Elektromagnetische Verträglichkeit und Spektrumanalyse

Der vorliegende Artikel zeigt anhand von Beispielen aus dem EMV-Bereich den Einsatz eines Spektrumanalysators exemplarisch auf. Angesprochen wird dabei der Praktiker, der sich bei seiner täglichen Arbeit mit moderner Elektronik, Signalen und Spektren auseinandersetzen muss.

Die Leistungsfähigkeit moderner Elektronik (Halbleiterbauelemente, Mikroprozessoren, Oszillatoren...) wird u.a. durch eine immer weiter gesteigerte Verarbeitungsgeschwindigkeit erreicht. Die dabei auftretenden Signalfrequenzen liegen schon längst in Bereichen, die nach den Methoden der Hochfrequenztechnik betrachtet werden müssen. Die dazu notwendige Messtechnik bedient sich dabei immer mehr der Spektrumanalyse.

EMV-Probleme im Griff

Harmlosere EMV-Problematiken, die uns quasi täglich umgeben, manifestieren sich beispielsweise folgendermaßen: Ein Autoradio gibt undefinierbare Geräusche von sich, wenn ein Mobiltelefon benützt wird, oder der Bildschirm „wackelt“, wenn in der Nähe ein Zug vorbeifährt. Hierbei handelt es sich mit größter Wahrscheinlichkeit um elektromagnetische Unverträglichkeit. Ein elektrisches System ist erst dann elektromagnetisch verträglich, wenn es:

- sich selbst nicht stört,
- andere Systeme nicht stört,
- von anderen Systemen nicht gestört wird.

Hier setzen die seit dem 1.1.1996 in Kraft getretenen EG-Richtlinien an. Man möchte verhindern, dass elektrische Systeme von elektromagnetischen Feldern aus der Umgebung gestört werden bzw. andere Systeme stören. Wer ein CE-Zeichen auf ein Gerät aufbringen will, muss einen Nachweis über eine gewisse Mindestanforderung an elektromagnetischer Verträglichkeit erbringen. Die Qualität des Systems muss durch entsprechende Prüfergebnisse belegt werden.

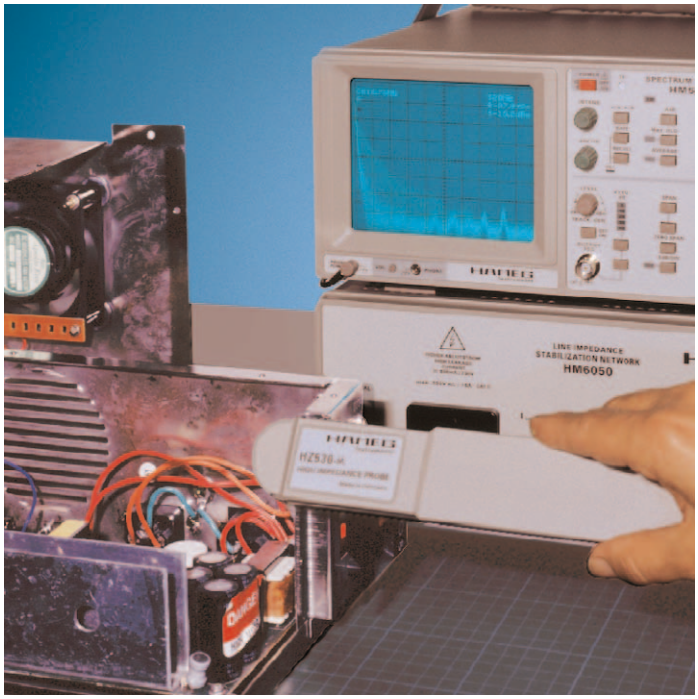

Bild 1: Ermittlung der abgestrahlten Störenergie mithilfe einer Magnetfeld-Sonde (H-Feld-Sonde) und eines Spektrumanalysators

Wo früher Ströme im Milliampere-Bereich und Signale mit einer Dauer von 20 ms und mehr erforderlich waren, um beispielsweise ein Relais zu schalten, wird heute mit Signalströmen im Mikroampere-Bereich und Impulsen mit Anstiegszeiten von 1 ns und weniger gearbeitet. Die wachsenden Verarbeitungsgeschwindigkeiten und die immer steiler werdenden Signalflanken verschieben die EMV-Probleme in immer höhere Frequenzbereiche.

Um elektromagnetische Verträglichkeit zu garantieren, muss ein sehr großes Frequenzspektrum von etwa 10 kHz bis 1 GHz beherrscht werden. Die maximal zulässigen Pegel der abgestrahlten elektrischen Feldstärke sind zudem sehr klein und betragen nur einige 10 µV/m bis wenige mV/m. Dies bedeutet, dass bei höheren Frequenzen Spannungen von weniger als 1 mV und Ströme im Milliampere-Bereich die Ursache dafür sein können, dass die EMV-Vorschriften nicht mehr einzuhalten sind. Grund für die harten Anforderungen in der EMV ist u.a. die Tatsache, dass auch empfindliche Rundfunk-Empfangsanlagen in der Umgebung von elektronischen Geräten noch störungsfrei funktionieren sollen.

Was kosten EMV-Maßnahmen?

EMV muss nicht teuer sein. Untersuchungen haben gezeigt, dass EMV-Maßnahmen etwa 3...5% der Gerätekosten betragen, wenn sie vom Beginn einer Entwicklung an berücksichtigt und entwicklungsbegleitend getestet werden. Blauäugigkeit bezüglich elektromagnetischer Felder kommt allerdings allzu oft teuer zu stehen. Wird die EMV erst nach Fertigstellung eines Gerätes zum Thema, so kann es leicht vorkommen, dass die EMV-Maßnahmen 50...100% der geplanten Entwicklungskosten betragen.

Die normgerechten Schlussprüfungen erfolgen meist in entsprechend ausgerüsteten und spezialisierten Labors. Während der Entwicklung dagegen ist es wichtig, rasch und ohne großen Aufwand zu genügend aussagekräftigen Ergebnissen zu gelangen. Für die Kontrolle der Wirksamkeit von EMV-Maßnahmen ist es während der Entwicklung nicht wichtig, mit normengerechten Versuchsaufbauten zu arbeiten. Vielmehr geht es darum, rasch die kritischen Zonen im Schaltungsaufbau und die Signalleitungen mit einem hohen Störpotential zu erkennen, um mit vergleichenden Messungen die optimalen und kostengünstigsten EMV-Maßnahmen zu finden.

Oszilloskop oder...?

Für EMV-Maßnahmen ist man mit einem klassischen Oszilloskop mit dem Latein sehr rasch am Ende. EMV-Probleme können sich über einige 100 MHz erstrecken, und selbst schwache Signalanteile können große Probleme verursachen. Als Beispiel seien die Harmonischen der Clock-Frequenzen erwähnt. Wenn man beispielsweise die 17. Harmonische einer Clock-Frequenz um Faktor 3 verändert (entspricht etwa 10 dB), so wird man dies auf einem Oszilloskop kaum erkennen können. Wenn dagegen durch eine Maßnahme ein digitales Signal auf dem Oszilloskop leicht verändert erscheint, wird niemand sagen

können, wie sich dadurch die 13., die 19. oder die 21. Harmonische verändert hat.

Das Oszilloskop hat seine unbestrittenen Qualitäten und mit Recht einen festen Platz am Elektronik-Arbeitsplatz, aber für EMV-Tests sind andere Eigenschaften gefordert, wie beispielsweise:

- Möglichkeiten der empfindlichen frequenzselektiven Messung zwischen 10 kHz und 1 GHz im Mikro- und Millivolt-Bereich
- logarithmische Darstellung von Amplituden

Hohe und frequenzselektive Empfindlichkeit wird benötigt, um die oft problematischen hochfrequenten Anteile eines Signals im Detail erkennen zu können. Die logarithmische Darstellung von Amplituden erlaubt es, gewissermaßen die Spreu vom Weizen zu trennen. So wird in einer ersten Analyse in einem bestimmten Frequenzbereich nach den größten Signalanteilen gesucht, und man kümmert sich nicht um Signalanteile, die beispielsweise 10 dB oder 20 dB kleiner sind. Die geforderten Eigenschaften eines „EMV-gerechten“ Messgeräts werden von einem Spektrumanalysator erfüllt.

Die EMV und der Spektrumanalysator

Es ist nach wie vor ernüchternd, wie selten Spektrumanalysatoren im Entwicklungsalltag anzutreffen sind. Oft werden Kostengründe vorgeschoben. Die entwicklungsbegleitende Spektrumanalyse verlangt jedoch keineswegs nach einem „Rolls-Royce“ unter den Spektrumanalysatoren. Da diese nicht tagtäglich eingesetzt werden, ist es im Gegenteil besser, einfach zu bedienende Geräte vorzuziehen, welche von jedem Entwickler ohne große Schwellenangst verwendet werden können. Wichtig ist es, rasch und mit wenig Aufwand vergleichende Messungen durchführen zu können.

Wie schnell sich ein Spektrumanalysator amortisiert hat, zeigt folgende Überlegung: Ein Messtag in einem spezialisierten EMV-Labor kostet zurzeit etwa 2500 Euro, ein einfacher und kostengünstiger Spektrumanalysator hat sich also bereits amortisiert, wenn es damit gelingt, insgesamt zwei bis drei Messtage im EMV-Labor einzusparen. Insgesamt muss es das Ziel einer effizienten EMV-Entwicklung sein, mit jedem neuentwickelten Gerät nur ein einziges Mal zur normengerechten Schlussprüfung anzutreten.

Feldgeführte Störsignale

Unter feldgeführten Störungen versteht man die Abstrahlung von Störsignalen im Unterschied zu sogenannten leitungsgeführten Störungen. Der Frequenzbereich für feldgeführte Störsignale erstreckt sich von ca. 30 MHz bis 1 GHz. Normengerecht werden die feldgeführten Störpegel mittels Antennen und Messempfängern in einem reflexionsfreien Umfeld, welches frei von Drittstörungen ist, gemessen, in sogenannten Absorberhallen. Das sind speziell ausgekleidete abgeschirmte Räume. Die Investitionskosten für derartige Anlagen inklusive der passenden Messgeräte liegen meist über einer Million Euro. Entwicklungsbegleitend sind derartige Messungen jedoch ineffizient, weil zeitraubend und teuer.

Gefragt sind schnelle Aussagen über das Störpotential, innerhalb einer Schaltung und insbesondere auf sämtlichen Leitungen, welche eine Leiterplatte oder ein Gerät verlassen. Denn diese wirken ein wenig wie Antennen. Im Entwicklungslabor konzentriert sich die EMV-Arbeit vorwiegend auf die Beurteilung der durch solche Leitungen verschleppten Störungen. Diese Messungen können – mit den entsprechenden Hilfsmitteln – im unmittelbaren Nahfeld teilweise sogar direkt auf den Signal-, Versorgungs- und Masseleitungen oder auf den Kabelschirmen erfolgen. Wer zum ersten Mal mit einem Spektrumanalysator eine Schaltung untersucht, wird mit großem Erstaunen feststellen, dass selbst auf Signalleitungen für langsame oder statische Signale erhebliche hochfrequente Signalanteile, ausgehend von anderen Schaltkreise, „mitreiten“. Mit einem Oszilloskop betrachtet, gehen diese Signalanteile im Rauschen unter und sind meist überhaupt nicht zu erkennen. Jedoch können diese Störungen ohne größeren Aufwand mit einem Spektrumanalysator und den entsprechenden Sonden sichtbar gemacht werden. Dies sind:

- aktive E-Feld-Sonde (Fernfeldsonde)
- aktive H-Feld-Sonde (Nahfeldsonde)
- Hochimpedanz-Tastkopf

Die aktive E-Feld-Sonde

Diese breitbandige Fernfeldsonde hat eine so hohe Empfindlichkeit, dass man sie ohne Weiteres zum Radioempfang verwenden könnte. Mit ihr lässt sich die Gesamtabstrahlung einer Baugruppe oder eines Geräts beurteilen. In der Regel wird sie in einem Abstand von 0,5 bis 1,5 m von dem zu untersuchenden Objekt eingesetzt. Damit lassen sich sowohl Abschirm- als auch Filtermaßnahmen beurteilen, falls diese Leitungen betreffen, welche das Gehäuse verlassen und die somit die Gesamtabstrahlung beeinflussen. Wegen der hohen Empfindlichkeit kann es vorkommen, dass mit der aktiven E-Feld-Sonde auch Drittstörungen, ausgehend von anderen Geräten im Labor, gemessen werden. Die Messung erfolgt deshalb so, dass zuerst bei ausgeschaltetem Prüfling die Störungen aus der Umgebung erfasst und nach Einschalten des Prüflings die neu hinzugekommenen Signale analysiert werden. Sind die Störungen aus der Umgebung zu stark, so genügt es vielfach, die Messungen im Untergeschoss eines Gebäudes durchzuführen, weil dadurch Störsignale von außen, z.B. von nahen Radiosendern, reduziert werden.

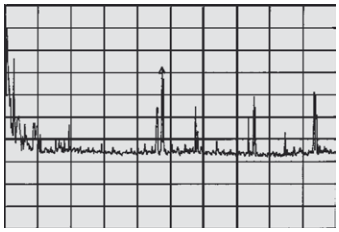

Bild 2: Aufnahme eines Breitbandspektrums

Die Messergebnisse mit einer aktiven E-Feld-Sonde sind wie alle Fernfeld-Antennenmessungen auch vom Prüfaufbau abhängig. Insbesondere spielt die Lage der Kabel eine nicht zu unterschätzende Rolle. Sollen reproduzierbare Messungen erfolgen – nicht nur einmalige Vergleichsmessungen verschiedener Maßnahmen – so wird empfohlen, die Versuchsanordnung genau festzulegen und beispielsweise auf einem Brett zu fixieren. Die aktive E-Feld-Sonde kann auch zur Untersuchung von Störungen aus der Umgebung verwendet werden. Wird vermutet, dass eine unbekannte Störquelle in einem Gerät eine Funktionsstörung verursacht, so kann mittels aktiver E-Feld-Sonde und Spektrumanalysator die elektromagnetische Umgebung erfasst werden. Dank der Analyse im Frequenzbereich lässt sich meist sehr schnell die Störquelle ausfindig machen.

Die aktive H-Feld-Sonde

Eines der Erfolgsrezepte in der EMV ist es, die Störströme zu beachten. Der gängige Einsatz von Oszilloskopen verleitet zu einem reinen „Spannungsdenken“. Erfolgreiche EMV-Ingenieure denken aber vor allem „in Strömen“. Um Störströme berührungsfrei und ohne Auftrennen von Leitungen aufspüren zu können, sind aktive H-Feld-Sonden ein optimales Hilfsmittel. Mit diesen Nahfeldsonden lässt sich die magnetische Feldstärke messen, die im Nahfeld direkt mit den Leitungsströmen verknüpft ist. H-Feld-Sonden sind relativ unempfindlich gegen Störungen von außen (Drittstörer) und zeigen ein starkes Ansteigen des gemessenen Pegels bei

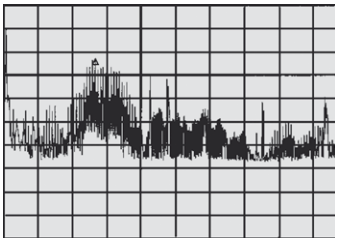

Bild 3: Messung der abgestrahlten Leistung ohne Gehäuse

der unmittelbaren Annäherung an die Störquelle. Sie erlauben damit sehr gezielt, Störströme innerhalb einer Schaltung zu lokalisieren. In Verbindung mit einem Spektrumanalysator können damit auch frequenzselektiv Störsignalanteile aufgespürt werden, wie beispielsweise die Verteilung der Harmonischen eines Clock-Signals auf einer Leiterplatte.

Bewegt man eine H-Feld-Sonde entlang eines Gehäuses oder einer Abschirmung, sind „undichte“ Stellen, wie beispielsweise Schlitze, leicht erkennbar. Es zeigen sich dabei die charakteristischen Merkmale einer Schlitzantenne mit einem Signalpegel-Maximum an den Enden eines Schlitzes (größte Stromdichte). Wie schon erwähnt, sind alle Arten von metallischen Kabeln – dies gilt sogar für Glasfaserkabel mit metallischer Zugsentlastung – mehr oder weniger schlechte Antennen für die Störabstrahlung und auch für die Störeinkopplung. Hält man die H-Feld-Sonde an ein Kabel und analysiert die Signale mit einem Spektrumanalysator, so wird man mit einigem Erstaunen feststellen, dass selbst auf Netzleitungen oder „langsamen“ Datenleitungen, wie beispielsweise Telefonleitungen, verblüffend hohe hochfrequente Pegel festzustellen sind.

Mit der H-Feld-Sonde und der logarithmischen Amplitudendarstellung eines Spektrumanalysators (Bild 1) ist einfach festzustellen, ob alle Leitungen etwa gleich stark „verseucht“ sind, oder ob gewisse Leitungen mehr oder weniger Störungen auskoppeln. Damit können gezielt Maßnahmen eingeleitet werden, sodass die EMV im Labor ohne die Verwendung eines geschirmten Raums rasch und einfach verbessert werden kann.

Der Hochimpedanz-Tastkopf

Mit einem Hochimpedanz-Tastkopf kann gezielt an einem Punkt, beispielsweise an einem IC-Pin, oder an einzelnen Leitungen in einer Schaltung breitbandig gemessen werden, ohne den Messpunkt mit der üblichen Eingangsimpedanz eines Spektrumanalysators von 50 Ohm zu belasten. Die Eingangsimpedanz des Hochimpedanz-Tastkopfes ist praktisch konstant kapazitiv und ohmsch, hier jedoch ab etwa 1 MHz mit der Frequenz beachtlich fallend. Der Hochimpedanz-Tastkopf kann auch an ein Oszilloskop mit 50-Ohm-Eingang angeschlossen werden.

Werden beispielsweise die Signal-, Versorgungs- und Masseleitungen auf einem Flachbandkabel zwischen zwei Leiterplatten oder die Leitungen einer meist kritischen „Backplane-Verdrahtung“ gemessen, so ist mithilfe der logarithmischen Darstellung eines Spektrumanalysators rasch festzustellen, welche Leitungen den größten Anteil zur Störabstrahlung beitragen. Es gilt wiederum die Devise, die stärksten Signale als erstes zu unterdrücken. EMV-Maßnahmen (wie beispielsweise Filterungen für einzelne Leitungen) lassen sich damit sehr gezielt an den „höchstbelasteten“ Pins bzw. Leitungsabgängen vornehmen. Das Resultat einer getroffenen Maßnahme ist sehr schnell und einfach zu beurteilen.

Dämpfung durch Gehäuse

Die praxisorientierte Messung der Dämpfung von Abschirmgehäusen ist eine weitere EMV-Messaufgabe. Dahinter steht die Frage: Was erreicht man damit, einen ganzen Aufbau in ein Abschirmgehäuse zu stecken? Dies ist die Frage eines jeden Geräts, das bei der Abnahme zur CE-Zertifizierung durchgefallen ist. Leider ist diese Frage nicht pauschal zu beantworten, denn nicht jedes metallische Gehäuse gewährleistet die notwendige Schirmung. Kaum ein Entwickler wird aber bis zur nächsten Abnahmemessung warten wollen. Was, wenn es wieder nicht stimmt? Es ist erforderlich, mit einem einfachen Messverfahren den relativen Erfolg beurteilen zu können. Hierzu bietet sich der Einsatz hochempfindlicher E-Feld-Sonden an. Sie sind auch als sehr breitbandige Messantenne verwendbar, wodurch sie zur Klärung der obigen Fragen gut dienen können.

Vor der Verwendung der Sonde muss geklärt werden, ob sie ausreichend empfindlich ist. Grundsätzlich sind passive Sonden meist unbrauchbar, da zu unempfindlich. Die für den Praktiker einfachste Lösung zur Klärung dieser Frage ist die Aufnahme eines Breitbandspektrums bis 1 GHz in seinem Labor. Bild 2 zeigt eine solche Aufnahme, die mittels aktiver E-Sonde entstand. Im Bereich bis 50 MHz zeigen sich relativ hohe Pegel von AM-Rundfunksendern. Im Bereich um 100 MHz sind Signale von UKW-Rundfunksendern aus der Umgebung erkennbar. Die stärkste Linie bei 474 MHz stammt von einem Fernsehsender, der exponiert in rund 15 km Entfernung steht. Es folgen bis 800 MHz mehrere Linien von Fernsehsendern aus der Umgebung. Den Abschluss bildet der Bereich knapp über 900 MHz, der zu den örtlichen D-Netz-Stationen gehört. Die Aufnahme zeigt, dass die verwendete Sonde breitbandig und empfindlich ist.

Die Aufnahme des Hintergrundspektrums dient allerdings nicht nur der Prüfung der Sondenempfindlichkeit. Sie soll im Falle, dass man die folgenden Messungen nicht in einer Schirmkabine ausführen kann, als Referenz dienen. Auf diese Weise lassen sich die wichtigsten Spektrallinien erkennen, die nicht aus der zu untersuchenden Elektronik stammen.

Zur Durchführung der Messung stellt man den Prüfling zunächst ohne Abschirmung in einer Entfernung von mindestens 0,5 m von der Sonde auf. Dann dreht man ihn, bis die Richtung des Abstrahlungsmaximums gefunden ist. In dieser Position wird die zweite Aufnahme erstellt (Bild 3). Es ist erkennbar, dass im Vergleich zum Hintergrundspektrum Störleistungen bis hin zu 1 GHz vorhanden sind. Das Maximum der Störstrahlung liegt im Bereich von 250 bis 350 MHz. Die stärkste Linie ist mit dem Marker gekennzeichnet, der relative Pegel liegt bei -42,8 dBm.

Nun folgt die zweite Messung: Hierbei trägt der Prüfling sein Abschirmgehäuse. Er wird zuerst so gedreht, dass erneut das Maximum der Störstrahlung auftritt. Dieses kann in einer anderen Richtung liegen als bei offenem Gerät; Bild 4 zeigt das Resultat. Man erkennt, dass die Abstrahlung im gesamten Frequenzbereich geringer geworden ist. Aus den Pegeldifferenzen aus Bild 2 und 3 lässt sich die Schirmdämpfung für verschiedene Frequenzen ermitteln. Für die markierten Linien entnimmt man -55,9 dBm. Dies ergibt eine Dämpfung von 13,1 dB. Für 800 MHz werden nur 9 dB erreicht. Schirmdämpfungen in dieser Größenordnung scheinen kaum das Blech wert zu sein, aber leider ist ein solches Ergebnis nicht ungewöhnlich.

Quelle:
Fachartikel „Magie der Spektrumanalyse“, Teil 2, Hameg, leicht gekürzt