

# Emissionsmessungen mit dem TDEMI X - schnell, genau und unkompliziert



## 1. Einleitung

Traditionell wurde die Emissionsmessung im Frequenzbereich durchgeführt. Dabei wurden vorwiegend Superhetempfänger eingesetzt, die eine frequenzselektive Messung sequentiell durchführen. Dabei wird das Eingangssignal vorgefiltert, heruntergemischt, mittels eines Zwischenfrequenzfilters gefiltert und anschließend mittels eines oder mehrerer Detektoren ausgewertet. Mit zunehmender Digitalisierung wurden diese Schritte im unteren Frequenzbereich digital ausgeführt. Der Nachteil, dass alle Frequenzpunkte sequentiell gemessen werden müssen, besteht allerdings trotz Digitalisierung weiterhin

Zur Reduktion der Testzeiten wurde ein Verfahren entwickelt, welches zunächst eine schnelle, nicht normgerechte Vormessung mittels klassischem Superhetprinzip durchführt und anschließend eine normgerechte Nachmessung [2]. In der Praxis zeigt sich, dass dieses Verfahren zuverlässig bei stationären Schmalbandstörern funktioniert.

Bei intermittierenden Störern sowie driftenden Schmalbandstörern kann es allerdings zu Fehlmessungen führen, falls die Verweilzeit bei der Vormessung zu gering ist oder der Störer sich zwischen Vor- und Nachmessung ändert. Ein derartiges Verfahren verlangt vom Operator Erfahrung, sowie Kenntnisse über das Emissionsverhalten des Prüflings [3].

Erste Messempfänger, basierend auf dem Superhetprinzip, wurden bereits in den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts von Siemens, General Electric [1] sowie Stoddard hergestellt und zur Messung elektromagnetischer Störungen eingesetzt. Moderne Funkstörmessempfänger führen die Filterung des Zwischenfrequenzsignals sowie die Bewertung mittels der Detektoren digital durch.

Dadurch konnte eine Verbesserung der Reproduzierbarkeit von Emissionsmessungen erreicht werden. Da bei einer Emissionsmessung mehrere tausend Frequenzpunkte gleichzeitig gemessen werden müssen und dies bei Funkstörmessempfängern üblicherweise sequentiell erfolgt, ergeben sich bei der Messung mit Funkstörmessempfängern für eine Charakterisierung der Störaussendungen eines Messobjektes mehrere Stunden Messzeit. Mittels diskreter Fourier-Transformation (DFT) lässt sich das Spektrum aus einem Signal im Zeitbereich berechnen. Ein Berechnungsverfahren der DFT, welches die Anzahl der Multiplika-

tionen reduziert, ist die schnelle Fourier-Transformation (engl. fast Fourier transform, FFT) [4]. Ein weiteres Verfahren, welches aus einem Signal im Zeitbereich ein Spektrogramm berechnet, ist die Kurzzeit-FFT (engl. Short time FFT, STFFT) [5].

Allerdings genügt allein eine FFT nicht, um exakt gleiche Ergebnisse wie mit einem Messempfänger zu erhalten. Hierzu sind Signalverarbeitungsmethoden notwendig, welche darüber hinausgehen. Klassischerweise wird die FFT im Zusammenhang mit Fensterfunktionen eingesetzt, um sogenanntes spectral leakage zu minimieren.

Bei einem Messempfänger würde man von Nebenempfangsstellen sprechen. Um exakt gleiche Messergebnisse zwischen Einzelfrequenzpunktmessung und Mehrkanal-Messempfänger zu erhalten, muss ein analytischer Zusammenhang zwischen Filterkoeffizienten des ZF-Filters und den Koeffizienten der Fensterfunktion hergestellt werden. Dieser kann eindeutig berechnet werden, soll aber hier aufgrund der Komplexität nicht genauer erläutert werden [6].

Weiterhin muss die Dynamik der Analog-Digital-Wandler ausreichend sein, um die typischen Signale, welche im Spektrum vorkommen, mit hohem Signal-Rausch-Abstand erfassen zu können. Im letzten Jahr wurden hier von der Firma GAUSS INSTRUMENTS weitere Analog-Digital-Wandler Systeme realisiert, die es ermög-

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

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

**Tabelle 1 Typische Scanzeiten eines Superhets im Vergleich mit TDEMI X**

lichen, einen deutlich verbesserten Signal-Rausch-Abstand zu erreichen, verglichen mit der Technik noch vor wenigen Jahren. Messgeräte, die diese Anforderungen erfüllen, dürfen für Zertifizierungsmessungen eingesetzt werden. Ein Gerät, das diese Anforderungen erfüllt, zeigt Bild 1.

## 2. Anwendung für normgerechte Emissionsmessungen

### 2.1 Scanzeiten

Üblicherweise werden Emissionsmessungen nach zivilen Normen mit dem Quasi-Spitzenwert-Detektor durchgeführt. Typische Scanzeiten für Emissionsmessungen mit dem Quasi-Spitzenwert-Detektor unter Verwendung eines Superhetempfängers zeigt Tabelle 1:

Durch den Einsatz modernster Digitaltechnik mit Parallelisierung von ca. 16000 Quasi-Spitzenwert-Detektoren und der Nachbildung eines Messempfängers an bis zu 16000 Frequenzpunkten erreichen die Messgeräte TDEMI X von GAUSS INSTRUMENTS mit einem Quasi-Spitzenwert-Detektor ihre extrem kurzen Scanzeiten.

Darüber hinaus kann das TDEMI X mittels Echtzeitanzeige aller Quasi-Spitzenwert-

Detektoren über einen Bandbereich von 162 MHz simultan messen und das Einschwingverhalten des Quasispitzenwertdetektors an allen Frequenzpunkten gleichzeitig mit einer Auflösung von 50 ms zur Anzeige bringen. Die Funktionsweise dieser Technologie wird in Abschnitt 3 genauer erklärt.

### 2.2 Leitungsgeführte Emissionsmessung mit der Netznachbildung

Leitungsgeführte Emissionsmessungen werden üblicherweise im Frequenzbereich 9 kHz - 30 MHz durchgeführt. Hierbei muss die Emission für jede Phase gemessen werden. In der Vergangenheit wurden derartige Messungen durch Vormessung mittels Spitzenwertdetektor und Nachmessung an einzelnen Frequenzpunkten mittels Quasi-Spitzenwert-Detektor durchgeführt. Durch die Anwendung des TDEMI X dauert die Messung für den Frequenzbereich 9 kHz - 30 MHz nur noch 2 s pro Phase, so dass eine Emissionsmessung bei einer 2-Leiter-Netznachbildung nur ca. vier Sekunden dauert. Anschließend kann ein Report generiert werden.

### 2.3 Messung der Störleistung mittels Absorberzange

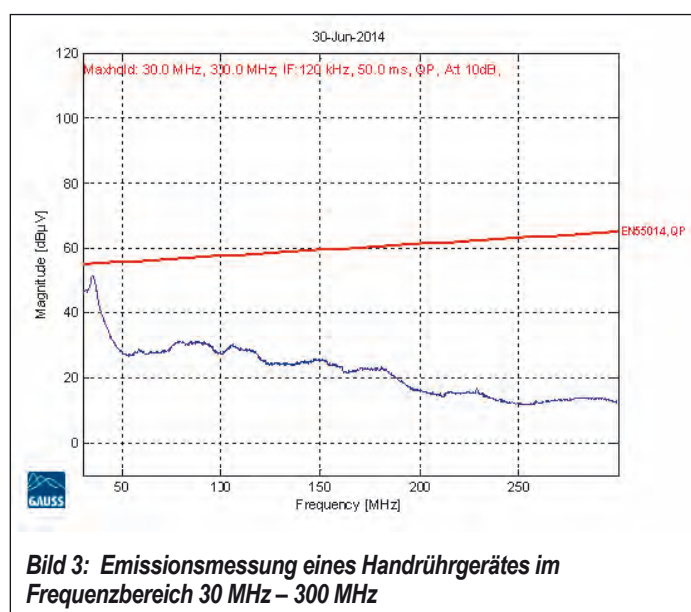
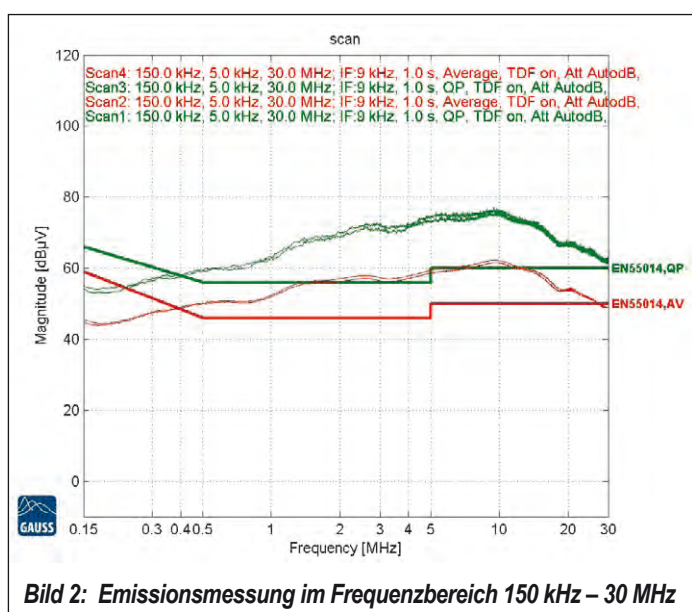
Messungen der Störleistung mittels Absorberzange werden im Frequenzbereich 30 MHz - 300 MHz durchgeführt. Dabei muss entlang einer Gleitbahnenbahn die maximale

Emission untersucht werden. Üblicherweise wird die Suche nach dem Maximum mit dem Quasi-Spitzenwert-Detektor an einzelnen Frequenzpunkten durchgeführt. Dabei wird der Empfänger auf die einzelne Frequenz eingestellt und die Gleitzange so lange bewegt, bis das Maximum gefunden war.

Im Gegensatz hierzu kann nun mittels TDEMI X sofort die Maximierung an allen Frequenzpunkten über einen Bandbereich von 162.5 MHz erfolgen. Hierzu wird das Gerät im Spektrogrammmodus in der Max-Hold-Funktion betrieben, und es erfolgt die Emissionsmessung über zwei Teilbereiche. Das Verschieben der Absorberzange über die Länge der Bahn dauert ca. 8 s, so dass die komplette Emissionsmessung in ca. 16 s fertiggestellt ist. Das Ergebnis einer derartigen Messung zeigt Bild 3.

### 2.4 Messung feldgebundener Emissionen in der Absorberhalle

Ein typischer Drehtisch benötigt ca. 5 s um eine Drehung von 360° zu realisieren. Bei einer Messung in einem Full Anechoic Room (FAR) in 3 m Entfernung kann damit mittels Quasi-Spitzenwert-Detektor eine komplette Charakterisierung des Prüflings innerhalb von ca. 35 Sekunden im Frequenzbereich 30 MHz - 1 GHz erfolgen. Die Messung muss mit vertikaler und horizontaler Polarisation wiederholt werden, so dass sich eine Gesamtmesszeit von ca. 70 Sekunden ergibt.



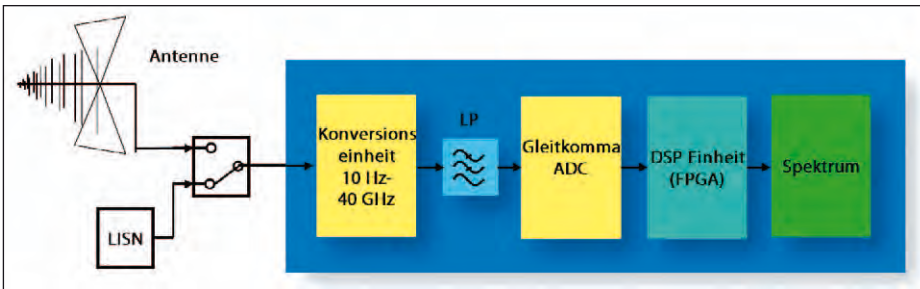


Bild 4: EMV-Zeitbereichsmesssystem TDEMI X

Bei der Messung in einer 10-m-Absorberhalle mit leitendem Boden nehmen wir an, dass die Messung an 10 Höhen durchgeführt werden soll. Dadurch ergibt sich eine Messzeit für beide Polarisationen von insgesamt ca. 12 Minuten.

Mittels TDEMI X ist die Messzeit mit einer Gesamtcharakterisierung an allen Frequenzpunkten über alle Positionen mit Quasi-Spitzenwert-Detektor kürzer als die Messzeit bei der Vormessung mittels Spitzenwertdetektor und konventionellen Verfahren.

2.5 Messung feldgebundener Emissionen in der GTEM-Zelle

Bei der Messung in der GTEM-Zelle wird der Prüfling in drei Positionen gemessen und das Ergebnis superpositioniert. Bei einer Scanzeit von 7 Sekunden im Frequenzbereich von 30 MHz - 1 GHz dauert die Gesamtmessung ca. 21 Sekunden. Die Superpositionierung kann im Nachgang bei der Erstellung des Reports erfolgen.

3. Technische Funktionsweise des TDEMI X

Das Eingangssignal wird mittels einer Analog-Digital-Wandler-Einheit zur Messung

im Frequenzbereich 9 kHz - 1 GHz abgetastet und digitalisiert. Für Messungen oberhalb 1 GHz erfolgt eine breitbandige Frequenzumsetzung. Die spektrale Berechnung erfolgt mittels Kurzzeit-FFT. Ein Blockschaltbild eines TDEMI X zeigt Bild 4. Für gestrahlte Emissionsmessung verwendet man typischerweise eine breitbandige, logarithmisch-periodische Antenne. Alternativ können Messungen mittels Absorberzange oder Netznachbildung durchgeführt werden. Zur Untersuchung der Einkopplung an Antennen im KFZ kann das TDEMI X direkt angeschlossen werden. Das Eingangssignal wird mittels eines mehrstufigen Analog-Digital-Wandler-Systems digitalisiert. 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 eingesetzt.

Dies ermöglicht einen äquivalenten Dynamikbereich von ca. 22 Bit, womit es möglich ist, eine hohe Empfindlichkeit von ca. -25 dB µV (Band B) zu erreichen und gleichzeitig Impulse von mehreren Volt zu erfassen.

Mittels leistungsfähiger FPGAs mit einer Rechenleistung, welche ca. 100 handelsüblichen PCs entspricht, erfolgt die Aus-

wertung in einer Bandbreite von 325 MHz lückenlos in Echtzeit. Ein EMV-Zeitbereichsmesssystem wurde erstmalig in [6] vorgestellt. Die Messung konnte hierbei um einen Faktor 1000 beschleunigt werden. 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.

3.1 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, das einer Darstellung des Spektrums über der Zeit entspricht. Während stationäre Signale ein konstantes Spektrum über der Zeit aufweisen, zeigt sich beim Spektrogramm das instationäre Verhalten des Störsignals. Die mathematische Definition der Kurzzeit-FFT ist gegeben durch:

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

Da die Fensterfunktion  $w[n]$  symmetrisch ist, existieren mehrere Möglichkeiten diese Gleichung zu vereinfachen, wobei  $w[n]$  die Fensterfunktion ist, die welche 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 Mehrkanal-Gaussfilter eines Mehrkanal-Messempfängers, wie dem TDEMI X, hergestellt werden kann.

Es ist aus der Literatur bekannt, dass die Kurzzeit-FFT äquivalent zu einer Anordnung von Basisbandmischern und einer Filterbank ist [7]. Die Kurzzeit-FFT kann ebenfalls aus einer Anordnung mit 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 Basisband-Abtastfrequenz entspricht. Diese Abtastfrequenz  $f_{sbb}$  muss so groß sein, dass die Nyquistbedingung im Basisband eingehalten wird. Ein zu geringe Abtastrate führt zu Messfehlern bei transienten Signalen.

Um einen Mehrkanal-Messempfänger zu erhalten, muss anschließend an jedem Frequenzpunkt digital demoduliert werden,

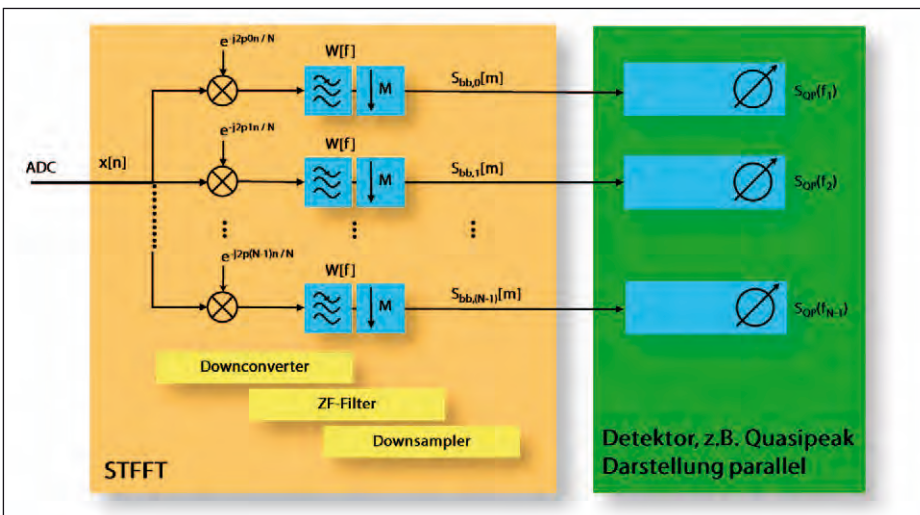


Bild 5 Mehrkanalmessempfänger - Umsetzer, Filterbank, Dezimator und Detektor

sowie eine digitale Implementierung der Detektoren erfolgen. Die Realisierung eines solchen Mehrkanal-Empfängers wie dem TDEMI X ist in Bild 5 dargestellt.

Bei der Implementierung eines Mehrkanal-Spektrumanalysators müssen die Signale an jedem Frequenzpunkt logarithmiert und mit einem Videofilter tiefpassgefiltert werden. Anschließend erfolgt die Anzeige mittels eines MaxPeak-, Sample- oder MinPeak-Detektors.

### 3.2 Frequenzumsetzung

Im Frequenzbereich bis 40 GHz wird eine breitbandige Vorselektion eingesetzt. Die Konvertereinheit verwendet ein Mischerschema, das es ermöglicht, Spiegelfrequenzen und andere Mischprodukte zu unterdrücken und gleichzeitig eine Echtzeitbandbreite von 325 MHz zur Verfügung zu stellen. Ein Beispiel einer Konvertereinheit im Bereich 6 GHz - 26.5 GHz zeigt Bild 6.

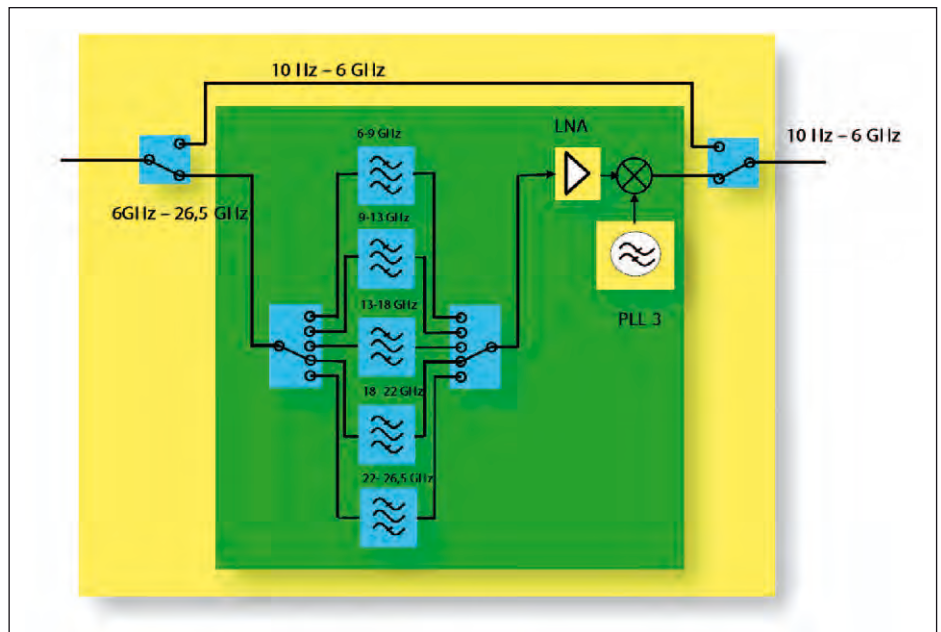


Bild 6: Frequenzumsetzung 6 GHz - 26,5 GHz

### 3.3. Dynamikbereich

Es wurden Messungen an einem TDEMI X mit 12-Bit-A/D-Wandler und TDEMI mit 8-Bit-A/D-Wandler durchgeführt. Tabelle 2 zeigt einen Vergleich zwischen dem Rauschboden und dem Aussteuerungsbereich des empfindlichsten A/D-Wandlers bei 0 dB Abschwächung. Diese Messung wurde beispielhaft bei 100 MHz und 1 GHz durchgeführt. Während beim TDEMI ca. 70 dB Dynamik erreicht werden, sind es beim TDEMI X über 100 dB.

## 4. EMV-Normen

Grundsätzlich sind die EMV-Normen Technologie-unabhängig, d.h. neutral geschrieben. 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 mit Superhetprinzip, einen Geradausempfänger, einen teildigitalen Messempfänger oder einen volldigitalen Messempfänger d.h., ein EMV-Zeitbereichsmesssystem, handeln muss. Auch ist nicht spezifiziert, 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, die eine Anzeige des Pegels über der Frequenz liefern. Da im Automotive Bereich vorwiegend die Normen CISPR 16-1-1 und MIL461 für den unteren Frequenzbereich angewendet werden, soll hier nur auf diese beiden Normen eingegangen werden.

#### 4.1 CISPR 16-1-1

Die CISPR 16-1-1 [9] verlangt ein bestimmtes Anzeigeverhalten eines Instruments für unterschiedliche Prüfsignale. Man unterscheidet zwischen:

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

Die CISPR 16-1-1 unterscheidet zwischen den Bändern A,B,C/D,E. Zu jedem Band muss das Messinstrument eine genormte ZF-Bandbreite bereitstellen. Für die Bänder A,B,C/D sind jeweils noch unterschiedliche Zeitkonstanten für den Quasi-Spitzenwertdetektor definiert. Ferner werden die ZF-Bandbreiten als 6-dB-Bandbreiten definiert.

TDEMI- und TDEMI-X-Geräte von GAUSS INSTRUMENTS verwenden die Kurzzeit-FFT, erfüllen das Anzeigeverhalten nach CISPR 16-1-1 und werden für Abnahmemessungen eingesetzt. Die 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, die eine harte Echtzeitbedingung erfüllen, und eine unbegrenzte Messzeit für Quasipeak ermöglichen, können 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. Außerdem arbeiten diese nicht lückenlos. FFT-Analysatoren, bzw. Oszilloskope mit FFT-Funktionalität können deshalb nicht für EMV-Messungen sinnvoll oder gar normgerecht eingesetzt werden.

#### 4.2 MIL 461

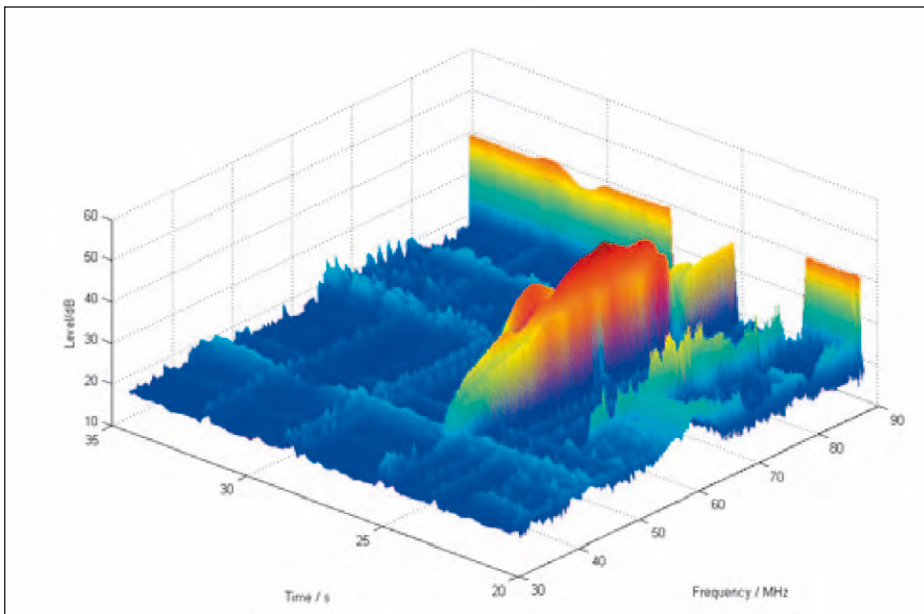
Die Norm MIL461 beschreibt einen Messempfänger, der dekadische 6-dB-Band-

	Rauschboden (ZF 120kHz)	Aussteuerung (1 ADC)
8-Bit ADC	-8 dBuV	68 dBuV
12-Bit ADC	-12 dBuV	91 dBuV

Tabelle 2: Rauschboden und Aussteuerung bei 100 MHz

	Rauschboden (ZF 120kHz)	Aussteuerung (1 ADC)
8-Bit ADC	-5d BuV	73 dBuV
12-Bit ADC	-9 dBuV	94 dBuV

Tabelle 3: Rauschboden und Aussteuerung bei 1 GHz



**Bild 7: Emissionsmessung des Anlassvorgangs eines Autos**

breiten 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 typisch einen Spitzenwertdetektor.

## 5. Weitere Anwendungen

Speziell bei Prüflingen aus dem Kraftfahrzeug, z.B. bei mechanischen Bewegungsgebern, ergibt sich das Problem, dass die Funktionszyklen in größeren zeitlichen Abständen auftreten und jeweils nur für ein kürzeres Zeitintervall andauern. Würde man allerdings die Verweilzeiten bei Emissionsmessungen derart anpassen, dass sie größer sind, als der Betriebszyklus, so würden sich sehr lange Scanzeiten über ein Frequenzintervall ergeben.

In Bild 7 ist die Emissionsmessung des Anlassvorgangs eines Kfz dargestellt. Man kann deutlich bei der Zeitmarke 25 s erkennen, dass eine Breitbandstörung abgestrahlt wird. Während des Vorgangs werden andere Verbraucher abgeschaltet. Dies ist z.B. daran zu erkennen, dass ein Schmalbandstörer bei ca. 90 MHz während des Anlassvorgangs nicht emittiert.

## 6. Wirtschaftliche Aspekte

In der Vergangenheit war es nötig, aufgrund der komplexen Prüfverfahren mittels Vor- und Nachmessung, eine Automatisierungssoftware zu verwenden. Durch den Einsatz moderner Technologie können nunmehr

Geräte auch im Stand-Alone-Betrieb genutzt und die Messungen auch manuell mit geringem Aufwand durchgeführt werden. Eine

zusätzliche Investition in eine Fernsteuerungssoftware ist bei diesen Messungen nicht erforderlich. Bei gestrahlten Emissionsmessungen können zusätzlich die Prüfprozeduren automatisiert werden und bestehende Systeme, wie Drehtisch und Antennenmast, angesteuert werden.

Durch den hohen Durchsatz moderner Mehrkanal-Messempfänger verbessert sich der Return on Investment z.B. hinsichtlich des Anschaffungspreises der sehr kostspieligen Absorberhalle deutlich.

## 7. Schlussfolgerungen

Mittels moderner Messgeräte, wie z.B. dem TDEMI X, können die Scanzeiten von mehreren Stunden auf wenige Sekunden reduziert werden, um ein normgerechtes Ergebnis zu erhalten. Dies wird technologisch durch leistungsfähigste Analog-Digital-Wandler und FPGAs mit hoher Parallelisierung erreicht. Durch die Anwendung dieser Technologie können Emissionsmessungen wirtschaftlich, normgerecht, reproduzierbar und mit einfach durchzuführenden Prüfverfahren realisiert werden. ◀

## Literatur

- [1] C. R. Barhydt, "Radio noise meter and its application," in General Electric Rev. Vol. 36, pp. 201–205, 1933.
- [2] M. Stecher, "Automated measurement of emissions from equipment and systems," in 2002 IEEE International Symposium On Electromagnetic Compatibility Digest, August 19–23, Minneapolis, USA, pp. 593–598, 2002.
- [3] M. Stecher „Timing Analysis - A necessary Improvement of EMI Emission Tests“, 1998 International Symposium On Electromagnetic Compatibility Roma, Italy
- [4] 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.
- [5] A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer, Discrete-Time Signal Processing. ISBN 0-13-214107-8, Prentice-Hall, 1999.
- [6] S. Braun, M. Al-Qedra, and P. Russer, "A novel realtime time-domain emi measurement system based on field programmable gate arrays," in 17th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, Digest, (Singapore), pp. 501–504, Feb. 2006.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] CISPR 16-2-3 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity - Radiated disturbance measurements, 2006
- [11] 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