Mit mehreren GHz Bandbreite

Vollständig normkonforme Messung in Echtzeit

MultiGHz-Echtzeitscanning erlaubt es, Emissionsmessungen über mehrere GHz Bandbreite in Echtzeit durchzuführen.

Als im Jahr 2008 das von Gauss Instruments damals völlig neu entwickelte TDEMI-Messsystem bei der Eröffnung des neuen VDE EMV-Labors in Offenbach der breiten Öffentlichkeit vorgestellt wurde und erstmalig die Scan-Zeiten mit Quasipeak-Detektor von zuvor mehreren Stunden auf damals nur noch 64 s reduziert wurden, war vorhersehbar, dass sich mit dieser bahnbrechenden Technologie ein völlig neues Kapitel im Bereich der Emissionsmesstechnik für elektromagnetische Verträglichkeit aufgeschlagen würde.

Mit der Einführung der ersten TDEMI-Messsysteme

wurden erstmalig breitbandige digitale Messempfänger vorgestellt, welche eine Kurzzeit-Fouriertransformation verwenden, um über eine Echtzeitbandbreite von 162,5 MHz eine normgerechte Messung an allen Frequenzpunkten gleichzeitig durchzuführen. Dieser volldigitale Ansatz ermöglichte es die Messungen erheblich zu beschleunigen und gleichzeitig mit dieser Messtechnik-Hardware eine Vielzahl von unterschiedlichen Messaufgaben zu erledigen.

Durch immer leistungsfähigere ADCs, FPGAs sowie neue noch leistungsfähigere Millimeterwellen-ICs (MMICs) wurde die Echtzeitbandbreite im Laufe der vergangenen Jahre sogar auf 685 MHz vergrößert. Die Technologie wurde in einem weiteren Schritt um das sog. MultiGHz-Echtzeitscanning-Verfahren erweitert. MultiGHz-Echtzeitscanning erlaubt es, Emissionsmessungen über mehrere GHz Bandbreite in Echtzeit durchzuführen. Durch eine parallele Struktur von Vorselektionsfiltern, Vorverstärkern und hochauflösenden Gigasample-ADCs und Hochleistungs-FPGAs ist es heute möglich, z.B. den Bereich

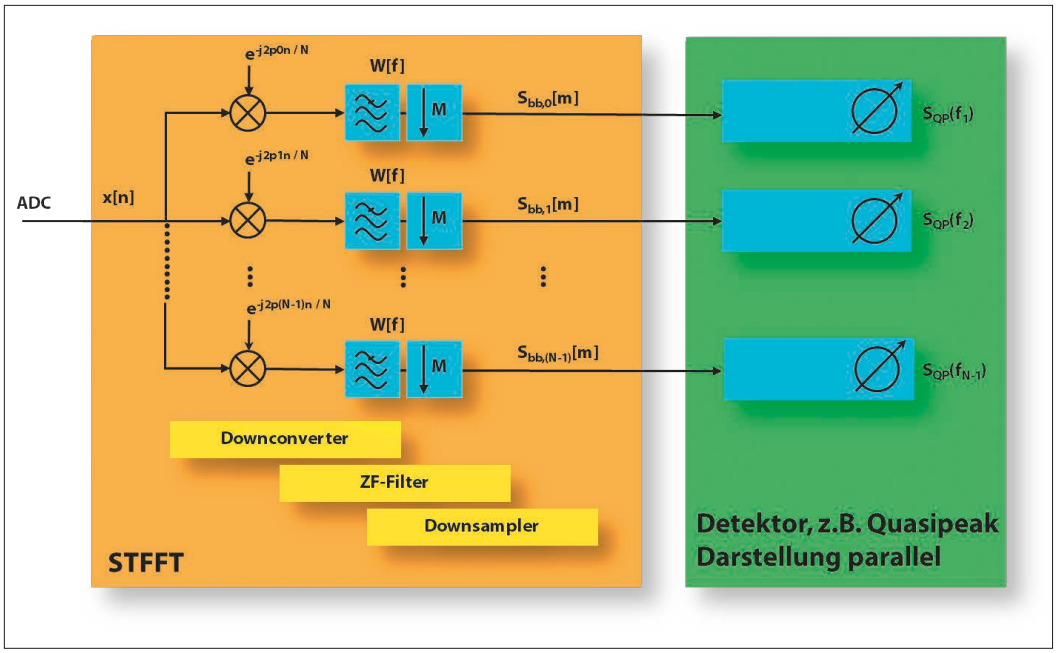

Bild 1: Mehrkanal-Messempfänger: Frequenzumsetzer, Filterbank, Dezimation und Detektor

Autoren:
Stephan Braun und Arnd Frech,
Gauss Instruments International GmbH, München

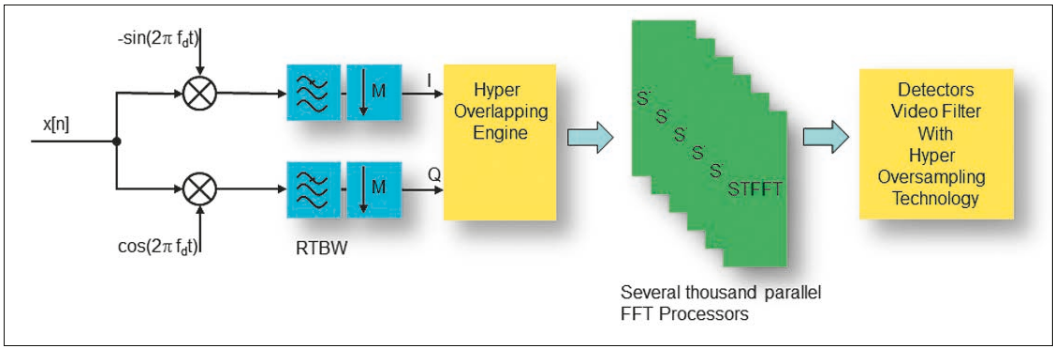

Bild 2: HyperOverlapping-Technology

6...18 GHz in Echtzeit zu erfassen und auch mittels Spektrogramm über der Zeit darzustellen und aufzunehmen. Echtzeitscanning ist eine weitere patentierte Lösung, welche die Anforderungen der Normen CISPR 16-1-1 und der dazugehörigen Prüfverfahren CISPR 16-2-X über den gesamten Frequenzbereich im Echtzeitmodus erfüllt.

Mit der Einführung der TDEMI-Ultra-Geräteserie wurden 2018 neue Maßstäbe hinsichtlich Scan-Geschwindigkeit, Dynamik und IQ-Messbandbreite erreicht:

Das neue MultiGHz-Echtzeitscanning

kann beispielsweise ein Bandbereich von 10 GHz in 200 ms messen, wobei die Beobachtungszeit pro Frequenzpunkt mindestens um einen Faktor 1000 verbessert wurde und dadurch Störungen mit hoher Präzision innerhalb kürzester Zeit sehr genau gemessen werden können. Eine Analyse und Störbewertung z. B. mittels IQ-Daten ist außerdem möglich. Diese Fähigkeiten sind von großem Vorteil, um beispielsweise vor einer APD-Messung eine präzise Vormessung mit dem Peak-Detektor durchführen zu können.

Die TDEMI-Ultra-Serie wurde 2022 um weitere Optionen ergänzt und ist heute nicht nur der schnellste Messempfänger der Welt, sondern auch das einzige Messgerät weltweit, welches in den Echtzeitbetriebsarten schon heute die zukünftige CISPR 16-1-1 bis 40 GHz einhält.

Gleichzeitig zu den Neuerungen wurde die neue TDEMI-G-Serie in 2022 vorgestellt – ein Full-compliance-Empfänger, welcher für die Frequenzbereiche 0,03, 1, 3, 6, 9, 18, 26, 40 und 44 GHz erhältlich ist und standardmäßig jeweils über einen klassischen sowie einen FFT-basierenden Messmodus verfügt. Dadurch steht die hohe Scan-Geschwindigkeit von ca. 1,5 s für eine leitungsgeführte EMV-Messung mit Quasipeak-Detektor zur Verfügung, und mit der zusätzlichen Option MCDSP-UG kann die Scan-Geschwindigkeit für eine Messung mit Quasipeak-Detektor von 30 MHz bis 1 GHz auf 5 s reduziert werden.

Höchste Performance durch die verwendeten neusten ADCs und eine IQ-Bandbreite von mehr als 200 MHz runden die Möglichkeiten der Serie ab. Die neue TDEMI-G-Serie (links) sowie das TDEMI Ultra (rechts) sind im Aufmacherfoto dargestellt.

Neben der nun sehr schnellen Messgeschwindigkeit der verschiedenen TDEMI-Geräte ist außerdem insbesondere beim Einsatz im Prüflabor eine weitere Herausforderung einen möglichst effizienten Prüfablauf zu erreichen. Diese Prüfverfahren sollen einerseits den Prüfzeiten verringern bzw. den Durchsatz erhöhen und andererseits gleichzeitig die Prüfqualität steigern sowie neue Möglichkeiten der Auswertung für weitere Anforderungen wie Funkmessungen bieten.

Das CISPR-konforme FFT-based Measuring Instrument

ist hier die Antwort. Zum Hintergrund: In den vergangenen Jahren gab es signifikante technologische Weiterentwicklungen bei denen zunächst die Echtzeitbandbreite von ehemals 162,5 auf 345 MHz und schließlich auf 685 MHz erhöht wurde [1]. Neben den mittlerweile weitverbreiteten sehr schnellen und vollständig normkonformen Emissionsmessungen mit hoher Echtzeitbandbreite wurden teilweise immer noch Emissionsmessungen im klassischen Frequenzschrittverfahren durchgeführt. Das TDEMI Ultra führte dann diese beide Welten zusammen und vereint seither die Vorteile beider technologischen Ansätze.

Um die Anforderungen des Standards CISPR 16-1-1 einzuhalten, ist es außerdem notwendig eine vollständige Äquivalenz der Messergebnisse beider Ansätze zu erreichen. Dies ist bei der patentierten TDEMI-Technologie sichergestellt, sodass für beide Betriebsarten die Kalibrierwerte gleich sind. Die Norm CISPR 16-3 enthält hierzu einen technischen Report, der weitgehend auf dieser Technologie aufbaut. Darin werden z.B. für eine korrekte Pulsanzeige der Zusammenhang zwischen Basisbandabtastrate und Genauigkeit gezeigt.

Ein typisches Overlapping von ca. 80% ist bei einer lückenlosen Signalverarbeitung dazu geeignet, um die CISPR 16-1-1 Anforderungen hinsichtlich Pulsanzeige einzuhalten. Ein konventioneller herkömmlicher Echtzeit-Spektrumanalysator zeigt jedoch ein wesentlich geringeres Overlapping und ist daher nicht geeignet alle Typen von Signalen korrekt zu erfassen und zu messen. Die neue TDEMI-G-Serie verwendet durch die sog. HyperOverlapping-Technologie ein sehr hohes Overlapping, welches mit 99,99% den entscheidenden Vorteil bietet, dass für kleine Messbandbreiten die Messgeschwindigkeit und Genauigkeit nochmal gesteigert werden kann.

Hohe Messgeschwindigkeit und normkonforme Echtzeitmessung

sind nun optimal vereinbar. Durch die Kombination von Kurzzeit-FFT und digitalem Superheterodyn-Modus kann nun über ein ganzes Band von

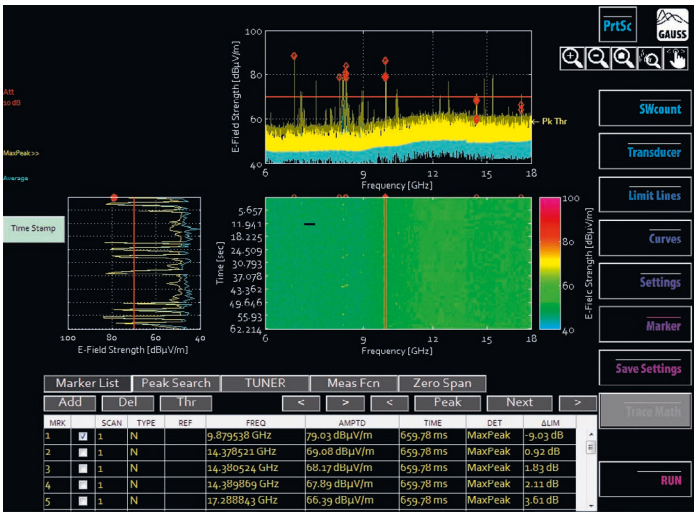

Bild 3: Emissionsmessung eines Mikrowellenherds oberhalb 6 GHz

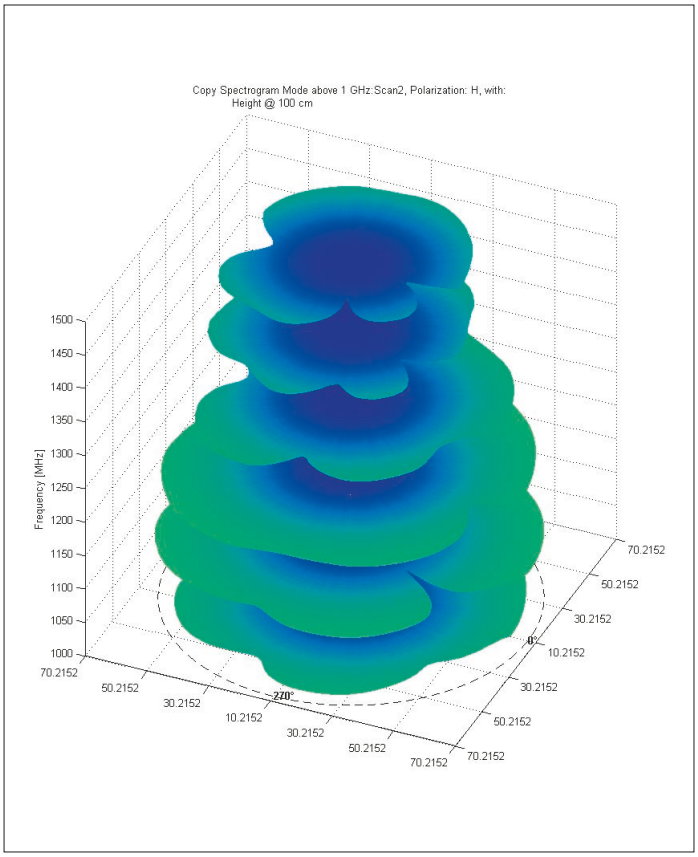

Bild 4: 360°-Richtcharakteristik eines Kammgenerators, 1...1,5 GHz

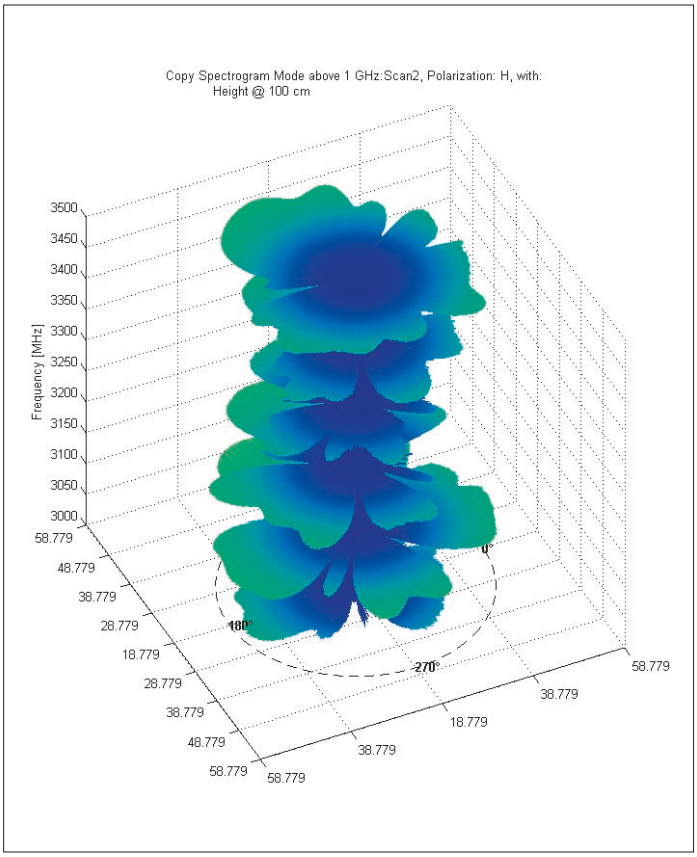

Bild 5: Richtcharakteristik eines Kammgenerators, 3...3,5 GHz

685 MHz, an allen Frequenzpunkten gleichzeitig, die Messung mit Quasipeak- und CISPR-Average-Detektoren durchgeführt werden.

Technisch wird dies durch eine hochgradige Parallelisierung erreicht. Die Kurzzeit-FFT ist hierbei einer der mathematischen Bausteine, welcher es ermöglicht Berechnungen auf hocheffiziente Weise durchzuführen und Symmetrieeigenschaften auszunutzen. Die gemäß CISPR 16-1-1 Norm erforderlichen Detektoren müssen an allen Frequenzpunkten vollständig parallel realisiert werden, was zu sehr hohen Anforderungen an die Rechenleistung führt.

Ein vereinfachtes Blockschaltbild einer Kombination von Kurzzeit-FFT und Mehrkanalempfänger ist in Bild 1 dargestellt. Die TDEMI Messsysteme enthalten mehrere tausende solcher Funktionsblöcke.

Auch ein moderner Echtzeit-Spektrumanalysator ist im TDEMI G verfügbar. Dieser kann an bis zu 32.000 Frequenzpunkten gleichzeitig eine Messung, gemäß einer Zerospan-Messung eines herkömmlichen Spektrumanalysators an lediglich einem einzigen Frequenzpunkt, durchführen. Der Echtzeit-Spektrumanalysator des TDEMI vereint somit auf einzigartige Weise die Vorteile der Zerospan-Funktion mit der Möglichkeit, diese an bis zu 32.000 Frequenzen gleichzeitig durchführen zu können.

Die einzigartige HyperOverlapping-Technologie

geht jedoch noch einen entscheidenden großen Schritt weiter. Es werden mehrere tausend Blöcke parallel verwendet, sodass die Signale an den einzelnen Frequenzpunkten mit einem Oversampling-Faktor von mehreren 1000 zur Verfügung stehen und die weitere Signalverarbeitung wie Filter, Detektoren usw. ebenfalls mit entsprechend hohem Oversampling betrieben werden. Dies führt u.a. auch bei EMV-Messungen zu höchster Genauigkeit sowie zu einer weiteren Beschleunigung der Messung.

Bild 2 zeigt den schematischen Aufbau der HyperOverlapping-Technologie. Das Eingangssignal wird mittels mehreren Gigasample-ADCs hochauflösend digitalisiert und mittels einer Digital-Down-Conversion-Einheit auf die Echtzeitbandbreite (RTBW) begrenzt. Im nächsten Schritt wird durch ein Echtzeitmodul, welches das HyperOverlapping steuert, das Signal zeitversetzt auf bis zu mehrere tausend FFT-Einheiten verteilt. Jede FFT-Einheit kann bis zu 32.000 Punkte gleichzeitig messen. Im Anschluss werden die Ausgangssignale wieder zusammengeführt und mit sehr hohem Oversampling durch Detektoren und Videofilter ausgewertet und zur Anzeige gebracht.

Diese hohe zeitliche Auflösung in Verbindung mit hohem Oversampling führt zur Beschleunigung der Messung gegenüber einem Echtzeit-Messempfänger oder einem Echtzeit-Spektrumanalysator um bis zu einem Faktor 100. Gegenüber einem klassischen Empfänger oder Spektrumanalysator ist eine Beschleunigung um einen Faktor bis zu 3,2 Mio. möglich.

Die HyperOverlapping-Technology ist eine neue Schlüsseltechnologie, um auch bei geringen Messbandbreiten oder einer niedrigen Bandbreite des Videofilters die Messung zu beschleunigen. Da die Norm CISPR 11 für ISM-Geräte eine gewichtete Messung mit 10 Hz Videofilterbandbreite vorsieht, ermöglicht nun die HyperOverlapping die Updaterate hierbei um das Hundertfache zu erhöhen und dadurch auch bei dieser herausfordernden Einstellung die Messung durchzuführen.

Das MultiGHz-Echtzeitscanning

erlaubt beispielsweise die korrekte Erfassung des in Bild 3 gezeigten typischen Emissionsspektrums eines Mikrowellen-

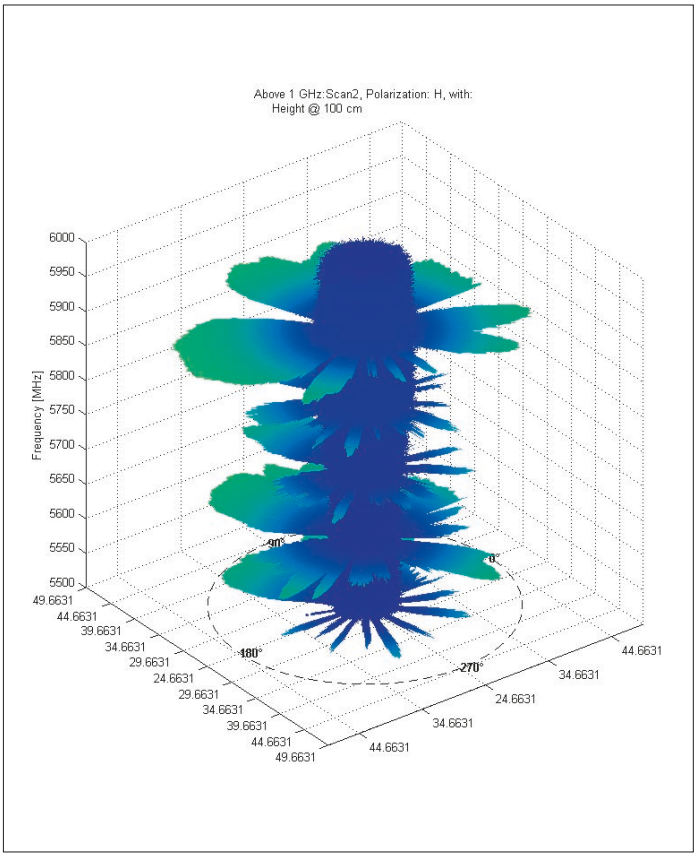

Bild 6: Richtcharakteristik eines Kammgenerators, 5,5...6 GHz

ofens über der Zeit. Die Messung wurde mit dem MultiGHz-Echtzeitscanning-Feature über den Bereich 6...18 GHz live in Echtzeit durchgeführt. Sehr gut zu erkennen ist hier im zeitlichen Verlauf, dass Frequenz und Amplitude über die Zeit sich stark schwankend verhalten.

Der Vorteil diese Technologie besteht darin, dass zum einen fluktuierende Signale korrekt und zuverlässig gemessen werden, zum anderen auch im Zusammenspiel mit Drehtisch und Antennenmast Emissionsmessungen deutlich beschleunigen. EMV-Messungen oberhalb 1 GHz ziehen aufgrund von sehr scharfen Richtcharakteristiken derzeit einen sehr hohen Aufwand beim Einsatz konventioneller Technologie nach sich. Durch den Einsatz der Echtzeitmessung über mehrere GHz kann dieser Aufwand nun ganz signifikant reduziert werden und die Messung damit insgesamt nachhaltig beschleunigt werden.

Die Automatisierung der Emissionsmessungen

stellt nun keine große Herausforderung mehr dar. Der Einsatz der TDEMI-Messgeräte kann die Gesamtmesszeiten existierender Prüfabläufe wie gezeigt deutlich reduzieren. Mittels accessTDEMI ist es außerdem ganz einfach und schnell möglich, die Geräte in bereits existierende Prüfumgebungen mit vorhandener Fernsteuer-Software und Prüfabläufen zu integrieren, um deren weitere Vorteile zu nutzen.

Die patentierte Technologie, welche eine exakte Übereinstimmung zwischen klassischem und FFT-basierendem Messverfahren garantiert, ermöglicht den Einsatz des FFT-basierenden Messverfahrens auch für klassische Vor- und Nachmessungen. Durch schnelle Scans wie z.B. bei der neuen TDEMI-G-Serie für Quasipeak im Band A und B mit jeweils 1 s und im Band C+D in 5 s, kann die automatisierte Emissionsmessung mit oder ohne Datenreduktion höchst effizient und mit höchster Genauigkeit durchgeführt werden.

Das MultiGHz-Echtzeitscanning-Feature kann ebenfalls eingesetzt werden, um Vor- und Nachmessung bei den bereits im Labor etablierten Verfahren 1:1 umzusetzen und die Messung dadurch erheblich zu beschleunigen. Eine weitere Steigerung der Messgeschwindigkeit ist außerdem durch die Verwendung der Automatisierungs-Software EMI64k möglich.

Die Automatisierungs-Software EMI64k

unterstützt vollständig sämtliche Betriebsarten der TDEMI-Geräte. So können die konventionellen und FFT-basierenden Betriebsarten im Receiver und Spektrum-Analyzer genutzt werden. Aufgrund der hohen Messgeschwindigkeit werden diese sowohl für kontinuierliches Drehen des Drehtisches als auch schrittweise Drehen des Drehtisches unterstützt. Die Betriebsarten von Spektrogramm (Echtzeit-Messempfänger) und RT Analyzer können außerdem sowohl zur Messung eines Prüflings über die Zeit genutzt werden, als auch in Kombination mit kontinuierlichem Bewegen von Drehtisch und Antennenmast. Entscheidend für die mögliche Drehgeschwindigkeit sind hierbei die zu erreichende Winkelauflösung sowie die Messzeit pro Spektrum.

Bei einer Emissionsmessung nach CISPR 32 beispielsweise und einer Messung von 1 bis 6 GHz mit kontinuierlicher Bewegung des Drehtischs ergibt sich für eine Drehgeschwindigkeit von einer Umdrehung pro Minute eine Winkelauflösung von 0,6°. Die typische zeitliche Auflösung bei der Verwendung des TDEMI Ultra beträgt ca. 100 ms. Bei einer typischen Messung von 6 bis 18 GHz ergibt sich für die gleiche Messung eine Winkelauflösung von ca. 1,5°.

Verwendet man die Echtzeitbetriebsart für den Höhen-Scan und führt diesen z.B. im Bereich von 1 bis 4 m innerhalb von 30 s aus, so erhält man für den Frequenzbereich von 1 bis 6 GHz eine Auflösung von 1 cm und für den Frequenzbereich von 6 bis 18 GHz von ca. 2,5 cm. Diese Auflösungen sind um einen Faktor 10 höher, als man sie mit herkömmlichen konventionellen Messgeräten erreicht. Gleichzeitig wird zusätzlich die Beobachtungszeit um mindestens einen Faktor 100 verbessert und die Gesamtmesszeit um ca. den Faktor 10 dabei reduziert.

In Bild 4 ist die 360°-Richtcharakteristik eines Kammgenerators im Frequenzbereich 1...1,5 GHz dargestellt. Die verwendete Winkelauflösung ist ca. 0,5°. Man kann anhand der Richtcharakteristik erkennen, dass in diesem Fall noch durchaus eine Winkelauflösung von 10° mit zusätzlicher Messunsicherheit die Möglichkeit bieten würde, die Maximas zu finden.

Zu höheren Frequenzen hin wird die Richtcharateristik allerdings ausgeprägter, sodass eine Auflösung von ca. 4° nötig wird, um die Maximas zu finden. In Bild 5 ist wiederum die Emission des Kammgenerators dargestellt, nun allerdings für den Frequenzbereich 3...3,5 GHz. Im Frequenzbereich von 5,5 bis 6 GHz (Bild 6) wiederum zeigt sich, dass aufgrund der Richtcharakteristik eine Auflösung von ca. 1° benötigt wird.

Diese Anforderungen können durch EMI64k und TDEMI Ultra mit kurzen Messzeiten vollständig erfüllt werden. Die vollständige hochpräzise Erfassung von Störungen in Kombination mit kurzen Messzeiten wird erstmalig durch die Verwendung der EMI64k und des MultiGHz-Echtzeitscannings des TDEMI Ultra erreicht.

Es wurde damit gezeigt, dass die Kombination des patentierten normkonformen Realtime-FFT-basierenden Verfahren mit weiteren Technologien wie Echtzeitsynchronisation mit Drehtisch und Antennenmast wiederum neue Maßstäbe für EMV-Messungen setzt. Ein wesentlicher Unterschied zu anderen Messgeräten, z.B. Spektrumanalysatoren oder Messempfängern, welche

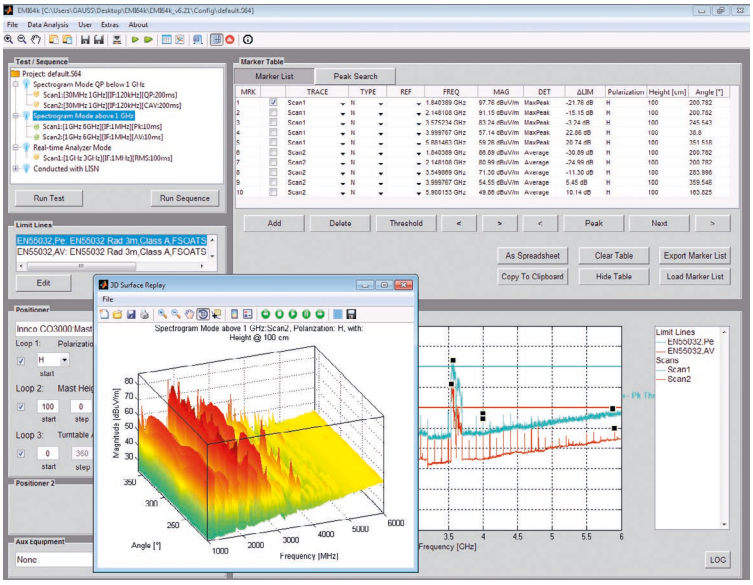

Bild 7: EMI64k mit Markerliste und 3D-Exportfunktion

lediglich optional eine Echtzeitbandbreite bieten, besteht darin, dass im Falle des Zusammenspiels von EMI64k und TDEMI Ultra sowohl die Messtechnik als auch das Verfahren die Normen der CISPR und den ANSI-Standard vollständig einhalten.

Selbstverständlich kann die Technologie neben EMV-Messung auch für zahlreiche Messverfahren für Funkmessungen eingesetzt werden und bietet auch bei diesen Messungen die beschriebenen Vorteile.

Um auch die notwendigen Dokumentationsvorschriften einzuhalten, verfügt die EMI64k über leistungsfähige Methoden zur Datenreduktion und Erzeugung von Prüfberichten. Auf Basis der vorhandenen Messdaten können jederzeit Ergebnisse, z.B. in Excel oder andere Formate und Programme übertragen werden. Es können darüber hinaus mittels Libre Office oder Microsoft Office eigene Reports erzeugt werden. In Bild 7 ist exemplarisch die Benutzeroberfläche hierzu mit Verwendung der Markerliste und 3D-Exportfunktion zur Erstellung von Filmen dargestellt.

Zusammengefasst

lässt sich feststellen: Sowohl das neue TDEMI G als auch das TDEMI Ultra sind extrem leistungsstarke echtzeitfähige Messgeräte mit sehr breiten Einsatzmöglichkeiten. EMV-Messungen nach allen üblichen Standards, Funkmessungen sowie digitale Demodulation von Funkkanälen mit mehr als 0,5 GHz Bandbreite sind mit diesen Messgeräten möglich. Das TDEMI Ultra verfügt zusätzlich über das MultiGHz-Echtzeitscanning-Feature. Dadurch können mehrere GHz Bandbreite in Echtzeit gemessen und dargestellt werden.

Durch die Kombination der breitbandigen GHz-Echtzeitmessung mit aktiver Vorselektion sind die Messergebnisse stets vollständig normkonform.

Die Automatisierungs-Software EMI64k ermöglicht außerdem eine Echtzeitsynchronisation zwischen Drehtisch, Antennenmast und Echtzeitspektrogramm. Diese neue Technologie kann Messzeiten reduzieren, die Auflösung hinsichtlich Höhen-Scan und Winkelposition erheblich verbessern und dadurch sowohl die Messqualität als auch die Messgeschwindigkeit deutlich erhöhen. Selbstverständlich kann diese Technologie auch für Funkmessungen angewendet werden und bietet auch für derartige Messungen signifikante Vorteile.

Darüber hinaus können sowohl die neue TDEMI-G-Serie als auch die TDEMI-Ultra-Serie sehr leicht in bestehende Prüfabläufe und existierende Labor-Software mittels accessT-DEMI integriert werden. Ein Parallelbetrieb und schrittweise Modernisierung wird dadurch erheblich erleichtert.

Nicht zuletzt wird auch die Energieeffizienz deutlich gesteigert. Eine Reduktion der Messzeiten und ein gesenkter Energieverbrauch der TDEMI-Hardware gegenüber herkömmlichen Messempfängern sind gleichzeitig Maßnahmen um im Laborbetrieb deutlich Energie einzusparen und somit auch die Energiekosten zu senken.

Literaturverzeichnis

[1] S. Braun und A. Frech: 645 MHz Echtzeitbandbreite für Full-Compliance-Messungen mit dem TDEMI X, hf-praxis 3/2016, Seite 44-47, www.beam-verlag.de/app/download/24071892/HF-Praxis+3-2016+III.pdf

[2] CISPR16-1-1 Ed 3.1, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus. International Electrotechnical Commission, 2010

[3] H. H. Slim et al: A Time-Domain EMI Measurement System up to 26 GHz with Multichannel APD Measuring Function, The International Journal of Electromagnetic Compatibility, EMC Test & Design Guide 2011, pp. 42-51, 2011

[4] S. Braun und P. Raju: Untersuchung der Beeinflussung von digitalen Übertragungssignalen durch typische EMV-Störungen, GMM-Fachbericht 88: EMV in der Kfz-Technik, 21.9.2017 in Wolfsburg

[5] MIL 461 G, Requirement for the control of electromagnetic interference characterization of sub systems and equipment, Department of Defence, 2015

[6] ANSI 63.2 American National Standard for Electromagnetic Noise and Field Strength Instrumentation, 10 Hz to 40 GHz Specifications

[7] ANSI/ISO/IEC 17025 General Requirements for the competence of testing and calibration laboratories

[8] S. Braun und A. Frech: Anwendung der EMV Zeitbereichsmesstechnik für Schienenfahrzeuge und E-Mobility, emv 2016 – Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit, Düsseldorf, Germany, Februar 23-25, 2016, ausgezeichnet mit dem BEST PAPER AWARD 2016

[9] Bundesamt für Kommunikation BAKOM, Abteilung Konzessionen und Frequenzmanagement KF Sektion Elektromagnetische Verträglichkeit EMV, Testkonzession und Messungen adaptive Antennen, September 2020

[10] S. Braun und A. Frech: Höchste Prüfqualität von EMV-Messungen durch normgerechte Messung an allen Frequenzen, SMT emv-esd, Fachzeitschrift für ADVANCED PACKAGING & ELEKTRONIKFERTIGUNG, November 2016, Seite 44-48

[11] VDE: Digitalisierung störfrei: VDE-Institut eröffnet neue Prüfhalle für Funkentstörung und EMV, 14.9.2018, www.vde.com/de/presse/vde-eroeffnet-neue-emv-vollabsorber-halle

[12] S. Braun: Using the FFT-based measuring Instrument for Radiated EMI Testing, Procedures and Full Automation, IEEE EMC Chapter Meeting, Cedar Park, January 2019

[13] S. Braun & A. Frech: Real-Time FFT-Based EMI Measurement for MIL461G, CISPR and ANSI, Theory and Practical Application, IEEE EMC Symposium, New Orleans, July 2019 ◄