

Funkmessungen mit modernen Messempfängern

Smart Grid, vernetztes Wohnen, autonomes Fahren und Internet der Dinge sind neuartige Technologien, welche in unserem Alltag zunehmend an Bedeutung gewinnen und diesen mehr und mehr prägen. Bei der Umsetzung dieser neuen Technologien werden Elektrogeräte aller Arten miteinander vernetzt, so dass diese z. B. mit dem Smart Phone gesteuert werden oder miteinander kommunizieren können.

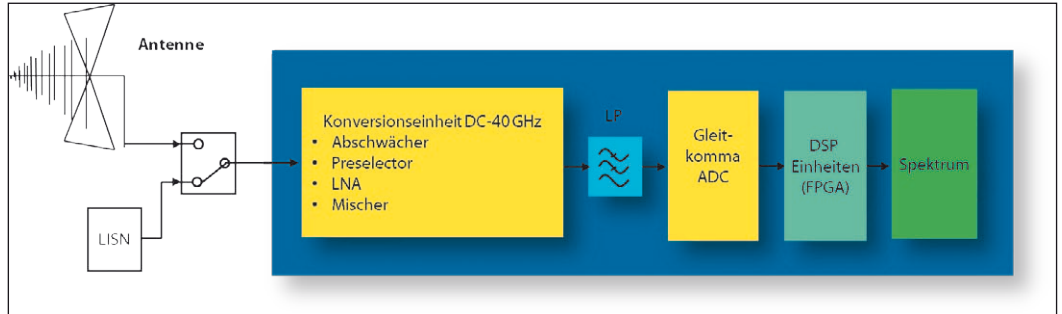


Bild: 1 EMV-Zeitbereichsmesssystem TDEMI eXtreme

Die zunehmende Vernetzung ist gerade von besonderer Bedeutung, wenn es um das Thema Smart Metering oder Smart Grid via Power Line Communication geht. Beim Thema Smart Home wird zunehmend die Vernetzung mittels Funk via WLAN vorangetrieben.

Die Ausstattung von Haushaltsgeräten mit Funkmodulen erfordert somit also auch zusätzliche Prüfungen hinsichtlich der Funkstandards. So ist es z. B. notwendig, dass ein Haushaltsgerät nicht nur nach EN55014 geprüft wird, sondern auch nach ETSI-Funkstandards. Neben dem kon-

ventionellen EMV-Test muss ein Haushaltsgerät mit aktivem Funkmodul außerdem auch auf Nebenaussendungen (engl. spurious emissions) getestet werden. Zusätzlich müssen auch Abstrahlcharakteristik, Abstrahlleistung sowie weitere Parameter je nach ETSI-Standard geprüft und dokumentiert werden.

Klassische Messempfänger geraten bei diesen Prüfungen an ihre technischen Grenzen. Gerade bei OFDM-basierenden Übertragungssignalen oder Frequency-Hopping-Signalen weisen die ETSI-Standards hier auf die eindeutigen Vorteile der Ver-

wendung von FFT-basierenden Messverfahren hin. Des Weiteren verfügen klassische Messempfänger zum Teil über nicht genügend Dynamik, so dass hier dann zusätzlich externe oder interne Notch-Filter verwendet werden müssen.

EMV-Zeitbereichsmesssysteme, wie z.B. das TDEMI X, sind so konzipiert, dass eine Echtzeitbandbreite von bis zu 325 MHz bzw. sogar 645 MHz zur Verfügung steht. Der CISPR 16-1-1 Standard verlangt dabei gleichzeitig eine Dynamik, welche derart hoch ist, dass sie von herkömmlichen Superheterodyn-

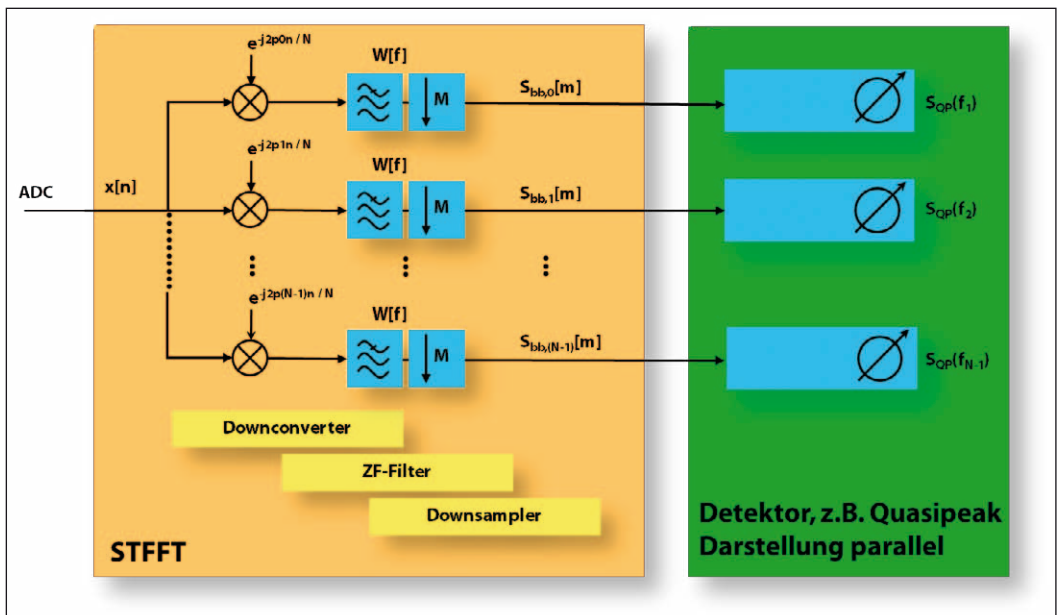


Bild 2: Mehrkanalmessempfänger - Umsetzer, Filterbank, Dezimator und Detektor

Stephan Braun
Arnd Frech
GAUSS INSTRUMENTS,
München
www.gauss-instruments.com

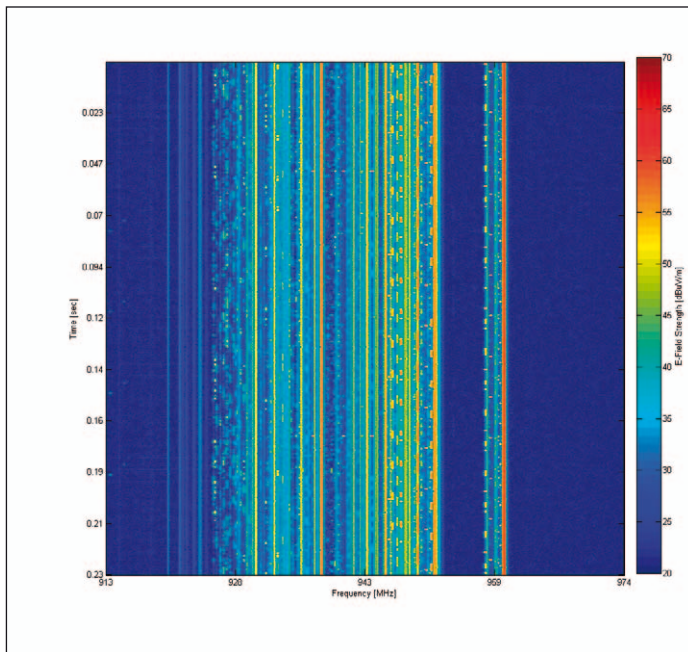


Bild 3: Messung des GSM-Bandes im Echtzeit-Spektralanalysatormodus

Spektralanalysatoren üblicherweise nicht erreicht wird. Der TDEMI X Messempfänger bietet hier den signifikanten Vorteil, dass auch mit einer solch hohen Echtzeitbandbreite alle Anforderungen der CISPR 16-1-1 Norm jederzeit vollständig eingehalten werden. Die beim TDEMI X eingesetzte Technologien von mehreren parallelen ADCs sowie FPGAs mit einer Rechenleistung von ca. 200 PCs bietet somit gerade bei Funkmessungen erhebliche Vorteile gegenüber klassischen Messempfängern oder Spektralanalysatoren.

Funktionsweise TDEMI eXtreme

Das zu messende Empfangssignal wird im Basisband (Frequenzbereich DC - 1 GHz) mittels einer hochlinearen Analog-Digital-Wandler-Einheit mit einer Rate von mehreren Giga-samples/Sekunde abgetastet und digitalisiert. Zusätzlich kommt im Front-End eine Vorselektion mit hochlinearen Vorverstärkern zum Einsatz. Für Messungen im Bereich oberhalb des Basisbands von 1 GHz wird eine sehr breitbandige Frequenzumsetzung mit integrierter Vorselektion eingesetzt. Die spektrale Darstellung des Messsignals kann einerseits

digital superheterodyn oder mittels Kurzzeit-FFT erfolgen. Ein vereinfachtes Blockschaltbild der Funktionsweise eines TDEMI eXtreme (kurz TDEMI X) Messempfängers zeigt Bild 1. Durch das mehrstufige Analog-Digital-Wandler-System erfolgt die Digitalisierung des Messsignals in Gleitkommazahl-Arithmetik mit entsprechend hoher Dynamik. Hierzu werden nach neuestem Stand der Technik mehrere Analog-Digital-Wandler in Kombination eingesetzt.

Dieses Verfahren ermöglicht einen äquivalenten Dynamikbereich von ca. 22 Bit, womit es einerseits möglich ist, eine sehr gute Sensitivität von z. B. ca. -25 dBµV (Rauschboden in CISPR Band B) zu erreichen und andererseits gleichzeitig Pulse von mehreren Volt vollständig zu erfassen. Durch sehr leistungsfähige FPGAs mit einer Rechenleistung, welche jeweils ca. 200 handelsüblichen PCs entspricht, erfolgt die Auswertung in einer Bandbreite von bis zu 645 MHz vollständig lückenlos in Echtzeit. Mit dem vorliegenden System können so bis zu 64000 Frequenzpunkte gleichzeitig gemessen werden. Zudem ist die Dynamik nochmals um ca. 25 dB gegenüber vorherge-

henden Plattformen verbessert worden, und der nutzbare Frequenzbereich für Applikationen bis hinauf zu 40 GHz erweitert.

Mehrkanalempfänger - FFT

Durch die Kombination von Kurzzeit-FFT und digitalem Superheterodynmodus kann nun gleichzeitig, über ein ganzes Band von 645 MHz, an allen Frequenzpunkten die Messung mit Quasi-Peak- und CISPR-Average Detektoren durchgeführt werden. Technisch wird dies durch eine hochgradige Parallelisierung erreicht. Die Kurzzeit-FFT ist hierbei einer der mathematischen Bausteine, der es ermöglicht Berechnungen auf effiziente Weise durchzuführen und Symmetrieeigenschaften auszunutzen. Die 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 aus Bild 2 zu ersehen. Das TDEMI X enthält mehrere solcher Funktionsblöcke in Kombination mit Superhetarchitektur.

Auch ein Echtzeitspektralanalysatormodus ist im TDEMI X integriert, welcher an bis zu allen 64000 Frequenzpunkten eine Messung gemäß einer Zero Span Messung eines herkömmlichen Spektralanalysators an einem einzigen Frequenzpunkt durchführen kann. Der Echtzeitspektralanalysatormodus des TDEMI X vereint damit einmalig die Vorteile der Zero-Span-Funktion mit der Möglichkeit die Zero-Span-Messung an bis zu 64000 Frequenzen gleichzeitig durchführen zu können.

In Bild 3 ist die Emissionsmessung des GSM-Bandes mit dem TDEMI-X-Echtzeitspektralanalysators dargestellt. Die Messung erfolgt lückenlos mit Effektivwert-Detektor (kurz RMS) an allen Frequenzpunkten gleichzeitig. Die aufgezeichneten Daten können an jedem Frequenzpunkt als Zero span dargestellt werden.

Vergleich der Dynamik mit Superheterodynempfänger

Bei der Emissionsmessung von Nebenaussendungen (engl. spurious emissions) ist es erforderlich, dass der verwendete Messempfänger eine hohe Dynamik

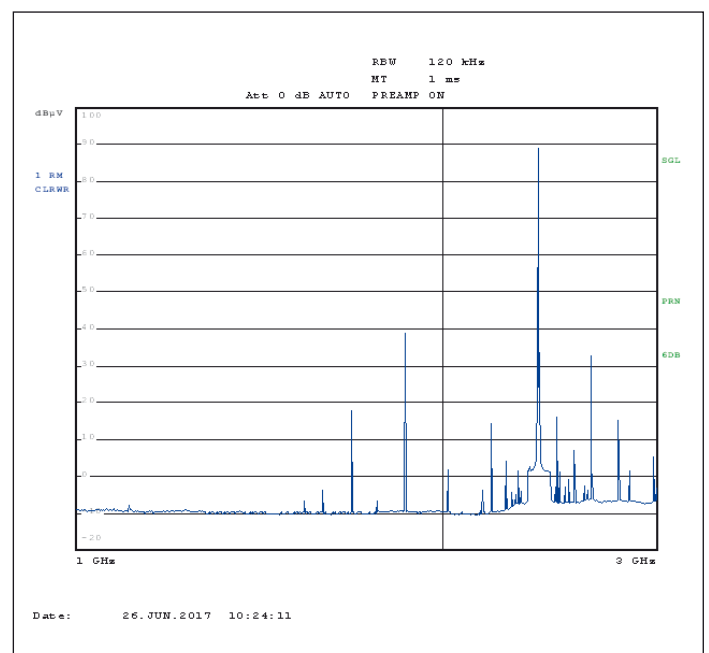


Bild 4: Messung eines 2,4-GHz-Signals mit einem klassischen Messempfänger

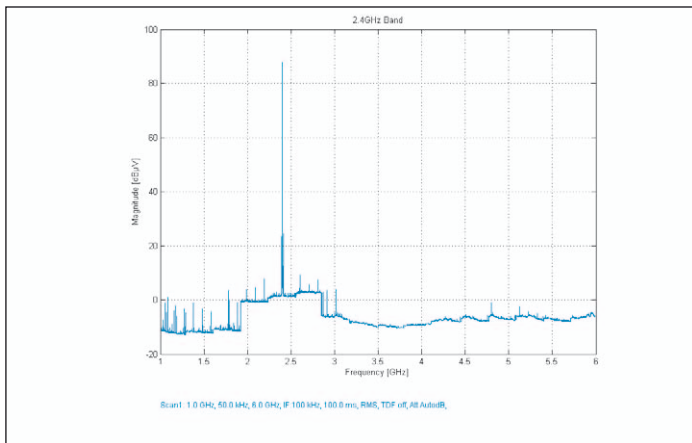


Bild 5: Messung eines 2,4-GHz-Signals mit einem TDEMI-X-Messempfänger

aufweist. Dabei ist von entscheidender Bedeutung, dass der Messempfänger eine möglichst hohe Unterdrückung von sog. Nebenempfangsstellen erreicht. Der Abstand zwischen Hauptträger und Nebenempfangsstellen wird in diesem Zusammenhang als nutzbarer Dynamikbereich bezeichnet.

In Bild 4 ist eine solche Messung an einem klassischen Messempfänger dargestellt. Zur Prüfung des Messempfängers wurde ein Sinussignal bei 2,4 GHz eingespeist. Man kann deutlich erken-

nen, dass der Messempfänger Nebenempfangsstellen bei ca. 1,8 GHz zeigt und damit ein nutzbarer Dynamikbereich von lediglich ca. 50 B zur Verfügung steht. Dieser Dynamikbereich ist für typische Funkmessungen sehr knapp, und man wird daher zusätzlich ein Notch-Filter zur besseren Unterdrückung verwenden müssen.

Zum Vergleich zeigt Bild 5 die Messung mit einem TDEM-X-Messgerät dargestellt. Es ist gut erkennbar, dass die Nebenempfangsstellen bei ca. 85 dB unter-

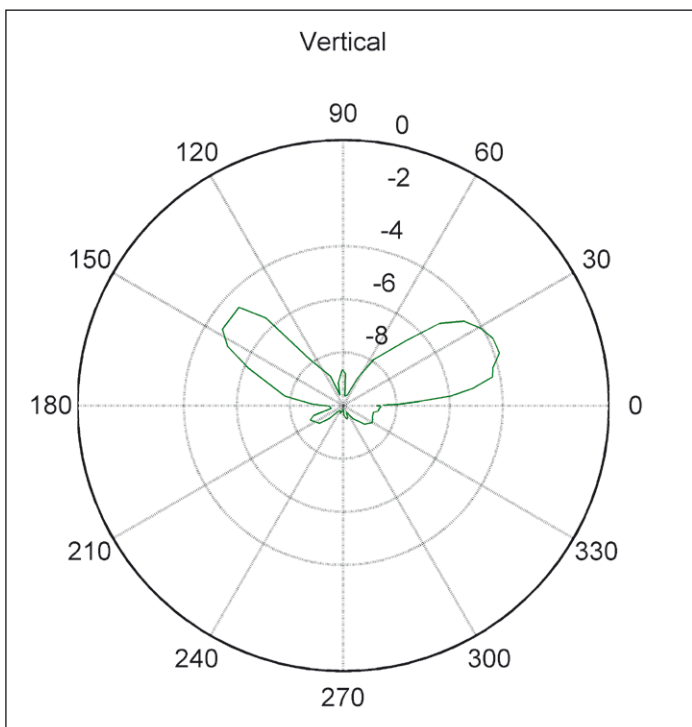


Bild 6: Abstrahlcharakteristik eines Senders über 360°

halb des Trägers liegen. Die erste Oberwelle wird sogar mit 90 dB unterdrückt.

Man sieht deutlich, dass das TDEMI X gegenüber einem klassischen Superheterodynempfänger also mehr Dynamik bereitstellt und daher für Spurious Emissions Messungen deutlich besser geeignet ist.

Emissionsmessungen gemäß ETSI EN 300 328 V2.1.1 (2016-11)

Der Standard ETSI EN 300 328 V2.1.1 (2016-11) beschreibt die wesentlichen Anforderungen an Funkmodule im 2,4-GHz (ISM)-Frequenzband. Geräte, welche ein derartiges Funkmodul verwenden, müssen also nach diesem Standard geprüft werden. Die Prüfung wird hier exemplarisch dargestellt und kann für andere Funkstandards mit ähnlichen Anforderungen in ähnlicher Art und Weise durchgeführt werden.

Maximale Ausgangsleistung

Sendemodule, welche ein Breitbandmodulationsverfahren (z. B. OFDM) verwenden, dürfen eine maximale Ausgangsleistung von 20 dBm liefern. Die Sendeleistungen beziehen sich auf das Maximum während eines Sende-Bursts.

Die Messung der absoluten Sendeleistung erfolgt mit dem TDEMI nun derart, dass eine

Echtzeitbandbreite ausgewählt wird, welche der Bandbreite des Kanals entspricht und diese Bandbreite mit dem RMS-Detektor über die Zeit gemessen wird. Beispielsweise kann dies einfach im Echtzeit-Spektrumanalyzermodus erfolgen, da dieser alle notwendigen Messparameter unterstützt.

Die maximale spektrale Leistungsdichte

Die maximale spektrale Leistungsdichte darf im Sendekanal 10 dBm/MHz nicht überschreiten. Hierzu wird der Ausgang des Sendemoduls mit dem TDEMI-X-Messgerät verbunden. Man spricht hierbei von einer leitungsgeführten Messung. Das TDEMI X wird auf eine Auflösungsbandbreite von 1 MHz eingestellt und der RMS-Detektor angewendet. Durch Aktivierung des Umrechnungsfaktors wird dann die spektrale Leistungsdichte in dBm/MHz direkt angezeigt.

Effective Isotropic Radiated Power E.I.R.P.

Gestahlte Emissionsmessung mit dem TDEMI X. Durch Verwendung des Echtzeitmodus wird der gesamte ISM-Bereich in Echtzeit gemessen und angezeigt. Durch kontinuierliches Drehen des Drehtischs und Echtzeitmessung an allen Frequenzpunkten, erhält man so direkt die spektrale Leistungsdichte pro Abstrahlwinkel und somit die gesamte

Frequency range	Maximum power	Bandwidth
30 MHz to 47 MHz	-36 dBm	100 kHz
47 MHz to 74 MHz	-54 dBm	100 kHz
74 MHz to 87,5 MHz	-36 dBm	100 kHz
87,5 MHz to 118 MHz	-54 dBm	100 kHz
118 MHz to 174 MHz	-36 dBm	100 kHz
174 MHz to 230 MHz	-54 dBm	100 kHz
230 MHz to 470 MHz	-36 dBm	100 kHz
470 MHz to 862 MHz	-54 dBm	100 kHz
862 MHz to 1 GHz	-36 dBm	100 kHz
1 GHz to 12,75 GHz	-30 dBm	1 MHz

Tabelle 1: Zu messende Frequenzbereiche mit Grenzwert und Auflösungsbandbreite

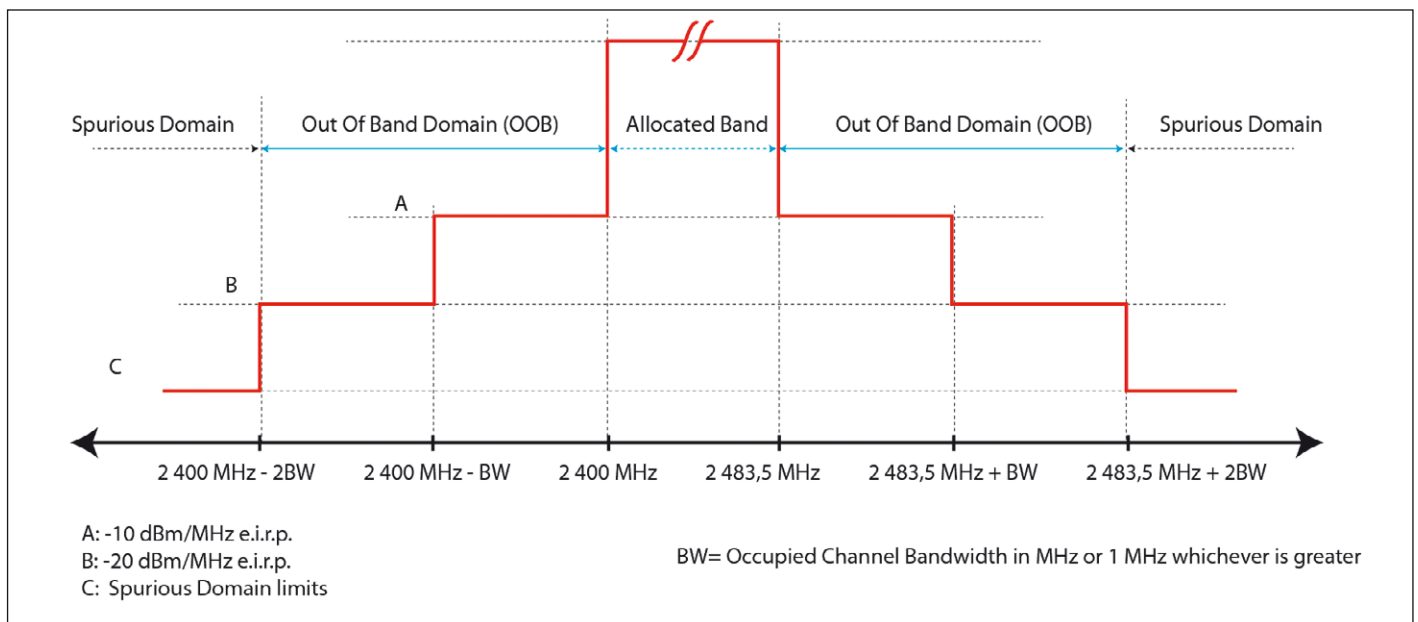


Bild 7: Out of Band Domain

Abstrahlcharakteristik. Durch Aktivierung des Umrechnungsfaktors, basierend auf den Daten der verwendeten Antenne und der Messentfernung erfolgt die Anzeige direkt in E.I.R.P. dBm/MHz. Für die erfolgreiche Qualifizierung des Messobjekts dürfen 10 dBm/MHz E.I.R.P. nicht überschritten werden.

Ein typisches Beispiel für eine Messung der Abstrahlcharakteristik zeigt Bild 6.

Messung von Nebenausstrahlungen in der Umgebung des zugewiesenen Bandes

Im Bereich des ISM Bandes ist die Maske gemäß Bild 7 dargestellt.

Außerhalb des ISM-Bandes muss das Funkmodul auf Nebenausstrahlungen untersucht werden. Dabei ist es erforderlich, dass die Grenzwerte gemäß Tabelle 1 eingehalten werden.

Da der Sendevorgang bzw. die Übertragung bei solchen Modulen teilweise in einzelnen Bursts stattfindet oder sog. frequency hopping Signale verwendet werden, ist es notwendig die Emission mittels RMS-Detektor über der Zeit eines Bursts zu messen. Würde man wie bei einer klassischen EMV-Messung vorgehen

und einfach mit RMS-Detektor messen und die Verweilzeit erhöhen, so würde man eine Fehlmessung erhalten. Sendet das Modul hingegen stationär kann einfach direkt mit dem RMS-Detektor gemessen werden.

Die Norm ETSI EN 300 328 V2.1.1 schlägt vor die kritischen Frequenzen zuerst mittels Spitz-

wertdetektor zu suchen und anschließend einzeln an jeder Frequenz mittels einer Messung über die Zeit einzelner Bursts die maximale Leistung festzustellen. Das TDEMI-X-Messsystem bietet die Möglichkeit, hier nicht nur an einem Frequenzpunkt die Leistung über die Zeit anzuzeigen sondern über mehrere Fre-

quenzpunkte. Dies geschieht üblicherweise unterhalb 1 GHz mit 645 MHz Echtzeitbandbreite und oberhalb 1 GHz in Segmenten von 325 MHz Echtzeitbandbreite. Selbstverständlich ist es auch möglich, Multi GHz Echtzeitsscanning erst einmal mit dem Peak Detektor vorzumessen. Die Norm ETSI EN 300 328 V2.1.1

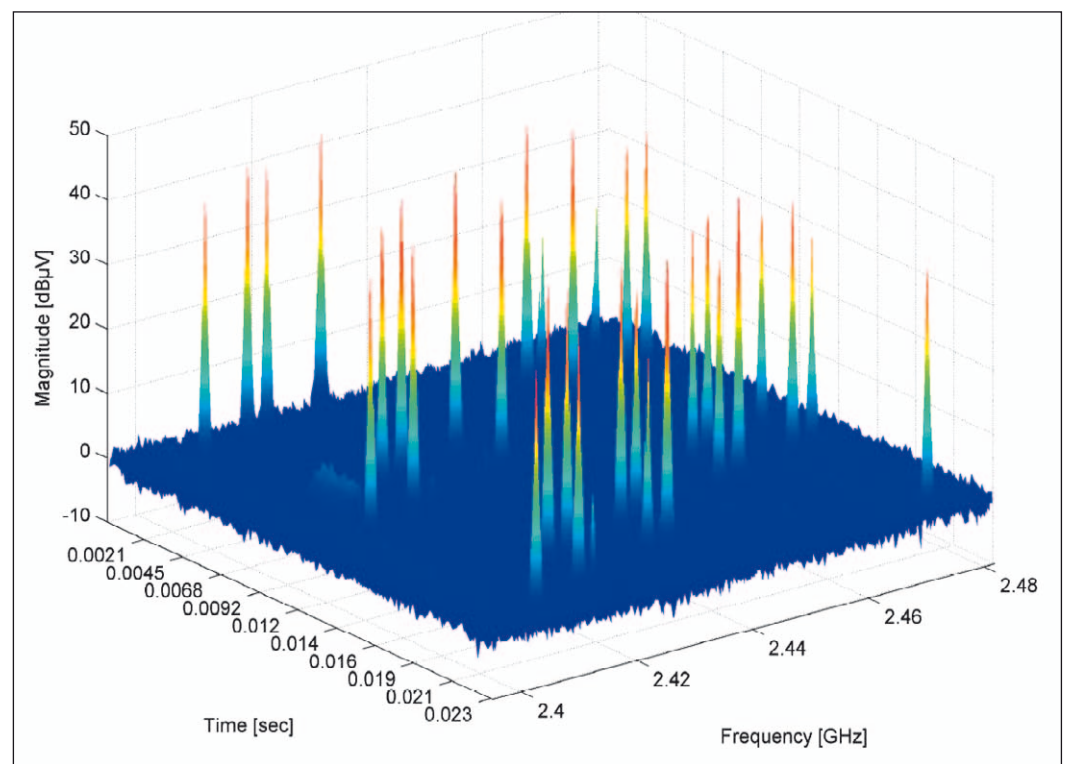


Bild 8: Messung eines Frequency Hopping Signals

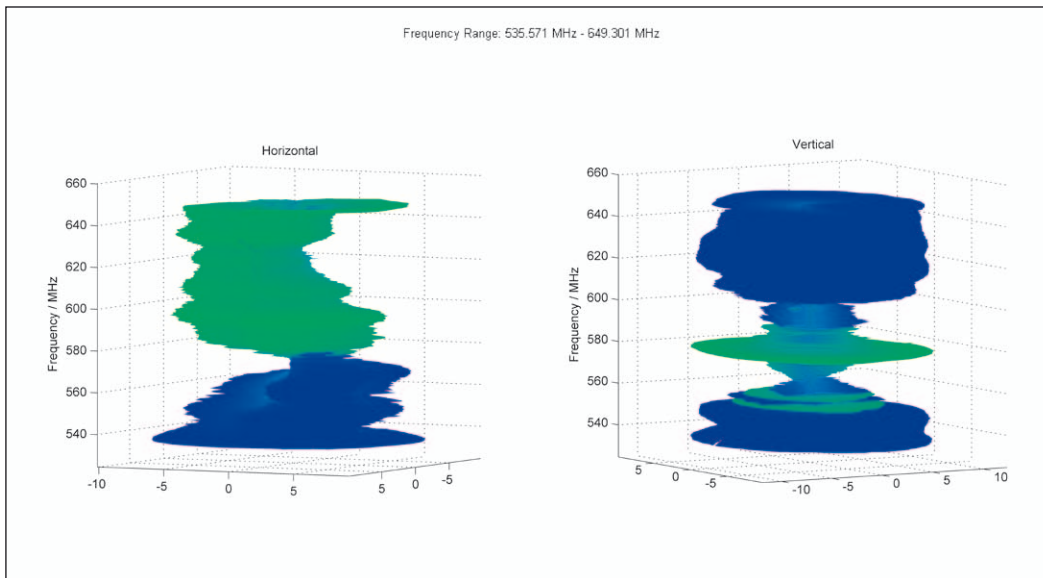


Bild 9: Messung der Abstrahlcharakteristik mit QP-Detektor

verweist hier direkt auf den Nutzen und Vorteile des Einsatzes von FFT Verfahren.

Untersuchung von Frequency Hopping Signalen

Die Verfahren zur Untersuchung hinsichtlich Frequency Hopping Signalen werden im Standard im Abschnitt 5.4.4 "Accumulated Transmit Time, Frequency Occupation and Hopping Sequence" erläutert. Zum einen müssen alle Frequenzpunkte, die verwendet werden, gefunden werden und zum anderen muss an allen Frequenzpunkten, bei denen das

Frequency-Hopping-Verfahren eingesetzt wird geprüft werden, ob Sendezeit und Abstand zwischen den Sendezeiten eingehalten werden.

In Bild 8 ist die Emissionmessung eines Bluetooth Moduls dargestellt. Für jeden Frequenzpunkt wird das zeitliche Verhalten angezeigt. Die an jedem Frequenzpunkt gemessene Leistung (RMS Detektor) über der Zeit wird über den Bandbereich als 3D-Darstellung wiedergegeben. Mit dem TDEMI X ist es direkt möglich die Abstände der Impulse sowie alle verwendeten Frequenzpunkte zu dokumentieren.

Emissionsmessungen nach Produktstandards

Durch eine Kombination aus 645 MHz Echtzeitbandbreite und einem Vorverstärker mit besonders niedrigem Eigenrauschen sowie sehr hoher Linearität können Prüflinge schnell mit Quasipeak gemessen werden. Ein Rauschboden von ca. -15 dBµV garantiert höchste Empfindlichkeit.

In Bild 9 ist die Emissionsmessung eines Haushaltsgerätes im Frequenzbereich 535 – 649 MHz als Richtcharakteristik bei der Emissionsmessung mit Quasipeak in Echtzeit dargestellt.

Wirtschaftliche Aspekte und Risikominimierung

Elektronische Geräte müssen sowohl reproduzierbar als auch genau hinsichtlich der Einhaltung der Produktnormen geprüft werden. Mit dem TDEMI-X-Messsystem mit 645 MHz Echtzeitbandbreite sowie der Automatisierungssoftware EMI64k wird beispielsweise die Emissionsmessung mit Quasipeak von Stunden auf nur noch wenige Sekunden reduziert.

Die TDEMI-X-Geräte können darüber hinaus für Funkmessungen eingesetzt werden. Die sehr hohe Echtzeitbandbreite sowie die exzellente Dynamik bieten viele Vorteile gegenüber herkömmlichen Spektrumanalysatoren und Messempfängern. Die TDEMI-X-Messgeräte können den Messaufbau durch Einsparung von externen Filtern vereinfachen und die einzelnen Messverfahren sehr schnell und hocheffizient durchführen. Darüber hinaus sind die Analyse und der Compliance Test von Frequency-hopping-Modulen in einem Schritt möglich.

Das TDEMI X ist ein universelles, hochwirtschaftliches Messgerät, welches sowohl die Messung nach CISPR, MIL und VG-Normen erheblich beschleunigen kann, aber auch gerade beim Thema Funkmessung deutliche Vorteile gegenüber der klassischen Messtechnik bietet. ◀

Literatur

[1] S. Braun und A. Frech

645 MHz Echtzeitbandbreite für Full-Compliance-Messungen mit dem TDEMI X

In hf-praxis 3/2016, Fachzeitschrift für HF- und Mikrowellentechnik, Mrz. 2016, Seite 44-47.

Link zum Artikel <http://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] S. Braun, M. Aidam, P. Russer

Development of a multiresolution time domain EMI measurement system that fulfills CISPR 16-1-1

International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 8-12 Aug. 2005, Chicago. Braun, M. Aidam and P. Russer

[4] 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

[5] 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, Feb 23-25, 2016. Ausgezeichnet mit dem BEST PAPER AWARD 2016.

[6] ETSI EN 300 328 V2.1.1, Wideband transmission systems; Data transmission equipment operating in the 2,4 GHz ISM band and using wide band modulation techniques; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU, European Telecommunications Standards Institute 2016