Ultra-Low Noise Option für TDEMI X ermöglicht niedrigstes Rauschen bis 40 GHz

Emissionsmessungen wurden traditionell im Frequenzbereich mittels Superheterodyn-Empfängern durchgeführt. Der Vorteil dieses Verfahrens bestand darin, eine hohe Empfindlichkeit und niedriges Rauschen zu erreichen. Der Nachteil besteht allerdings darin, dass die einzelnen Frequenzpunkte sequentiell nacheinander gemessen werden müssen und daher sehr lange Messzeiten entstehen.

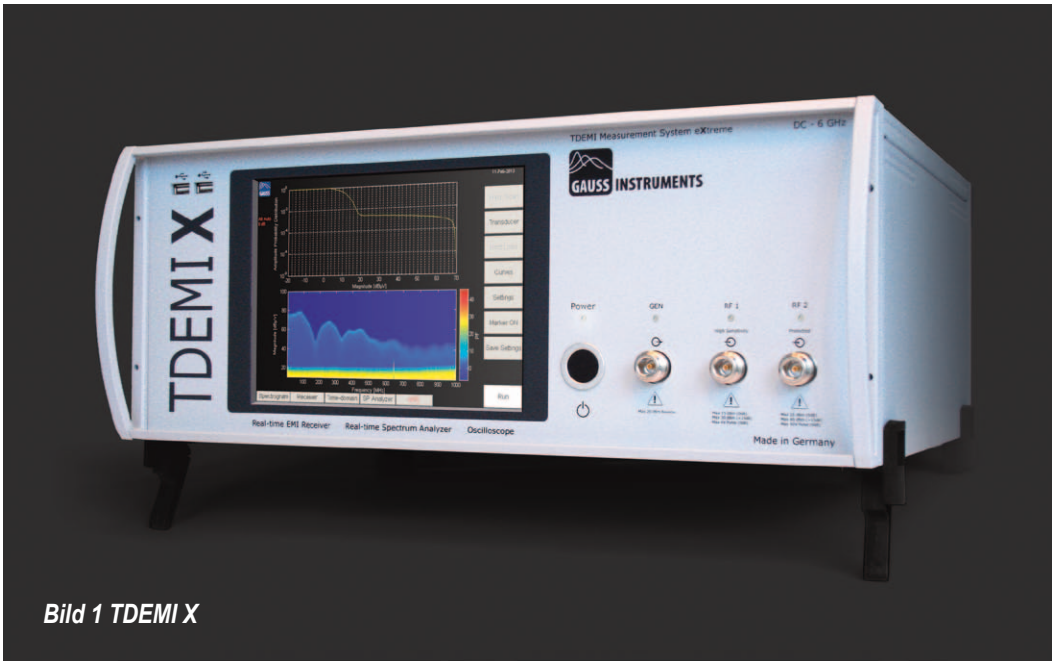

Bild 1 TDEMI X

Erste Messempfänger, basierend auf dem Superheterodynprinzip, wurden bereits in den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts von Siemens, General Electric [1] sowie Stoddard gebaut und zur Messung elektromagnetischer Störungen eingesetzt. Modernere Funkstörmessempfänger führen die Filterung des Zwischenfrequenzsignals sowie die Bewertung mittels Detektoren bereits digital durch. Dadurch konnte eine Verbesserung der Reproduzierbarkeit von Emissionsmessungen erreicht werden. Da bei einer Emissionsmessung jedoch mehrere tausend Frequenzpunkte gemessen werden müssen und dies bei solchen Funkstörmessempfängern üblicherweise sequentiell erfolgt, ergeben sich bei derartigen Messungen für eine Charakterisierung der Störaussendungen eines Messobjektes leicht mehrere Stunden Messzeit.

Mittels diskreter Fouriertransformation (DFT) lässt sich das Spektrum aus einem Signal im Zeitbereich berechnen. Ein Berechnungsverfahren der DFT, welches die Anzahl der Multiplikationen reduziert, ist die sogenannte schnelle Fouriertransformation (engl. fast Fourier transform, FFT) [2]. Ein weiteres Verfahren, welches aus einem Signal im Zeitbereich ein Spektrogramm berechnet, ist die Kurzzeit-FFT (engl. Short time FFT, STFFT) [3].

Allerdings genügt alleine die Durchführung einer FFT nicht, um gleiche Ergebnisse bzw. Anzeigen wie mit einem konventionellen Messempfänger zu erreichen. Hierzu sind Signalverarbeitungsmethoden notwendig, welche über die bloße Berechnung einer FFT deutlich hinausgehen. Beispielsweise wird die FFT zusammen mit Fensterfunktionen eingesetzt, um sogenannte spectral leakage Effekte zu minimieren. Bei einem herkömmlichen Messempfänger spricht man hier von Nebenempfangsstellen. Um exakt gleiche Messergebnisse bei Einzelfrequenzpunktmessung, wie mit einem klassischen Messempfänger nach Superheterodynprinzip, und einem Mehrkanalmessempfänger mit FFT, welcher somit an vielen Frequenzpunkten gleichzeitig misst, zu erhalten, muss ein analytischer Zusammenhang zwischen Filterkoeffizienten des ZF-Filters und den Koeffizienten der verwendeten Fensterfunktion hergestellt werden. Dieser kann eindeutig berechnet werden, soll aber hier aufgrund der Komplexität nicht näher erläutert werden [4].

Weiter muss die Dynamik der verwendeten Analog-Digital-Wandler ausreichend sein, um die typischen Signale, welche im Bereich der EMV-Prüfungen auftreten, mit hohem Signal-Rausch-Abstand erfassen zu können. Im letzten Jahr wurden hier von der Firma Gauss Instruements weitere Analog-Digital-Wandler Systeme realisiert, welche es ermöglichen, einen nochmals deutlich verbesserten Signal-Rausch-Abstand zu erreichen, verglichen mit der Technik vor wenigen Jahren. Messgeräte die diese Anforderungen erfül-

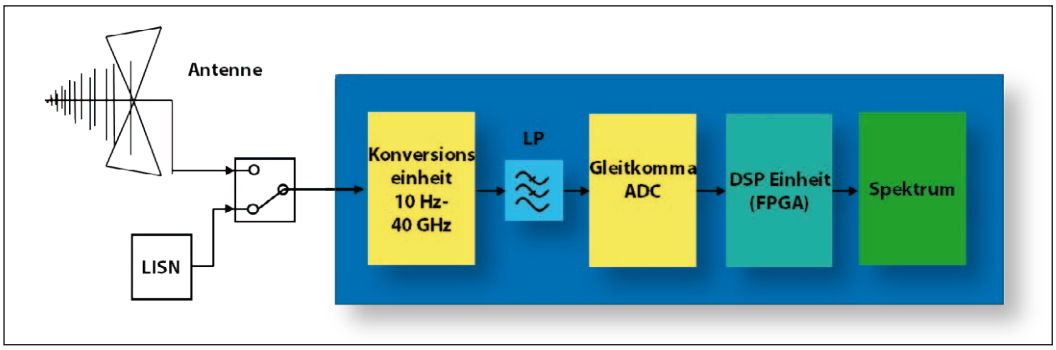

Bild 2: EMV-Zeitbereichsmesssystem TDEMI eXtreme

Autoren:
Stephan Braun
Arnd Frech
GAUSS INSTRUMENTS GmbH
München

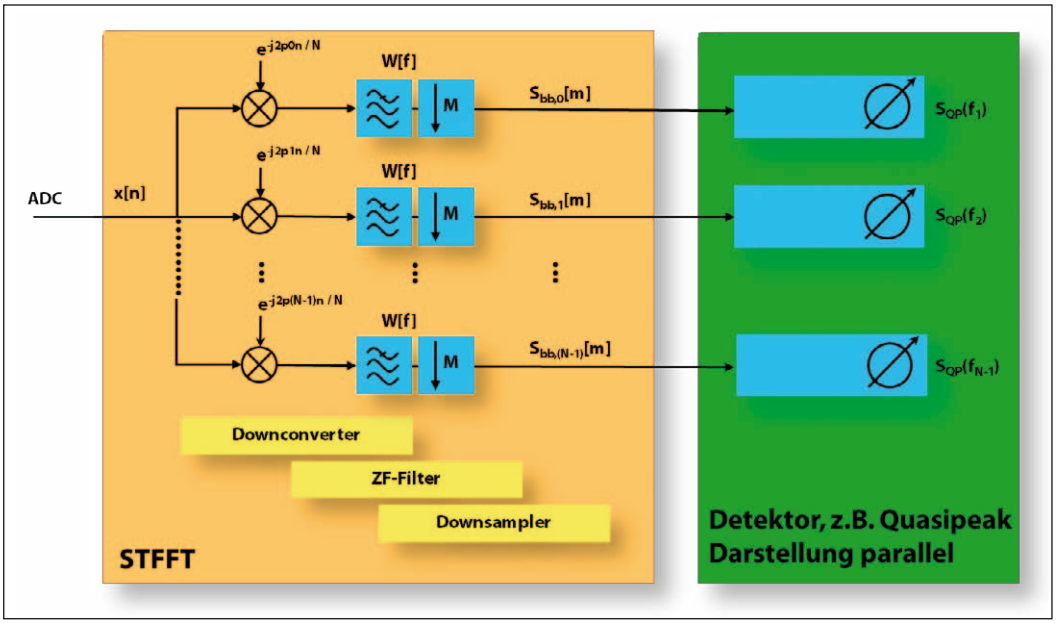

Bild 3: Mehrkanalmessempfänger-Umsetzer, Filterbank, Dezimator und Detektor

len, dürfen für Zertifizierungsmessungen eingesetzt werden. Im Frequenzbereich oberhalb der sog. Nyquistfrequenz der Analog-Digital-Wandler wird zudem eine mehrstufige und sehr breitbandige Frequenzumsetzung eingesetzt. Die Anforderungen an eine solche Frequenzumsetzung sind unter anderem eine Echtzeitbandbreite von einigen hundert MHz, sowie ein geringes Rauschen. Es wurden bereits in der Vergangenheit Konzepte vorgestellt, die einen mit einem Superheterodynempfänger vergleichbaren Rauschboden bieten [10]. Für die Geräteserie TDEMI eXtreme (TDEMI X), in Bild 1 dargestellt, ist nun eine ultra Low Noise Option verfügbar, die mittels spezieller Low Noise Amplifier (LNAs), Filterbänke und MMICs einen Rauschboden von weniger als -167 dBm/Hz (0 dBµV bei 1 MHz ZF-Bandbreite) bei 40 GHz erreicht.

Technische Funktionsweise des TDEMI X

Im Basisband wird das Eingangssignal mittels einer Analog-Digital-Wandler-Einheit zur Messung im Frequenzbereich 9 kHz - 1 GHz abgetastet und digitalisiert. Für Messungen oberhalb des Basisbands bis 1 GHz erfolgt eine breitbandige Frequenzumsetzung. Die spektrale Berechnung erfolgt mittels Kurzzeit-FFT. Ein Blockschaltbild eines TDEMI X ist in Bild 1 dargestellt. Für gestrahlte Emissionsmessung verwendet man typischerweise breitbandige logarithmisch-periodische Antennen. Alternativ können Messungen mittels Absorberzangen oder Netznachbildungen durchgeführt werden. Zur Untersuchung der Einkopplung an Antennen in einem Kfz kann das TDEMI X direkt angeschlossen werden. Durch das mehrstufige Analog-Digital-Wandler-System erfolgt die Digitalisierung in eine Gleitkommazahl. Hierzu werden nach neuestem Stand der Technik zwei 12-Bit Analog-Digital-Wandler kombiniert eingesetzt.

Dies erlaubt es, einen äquivalenten Dynamikbereich von ca. 22 Bit zu erreichen, womit es einerseits möglich ist eine hohe Empfindlichkeit von ca. -25 dBµV (CISPR Band B) zu erreichen und andererseits gleichzeitig Pulse von mehreren Volt vollständig zu erfassen.

Mittels leistungsfähiger FPGAs mit einer Rechenleistung, welche ca. 100 handelsüblichen PCs entspricht, erfolgt die Auswertung in einer Bandbreite von 325 MHz lückenlos in Echtzeit. Heute können bis zu 64000 Frequenzpunkte gleichzeitig gemessen werden. Zudem wurde die Dynamik nochmals um ca. 25 dB und der Frequenzbereich bis 40 GHz erweitert.

Mehrkanalempfänger

Die Kurzzeit-FFT wird als eine FFT-Berechnung über einen begrenzten Abschnitt verstanden, welche im Zeitbereich verschoben wird. Mittels Kurzzeit-FFT wird ein Spektrogramm berechnet, welches einer Darstellung des Spektrums über der Zeit entspricht. Während stationäre Signale ein konstantes Spektrum über der Zeit aufweisen, zeigt sich beim Spektrogramm außerdem das instationäre Verhalten des Störsignals. Die mathematische Definition der Kurzzeit-FFT ist gegeben durch:

$$Z[m,k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]w[n-m]e^{\frac{-j2\pi kn}{N}}.$$

Da die Fensterfunktion w[n] symmetrisch ist, existieren mehrere Möglichkeiten diese Gleichung zu vereinfachen, wobei w[n] das ZF-Filter eines Messempfängers nachbildet [6]. Üblicherweise wird diese Fensterfunktion gaussförmig ausgeführt, da hier ein exakter analytischer Zusammenhang zwischen dem Gaussfilter eines digitalen Messempfängers und dem Mehrkanalgaussfilter eines Mehrkanalmessempfängers wie dem TDEMI X hergestellt werden kann.

Aus der Fachliteratur kann entnommen werden, dass die Kurzzeit-FFT äquivalent zu einer Anordnung von Basisbandmischern und einer Filterbank ist [7]. Die Kurzzeit-FFT kann somit ebenfalls aus der Anordnung einer Filterbank hergeleitet [8] werden. Das Verhältnis des Dezimators ist gegeben durch:

$$M = f_s / f_{sbb},$$

wobei f_s die Abtastrate des Analog-Digital-Wandlers ist, und f_{sbb} die inverse Schrittweite der Kurzzeit-FFT, welche der Basisbandabtastfrequenz entspricht. Die Basisbandabtastfrequenz fsbb muss so groß sein, dass die Nyquistbedingung im Basisband eingehalten wird. Eine zu geringe Abtastrate führt zu Abweichungen und Messfehlern bei transienten Signalen.

Um einen Mehrkanalmessempfänger zu erhalten, muss anschließend an jedem Frequenzpunkt digital demoduliert werden, sowie eine digitale Implementierung der Detektoren erfolgen. Die Realisierung eines solchen Mehrkanalempfängers, wie im TDEMI X realisiert, ist in Bild 2 dargestellt.

Im Unterschied zu einem Mehrkanalmessempfänger müssen bei der Implementierung eines Mehrkanalspektrumanalysators, wie ebenfalls im TDEMI X realisiert, die Signale an jedem Frequenzpunkt logarithmiert werden und mit einem Videofilter tiefpassgefiltert werden. Anschließend erfolgt die Anzeige mittels eines MaxPeak, Sample oder MinPeak Detektors.

Frequenzumsetzung mit Ultra Low Noise Option

Im Frequenzbereich bis 40 GHz wird eine sehr breitbandige Vorselektion verwendet. Die Konvertereinheit verwendet ein Mischerschema, das es er-

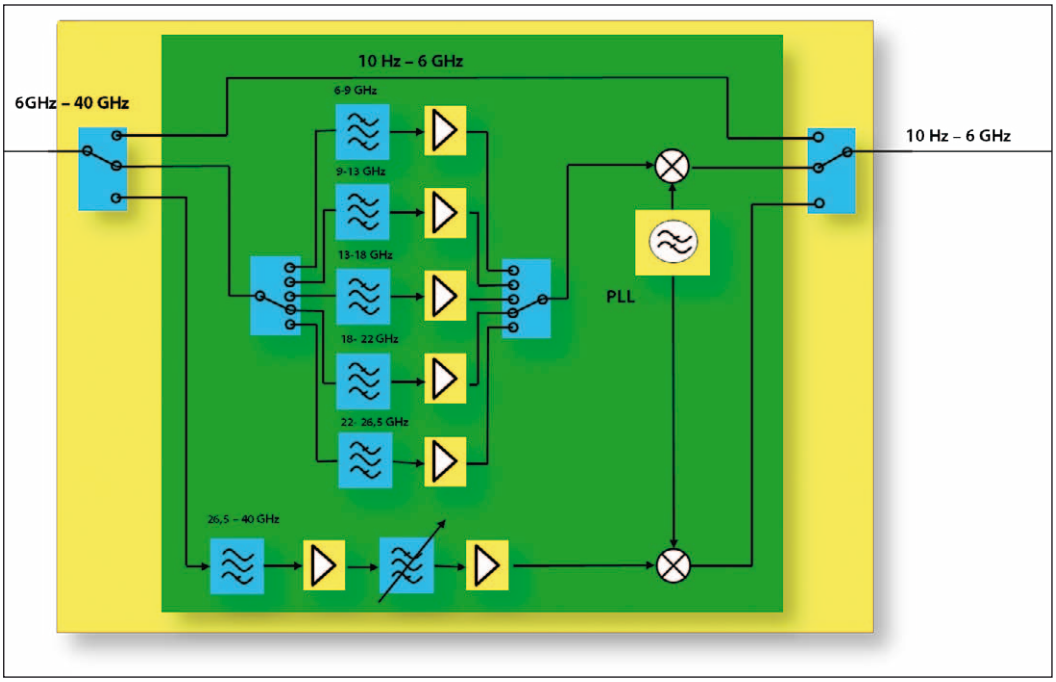

Bild 4: Frequenzumsetzung 6 GHz - 40 GHz

möglicht Spiegelfrequenzen und andere Mischprodukte zu unterdrücken und gleichzeitig eine Echtzeitbandbreite von 325 MHz zur Verfügung zu stellen. Ein vereinfachtes Blockschaltbild der Konvertereinheit im Frequenzbereich von 6 GHz bis 40 GHz ist in Bild 4 dargestellt. Im Bereich 6 GHz - 26,5 GHz wird eine feste Filterbank verwendet, wobei in jedem Filterpfad ein Low Noise Amplifier mit einer Rauschzahl von ca. 2 dB integriert ist.

Oberhalb von 26,5 GHz wird ein Hochpassfilter verwendet, gefolgt von Low Noise Amplifiern mit einer Rauschzahl von ca. 1.5 dB und durchstimmbaren MMIC-Filtern bis 40 GHz. Die verwendete PLL weist eine hohe spektrale Reinheit auf und umfasst den Frequenzbereich 10 GHz bis 34 GHz. Hierdurch entfällt eine weitere Kaskadierung des Bereichs oberhalb von 26.5 GHz, was - neben einem nochmals verbesserten Rauschboden - auch eine verbesserte Dynamik zur Folge hat. Weiter kommen ausschließlich sogenannte Triple-Balanced-Mischer zum Einsatz, welche einen sehr hohen 1-dB-Kompressionspunkt erreichen und sich durch sehr geringe parasitäre Mischprodukte auszeichnen.

Anzeigegenauigkeit

Üblicherweise müssen bei Messungen im Bereich bis 40 GHz externe Vorverstärker eingesetzt werden, um ein geringes Eigenrauschen zu erhalten. Externe Vorverstärker haben jedoch den Nachteil, dass diese breitbandig vom Signal der Antenne ausgesteuert werden und somit Intermodulation und Oberwellen entstehen können. Ein weiterer Nachteil ist die Temperaturabhängigkeit solcher Verstärker, welche die Anzeigegenauigkeit des Systems verschlechtert. Durch die integrierte Ultra Low Noise Option ist der Rauschboden beim TDEMI X im Frequenzbereich oberhalb 6 GHz bis 40 GHz derart niedrig, dass auf einen externen Vorverstärker verzichtet werden kann. Die internen Vorverstärker sind durch eine Vorselektion außerdem geschützt und zeigen geringe Abweichungen, so dass eine hohe Anzeigegenauigkeit erreicht wird.

Bild 5 zeigt eine Histogrammdarstellung der Abweichungen von Messwerten im Bereich 6 GHz bis 40 GHz. Es ist zu erkennen, dass die Standardabweichung annähernd der Messunsicherheit entspricht.

EMV Normen

Grundsätzlich sind die EMV Normen technologieunabhängig, d.h. technologieneutral verfasst. Die Norm CISPR 16-1-1 schreibt nur ein Anzeigeverhalten für Pegel und Signale vor. Es geht aus der Norm CISPR 16-1-1 nicht hervor, ob es sich um einen analogen Empfänger nach Superheterodynprinzip, einen Geradeausempfänger, einen teildigitalen Messempfänger oder einen volldigitalen Messempfänger, d.h. um ein EMV-Zeitbereichsmesssystem handeln muss. Auch ist nicht definiert, dass man nur an einem Frequenzpunkt gleichzeitig messen darf. In den MIL461 und VG Normen ist die Beschreibung noch technologieneutraler. Hier wird z. T. nur von einem frequenzselektiven Messgerät gesprochen. Frequenzselektive Messgeräte sind alle Messgeräte, welche eine Anzeige des Pegels über die Frequenz liefern. Da im Automotive-Bereich vorwiegend die Norm CISPR 16-1-1 und MIL461 für den unteren Frequenzbereich angewendet werden, wird im Nachfolgenden auf diese beiden Normen im Detail eingegangen.

CISPR 16-1-1

Die Norm CISPR 16-1-1 [8] verlangt ein exakt definiertes Anzeigeverhalten eines Instruments für unterschiedliche Prüfsignale. Dabei wird unterschieden zwischen:

- Anzeigeverhalten für Sinus und Pulsfolgen
- Anforderungen an die Dynamik
- Anforderungen für Ein- und Ausgänge

Die CISPR 16-1-1 unterscheidet zwischen den Frequenzbändern A, B, C/D, E. Zu jedem Band muss das Messinstrument eine

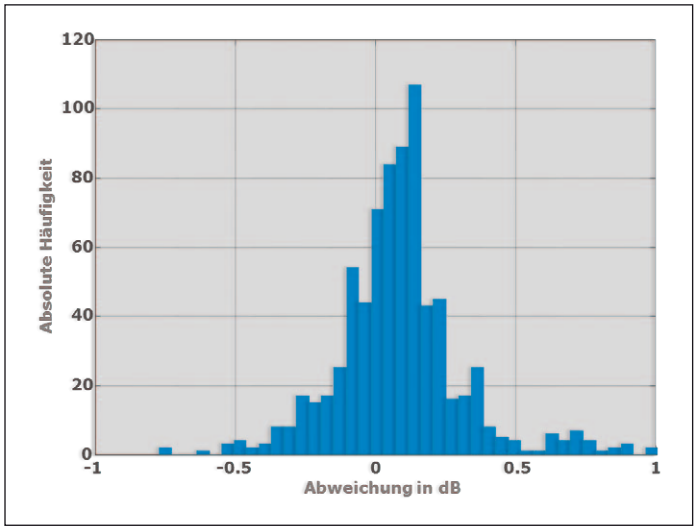

Bild 5: Statistische Verteilung der Abweichungen im Frequenzbereich 6 GHz - 40 GHz

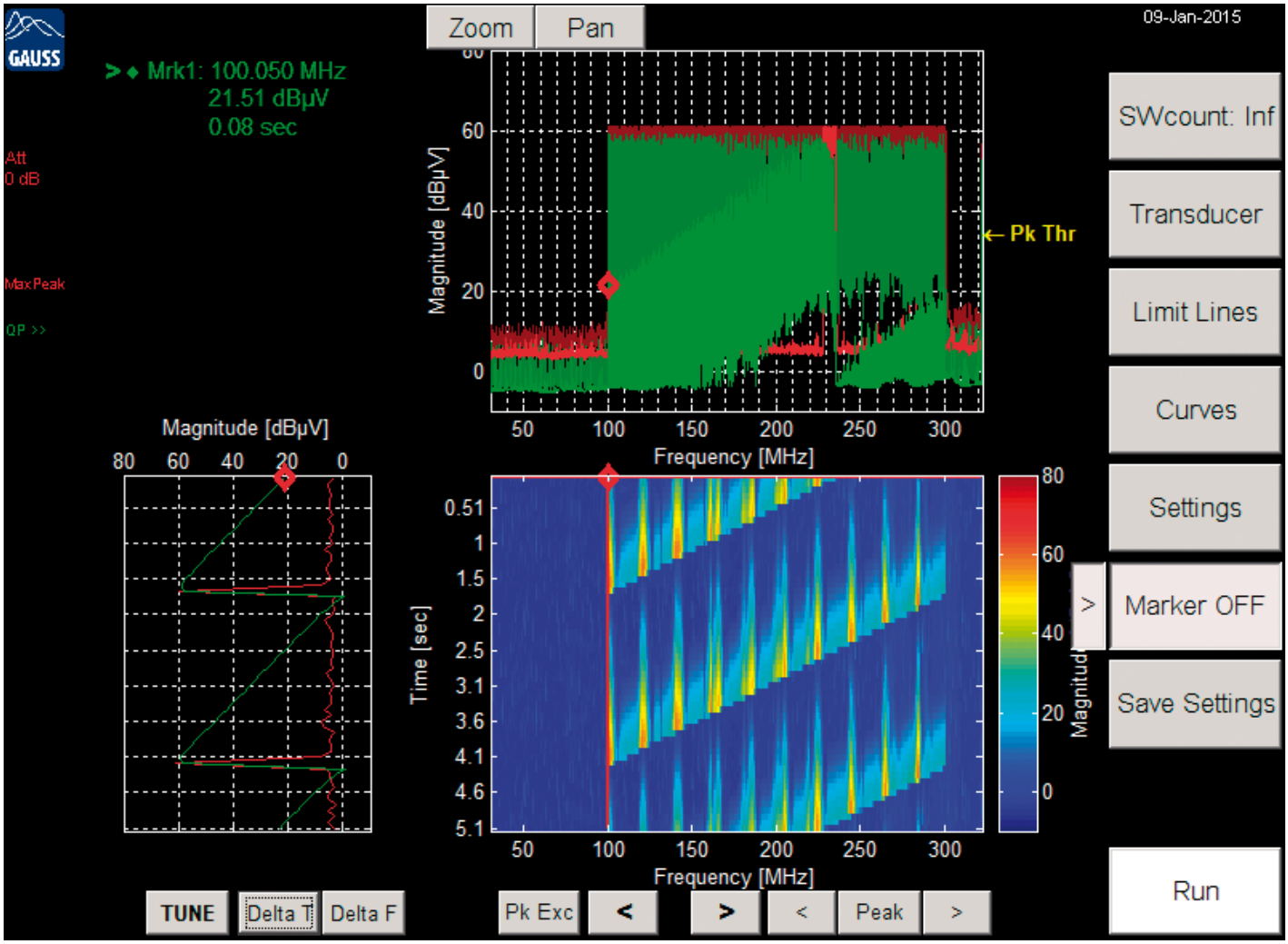

Bild 6: Spektrogrammmodus mit Quasipeak (QP) und Spitzenwert (MaxPeak) parallel, 325 MHz Echtzeitbandbreite

genormte ZF-Bandbreite bereitstellen, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erzielen. Für die einzelnen Bänder A, B, C/D sind dann jeweils noch unterschiedliche Zeitkonstanten für den Quasispitzenwertdetektor definiert. Ferner werden die ZF-Bandbreiten als 6-dB-Bandbreiten definiert.

Die Geräteserien TDEMI eXtreme und TDEMI Standard der Firma Gauss Instruments verwenden die Kurzzeit-FFT und erfüllen das nach CISPR 16-1-1 vorgegebene Anzeigeverhalten vollständig und können somit für Abnahmemessungen eingesetzt werden.

Die Norm CISPR 16-1-1 geht traditionell davon aus, dass ein Messgerät nur gleichzeitig an einem Frequenzpunkt eine Messung durchführen kann, wobei die Messung über die Messzeit hinweg kontinuierlich ist. Messgeräte wie z.B. die TDEMI-X-Geräte, welche eine harte Echtzeitbedingung erfüllen und eine unbegrenzte Messzeit für Quasipeak ermöglichen, können außerdem für Messungen nach CISPR 16-2-X eingesetzt werden.

Sogenannte FFT-Analysatoren können keinen echten Mehrkanalempfänger nachbilden. Dies hängt damit zusammen, dass weder die ZF-Selektivität, noch die nachfolgenden Einheiten wie Detektoren nachgebildet werden. Des Weiteren arbeiten diese nicht lückenlos. FFT-Analysatoren, bzw. Oszilloskope mit FFT- Funktionalität können deshalb nicht für EMV-Messungen sinnvoll oder gar normgerecht eingesetzt werden.

MIL 461

Die Norm MIL 461 beschreibt einen Messempfänger, welcher dekadische 6-dB-Bandbreiten zur Verfügung stellt. Da die Norm CISPR 16-1-1 nur den Frequenzbereich 9 kHz - 18 GHz abdeckt, kommen üblicherweise unterhalb von 9 kHz und oberhalb 18 GHz Messempfänger nach der Norm MIL461 zum Einsatz. Derartige Messempfänger bieten die Bandbreiten 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz, sowie üblicherweise einen Spitzenwertdetektor zur Bewertung.

Frequenzbereich	Band	Scanzeit klassisch ca.	Scanzeit TDEMI X ca.
9 kHz - 150 kHz	A	24 Minuten	1 s
150 kHz - 30 MHz	B	1:40 Stunden	1 s
30 MHz - 300 MHz	C	1:30 Stunden	2s
30 MHz - 1 GHz	C/D	5:25 Stunden	7s

Tabelle 1 Typische Scanzeiten Superheterodynempfänger im Vergleich zu TDEMI X

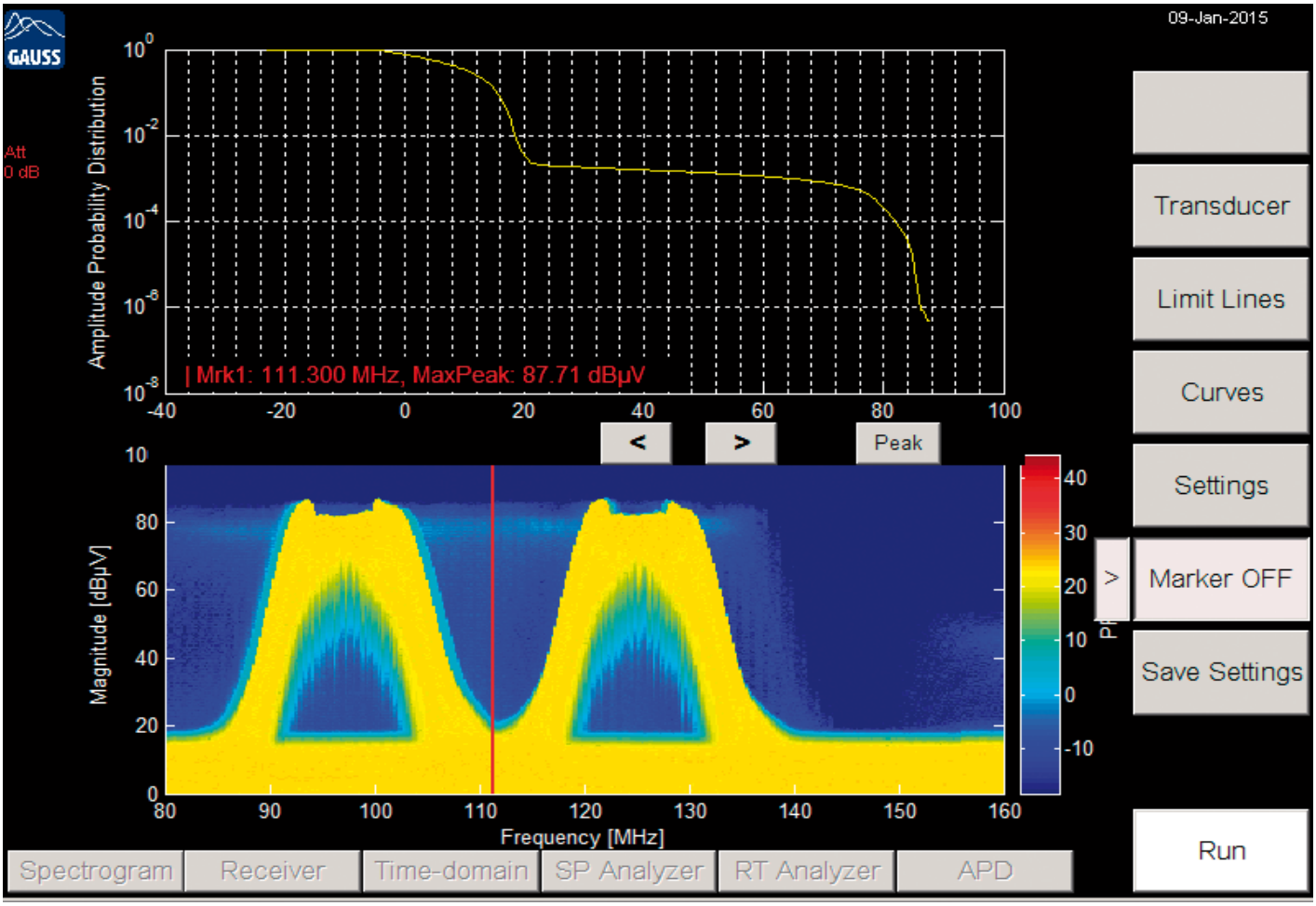

Bild 7: Nachleuchtfunktion und APD Messfuanktion

Funktionen für Emissions-messungen

Scanzeiten im Messempfängermodus

Üblicherweise werden Emissionsmessungen nach zivilen Normen mit dem Quasispitzenwert-Detektor durchgeführt. Typische Scanzeiten für die Emissionsmessungen mit dem Quasi-Spitzenwert-Detektor unter Verwendung eines Superheterodynempfängers (klassisch) sind in Tabelle 1 dargestellt und mit dem TDEMI X verglichen.

Durch den Einsatz modernster Digitaltechnik, den sehr hohen Grad an Parallelisierung von ca. 16000 Quasispitzenwert-Detektoren und der Nachbildung eines Messempfängers an bis zu 16000 Frequenzpunkten in den Messgeräten TDEMI X von GAUSS INSTRUMENTS, werden diese Scanzeiten mit Quasispitzenwert-Detektor erreicht.

Spektrogrammodus - Normgerechter Echtzeit-Messempfängermodus

Darüber hinaus kann das TDEMI X mittels Echtzeitauswertung aller Quasispitzenwert-Detektoren über einen Bandbereich von 325 MHz gleichzeitig erfassen und das Einschwingverhalten des Quasispitzenwertdetektors an allen Frequenzpunkten gleichzeitig mit einer Auflösung von 50 ms zur Anzeige bringen. Zudem können gleichzeitig zwei unterschiedliche Detektortypen parallel zur Anzeige gebracht werden. Die einzelnen Traces können zudem mit MaxHold erfasst werden. Ein Beispiel einer derartigen Messung zeigt Bild 6. Das Eingangssignal eines Signalgenerators der in 1-MHz-Schritten von 100 MHz bis 300 MHz durchgestimmt wurde, ist im Spektrogrammmodus mit Quasipeak- (QP, grün) und Spitzenwert-Detektor (MaxPeak, rot) gemessen. Zusätzlich wurde MaxHold aktiviert. Es ist zu erkennen, dass der Quasipeakwert hinsichtlich der MaxHold-Anzeige um ca. 3 dB geringer ist als der Spitzenwert. Bei der Auswertung des zeitlichen Verhaltens bei 100 MHz kann man im linken unteren Fenster die Antwort des Quasispitzenwert-Detektors erkennen. Während der Spitzenwertdetektor kurz das Maximum zeigt, benötigt der Quasispitzenwert-Detektor eine Einschwingzeit von mehreren hundert Millisekunden. Die Entladekonstante ist ebenfalls zu erkennen. Diese ist deutlich größer als die Ladekonstante.

Durch den Frequenzmaskentrigger kann gegen eine Grenzwertlinie geprüft werden, und bei einer Grenzwertüberschreitung wird die Messung automatisch getriggert.

Demodulator

In allen Betriebsarten besteht die Möglichkeit, Marker zu setzen und Auswertungen durchzuführen. Mit der Option DM-UG ist es zudem möglich, das empfangene Signal an der eingestellten Frequenz des Markers zu demodulieren. Es besteht die Möglichkeit der AM und FM Demodulation. Da die Audiodaten digital vorliegen besteht auch die Möglichkeit diese über das Netzwerk zu streamen, aufzuzeichnen oder sich diese an z.B. einem Fernsteuerrechner akustisch wiederzugeben zu lassen.

I/Q Datenspeicher

Mit der Option IQ-UG ist es möglich das TDEMI X auf eine feste Frequenz einzustellen und die I/Q-Daten mit einer Echtzeit-

bandbreite von 162,5 MHz zu digitalisieren und nachträglich auszuwerten. Durch ein integriertes Dezimationsfilter ist es zudem möglich die Bandbreite in zweier Potenzen zu verringern.

APD und Nachleuchtfunktion

Weiter verfügt das TDEMI X über einen Nachleuchtmodus (engl. persistence mode), der aber auch gleichzeitig dazu verwendet werden kann um ISM Geräte nach CISPR 14 gemäß dem neuen APD-Messverfahren durchzuführen. In Bild 7 ist eine solche Messung eines frequenzmodulierten Signals, welches zudem die Frequenz wechselt, dargestellt. Die Frequenzmodulation ist zu erkennen. Außerdem ist zu sehen, dass das Signal zwischen 97 MHz und 125 MHz wechselt. Darüber hinaus kann man gut erkennen, dass ein Einschwingvorgang stattfindet der zu einem Nachleuchten führt.

Wirtschaftliche Aspekte

In der Vergangenheit war es nötig, aufgrund der komplexen und sehr zeitaufwändigen Prüfverfahren mittels Vor- und Nachmessung eine Automatisierungssoftware zu verwenden und den Prüfablauf so weit wie möglich zu automatisieren. Durch den Einsatz der zuvor beschriebenen, modernen und zeitsparenden Technologie können nunmehr Geräte auch auf einfache Art und Weise im Stand-alone-Betrieb verwendet werden und die Messungen auch manuell mit erheblich geringerem Aufwand durchgeführt werden. Eine zusätzliche Investition in eine Fernsteuersoftware ist bei diesen Messungen nicht erforderlich. Eine Echtzeitbandbreite von 325 MHz mit mehreren Detektoren parallel bietet hier ganz neue Möglichkeiten zur Durchführung von Emissionsmessungen. Weiterhin bietet das TDEMI X als multifunktionales Gerät viele zusätzliche Möglichkeiten, wie z. B. Ultra Low Noise Option und Demodulator.

Fazit

Mittels der vorgestellten neuen Option Ultra Low Noise für die TDEMI-X-Geräte können hochempfindliche Emissionsmessungen bis 40 GHz ohne externen Vorverstärker durchgeführt werden. Emissionen können normgerecht in kürzester Zeit einfach und zuverlässig gemessen werden. Darüber hinaus können Signale analysiert und charakterisiert werden. Weitere Möglichkeiten, wie z. B. die I/Q-Datenspeicherung oder die Demodulation und der Nachleuchtmodus erlauben einen vielseitigen Einsatz, z. B. in der Analyse von Kommunikationssignalen. Der Zeitbereichsmodus bis 1 GHz ermöglicht es zudem, das Gerät als hochauflösendes Oszilloskop einzusetzen.

Literatur

[1] C. R. Barhydt, “Radio noise meter and its application,” in General Electric Rev. Vol. 36, pp. 201–205, 1933.

[2] J. W. Cooley and J. W. Tukey, “An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series,” in Math. Computation, vol. 19, pp. 297–301, 1965.

[3] A. V. Oppenheim and R. W. Schafer, Discrete–Time Signal Processing. ISBN 0-13-214107-8, Prentice-Hall, 1999.

[4] S. Braun An Overview of Emission Measurements in Time-domain

In 2009 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Kyoto, July 2009

[5] S. Braun EMV-Emissionsmessung im Zeitbereich

In EMV ESD Magazin, 2009

[6] F. J. Harris, “On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform,” in Proceeding of the IEEE, vol. 66, no. 1, pp. 51–83, 1978.

[7] J. Allen and L. Rabiner, “A unified approach to short-time Fourier analysis and synthesis,” in Proceedings of the IEEE, vol. 65, pp. 1558– 1564, 1977.

[8] CISPR16-1-1, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus. International Electrotechnical Commission, 2007.

[9] S. Braun und A. Frech „Anforderungen der CISPR 16-1-1 an Messempfänger, Spektrumanalysatoren und FFT-basierende Messinstrumente“ In EMC Europe Guide 2013, Interference Technology - The International Journal of Electromagnetic Compatibility, Dec., 2012, pages 66-73

[10] S. Braun und A. Frech „Emissionsmessungen mit dem TDEMI X - schnell, genau und unkompliziert“ HF Praxis Einkaufsführer 2014, pages 6 -10