

(R)evolution der Emissionsmessung

20 Jahre EMV-Zeitbereichsmessung



Bild 1: TDEMI Ultimate mit 1 GHz Echtzeitbandbreite

Die Gründung des CISPR Komitees reicht bis in die 30er Jahre des vorigen Jahrhunderts zurück. Damals wurden erste Phänomene und Herausforderungen hinsichtlich elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV) festgestellt, deren Problematik analysiert und schließlich wurden EMV-Messempfänger entwickelt, welche es ermöglichten sog. Funkstörungen zu messen. Diese Störungen stammten z.B. von Motoren von Straßenbahnen, später von Haushaltsgeräten und zeigten sich darin, dass das damals noch relativ neue Medium Radio und Fernsehen durch diese Signale gestört wurde.

So wurden zwischen 1940 und 2006 Messempfänger entwickelt, die alle auf dem Überlagerungsempfängerprinzip basierten und damit in der Lage waren frequenzselektiv die Störemission gegen Grenzwerte zu messen. Deren Messprinzip war jedoch mit dem Nachteil verbunden, dass alle Messpunkte sequentiell gemessen werden mussten und die Messung daher sehr langsam war.

Innovationen

2006 wurde auf der Fachkonferenz EMC Zurich, welche damals in Singapur stattfand, erstmalig ein System vorgestellt, welches Echtzeitbänder mit mehr als 100 MHz mittels Echtzeit-FFT für EMV-Messungen normgerecht messen konnte. 2007 wurden die ersten Seriengeräte der Technologie von GAUSS INSTRUMENTS mit 162,5 MHz Echtzeitbandbreite beim VDE Prüfinstitut in Offenbach standardmäßig eingesetzt. Im Jahr 2013 wurde die Echtzeitbandbreite auf 345 MHz und im Jahr 2016 bereits auf 645 MHz erweitert.

Die MultiGHz-Echtzeitsscanning Technologie von GAUSS INSTRUMENTS ermöglichte es dann ab 2018 Messungen über mehrere GHz mit Spektrogrammaufzeichnung durchzuführen. In 2023 schließlich, stellte GAUSS INSTRUMENTS das TDEMI Ultimate (siehe Abbildung 1) vor, welches nun 1 GHz Echtzeitbandbreite messen kann und gleichzeitig alle Anforderungen der Norm CISPR 16-1-1 in diesem

Betriebsmodus einhält und somit voll normkonform ist. Dieses wurde 2026 hinsichtlich Genauigkeit verbessert und mit weiteren Funktionen ausgestattet, wie z. B. einem „Ultra-high Resolution Persistence Mode“.

Das in 2006 erstmals vorgestellte TDEMI Messverfahren wurde damals in Singapur als revolutionäre Entwicklung in der EMV-Branche betrachtet und wurde mit mehreren Preisen ausgezeichnet. Bereits im Jahr 2010 wurde das Messverfahren offiziell in die CISPR 16 Serie Standards sowie in weitere Normen aufgenommen, so dass der Einsatz dieser neuartigen und vorteilhaften Technologie immer breitere Akzeptanz und immer mehr auch bei Abnahmemessungen Einzug fand und eingesetzt werden konnte.

Das TDEMI Messverfahren war somit und ist auch heute der Game-Changer für Emissionsmessungen. Doch neben der stetigen Erweiterung der verfügbaren Echtzeitbandbreite, haben sich auch weitere Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile eröffnet. Daneben werden solche heutige Messgeräte immer noch gerne mit klassischen Messempfängern verglichen und es stellt sich die Frage, welche weiteren

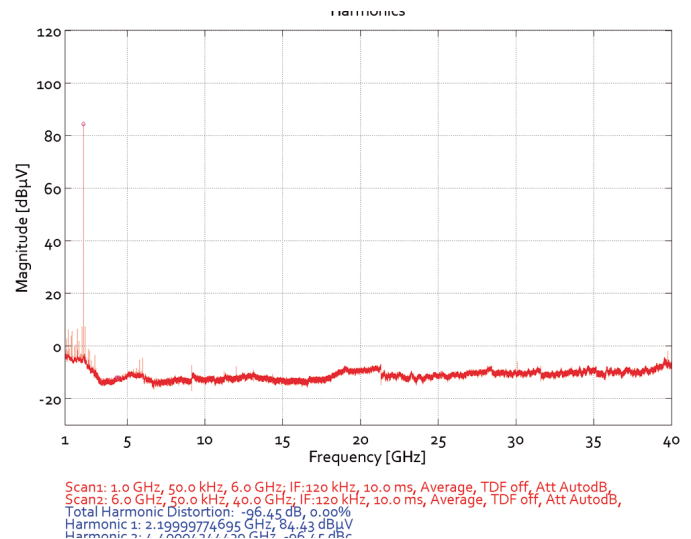


Bild 2: Oberwellenmessung eines 2,2 GHz Signals

Autoren:
 Stephan Braun,
 Arnd Frech

GAUSS INSTRUMENTS

www.gauss-instruments.com/de/

Entwicklungen es über den Zeitraum gab und welche neuen Möglichkeiten solche Geräte seinen Anwendern ermöglichen.

Neue TDEMI G Serie vs. damaliger erster TDEMI G Serie

Die 2007 erstmalig für normkonforme EMV-Messungen entwickelten Messgeräte verfügten über ein Frontend welches damals schon 1 GHz mit ausreichend Dynamik digitalisieren konnte um die Anforderungen der CISPR 16-1-1 einzuhalten. Hierzu wurden drei ADCs mit einer Auflösung von jeweils 8 Bit verwendet. Dabei wurde ein verzerrungsfreier Dynamikbereich von 55 dB für Sinussignale eingehalten. Diese Technologie setzte erstmalig eine Echtzeit-Signalverarbeitungshardware ein, welche Bänder von 162,5 MHz messen konnte. Die Messzeit für eine vollständige Messung mit Quasi-Peak (QP) Detektor von 30 MHz – 1 GHz wurde damit erstmals auf 64 Sekunden reduziert.

2022 wurde dann die neue TDEMI G Serie vorgestellt mit völlig neu aktualisierter Hardwareplattform und 2026 nochmal erweitertem Performance Upgrade. Diese neue TDEMI G Serie verwendet zwei ADCs

mit mehr als 14 Bit Auflösung, erreicht einen Verzerrungsfreien Dynamikbereich von über 90 dB und kann eine Echtzeitbandbreite von 225 MHz verarbeiten. Die Messzeit wird damit von 64 s auf nur noch 5 s reduziert.

In Tabelle 1 ist ein Vergleich der Performance der ersten TDEMI G Serie (2007) mit der neuen TDEMI G Serie von 2026 dargestellt. Wie zu erkennen, bietet die neueste Generation der TDEMI G Serie wesentliche Verbesserungen und Vorteile gegenüber der ursprünglichen TDEMI G Serie. Der verzerrungsfreie Dynamikbereich beträgt nun über 90 dB, mit zusätzlichem Abschwächer wird eine Gesamtdynamik von über 170 dB erreicht. Das neue TDEMI G setzte auch wiederum neue Maßstäbe bzgl. Messgenauigkeit und Echtzeitbandbreite so dass neben EMV-Messungen dieses System u. a. auch für UWB-Funkmessungen eingesetzt werden kann und weitere Geräte eines Funkmessaufbaus ersetzen können, z.B. breitbandige Power Meter.

Eine weitere Neuheit ist ein neues Design, welches beim Kaltstart bereits die volle Messgenauigkeit bereitstellt – ganz ohne Alignment und interner Kalibrierung. Das bedeutet, dass ein solches Messgerät jederzeit sofort einsatzbereit ist, wenn eine

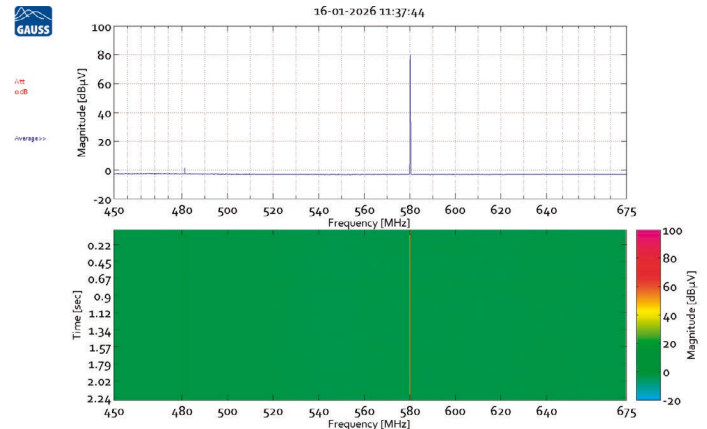


Bild 3: Verzerrungsfreier Dynamikbereich im Echtzeitband (mit Preselektor OFF)

Messung durchgeführt werden soll und nicht erst lange warm laufen muss und zusätzlich eine interne Kalibrierung gestartet werden muss.

Ein weiterer wichtiger HF-Parameter, sowohl für den Einsatz für Funkmessungen als auch EMV Messung, ist die Fähigkeit, Oberwellen von Signalen messen zu können. Das TDEMI 44G wurde dabei nochmals optimiert und zeigt nun bei einer Oberwellenmessung von 2,2 GHz eine Unterdrückung von über 96 dBc und zwar bei einer Abschwächereinstellung von 0 dB.

Auch in diesem Fall ist die Performance mit maximaler Sensitivität bis 40 GHz ohne den Ein-

satz von externen Vorverstärkern oder Filtern sichergestellt. Eine typische Abweichung von maximal +/-1 dB steht bis 40 GHz zur Verfügung und kann daher weitere Messgeräte für Funkmessungen ersetzen. Bei EMV-Messungen wird die Messunsicherheit durch die Verwendung eines neuen TDEMI G somit nochmals deutlich verbessert.

In Bild 3 ist die Performance im Echtzeitband dargestellt. Es wird im Echtzeitband eine verzerrungsfreie Dynamikbereich von ca. 80 dBc erreicht, was die Anforderungen, welche derzeit an Funkmessungen gestellt werden, deutlich übertrifft. Die Messung wurde zunächst ohne aktiven Preselektor durchgeführt.

Parameter	TDEMI G Serie (2007)	TDEMI G Serie (2026)	klassischer Messempfänger mit Time-domain Scan
Scanzeit 30 MHz – 1 GHz, QP	64 s	5 s	80 s bzw. 18s
Messgenauigkeit Sinus 1 GHz	Typ +/- 1 dB	Typ +/-0.2 dB	Typ +/-1 dB
Rauschboden Preselector on 1 GHz	Typ - 4dB	Typ -15 dB	Typ + 9 dB
Normkonforme Echtzeitbandbreite	162.5 MHz	225 MHz	< 30 MHz
IQ Messbandbreite mit Vorselektion bis 40 GHz	-	510 MHz	< 30 MHz
Verzerrungsfreier Dynamikbereich im Echtzeitband	55 dB	90 dB	ca. 60 dB
Genauigkeit bis 40 GHz ohne Alignment	+/- 2dB	Typ +/- 1 dB	Nicht spezifiziert
Genauigkeit bis 40 GHz (Kaltstart)	Nicht spezifiziert	+/- 2 dB	Nicht spezifiziert
Niedrigste Pulswiederholrate QP im Band C	Isolated Impulse	Isolated Impulse	Isolated Impulse bzw. 5 Hz

Tabelle 1: Vergleich Performance erste TDEMI G Serie (2007) mit neuer TDEMI G Serie von 2026

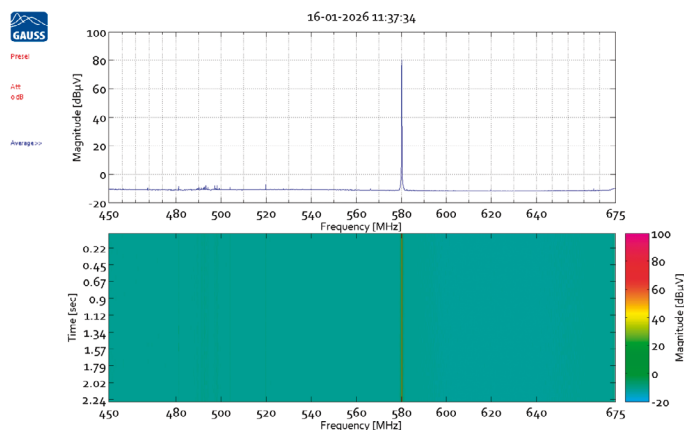


Bild 4: Verzerrungsfreier Dynamikbereich im Echtzeitband (mit Preselektor ON)

Wird zusätzlich der Preselektor aktiviert, beispielsweise für Messungen des Signals bei 433 MHz, so ergibt sich eine nochmal deutlich verbesserte Dynamik, sodass nun die Verkopplung des Displays des Signalgenerators im Bereich bei rund 495 MHz untersucht werden kann.

Neuerungen TDEMI Ultimate und TDEMI ULTRA

Das TDEMI Ultimate wurde 2026 mit einigen Neuerungen ausgestattet. Eine wichtige Neuerung hiervon ist ebenfalls die Kaltstartfähigkeit ohne die Notwendigkeit von Alignments sowie die weitere Verbesserung der Genauigkeit bis 40 GHz. Konkret bedeutet dies, dass direkt nach dem Einschalten des TDEMI Ultimate eine normkonforme Quasi-Peak Messung mit 1 GHz Bandbreite erfolgen kann – ganz ohne Aufwärmphase. Für Messungen oberhalb 1 GHz wird somit schon heute auch ohne Aufwärmphase direkt die Genauigkeit der zukünftigen CISPR 16-1-1 bis 40 GHz erreicht. Dies bietet viele Vorteile beim Einsatz im Labor sowie beim Einsatz bei in situ Messungen.

Eine weitere Neuerung ist der „Ultra-high Resolution Persistence Mode“. Typischerweise wird heute der Persistence Mode zur Erkennung von verdeckten Störungen eingesetzt. Beim traditionellen Persistence Mode welchen wir heute bei Messgeräten kennen, besteht der

Nachteil darin, dass die Anzahl der Punkte typischerweise auf 1000 beschränkt ist und auch keine Gewichtung und Vorfilterung möglich ist.

Das TDEMI Ultimate und TDEMI ULTRA setzen hier einen neuen Maßstab bzgl. des Persistence Modus mit mehr als 50000 parallelen Punkten sowie einer deutlich höheren Auflösung. In Bild 5 ist eine solche Echtzeitmessung im Frequenzbereich bis 1 GHz dargestellt.

Neben der Möglichkeit, normkonform mit 1 GHz Echtzeitbandbreite eine Emissionsmessung durchführen zu können und

das zeitliche Verhalten darzustellen, kann mit dem Persistence Modus zusätzlich anhand der Häufigkeit beispielsweise eine bessere Trennung zwischen dem Signal des Prüflings und der Umgebung stattfinden. Der Persistence Modus des TDEMI Ultimate kann in einer Auflösung von bis zu 8k dargestellt werden, so dass auch jedes noch so kleine Detail visualisiert werden kann.

Somit können auch bei Funkkanälen genauere Analysen zur Mehrwegausbreitung und Überlagerung von Funkkanälen vorgenommen werden, z.B. im 2,4-GHz-Band. In Bild 6 ist gut zu erkennen, dass sich mehrere WLAN-Funksignale überlagern. Gleichzeitig wird der Bandbereich von Bluetooth Signalen benutzt.

Bild 7 zeigt die Emissionsmessung mit dem Quasi-Peak Detektor eines Breitbandstörers im Freifeld mit 1 GHz Echtzeitbandbreite. Gut ersichtlich ist hier, dass die Umgebungsstörungen, welche in den unterschiedlichen Funkbändern zu erkennen sind, relativ stationär sind. Der breitbandig gepulste Störer tritt z.B. über den gesamten Frequenzbereich 30 MHz bis 1 GHz z.B. im Zeitraum

31...40 s auf. Gleichzeitig sieht man, dass die Sensitivität des QP-Detektors bei ca. 0 dBμV liegt. Diese Sensitivität genügt um auch ohne externen Vorverstärker eine Emissionsmessung in einer großen 10-m-EMV-Halle durchführen zu können.

Zusammenfassung

Mit der Einführung des ersten TDEMI G im Jahr 2007 war es erstmalig möglich, Quasi-Peak Messungen in 64 s durchzuführen, während damals noch eine vergleichbare Messung über 6 h dauerte. Die neue TDEMI G Serie mit neuer Hardware-Plattform und Performance Upgrade von 2026 kann die gleiche Messung mit deutlich besserem Rauschboden und fast 40 dB mehr Dynamik in nur 5 s erledigen. Mit dem TDEMI Ultimate wurde die Messzeit noch weiter reduziert und zwar auf nur noch 1 s.

Es gibt nur wenige technische Entwicklungen in den letzten 20 Jahren, die von der Effizienz einen derart hohen Einfluss hatten, dass eine Aufgabe von über 6 h auf nur 1 s reduziert werden konnte, und zwar mit gleichzeitig verbesserter Qualität und erhöhter Genauigkeit.



Bild 5: Ultra-high resolution Persistence Mode mit 1 GHz Bandbreite

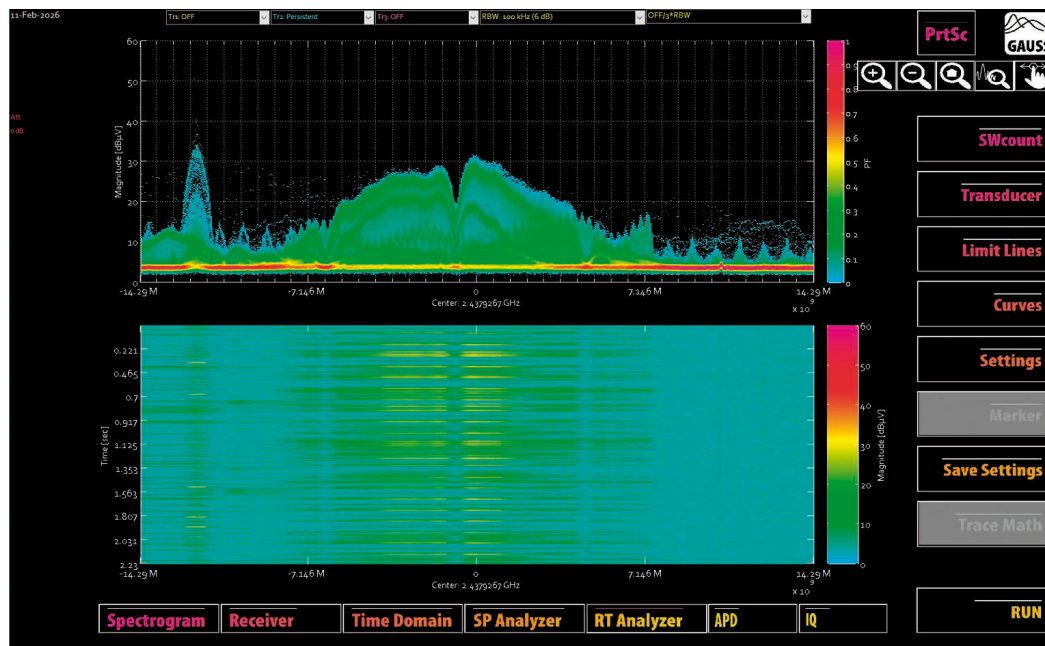


Bild 6: Messung des 2,4 GHz WiFi-/Bluetooth-Bands

Neben der Geschwindigkeit bieten alle TDEMI Messgeräte-serien heute eine Vielzahl von Neuerungen, welche In-Situ-Messungen vereinfachen, Funkmessungen ermöglichen (ohne weitere zusätzliche Messgeräte), sowie Ultra-high Resolution Persistence Mode zur Analyse von Signalen im Freifeld zur Verfügung stellen. Durch die digitale Signalverarbeitung zeigen solche Messgeräte außerdem eine hervorragende Genauigkeit sowie Langzeitstabilität.

Alle TDEMI-Messgeräte erfüllen schon heute die zukünftigen CISPR 16-1-1 Anforderungen an Messempfänger bis 40 GHz. Im Zusammenspiel mit der Automatisierungs-Software, z.B. EMI64k, können damit sowohl EMV-Prüfungen als auch Funkmessungen einfach und hochgradig automatisiert und damit nochmals deutlich beschleunigt werden. Ebenso lassen sich die TDEMI-Messsysteme auch mit anderen am Markt verfügbaren Automatisierungs-Software-Lösungen kombinieren. Dabei kann, je nach Software-Lösung, ebenfalls sowohl das konventionelle Verfahren mit Vor- und Nachmessung angewandt werden, als auch die Messung direkt in Echtzeit durchgeführt werden. ◀

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] IEC, CIS/A/1381/CD:2022-09 - CISPR 16-1-1/AMD1/FRAG1 ED5 - CISPR 16-1-1/AMD1/FRAG1 ED5: Amendment 1 - Fragment 1: 18-40 GHz Instrumentation

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

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

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

[7] 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

[8] Bundesamt für Kommunikation BAKOM Abteilung Konzessionen und Frequenzmanagement KF Sektion Elektromagnetische Verträglichkeit EMV

Testkonzession und Messungen adaptive Antennen, Sept. 2020

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

[10] 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

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

[12] 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

[13] S. Braun: Architektur und Anwendung von modernen breitbandigen Signal Analyzern für UWB Funkmessung und Analyse von Cybersecurity Risiken, Funk & EMV 2026 Jan. 2026

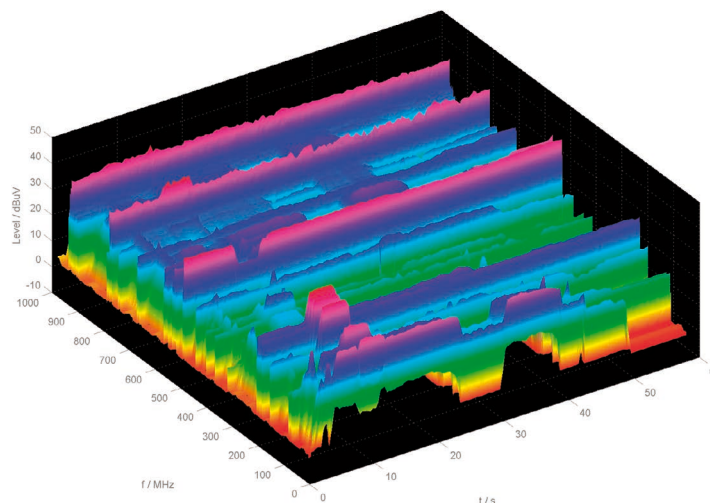


Bild 7: Messung mit 1 GHz Echtzeitbandbreite mit QP-Detektor