

# EMV-Messungen mit ‚Nachbrenner‘

## Neues Messverfahren verkürzt Abstrahlungsmessungen um Faktor zehn

**D**ie konventionelle Abstrahlungsmessung mit einem Messempfänger war bisher durch lange Messzeiten geprägt, die mehrer Stunden oder sogar Tage betragen konnte. Ein Faktor, der bei immer kürzeren Entwicklungszeiten zunehmend untragbar wird. Eine auf Fast-Fourier-Transformation basierende Messmethode, die auf handelsüblichen Komponenten durchgeführt werden kann, erlaubt jetzt eine wesentliche Reduzierung der Messzeiten.

**Autoren**

Dipl. Ing. GÜNTER VOGL leitet seit 1994 den Bereich ‚Reliability‘ und seit 2001 zusätzlich das EMV-Labor von SiemensVDO in Regensburg. Er befasst sich mit EMV-Messungen und Zuverlässigkeitserprobung für alle Arten von elektronischen Steuergeräten.

Dipl. Ing.(FH) JEAN-CLAUDE NICKEL, ist seit 1996 bei SiemensVDO in Regensburg im EMV-Bereich tätig und ist für die Messungen in der Absorberhalle sowie die Messsysteme und Messmethoden im EMV-Labor zuständig. SiemensVDO Automotive AG, SV C ER Rb.; Postfach 100943, D-93009 Regensburg  
Fon: 0941/790-4641, Fax: 0941/790-8917  
guenter.vogl@at.siemens.de

Die elektromagnetische Verträglichkeit ist nach 89/336/EWG definiert als „Die Fähigkeit eines Apparates, einer Anlage oder eines Systems, in der elektromagnetischen Umwelt zufriedenstellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für alle in dieser Umwelt vorhandenen Apparate, Anlagen oder Systeme unannehmbar wären“.

Folglich besteht EMV immer aus zwei Gesichtspunkten:

- ▶ das Gerät muss unter dem Einfluss anderer Störquellen funktionieren
- ▶ das Gerät darf durch seinen Betrieb keine elektromagnetischen Störungen erzeugen, die auf andere Geräte oder den menschlichen Organismus störende bzw. gefährliche Wirkung haben

Die zweite Forderung soll im Folgendem näher betrachtet werden.

### Konventionelle Abstrahlungsmessungen

Stand der Technik ist die Durchführung von Abstrahlungsmessungen mit einem Messempfänger (Abb. 1) oder einem Spektrumanalysator.

### Messungen mit einem Messempfänger:

Dabei wird der zu analysierende Frequenzbereich (Beispielsweise von 150 kHz bis 1 GHz) schrittweise durchgestept. Ein wichtiger Parameter ist hierbei die ZF-Bandbreite (Zwischenfrequenz-Bandbreite) des Messempfängers bzw. Spektrumanalysators. Von der ZF-Bandbreite hängt dabei die Frequenzschrittweite ab. Würde die Schrittweite im Extremfall größer als die ZF-Bandbreite gewählt, so könnten Schmalbandstörer unter Umständen nicht detektiert werden. Bei nur etwas zu großer Schrittweite entsteht ebenfalls ein Messfehler, wobei die Werte tendenziell zu klein bewertet werden. Daher kann die Schrittweite bei Schmalbandstörern typischerweise wie folgt ausgewählt werden:

$$\text{Frequenzschrittweite [Hz]} = 0,5 * \text{ZF-Bandbreite [Hz]} \quad (1)$$

Bei Verwendung dieses Ansatzes kann der Fehler auf ca. -1 dB begrenzt werden (Abb. 2). Die ZF-Bandbreite ist die Messbandbreite, also ein relativ schmaler Bereich, welcher vom Messgerät erfasst wird. Gebräuchliche Werte für die ZF-Bandbreite sind 9 kHz und 120 kHz (Abb. 2).

### Messzeit je Frequenzschritt

Wird das Abstrahlverhalten eines elektronischen Geräts gemessen, so muss festgelegt werden, wie lange die Messzeit je Frequenzschritt sein muss, um alle Zustände des Prüflings abzudecken. Ist beispielsweise die Zykluszeit eines Prüflings 100 ms, so muss die Messzeit mindestens ebenso lange sein. Besitzt der Prüfling mehrere, voneinander getrennte Betriebszustände, so muss die Messung für jeden Zustand separat erfolgen.

### Messzeit für einen kompletten Frequenzdurchlauf

Folgendes Beispiel soll die Zusammenhänge verdeutlichen. Bei einer Messung seien folgende Rahmenbedingungen gültig: Messbereich: 25 MHz – 1 GHz; ZF-Bandbreite: 9 kHz; Schrittweite: 5 kHz und Zykluszeit: 100 ms.

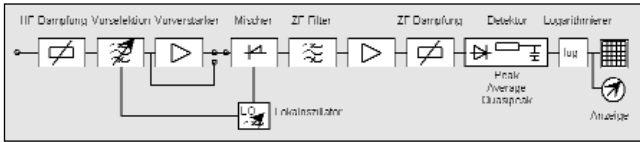
Mit Formel 2 lässt sich die Mindestmesszeit pro Messdurchlauf ermitteln.

$$t_{[s]} = t_{\text{Messung}} * \frac{(f_{\text{max}} - f_{\text{min}})}{f_{\text{Sch}}} = 0,1s * \frac{(1000\text{MHz} - 25\text{MHz})}{0,005\text{MHz}} \quad (2)$$

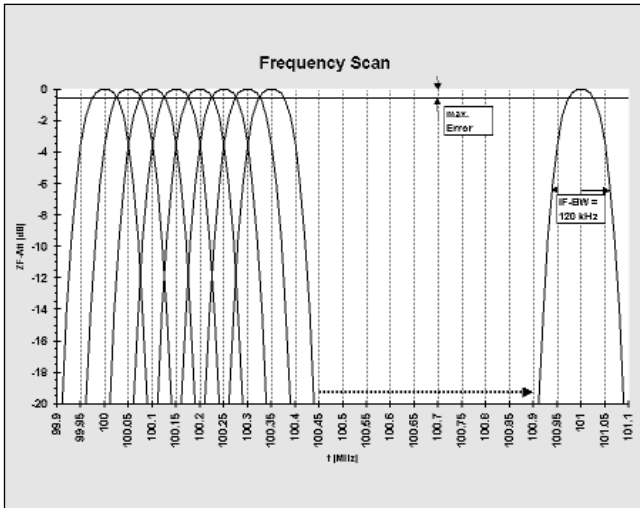
= 19500s = 5,5h

Eine Messzeit von 5,5 Stunden ist natürlich sehr aufwändig, vor allem da in jedem Fall die vertikale und horizontale Polarisationsrichtung zu vermessen sind. Falls dann noch mehr als ein Gerät zu prüfen ist oder die Messung mit verschiedenen Modi des Prüflings zu wiederholen ist, multipliziert sich die Messdauer entsprechend. So erfordern drei Prüflinge, die in zwei Betriebszuständen betrieben werden sollen, die 66 Stunden Messzeit (5,5 h \* 12) – in diesem Zusammenhang keine seltener Fall. Handelt es sich bei den Messungen um Antennenmessungen in der Anechoic Chamber, so fallen bei den üblichen Stundensätzen auf dem freien Markt von etwa 200 €/h oft mehr als 13000 € für eine einzige Messung an!

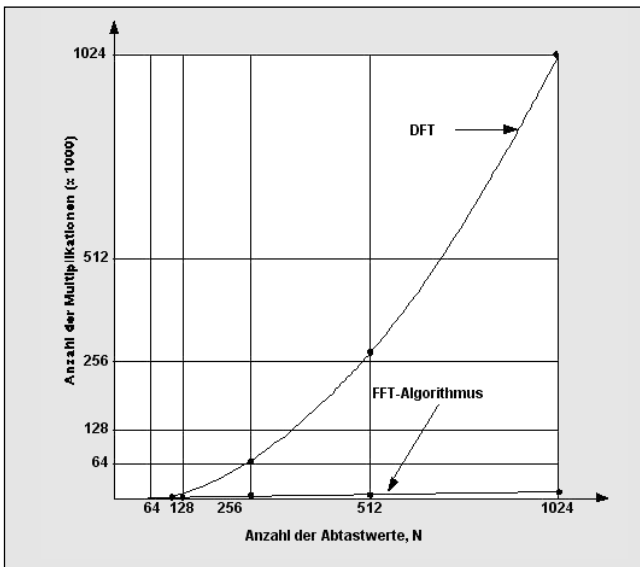
In einem EMV-Labor, welches laufend Abstrahlungsmessungen mit dieser Methode durchführt, summieren sich die reinen Messkosten häufig auf 300000 € und mehr pro



**Abb. 1:**  
Blockschaltbild eines  
Messempfängers



**Abb. 2:**  
Messung über eine  
Frequenzbereich mit  
Hilfe eines Messempfängers. Der Fehler  
kann bei richtiger  
Wahl der richtigen  
Schrittweite auf  
-1 dB begrenzt werden



**Abb. 3:**  
Reduzierung des  
Rechenaufwandes  
durch Einsatz der FFT

Jahr. Wie diese Kosten durch den Einsatz alternativer Messmethoden minimiert werden können, wird im nächsten Absatz deutlich.

### Einsatz der FFT für EMV-Messungen

Diese erheblichen Kosten können nun mittels einer revolutionären Messmethode auf einen Bruchteil gesenkt werden. Wieso revolutionär? Die Fast Fourier Transformation ist zwar seit langen Jahren Standard in der Frequenzanalyse im NF-Bereich (Akustik, Vibrationsmessungen). Allerdings warf die Verwendung dieses Verfahrens in der EMV-Messtechnik in der Praxis technische Probleme auf. Siemens VDO in Regensburg ist

es gelungen, ein kostengünstiges und auf Standardkomponenten aufgebautes System zu entwickeln, welches seine Feuertaufe im Messeinsatz bereits erfolgreich bestanden hat.

### Grundlagen der FFT

Fourierreihen sind nach ihrem Erfinder, dem französischen Mathematiker Jean Baptiste Fourier (1768 - 1830) benannt. Er benutzte diese Art trigonometrischer Reihen erstmals 1807 zur Lösung von Wärmeleitungsgleichungen.

In der Praxis der Signalverarbeitung liegen meist nur Werte zu bestimmten äquidistanten Abtastzeiten  $t_n = n \cdot \Delta t$  vor. Hierzu wird die endliche, Diskrete Fourier-Transformation verwendet (kurz DFT).

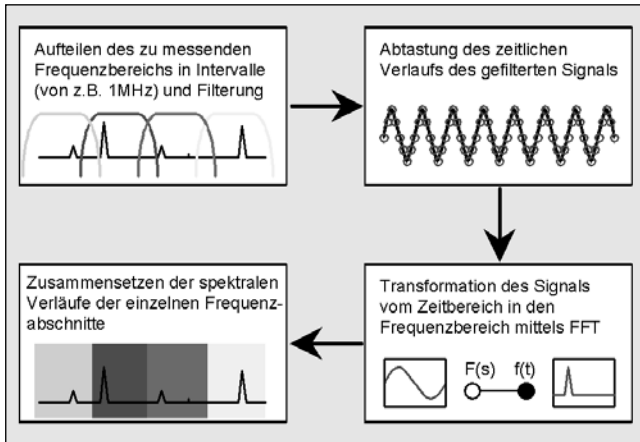


Abb. 4: Funktionsweise des Verfahrens als Ablauf

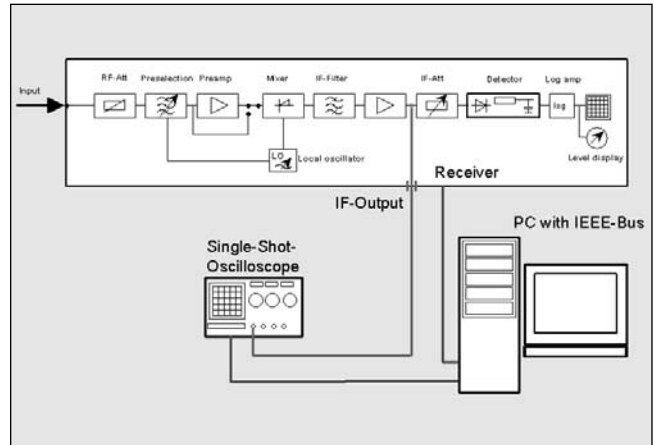


Abb. 5: Funktionsweise des Verfahrens als Blockschaltbild

Dieses Verfahren erheblich zu beschleunigen gelang J.W. Cooley und J.W. Tukey 1965 in dem vielzitierten Artikel „An Algorithm for the machine calculation of complex fourier series“. Hier wird die Anzahl der Re-

chenoperationen einer DFT der Länge  $N = 2^n$  von  $N^2$  auf  $N \log_2(N)$  reduziert. Die FFT ist daher nur ein sehr schnelles Berechnungsverfahren der Diskreten Fourier Transformation (Abb. 3).

### FFT für Abstrahlungsmessungen

Das Abtasttheorem nach Nyquist und Shannon macht es erforderlich, dass bei einer Messung die Abtastfrequenz mindestens doppelt so hoch ist, als die größte, im Messsignal enthaltene Frequenzkomponente. Wird in der Praxis die Abtastfrequenz mindestens 2,5 mal größer als die höchste Frequenz im Signal gewählt, so müsste bei einer Messung bis 1 GHz mit einer Abtastrate von 2,5 GS/s (Gigasamples pro Sekunde) abgetastet werden. Bei einer Auflösung pro Messpunkt von 8 Bit ergibt das einen Datenstrom von 2,5 GByte/s. Das Aufzeichnen eines längeren Zeitverlaufs ist deshalb mit dem derzeitigen Stand der Technik nicht möglich. Bei einer Speichertiefe von 120 kB (typisches GHz-Sampling-Oszilloskop) ergibt sich eine maximale Messzeit von lediglich 48  $\mu$ s. Ein weiteres Problem ist die mit 8-Bit-Auflösung stark eingeschränkte Messdynamik.

Die Grundidee zur Lösung dieses Problems ist nun die Aufteilung in Frequenzintervalle: Der zu messende Frequenzbereich von beispielsweise 25 MHz bis 1 GHz wird in diesem Verfahren in Frequenzblöcke von jeweils 1 MHz aufgeteilt. Dadurch reduziert sich bei einem Byte Auflösung je Messpunkt der Datenstrom auf 2,5 MB/s, was leichter zu bewältigen ist.

Die Unterteilung des Messbereichs in diese 1 MHz großen Frequenzblöcke geschieht durch einen handelsüblichen Messempfänger, dessen ZF-Bandbreite auf eben dieses eine Megahertz eingestellt werden kann. Damit wird sozusagen aus dem durch die Antenne aufgefangenen Messsignal ein 1 MHz breiter Block herausgefiltert, die Anzeigefunktion des Messempfängers wird hier gar nicht benötigt, er dient nur der Unterteilung in Frequenzblöcke bzw. einer Vorverstärkung. In Abb. 1 ist ersichtlich, wie die Eingangsfrequenz auf die ZF von typischerweise 10,7 MHz transformiert wird.

Der zeitliche Verlauf innerhalb der 1-MHz-Frequenzbereiche wird anschließend mit einem üblichen Single-Shot-Digital-Speicheroszilloskop abgetastet. Der abgetastete Verlauf wird vom Oszilloskop mittels IEC-Bus an einen PC übermittelt, der die FFT durchgeföhrt, also das Signal vom Zeitbereich in den Frequenzbereich transformiert. Als letzter Schritt werden die dann transformierten Signale aus den 1 MHz breiten Frequenzbereichen wieder durch die Software so zusammengesetzt, dass sich daraus der spektrale Verlauf des gesamten untersuchten Frequenzbereichs (also beispielsweise 25 MHz bis 1 GHz) ergibt (Abb. 4 und 5).

Ferner ermöglicht das Verfahren eine umfangreiche Analyse des Messsignals ohne zeitlichen Mehraufwand. So erfordert eine zusätzliche Messung der Average-Werte beim konventionellen Verfahren einen zusätzlichen Durchlauf bzw. verlängerte Messzeit pro Frequenzschritt. Bei einer FFT-Messung können hingegen beide Kurven aus den selben Daten mit einer einfachen Umrechnung ermittelt und ohne zeitliche Mehraufwand mit dargestellt werden. Außerdem kann eine eventuelle zeitliche Änderung des gemessenen Spektrums in einer dreidimensionalen Darstellung angezeigt werden.

Die erreichbare Frequenzauflösung bei diesem Verfahren ergibt sich aus der Abtastrate dividiert durch die Anzahl der Punkte, welche für die FFT verwendet werden. Bei 2,5 MHz Abtastrate und 512 FFT-Punkten lässt sich so eine Frequenzauflösung von 4,9 kHz berechnen. Zusammen mit einer passenden Fensterfunktion ergibt sich die ‚ZF-Bandbreite‘ von 9 kHz.

### Messzeit bei Anwendung der FFT-Methode

Im folgendem Beispiel werden die Zusammenhänge aufgezeigt: Bei einer Messung seien folgende Rahmenbedingungen gültig: Messbereich: 25 MHz – 1 GHz; ZF-Bandbreite: 1 MHz; Schrittweite: 1 MHz (Verlauf des ZF-Filters kann herausgerechnet werden) und Zykluszeit: 100 ms.

Mit Formel 3 lässt sich die Mindestmesszeit pro Messdurchlauf ermitteln:

$$t_{\text{min}} = t_{\text{Verlust}} + \frac{(f_{\text{stop}} - f_{\text{start}})}{f_{\text{step}}} \cdot 0,15 \cdot \frac{(1000\text{MHz} - 25\text{MHz})}{1\text{MHz}} = 97,55 \quad (3)$$

Die Messdauer beträgt also gegenüber dem konventionellen Verfahren nicht mehr 19500 s, sondern 98 s, was einer Reduzierung um einem Faktor von 200 entspricht. Dies ist allerdings ein nur theoretisch realisierbarer Fak-

tor. In der Praxis wird die Zeiteinsparung deutlich darunter liegen. Auch fällt bei der Gesamtdauer einer Abstrahlungsmessung der Auf- und Abbau des Messequipments, des Prüflings und der Antennen bei der FFT-Methode prozentual wesentlich stärker ins Gewicht, als bei konventionellen Messungen. Denn dieser Anteil bleibt ja konstant und ist bei der konventionellen Methode oft unbedeutend im Verhältnis zur Messzeit.

Rechnet man in der Praxis mit einer Reduzierung der Messzeit um den Faktor acht, so reduzieren sich die Kosten aus dem obigen Beispiel bei Einsatz der FFT von 13200 € auf 1650 € je Messung. Bei dem ebenfalls schon angenommenen Messaufkommen eines größeren Labors in Höhe von 300000 € im Jahr reduziert sich diese Gesamtsumme auf 38000 € im Jahr, also eine Einsparung von 262000 € pro Jahr!

## Patentlage und Zusammenfassung

Das beschriebene Verfahren hat darüber hinaus auch noch den Vorteil, dass es in Hinblick auf die benötigte Hardware aus handelsüblichen Komponenten aufgebaut werden kann. Dass die Methode absolut korrekt ist, hat auch die Vorstellung bei führenden EMV-Experten gezeigt: Die neue Messmethode wurde von einem wichtigen Kunden bereits ausdrücklich anerkannt. Die Anerkennung durch weitere Automobilhersteller steht kurz bevor.

Die Erfindung ist unter der Nummer 2001 P 02977 DE (01 E 20209) offengelegt, wird aber derzeit außer durch SiemensVDO in Regensburg nicht eingesetzt. Eine Anwendung ist natürlich durch den beschriebenen Kostenvorteil für jedes EMV-Labor reizvoll. Die Zeiteinsparung ist aber durch die immer kürzer werdenden Entwicklungszeiten manchmal sogar noch wertvoller und in Euro und Cent kaum auszudrücken.

**TEST**

## Literatur

- [1] Brigola R., Fourieranalysis, Distributionen und andere Anwendungen. Vieweg Verlag, Braunschweig / Wiesbaden, 1997.
- [2] Brigham E.O., FFT, Schnelle Fourier-Transformation. Oldenbourg Verlag, München, 1982.