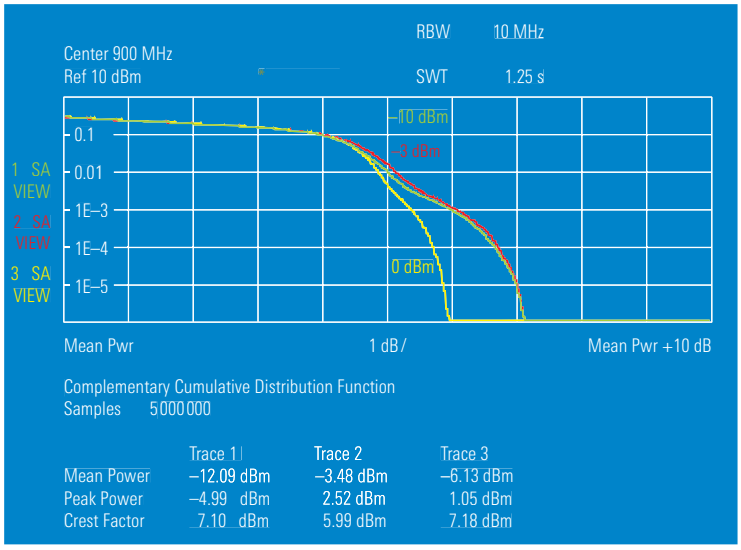

BILD 8 Am Ausgang eines Leistungsverstärkers gemessene CCDF bei verschiedenen Eingangspegeln.

mentary Cumulative Distribution Function). Beginnend mit der mittleren Leistung werden prozentuale Anteile von Leistungsspitzen im Signal dargestellt. BILD 8 zeigt die CCDF eines WCDMA-Signals, gemessen am Ausgang eines Leistungsverstärkers bei verschiedenen Eingangspegeln. Mit dieser Funktion fügt der FSU der Beurteilung von HF-Signalen eine weitere Dimension hinzu.

IQ-Daten

Für Anwendungen, die außer dem Betrag auch die Phase eines HF-Signals benötigen, stellt der FSU die Inphase- und die Quadraturkomponente über IEC-Bus oder LAN-Schnittstelle bereit. Er speichert die Daten in je einem halben Mega-Worte tiefen RAM. Die Abtastrate von maximal 32 MHz für das IQ-Signal und die Speicherlänge (0,5 k bis 0,5 M) sind konfigurierbar.

Hohe Messgeschwindigkeit

Für den Einsatz von Spektrumanalysatoren in der Produktion ist außer der Messgenauigkeit ein hoher Durchsatz ein absolutes Muss. Der Durchsatz bestimmt die Höhe der Investition, die für ein bestimmtes Produktionsziel notwendig ist.

Eine hohe Messrate sowohl bei manuellem als auch bei ferngesteuertem Betrieb ist Grundvoraussetzung für hohe Messgeschwindigkeiten. Mit 25 Messkurven-Abbildungen pro Sekunde sorgt der FSU für angenehmes Arbeiten beim Abgleichen. Im Fernsteuerbetrieb ist er mit mehr als 60 Messkurven zu je 625 Punkten über IEC-Bus oder ein LAN-Interface im Zero-Span extrem schnell.

Dies sagt jedoch noch nicht alles über die Geschwindigkeit aus, mit der sich Messungen mit dem FSU durchführen lassen. Intelligente Messroutinen und Funktionen in diesem High-End-Gerät tragen wesentlich dazu bei, aufgabenbezogen einen „Messungs-Overhead" zu vermeiden. So verfügt der FSU über die Betriebsart Frequency List, in der über die Fernsteuerschnittstelle ein Satz von Frequenzen samt zugehörigen Einstellungen wie Bandbreite, Detektor, Messzeit und Referenz-Pegel definiert wird. Auf Kommando misst der FSU bei den vorgegebenen Frequenzen und gibt das Ergebnis als Datensatz aus. Damit werden beispielsweise bei der Harmonischen-Messungen nur die interessierenden Frequenzen erfasst und nicht interessierende Frequenzbereiche übersprungen. Und schließlich trägt die kurze Einstellzeit des FSU-Synthesizers zur Beschleunigung der Messungen bei.

FSU kompatibel zum FSE

Die FSU-Familie erweitert technisch die Möglichkeiten der FSE-Familie. Damit kommt der Kompatibilität vor allen bei der Fernsteuerung besondere Bedeutung zu. Bisherige Investitionen in Testprogramme sind beim Umstieg auf den FSU nicht verloren, denn er ist zum FSE bzw. FSIQ Befehls-kompatibel, soweit die Funktionen auch in beiden Familien enthalten sind. Sogar Funktionen, die beim FSU anders implementiert sind als beim FSE – etwa der Summary Marker – sind im Befehlssatz des FSU enthalten und lassen sich weiter nutzen.

Josef Wolf

Weitere Informationen und Datenblatt unter www.rohde-schwarz.com (Suchbegriff FSU)

LITERATUR

[1] Spectrum Analyzer FSEA/FSEB: Neue Dimensionen in der Spektralanalyse. Neues von Rohde&Schwarz (1995) Nr. 148, S. 4–8.

[2] Spektrumanalysator FSP: Mittelklasse mit High-End-Ambitionen. Neues von Rohde&Schwarz (1999) Nr. 166, S. 4–7.

WEITERE LITERATUR

– Measurement of Adjacent Channel Leakage Power on 3GPP W-CDMA Signals with the FSP. Application Note 1EF41.

Kurzdaten Spektrumanalysator FSU

Frequenzbereich FSU3 / FSU8	20 Hz…3,6 GHz / 8 GHz
Amplitudenmessbereich	–155 dBm…30 dBm
Amplitudendarstellbereich	10 dB…200 dB, 10-dB-Schritte, linear
Amplitudenmessunsicherheit	<0,3 dB (bis 3,6 GHz), <2 dB (3,6 GHz…8 GHz)
Auflösebandbreiten	1 Hz…30 kHz, FFT-Filter in Schritten von 1/2/3/5, 10 Hz bis 20 MHz in Schritten von 1/2/3/5 und 50 MHz, EMI-Bandbreiten 200 Hz, 9 kHz und 120 kHz, Kanalfilter 100 Hz bis 4,096 MHz
Detektoren	Max Peak, Min Peak, Auto Peak, Sample, Average, RMS, Quasi-Peak
Display	21 cm (8,4") Farb-TFT-LC, SVGA-Auflösung
Fernsteuerung	IEC 625-2 (SCPI 1997.0), RS-232-C, LAN über 100Base-T
Abmessungen (B x H x T)	465 mm x 197 mm x 517 mm
Gewicht FSU3 / FSU8	14,6 / 15,4 kg