

EMV Fehleranalyse mit den Oszilloskopen R&S®RTO und R&S®RTE

Applikationsschrift

Produkte:

- R&S®RTO
- R&S®RTE

Diese Applikationsschrift erklärt auf einfache Art und Weise wie EMV Probleme mit dem R&S®RTO und dem R&S®RTE analysiert werden können. Es werden die grundlegenden Mechanismen erklärt, welche zu unerwünschter EMV Abstrahlung führen. Die prinzipielle Vorgehensweise bei der Analyse von EMV Problemen wird vorgestellt. Ein Praxisbeispiel illustriert den Analyseprozess.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Grundlagen der Störabstrahlung.....	5
2.1	Störquellen	5
2.1.1	Gegentakt (Differential Mode) Abstrahlung	6
2.1.2	Gleichtakt (Common mode) Abstrahlung	7
2.1.3	Leitungsgebundene Emissionen.....	10
2.1.4	Signalintegritätsprobleme als Störquelle	11
2.2	Koppelmechanismen.....	12
2.3	Abstrahlelemente (Antennen).....	13
3	Messmethoden zur EMV Fehleranalyse.....	14
3.1	Einleitung – Nahfeld und Fernfeld	14
3.2	Störstrom- und Störspannungsmessungen	15
3.2.1	Zusammenhang zwischen Störströmen auf angeschlossenen Leitungen und abgestrahlten Fernfeldkomponenten	15
3.2.2	Einsatz der Störstrommessung.....	15
3.2.3	Messung von Störspannungen auf Netzleitungen.....	16
3.2.4	Stromzangen für die Messung von Störströmen	17
3.3	Analyse von EMV-Problemen mittels Nahfeldsonden	18
3.3.1	Elektrische und magnetische Nahfeldsonden	18
3.3.2	Anwendungsgebiete für Nahfeldsonden.....	20
3.3.3	Das Nahfeldsondenset R&S®HZ-15	22
4	EMV Fehleranalyse mit dem digitalen Oszilloskop R&S®RTO in der Praxis.....	23
4.1	Grundsätzliches Vorgehen bei der EMV-Fehleranalyse im Entwicklungslabor..	23
4.2	Verwendung des R&S®RTO für die EMV-Fehleranalyse.....	25
4.2.1	Grundeinstellung des Oszilloskops.....	25
4.2.2	Besondere Funktionen des R&S®RTO für die EMV-Fehleranalyse	25
4.2.3	Tipps & Tricks bei der EMV Fehlerdiagnose mit dem R&S®RTO.....	30
4.3	Praxisbeispiel - EMV Fehleranalyse eines IP Telefons	31
4.3.1	Ergebnisse der Fernfeldanalyse	32
4.3.2	Störstrommessung auf den angeschlossenen Leitungen	33
4.3.3	Nahfeldanalyse	37
4.3.4	Ergebnis der EMV-Problemanalyse.....	44

5 Zusammenfassung 45

6 Literatur 46

7 Bestellinformation 47

1 Einleitung

Elektrische oder elektronische Geräte senden in einem gewissen Umfang unerwünschte elektromagnetische Felder aus und übertragen über Anschlussleitungen unerwünschte Störspannungen und Störströme. Um sicherzustellen, dass diese Störaussendungen nicht die Funktion oder den Funkempfang anderer Geräte beeinflussen, sind in allen Wirtschaftsräumen Grenzwerte für diese Störaussendungen gesetzlich geregelt.

Durch EMV-Konformitätstests wird die Einhaltung dieser Grenzwerte überprüft. Ist die Konformität nicht gegeben ist oft eine aufwändige Fehlersuche notwendig. Die frühzeitige und entwicklungsnahe Analyse von EMV-Problemen ist ein entscheidender Erfolgsfaktor für einen schnellen Markteintritt.

Die leistungsfähige FFT-Funktion der digitalen Oszilloskope R&S@RTO und R&S@RTE von Rohde & Schwarz ermöglicht es EMV Probleme direkt am Arbeitsplatz des Entwicklers zu analysieren. Durch die Empfindlichkeit von 1 mV/Div, die Bandbreite von bis zu 4 GHz und das sehr geringe Eingangsrauschen sind diese Oszilloskope ein wertvolles Werkzeug für diese Applikation. Der Entwickler kann mittels Nahfeldsonden sowie Stromzangen unerwünschte Störemissionen und Störströme lokalisieren und analysieren, sowie effizient Lösungen zu deren Reduktion entwickeln.

Diese Applikationsschrift gibt dem Hardware-Entwickler einen einfachen Leitfaden zur Analyse von EMV-Problemen mit Nahfeldsonden unter Verwendung digitaler Oszilloskope und demonstriert den Analyseprozess anhand eines Praxisbeispiels.

2 Grundlagen der Störabstrahlung

Grundsätzlich kann Störabstrahlung nur dann entstehen wenn die folgenden Voraussetzungen erfüllt sind:

- a) Es existiert eine Störquelle die einen ausreichend hohen Störpegel in einem für die Abstrahlung relevanten Frequenzbereich erzeugt (z.B. schnelle Schaltflanken).
- b) Es gibt einen Koppelmechanismus, welcher die erzeugten Störsignale von der Störquelle zum Abstrahlelement überträgt.
- c) Es gibt ein Abstrahlelement welches in der Lage ist, die erzeugte Energie der Quelle ins Fernfeld abzustrahlen (z.B. ein angeschlossenes Kabel, Gehäuseschlitz, oder eine Leiterplatte welche als Antenne wirkt).

Im folgenden Abschnitt gehen wir auf alle drei Elemente ein.

2.1 Störquellen

Moderne digitale Schaltungen verwenden Rechtecksignale mit hohen Frequenzen und steilen Anstiegs- und Abfallzeiten zur Übertragung digitaler Informationen. Die Signalübertragung zwischen den Komponenten erfolgt meist unsymmetrisch (beispielsweise bei parallelen Adress- oder Datenbussen), im Falle sehr hoher Taktraten auch symmetrisch (beispielsweise bei differenziell geführten Taktleitungen). Solche Geräte erzeugen ein hochfrequentes Spektrum an elektromagnetischer Energie die abgestrahlt werden kann. Technologiebedingt haben die verwendeten Bausteine geringe Versorgungsspannungen und sind daher gleichzeitig empfindlich bezüglich elektromagnetischer Störungen die von außen auf das System, beispielsweise über die Stromversorgung, einwirken.

Schaltungsteile wie getaktete Spannungswandler, die auf steilflankigen Schaltvorgängen basieren können ebenfalls als Störquelle mit einer Vielzahl an hochfrequenten Oberwellen wirken.

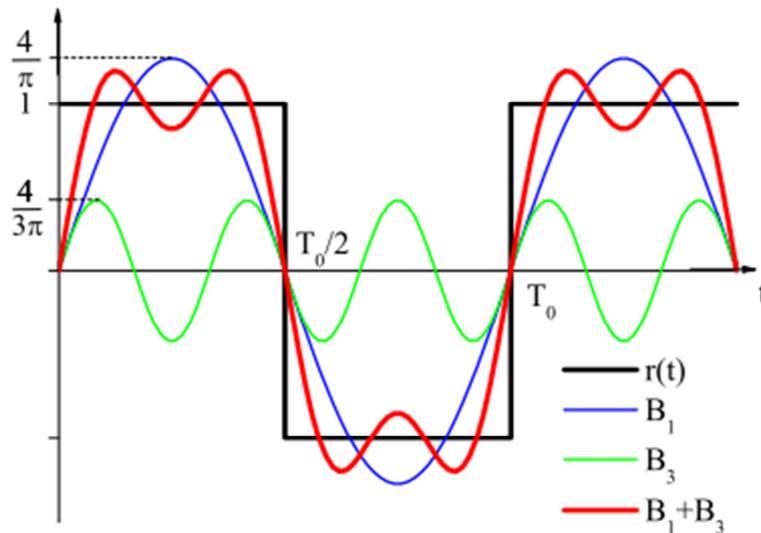


Fig. 2-1: Rechtecksignal mit ungeraden Oberwellen

Obwohl die Amplitude der Oberwellen mit der Frequenz abnehmen (20 dB / Dekade bei Rechtecksignalen, 40 dB / Dekade ab einer bestimmten Grenzfrequenz bei Signalen mit endlicher Anstiegszeit), spielen Oberwellen eine wichtige Rolle bei unerwünschten Störemissionen. Mit steigender Frequenz werden Störsignale effizienter abgestrahlt, da die in elektronischen Designs vorkommenden Leiterstrukturen in den Bereich der Wellenlänge der Störsignale kommen (siehe Kapitel 2.1.2). Aus diesem Grund sind beispielsweise bei getakteten Stromversorgungen oft erst hohe Oberwellen als Störspektrum im Fernfeld zu sehen.

Die eigentliche Abstrahlung der Störung ins Fernfeld erfolgt im Falle von ungeschirmten Systemen beispielsweise direkt durch Leiterbahnen oder Komponenten auf der Leiterplatte. Im Falle geschirmter Systeme kann unerwünschte Abstrahlung durch Öffnungen im Schirmgehäuse oder durch einen auf angeschlossene Leitungen eingekoppelten Störstrom zustande kommen.

2.1.1 Gegentakt (Differential Mode) Abstrahlung

Gegentakt (Differential mode) Abstrahlung von Leiterplatten entsteht durch Stromfluss (I_{DM}) in Signalpfaden bei denen Hin- und Rückleiter nicht benachbart geführt werden und somit eine Leiterschleife bilden. Die Störquelle ist in diesem Fall durch die grundlegende Funktion der Schaltung gegeben, nämlich die Datenübertragung zwischen zwei Schaltungsteilen. Das EMV-Problem entsteht durch die ungünstige Leitungsführung. Das resultierende Magnetfeld der Leiterschleife ist proportional zum Strom I_{DM} , der Fläche der Schleife und dem Quadrat der Frequenz des Störstroms.

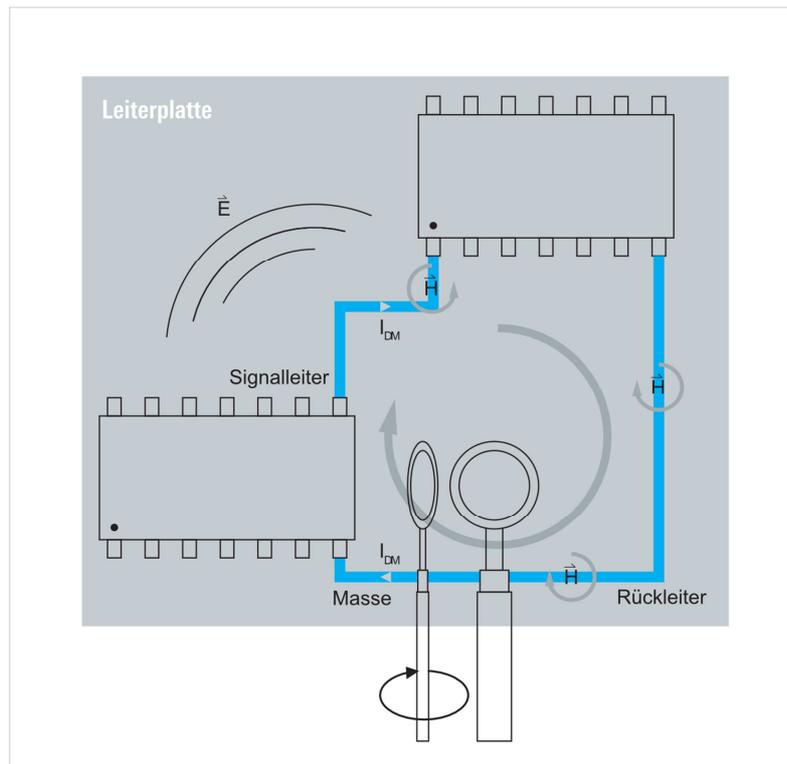


Fig. 2-2: Differential-Mode Abstrahlung von Leiterplatten und Positionierung von Loop-Nahfeldsonden zur Erfassung dieser Abstrahlungen

Quellen von Gegentaktabstrahlung können mit Hilfe der Nahfeldmesstechnik aufgespürt werden. Zu beachten ist, dass die dafür geeigneten Loop-Antennen eine Richtwirkung haben und die Loop-Antenne deshalb während der Messung gedreht werden muss damit man das Maximum der Abstrahlung erfasst. Das ist besonders für Vergleichsmessungen nach Entstörmaßnahmen wichtig da die Abstrahlcharakteristik durch die Entstörmaßnahme möglicherweise geändert wurde. Außerdem nimmt das magnetische Nahfeld stark mit der Entfernung ab. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die Messwerte an exakt der gleichen Stelle aufgenommen werden.

Abhilfemaßnahmen zur Reduktion der Gegentaktabstrahlung sind insbesondere die Fläche der Schleife zu verkleinern (also Hin- und Rückleiter enger zu führen), aber auch den Strom in der Leiterschleife zu reduzieren, wenn die Funktion der Schaltung das erlaubt. Alternativ können beispielsweise durch die Reduktion der Anstiegszeiten von übertragenen Datensignalen oder Filtermaßnahmen die höherfrequenten Signalanteile gefiltert werden, somit wird das Störspektrum begrenzt.

2.1.2 Gleichtakt (Common mode) Abstrahlung

Gleichtaktabstrahlung entsteht durch unerwünschte parasitäre Effekte, beispielsweise durch Induktivitäten im Rückpfad oder Unsymmetrien in der Signalübertragung. In der Folge kann unerwünschte Störabstrahlung entstehen.

Besonders häufig tritt dieses Problem bei Mehrlagen-Leiterplatten auf, wenn Schlitze oder andere Diskontinuitäten in der Massefläche dazu führen, dass der Rückstrom von übertragenen Signalen nicht mehr nahe der Signalleitung fließen kann. Das führt zu

einer ungewollten Induktivität im Rückleitungs-pfad und somit zu unerwünschten Spannungsdifferenzen zwischen verschiedenen Punkten der Massefläche. Schließt man an eine solche Leiterplatte eine Leitung an, wirkt diese als Antenne über welche dann ein Gleichtaktstrom I_{CM} fließt. Im für die EMV-Abstrahlung relevanten Frequenzbereich wirken Signal- oder Stromversorgungsleitungen als effiziente Antennen. Dabei gilt der Richtwert, dass Leitungslängen von maximal $\lambda/10$ unkritisch sind, längere Leitungen (z.B. $\lambda/6$) aber bereits für eine Abstrahlung in Frage kommen.

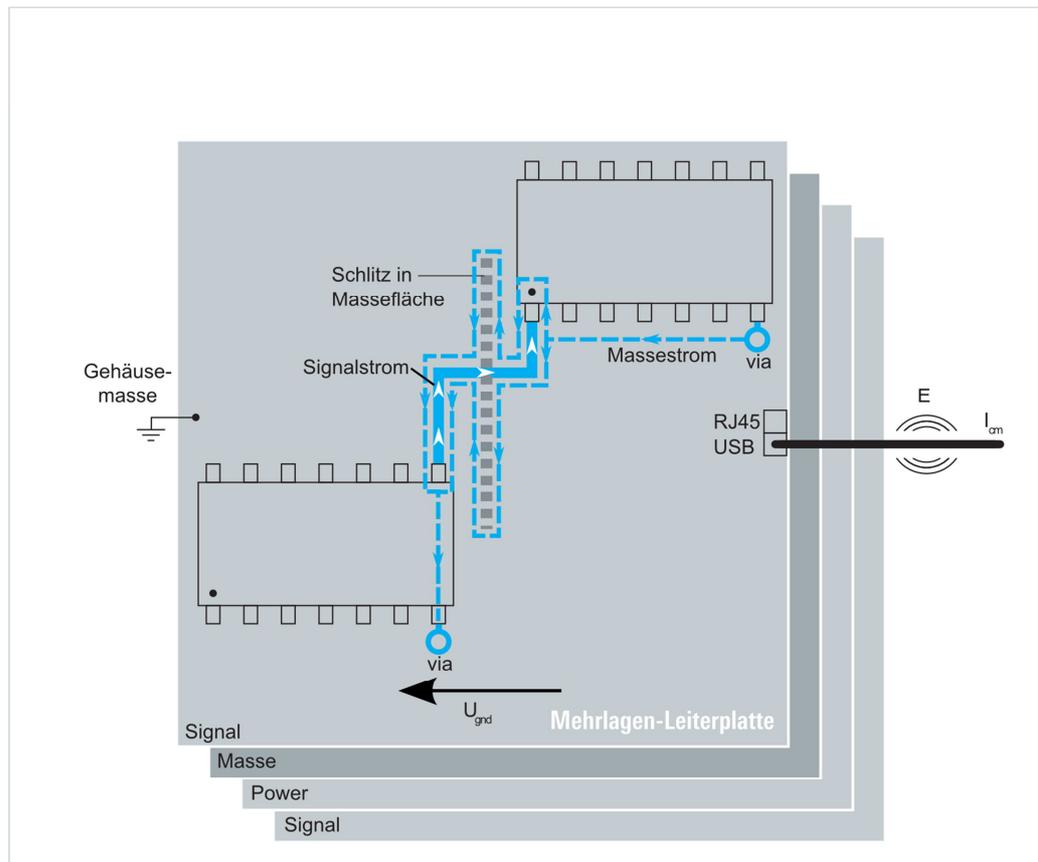


Fig. 2-3: Gleichtaktabstrahlung von einer Leiterplatte. Ursache ist ein Schlitz in der Massefläche welcher zu einer parasitären Induktivität im Rückleiter führt. Dies erzeugt einen Spannungsabfall zwischen unterschiedlichen Punkten der Massefläche.

Die Höhe des Spannungsabfalls an der Massefläche, und damit die Höhe des Gleichtaktstroms in die angeschlossene Leitung werden von der parasitären Induktivität und der Flankensteilheit des Signals bestimmt. Eine Reduktion der Gleichtakt-Abstrahlung kann deshalb durch eine Begrenzung der Anstiegs- und Abfallzeiten (also des Frequenzspektrums) und eine Verringerung der Impedanz in der Massefläche bewirkt werden. Nachdem die Flankensteilheit bei schnellen digitalen Signalen häufig nicht ausreichend reduziert werden kann ohne die Funktion zu beeinträchtigen, kommt dem Design des Rückstroms (Pfad mit der geringsten möglichen Induktivität) eine entscheidende Bedeutung zu.

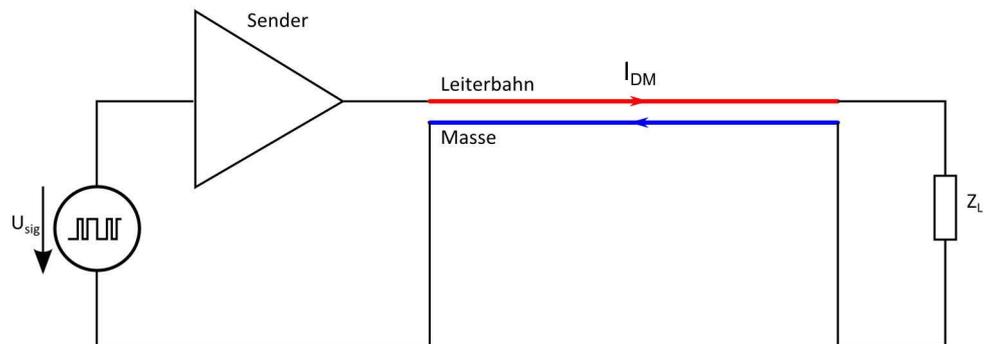


Fig. 2-4: Ideale Gegentakt Übertragung: Hin- und Rücklaufende Leiter liegen nahe beieinander, das erzeugte magnetische Feld löscht sich im Fernfeld nahezu vollständig aus.

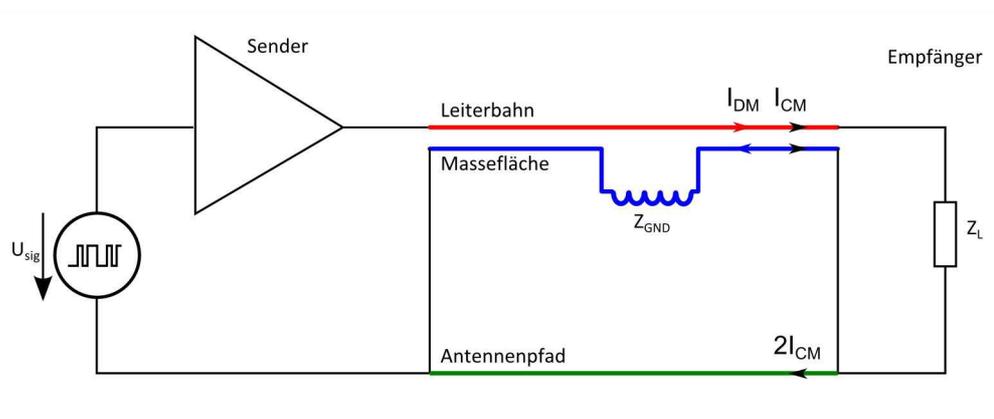


Fig. 2-5: Entstehung eines Gleichtakt-Rückstroms über den Antennenpfad durch eine ungewollte parasitäre Induktivität in der Massefläche. Der „Antennenpfad“ wird dabei häufig durch eine als Antenne wirkende angeschlossene externe Leitung, zum Beispiel ein Stromversorgungskabel, gebildet.

In der Praxis können auch differenziell übertragene Signale zu einer Gleichtaktabstrahlung führen. Sind die parasitären Abschlussimpedanzen einer differenziellen Übertragungsstrecke deutlich unterschiedlich, fließt zusätzlich zum gewollten Differenzstrom I_{DM} auch noch ein Gleichtaktstrom I_{CM} über die Massefläche, welche den Sender- und Empfängerbaustein verbindet. Dieser ungewollte Massestrom I_{CM} kann dann ebenfalls über an die Baugruppe angeschlossene Leitungen ausgekoppelt werden.

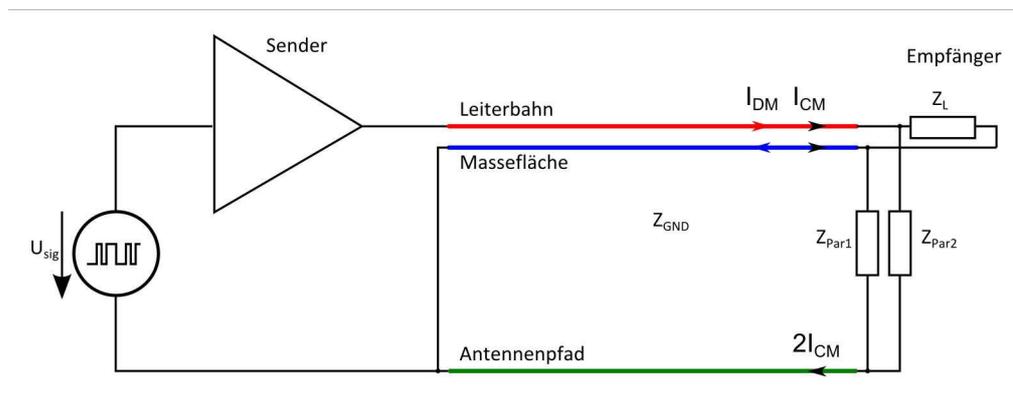


Fig. 2-6: Unsymmetrische (parasitäre) Abschlußimpedanzen einer differentiellen Signalleitung führen zu einem ungewollten Gleichtaktstrom I_{CM} . Eine an die Massefläche angeschlossene Leitung kann in Folge als Antenne wirken, wenn über diese ein Teil des Gleichtaktstroms I_{CM} fließen kann.

In der Praxis zeigt sich, dass Gleichtakt-Ströme eine der wichtigsten Ursachen für unerwünschte Abstrahlungen sind. Quellen von Gleichtaktabstrahlung können mittels Nahfeldmesstechnik aufgespürt werden. Geeignet sind dafür magnetische Nahfeldsonden welche den Gleichtaktstrom bzw das daraus erzeugte Feld detektieren können. Insbesondere bei kompakten Nahfeldsonden wie der RS-H 2.5-2 aus dem Nahfeldsondenset R&S®HZ-15 (siehe Kapitel 0) welche geeignet sind den Strom in einzelnen Leiterbahnen zu bestimmen, ist es möglich über einen Umrechnungsfaktor den tatsächlichen Gleichtakt-Störstrom zu bestimmen. Die Messungen im Nahfeld sollten allerdings unbedingt um die Messung des Gleichtakt-Stroms entlang der angeschlossenen Leitungen ergänzt werden.

Generelle Abhilfemaßnahmen zur Reduktion von Gleichtaktabstrahlung sind:

- Reduktion des Störstroms I_{CM} durch Layoutänderungen, reduzierte Masseflächen-Impedanzen oder Umplatzierung von Bauelementen
- Reduktion höherfrequenter Signalanteile durch Filterung bzw Verringerung der Anstiegs- und Abfallzeiten von digitalen Signalen
- Schirmung (Leitungen, Gehäuse, ...)
- Optimierung der Signalintegrität zur Reduktion von ungewollten Überschwingungen bzw Ringing (siehe auch Kapitel 2.1.4)

2.1.3 Leitungsgebundene Emissionen

Die an ein Gerät angeschlossenen Leitungen sind häufig die Hauptquelle der Störabstrahlung. Elektromagnetische Wellen im Frequenzbereich von 30 MHz – 1 GHz haben eine Wellenlänge von 10 m bis hinunter zu 30 cm. Kabel können daher einen Störstrom effizient abstrahlen (siehe Kapitel 2.1.2), da deren Länge bei üblichen für Fernfeldmessungen vorgeschriebenen Messaufbauten, im Bereich dieser Wellenlängen liegen.

Besonders effizient werden Gleichtaktströme abgestrahlt. Während sich die durch differentielle Ströme entlang des Kabels entstehenden Felder teilweise auslöschen, ist

dies bei Gleichtaktströmen nicht der Fall. Die abgestrahlte Feldstärke ist dabei direkt proportional zum Gleichtaktstrom.

Mit Hilfe der Nahfeldmessung können die Quellen der Störung aufgespürt werden. Durch die Messung des hochfrequenten Störstroms auf den an den Prüfling angeschlossenen Leitungen wird festgestellt ob eine angeschlossene Leitung die Abstrahlung ins Fernfeld verursacht.

Zur Messung des Gleichtaktstroms verwendet man HF-Stromzangen, die in unterschiedlichen Ausführungen (für verschiedene Kabeldurchmesser und Frequenzbereiche) erhältlich sind. Bei dieser Messung ist die Ortsabhängigkeit des Störstroms entlang der angeschlossenen Leitung zu beachten.

2.1.4 Signalintegritätsprobleme als Störquelle

Bei Signalübertragungen mit hoher Flankensteilheit kann die Übertragungsgeschwindigkeit, also die Zeit die das Signal benötigt um vom Sender zum Empfänger zu gelangen, nicht mehr vernachlässigt werden. Fehlanpassungen in der Übertragungsstrecke führen dann zu Reflexionen die zur Sendequelle zurücklaufen und dem originären Signal überlagert werden.

Dieser Effekt führt bei übertragenen digitalen Signalen zu Nachschwingen (ringing) und somit zur Entstehung von Störsignalen, welche abgestrahlt werden können. Eine Anpassung aller Elemente der Übertragungsstrecke (Sender, Leiterbahn, Kabel, Stecker, Empfänger) an den erforderlichen Wellenwiderstand zur Sicherstellung der Signalintegrität ist daher ein wesentlicher Aspekt zur Sicherung der EMV-Konformität.

Ist die Signalintegrität unzureichend, kann das mittels einer Messung der Signale beispielsweise am Senderausgang oder am Empfängereingang analysiert werden. Nach Konvertierung in den Frequenzbereich mittels FFT kann das Spektrum der Störquelle mit dem Ergebnis einer Fernfeldmessung verglichen und damit einer Quelle zugeordnet werden.

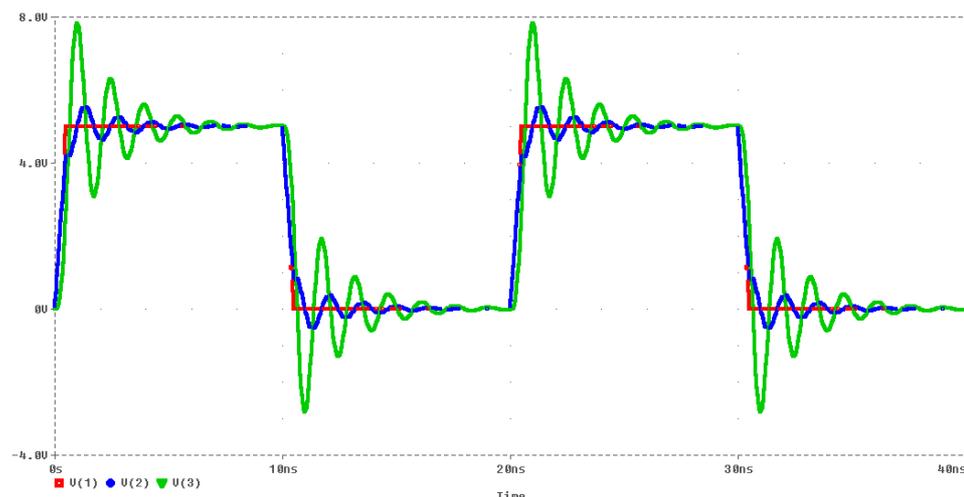


Fig. 2-7: PSPICE Simulation von Ringing: Übertragung eines Taktsignals mit 0.5 ns Anstiegszeit / Abfallzeit und 20 ns Pulsbreite über eine Leitung mit 100Ω ohne Terminierung; Laufzeit auf der Leitung: 0,1 ns; Innenwiderstand des Senders: 10Ω . (Rot) Übertragenes Taktsignal; (Blau) Signal am Senderausgang; (Grün) Signal am Empfänger

2.2 Koppelmechanismen

Um eine auf einer Leiterplatte erzeugte Störung abstrahlen zu können, muss die Störenergie von der Quelle an das Abstrahlelement übertragen werden. Diesen Weg bezeichnet man als Koppelpfad, die Art der Übertragung als Koppelmechanismus.

Grundsätzlich unterscheidet man die folgenden Koppelpfade:

1. Direkte Abstrahlung der Quelle, z.B. von einer Leiterbahn oder einem Bauelement
2. Abstrahlung durch angeschlossene Stromversorgungs-, Daten- oder Signalleitungen
3. Leitungsgeführte Emission durch angeschlossene Stromversorgungs-, Daten- oder Signalleitungen

Als Koppelmechanismen kommen in Frage:

1. Kopplung über eine gemeinsame Impedanz

Störquelle und Abstrahlelement sind in diesem Fall über eine gemeinsame Impedanz miteinander verbunden.

Dies ist ein häufiger Fall, denn in elektronischen Systemen sind Störquelle und Abstrahlelement meist direkt miteinander verbunden (z.B. gemeinsame Masse von digitalem Störstromkreis (Störquelle) und dem Kabelschirm oder Masse-Leiter eines angeschlossenen Signalkabels (Antenne)).

2. Kopplung über Felder

- a. Elektrisches Feld

In diesem Fall tritt ein elektrisches Nahfeld an der Störquelle aus, wird in den benachbarten Schaltkreis oder auf ein Abstrahlelement (z.B. Heat Sink) eingekoppelt und von diesem ins Fernfeld gestrahlt oder leitungsgebunden emittiert. Die zwischen Störquelle und Störseife bestehende parasitäre Koppelkapazität bestimmt frequenzabhängig die Energieübertragung.

- b. Magnetisches Feld

In diesem Fall erzeugt ein Stromkreis ein magnetisches Nahfeld, welches durch eine benachbarte Leiterschleife oder ein magnetisch empfindliches Bauteil fließt. Der resultierende Energietransfer wird durch den Kopplungsfaktor zwischen den Stromkreisen und dem Strom in der Störquelle bestimmt.

- c. Elektromagnetisches Feld

In diesem Fall liegen die Störquelle und die Störseife weit auseinander, mindestens um λ oder ein Vielfaches davon. Es werden sowohl ein elektrisches als auch ein magnetisches Feld ausgekoppelt. Die Störquelle emittiert die Störung direkt ins Fernfeld.

2.3 Abstrahlelemente (Antennen)

Bei in der EMV relevanten Abstrahlelementen handelt es sich um Antennen die unbeabsichtigt strahlen.

Die Effizienz dieser Antennen (der Strahlungswiderstand, Antennenfaktor) hängt dabei von der Geometrie der Antenne ab. Wesentlicher Einflussfaktor ist die Länge der Antenne bezogen auf die Wellenlänge der Störung.

Antennen die nur Bruchteile der Wellenlänge der Störung haben, z.B. $\lambda/6$, können bereits effizient abstrahlen. Hier gilt die Regel, dass Antennen bis zu einer Länge von $\lambda/10$ unkritisch sind.

Hauptsächlich treten bei Geräten folgende ungewollte Antennen auf:

- Angeschlossene Leitungen (Stromversorgung, Daten-/Signal-/Steuerleitungen)
- Leiterbahnen und Flächen auf einem PCB
- Interne Kabel zwischen den Systemkomponenten
- Bauelemente oder Kühlkörper
- Schlitze und Öffnungen in Gehäusen

3 Messmethoden zur EMV Fehleranalyse

3.1 Einleitung – Nahfeld und Fernfeld

Bei EMV Konformitätstests ist grundsätzlich nur die tatsächliche Abstrahlung eines Prüflings im Fernfeld maßgebend. Vom Fernfeld spricht man, wenn die elektrische und magnetische Feldkomponente in Phase und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung orientiert sind und sich eine ebene Welle gebildet hat. Die elektromagnetische Welle hat sich von der Antenne gelöst und hängt nicht mehr von den Eigenschaften der Quelle, sondern von den Ausbreitungsbedingungen im Medium ab. Bei im Vergleich zur Wellenlänge kleinen Strahlern beginnt das Fernfeld ab einer Distanz von etwa $\lambda / 2\pi$, bei im Vergleich zur Wellenlänge großen Antennen bei erst $2 \cdot D^2 / \lambda$, wobei D der Durchmesser der Antennenstruktur ist.

Die für Konformität notwendigen Fernfeldmessungen sind nur in spezialisierten EMV-Testlabors (Absorberkammer oder in Freifeldmessenanlagen) möglich und oft mit höheren Kosten und nennenswertem Aufwand verbunden. Treten Probleme bei der EMV-Konformität auf, ist ein mehrmaliger Besuch des Testlabors zur Analyse von Verbesserungen aus Kosten- und Zeitgründen meist nicht möglich. Für die Analyse von EMV-Problemen können aber auch andere Messmethoden herangezogen werden. Für die Arbeit im Entwicklungslabor bieten sich besonders Nahfeld- und Störstrommessmethoden an.

Das Nahfeld besteht aus elektrischen und magnetischen Feldkomponenten welche mit dem Faktor $1 / r^2$ bzw. $1 / r^3$ mit der Distanz abnehmen. Für die EMV-Konformität spielt nur das Fernfeld eine Rolle, dieses nimmt proportional zu $1 / r$ mit der Entfernung zur Quelle ab. Im Nahfeld ist die elektrische und die magnetische Feldkomponente noch nicht mit dem Feldwellenwiderstand des freien Raums verknüpft (377 Ohm). Die Welle hat sich noch nicht vom Sender gelöst, die Feldkomponenten hängen noch von den Eigenschaften der Quelle ab. Aus diesem Grund ist es nicht möglich von einem gemessenen Nahfeldpegel auf das Fernfeld und damit die EMV-Konformität zu schließen.

Der umgekehrte Schluss ist allerdings möglich: Sind elektromagnetische Wellen im Fernfeld messbar, müssen sowohl elektrische als auch magnetische Feldkomponenten im Nahfeld vorhanden sein. Hat man somit bei einer EMV Konformitätsmessung festgestellt, dass der Prüfling unzulässig abstrahlt, kann man Nahfeldsonden verwenden um die tatsächliche Quelle zu finden.

Grundsätzlich ist bei der Interpretation von Ergebnissen der Nahfeldsondierung immer zu berücksichtigen, ob geeignete Antennenstrukturen (beispielsweise angeschlossene Kabel oder lange Leiterbahnen) vorhanden sind, um zu einer Abstrahlung ins Fernfeld zu führen. Nicht alle Nahfeldemissionen mit hoher Amplitude müssen notwendigerweise zu hohen Fernfeldabstrahlungen führen.

Zusätzlich zu Nahfeldmessungen ist auch die Messung von Störströmen, welche beispielsweise auf angeschlossenen Signal oder Stromversorgungs-Kabeln des Prüflings fließen, ein wichtiger Schritt, um die Ursache unerwünschter EMV-Abstrahlungen zu analysieren.

Generell ist es vor einer Analyse mittels Nahfeldsonden empfehlenswert, eine Fernfeldmessung durchzuführen, um die kritischen Frequenzen zu identifizieren. Die Störquellen können dann mittels Nahfeldmessung lokalisiert werden. Ist der Kopplungsmechanismus ins Fernfeld identifiziert, können geeignete Abhilfemaßnahmen vorgenommen werden.

3.2 Störstrom- und Störspannungsmessungen

3.2.1 Zusammenhang zwischen Störströmen auf angeschlossenen Leitungen und abgestrahlten Fernfeldkomponenten

Ein häufiger Abstrahlmechanismus sind Gleichtakt (Common Mode) Störströme. Diese fließen am Innenleiter oder am Schirm von an das Testobjekt angeschlossenen Leitungen. Nachdem diese Leitungen häufig eine Länge von wenigstens einem Meter haben, stellen sie für den für die EMV-Konformität besonders wichtigen Frequenzbereich von 30 MHz – 1 GHz effiziente Antennen dar und sind somit oft das entscheidende Abstrahlelement. Die im Fernfeld resultierende Feldstärke ist direkt proportional zum Störstrom, Maßnahmen welche den Störstrom reduzieren führen deshalb direkt zu einer Verbesserung der Störabstrahlung. Über [1, p. 313]

$$\frac{E}{\mu\text{V/m}} = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{f}{\text{Hz}} \cdot \frac{l}{\text{m}} \cdot \frac{I_{CM}}{\mu\text{A}} \cdot \frac{\sin(\Theta)}{\frac{r}{\text{m}}}$$

ist eine einfache Abschätzung des maximal erlaubten Gleichtakt-Störstroms auf angeschlossenen Leitungen möglich. Dabei ist l die Länge der Leitung, r der Abstand zwischen Quelle und Empfangsantenne, I_{cm} der Gleichtakt-Störstrom und Θ der Winkel zum Dipol.

Bei einem Winkel $\Theta = 90^\circ$, einer Messentfernung von 3 m, einer Frequenz von 100 MHz, einer Kabellänge von 1 m und einem Störstrom von 2,5 μA ergibt sich somit eine Abstrahlung von etwa 100 $\mu\text{V/m}$ (=40 dB $\mu\text{V/m}$). Dies entspricht beispielsweise dem Grenzwert der Class B nach EN55022. Störströme in der Größenordnung von 2,5 μA können somit schon zur Verletzung der EMV-Konformität führen.

3.2.2 Einsatz der Störstrommessung

Durch die Messung des Gleichtakt-Stroms auf an den Prüfling angeschlossenen Leitungen kann die Aussagen getroffen werden, ob und welche der Leitungen eine im Fernfeld vorhandene Störung abstrahlen. Sind die Störströme auf allen angeschlossenen Leitungen vernachlässigbar, muss ein anderer Mechanismus für die Abstrahlung maßgeblich sein (z.B. Abstrahlung aufgrund von Gehäuseundichtigkeiten).

Zusätzlich kann durch Vergleich des Spektrums des Störstroms mit dem gemessenen Spektrum im Fernfeld die Hauptstörquelle auf der Leiterplatte offengelegt werden. Wenn beispielsweise im Fernfeld ein Breitbandstörer mit einem Maximum bei 100 MHz vorhanden ist und im Nahfeld eine Störung mit ähnlichem Spektrum gefunden wird,

liegt es nahe, dass die Quelle der Störung im Nahfeld gefunden wurde. Ähnliches gilt bei CW-Störern. Wenn im Fernfeld Harmonische von beispielsweise 25 MHz vorhanden sind und im Nahfeld eine Störquelle gefunden wird, welche ein vergleichbares harmonisches Spektrum besitzt, handelt es sich wahrscheinlich um die Störquelle.

Durch die direkte Proportionalität der ins Fernfeld abgestrahlten elektromagnetischen Wellen und des Störstroms können Verbesserungsmaßnahmen einfach evaluiert werden.

Entscheidend für die Aussagekraft bei solchen Vergleichsmessungen sind reproduzierbare Messbedingungen. Besonders die Ortsabhängigkeit des Störstroms muss beachtet werden. Aufgrund von Reflexionen auf der angeschlossenen Leitung können stehende Wellen entstehen und somit zu unterschiedlichen Störströmen an unterschiedlichen Stellen der Leitung führen. Damit die tatsächliche Verbesserung der Fernfeldabstrahlung gemessen werden kann muss mittels einer Stromzange (siehe Kapitel 3.2.4) der maximale Störstrom auf der Leitung (beispielsweise eine Netzleitung) gemessen werden. Die Leitungslänge sollte dabei nicht verändert werden. Zusätzlich können bei Bedarf vorhandene stehende Wellen durch Absorberzangen (Ferrite) am Leitungsende bedämpft werden.

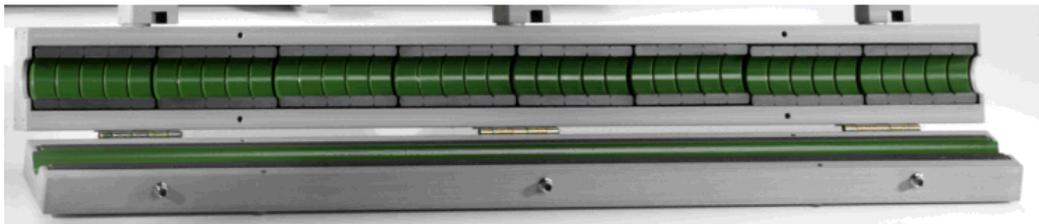


Fig. 3-1: Absorberzange R&S EZ-24 zur Dämpfung von stehenden Wellen bei der Störstrommessung

Generell muss bei der Messung von Störemissionen im Entwicklungslabor darauf geachtet werden, ob gemessene Störungen nicht durch Umgebungsstörungen zustande kommen. Es empfiehlt sich deshalb, vor der eigentlichen Messung eine Messung mit ausgeschaltetem Prüfling durchzuführen, um nur die Umgebungsstörungen zu erfassen.

3.2.3 Messung von Störspannungen auf Netzleitungen

Auch Störspannungsmessungen erfassen den Störstrom, der sich entlang von angeschlossenen Leitungen ausbreitet. Die Störspannungsmessung auf Netzleitungen erfolgt mittels Netznachbildungen (LISN – Line Impedance Stabilisation Network, beispielsweise V-LISN auf AC/DC Versorgungsleitungen und T-ISN – Telecommunication Stabilisation Network auf Telekommunikationsleitungen) Eine Netznachbildung soll dabei die Netz- bzw. die Kabelimpedanz nachbilden, Fremdstörungen vom Netz ausfiltern und die vom Prüfling erzeugte HF-Störung an einem Messausgang bereitstellen.



Fig. 3-2: R&S®ENV216 – Zweileiter-V-Netz nachbildung zur Messung von leitungsgebundenen Störemissionen

Störspannungsmessungen können ersatzweise zur Störstrommessung aber auch zur Fehleranalyse bei erhöhter Störabstrahlung herangezogen werden. Zu beachten ist dabei allerdings, dass Netznachbildungen normalerweise in Frequenzbereichen eingesetzt werden, die unterhalb derer von handelsüblichen Stromzangen liegen.

3.2.4 Stromzangen für die Messung von Störströmen

Zur Messung von Störströmen verwendet man HF-Stromzangen, welche für unterschiedliche Kabeldurchmesser und unterschiedliche Frequenzbereiche erhältlich sind. Entscheidend für die Anwendung bei der EMV-Fehlersuche ist:

- Der Innendurchmesser der Stromzange sollte für eine gute magnetische Kopplung an den Kabeldurchmesser angepasst sein.
- Der Frequenzgang sollte im betrachteten Frequenzbereich möglichst flach sein.
- Die Transferimpedanz Z der Stromzange sollte einen möglichst hohen Wert haben (das Wandlungsmaß $k = -Z$ entsprechend einen möglichst niedrigen Wert), um den gemessenen Strom als „verstärkte“ Ausgangsspannung U wiederzugeben. Der gemessene Strom kann dann ganz einfach wie folgt berechnet werden:

$$\frac{I}{\text{dB}\mu\text{A}} = \frac{U}{\text{dB}\mu\text{V}} - \frac{Z}{\text{dB}\Omega}$$

- Die Stromzange sollte aufklappbar sein, damit man sie einfach um die Leitung legen kann.
- Ein Beispiel für eine für Störstrommessungen geeignete Stromzange ist die R&S®EZ-17 mit einer Bandbreite von 20 Hz bis 100 MHz und einer Transferimpedanz von 10 dBΩ (Modell 02) bzw. 17 dBΩ (Modell 03).



Fig. 3-3: Geeignet für die Messung von Störströmen ist beispielsweise die Stromzange R&S®EZ-17 mit 10dB (Modell 02) bzw. 17 dB (Modell 03) Transferimpedanz und 100 MHz Bandbreite. Ein großer Innendurchmesser von 30 mm ermöglicht die Messung an Kabelbündeln

Zur Strommessung können auch Absorberzangen wie die R&S MDS-21 verwendet werden, oder Ferritzangen wie die R&S EZ-24 ohne Messausgang in Kombination mit einer beliebigen Stromzange mit ausreichender Empfindlichkeit, Bandbreite und richtigem Durchmesser.

3.3 Analyse von EMV-Problemen mittels Nahfeldsonden

Die Hauptaufgabe von Nahfeldsonden ist es, das elektrische oder magnetische Feld eines Prüflings in einer genau definierten Umgebung der Sonde möglichst empfindlich zu erfassen. Durch spezielle Schirmmaßnahmen der Sonde werden unerwünschte Felder aus anderen Richtungen unterdrückt. Zusätzlich dazu sind Nahfeldsonden entweder magnetisch oder elektrisch sensitiv und unterdrücken die jeweils andere Feldkomponente weitestgehend. Dadurch lässt sich das zu untersuchende Nahfeld detailliert analysieren und eine Störquelle zielgenau detektieren. Beispielsweise ermöglichen es spezielle Nahfeldsonden nur die Emission einzelner Leiterbahnen auf einer Leiterplatte zu erfassen und damit die Leiterbahn zu identifizieren, welche für die untersuchte Störabstrahlung verantwortlich sind. Andere Sonden eignen sich besonders für die Messung von Strömen in IC-Pins oder in Blockkondensatoren.

3.3.1 Elektrische und magnetische Nahfeldsonden

Elektrische Nahfeldsonden unterdrücken die magnetische Feldkomponente und liefern an ihrem Ausgang ein Signal welches proportional zur elektrischen Feldkomponente (E) des Nahfeldes ist. Mit Hilfe eines frequenzabhängigen Korrekturfaktors (K_e) kann man die elektrische Feldstärke im Nahfeld der Sonde wie folgt berechnen:

$$\frac{E}{\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}} = \frac{U}{\text{dB}\mu\text{V}} + \frac{K_e}{\text{dB}/\text{m}}$$

Magnetische Nahfeldsonden unterdrücken die elektrische Feldkomponente und liefern am Ausgang ein Signal welches proportional zur magnetischen Feldkomponente (H) des Nahfeldes ist. Mit Hilfe eines frequenzabhängigen Korrekturfaktors (K_h) kann die magnetische Feldstärke wie folgt berechnet werden:

$$\frac{H}{\text{dB}\mu\text{A/m}} = \frac{U}{\text{dB}\mu\text{V}} + \frac{K_h}{\text{dBA}/(\text{Vm})}$$

Das magnetische Nahfeld wird durch einen HF Strom verursacht. Über einen anderen, ebenfalls frequenzabhängigen, Korrekturfaktor (K_i) kann somit der verursachende Strom abgeschätzt werden:

$$\frac{I}{\text{dB}\mu\text{A}} = \frac{U}{\text{dB}\mu\text{V}} + \frac{K_i}{\text{dBA}/\text{V}}$$

Die angegebenen Korrekturfaktoren werden üblicherweise vom Sondenhersteller angegeben, können aber auch über ein konstantes Referenzfeld selbst ermittelt werden.

Insbesondere magnetische Nahfeldsonden sind üblicherweise nicht isotrop, d.h. die gemessene Feldstärke hängt von der Richtung des Feldes und der gewählten Position der Probe und natürlich vom Abstand zur Quelle ab. Aus diesem Grund setzt man daher die Sonden bei der Messung direkt auf die zu messende Störquelle (z.B. eine Leiterbahn) auf und dreht die Sonde bis das Feldmaximum erfasst wird. Dieses Vorgehen erhöht die Reproduzierbarkeit bei Wiederholungsmessungen z.B. nach Abhilfemaßnahmen.

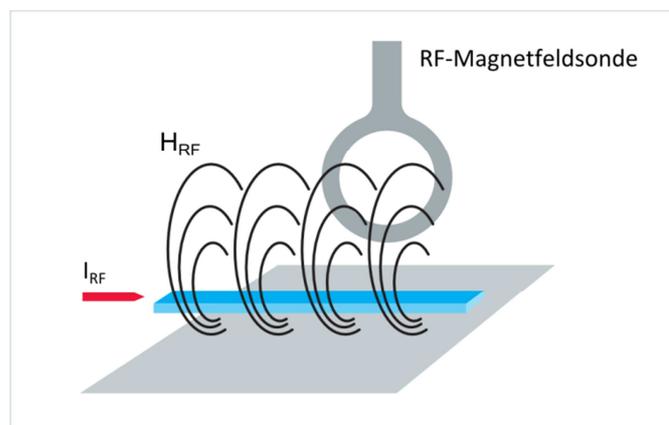


Fig. 3-4: Erzeugung / Ausrichtung eines magnetischen Nahfeldes durch einen HF Strom entlang eines Leiters

Generell sind magnetische Nahfeldsonden störungsempfindlicher als elektrische Nahfeldsonden und deshalb einfacher in der Anwendung. Außerdem verursachen sowohl Gegentakt- als auch Gleitakt-Störströme überwiegend ein magnetisches Nahfeld und können somit mit magnetischen Nahfeldsonden detektiert werden. Die Messung mit magnetischen Nahfeldsonden ist neben der Störstrommessung auf angeschlossenen Leitungen deshalb die bevorzugte Methode der Diagnose.

Elektrische Nahfeldsonden werden beispielsweise zu vergleichenden Messungen von elektrischem Feld, Analyse und zum Aufspüren von Koppelmechanismen sowie der Messung von Schaltflanken auf Signalleitungen und in DC-Versorgungssystemen eingesetzt. Sie sind überall dort besonders geeignet, wo die Emission nicht

überwiegend durch elektrische Ströme sondern vor allem durch elektrische Potentialänderungen erzeugt wird. Oft eignen sie sich auch für die Suche nach undichten Stellen in Schirmgehäusen.

3.3.2 Anwendungsgebiete für Nahfeldsonden

Nahfeldsonden sind ein wertvolles Werkzeug für die detaillierte Analyse von EMV-Problemen auf Leiterplatten. Zu den Hauptanwendungen zählt die Lokalisierung von Störquellen und auch die Identifikation von Auskoppelmechanismen.

■ Lokalisieren der Störquellen auf Leiterplatten

Je nach verwendeter Nahfeldsonde ist der räumliche Bereich von welchem die Sonde elektrische oder magnetische Felder abgreift mehr oder weniger klein. Indem die Nahfeldsonde über die Leiterplatte des Prüflings bewegt wird kann somit der Ort lokalisiert werden, an welchem ein gesuchtes Störspektrum den Maximalwert hat. Dort ist häufig auch die Quelle der Störung zu finden, welche im Fernfeld problematisch war. Das können einzelne Leiterbahnen, Bussysteme, Versorgungsflächen, ICs, Kühlkörper oder auch Schalttransistoren sein.

Mit einer Nahfeldsonde kann auch die Stromverteilung in einer Massefläche vermessen werden. Damit kann festgestellt werden, ob der Rückstrom auf dem vorgesehenen Weg fließt oder aufgrund von Unterbrechungen der Massefläche unzulässig verteilt wird.

Die Sondierung an Entkoppelkondensatoren ermöglicht es, die Effektivität der Entkopplungsmaßnahmen der Stromversorgung zu beurteilen. Mit Hilfe einer magnetischen Nahfeldsonde (beispielsweise RS-H 2.5 des Nahfeldsondensatzes R&S®HZ-15) kann der Strom durch den Entkoppelkondensator gemessen und somit seine Entstörf Wirkung beurteilt werden. Je größer dieser Strom ist, desto effektiver die Entkopplungswirkung. Durch Variation der Bauform und der Größe des Entkoppelkondensators und, falls möglich, auch der Anschlussart im Layout an die Stromversorgung und Masse kann der gemessene Strom im Kondensator maximiert und damit seine Entkoppelwirkung optimiert werden.

■ Identifikation von Auskoppelmechanismen

In Kombination mit der Messung des Störstroms auf angeschlossenen Leitungen kann mit Hilfe von Nahfeldsonden geklärt werden, ob die gemessenen Nahfelder über die angeschlossenen Leitungen ins Fernfeld koppeln. Ist das nicht der Fall, kann über die Nahfeldsondierung an Gehäuseschlitzten festgestellt werden, ob unzureichende Schirmung die Ursache für unerwünschte Fernfeldemissionen ist.

Konnten die Störquellen und der Auskoppelmechanismus identifiziert werden, müssen im nächsten Schritt mögliche Abhilfemaßnahmen erarbeitet werden. Dazu zählen beispielsweise:

- Prüfung der Signalintegrität von kritischen Übertragungstrecken im Prüfling. Typische Probleme sind Überschwinger (Ringing) beispielsweise durch falsche Terminierung der Leitungen.

- Reduktion der Flankensteilheit oder Filterung der übertragenen Signale um die Amplitude der Oberwellen zu reduzieren. Harmonische Oberwellen haben ab einer gewissen Ordnung typischerweise keinen wesentlichen Einfluß mehr auf die Signalintegrität, werden aber aufgrund der höheren Frequenz leichter abgestrahlt.
- Änderungen im Layout wie beispielsweise eine optimierte Führung des Rückstroms bei unsymmetrischen Übertragungen
- Überarbeitung des Designs der Stromversorgung von kritischen Bauteilen (Power Bus-Design)
- Schirmung und Filterung von Leitungen beispielsweise durch SMD-Ferrite, stromkompensierende Drosseln oder Kabelferrite
- Gehäusemaßnahmen

3.3.3 Das Nahfeldsondenset R&S®HZ-15

Für die Analyse von EMV-Problemen ist es üblicherweise hilfreich, wenn ein Set unterschiedlicher Nahfeldsonden zur Verfügung steht. Das R&S®HZ-15 Set enthält zwei elektrische und drei magnetische Nahfeldsonden unterschiedlicher Größe und eignet sich ideal für diese Anwendung.

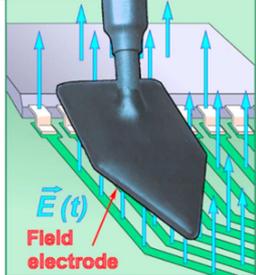
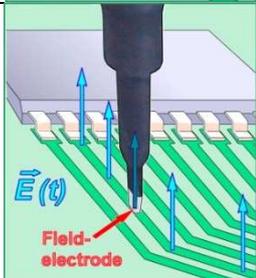
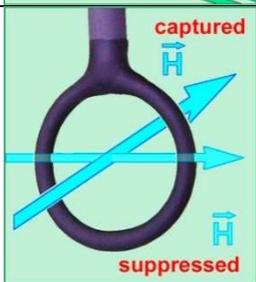
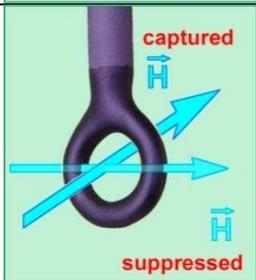
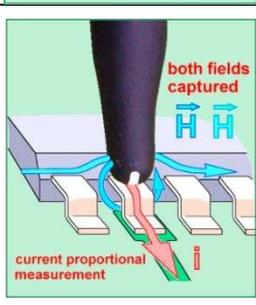
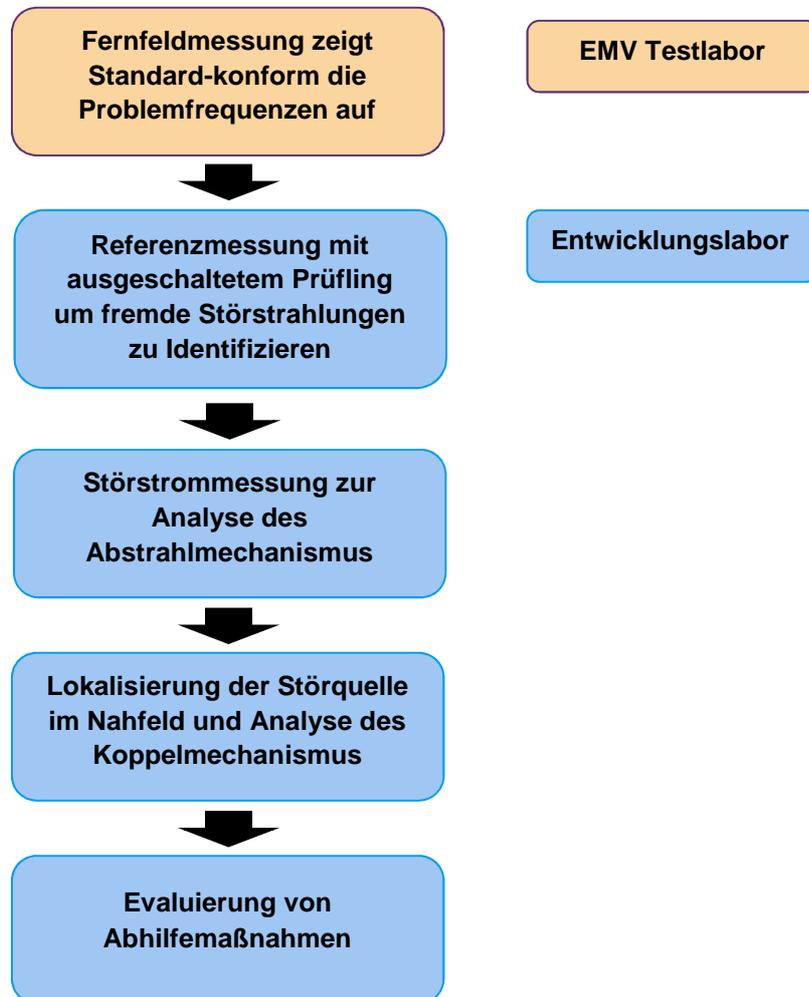
<p>RS-E 02: Großflächige Nahfeldsonde zur Messung von elektrischen Feldern, die von Strukturen mit größerer Oberfläche ausgekoppelt werden (Adress- oder Datenbusse, Kühlkörper, Flächen auf einer Leiterplatte). Erfasst elektrische Felder mit ihrer Unterseite, die Oberseite ist elektrisch geschirmt. Die Sonde wird, sofern möglich, vollständig auf das Messobjekt aufgesetzt. Damit können Messunsicherheiten aufgrund eines undefinierten Abstands der Sonde zur Quelle bzw. dem Abstrahlelement reduziert werden.</p>	 <p>The diagram shows a large, flat, black probe tip resting on a green PCB. Blue arrows representing electric field lines ($\vec{E}(t)$) point upwards from the probe. A red arrow points to the probe tip, labeled 'Field electrode'.</p>
<p>RS-E 10: Örtlich sehr selektive Nahfeldsonde zur Erfassung elektrische Felder. Durch die Schirmung der Sonde werden benachbarte Strukturen nicht erfasst. Die Auflösung beträgt ca. 0,2 mm. Damit können die Leiterbahnen mit dem größten Störpegel aus einem Bündel an Leiterbahnzügen ermittelt werden.</p>	 <p>The diagram shows a small, pointed probe tip touching a green PCB. Blue arrows representing electric field lines ($\vec{E}(t)$) are concentrated at the tip. A red arrow points to the tip, labeled 'Field-electrode'.</p>
<p>RS-H 400-1: Magnetische Nahfeldsonde mit hoher Empfindlichkeit aber relativ geringer räumlicher Selektivität. Sie eignet sich besonders zur Erstanalyse, wenn Störer grundsätzlich erfasst und grob lokalisiert werden sollen. Diese Sonde hat eine Richtwirkung, muss also bei der Messung soweit gedreht werden, bis das Maximum erfasst wird.</p>	 <p>The diagram shows a circular loop probe. Blue arrows representing magnetic field lines (\vec{H}) are shown. One side of the loop is labeled 'captured' and the other 'suppressed'.</p>
<p>RS-H 50-1: Magnetische Nahfeldsonde mit wesentlich höherer Auflösung als die RS-H 400-1, aber auch wesentlich geringerer Empfindlichkeit. Diese Sonde hat eine Richtwirkung, muss also bei der Messung gedreht werden, bis das Maximum erfasst wird.</p>	 <p>The diagram shows a smaller circular loop probe. Blue arrows representing magnetic field lines (\vec{H}) are shown. One side of the loop is labeled 'captured' and the other 'suppressed'.</p>
<p>RS-H 2.5: Magnetische Nahfeldsonde mit hoher örtlicher Auflösung; besonders für die Erfassung von HF-Strömen in und entlang von Leiterzügen, Bauelementen und deren Anschlüssen, sowie zum Auffinden von Störern innerhalb von Bussystemen geeignet. Mit ihr kann auch der Strom auf der Oberfläche von IC's oder durch Kondensatoren bestimmt werden. Besteht aus einem Kern mit einem Spalt von 0,5 mm Breite. Am Spalt wird das Magnetfeld detektiert (weiße Linie). Die Sonde wird mit dem Spalt direkt auf die Störquelle aufgesetzt. Diese Sonde hat eine Richtwirkung, muss also bei der Messung gedreht werden, bis das Maximum erfasst wird.</p>	 <p>The diagram shows a probe with a narrow slot. Blue arrows representing magnetic field lines (\vec{H}) are shown. The slot is labeled 'both fields captured'. Below the slot, a red arrow points to a current path, labeled 'current proportional measurement'.</p>

Table 3-1: Nahfeldsondenset R&S®HZ-15

4 EMV Fehleranalyse mit dem digitalen Oszilloskop R&S®RTO in der Praxis

4.1 Grundsätzliches Vorgehen bei der EMV-Fehleranalyse im Entwicklungslabor

Das grundsätzliche Vorgehen bei der EMV Fehleranalyse ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Typischerweise startet man den Prozess mit den Ergebnissen der Fernfeldmessung welche Standard-konform die Problemfrequenzen aufzeigt.



Liegt das Ergebnis der Fernfeldmessung vor, startet der eigentliche Fehleranalyseprozess. Hier empfiehlt sich die folgende Vorgangsweise:

1. Referenzmessung mit ausgeschaltetem Prüfling zur Identifikation von fremder Störstrahlung

Vor der eigentlichen EMV Fehleranalyse im Entwicklungslabor empfiehlt es sich eine Referenzmessung mit ausgeschaltetem Prüfling durchzuführen. Damit ist sichergestellt, dass im Labor vorhandene Störstrahlung anderer Geräte oder von Funkdiensten nicht fälschlicherweise als Störstrahlung des untersuchten Geräts interpretiert wird. Das ist besonders bei der Messung mit elektrischen Nahfeldsonden und bei Störstrommessungen auf Leitungen wichtig. Magnetische Nahfeldsonden sind gegen fremde Störeinstrahlungen häufig unempfindlich.

2. Störstrommessung, falls am Gerät Leitungen angeschlossen sind

Häufig sind am Gerät angeschlossene Leitungen die eigentlichen Abstrahlelemente. Mit Hilfe der Störstrommessung werden die Leitungen ermittelt, welche das Störsignal ins Fernfeld abstrahlen. Ist die Quelle auf der Leiterplatte identifiziert, kann der Koppelmechanismus von der Störquelle auf der Leiterplatte hin zum Abstrahlelement analysiert werden. Der Koppelmechanismus ist ein wichtiger Ansatzpunkt zur Reduktion der Störemission.

3. Nahfeldmessung zur Lokalisierung der Störquelle

Man starten idealerweise mit einer großen magnetischen Nahfeldsonde wie der Loopantenne RS-H 400-1 (R&S®HZ-15) und sucht die Störquelle auf der Leiterplatte. Mit dem Wechsel zu kleineren Loop-Antennen wie der RS-H 50-1 und der RS-H 2,5 kann man die Störquelle dann immer weiter eingrenzen (siehe dazu Seite 22).

Bevorzugt werden magnetische Nahfeldsonden eingesetzt, da sie weniger empfindlich als elektrische Nahfeldsonden bezüglich unerwünschter Störeinstrahlungen in die Sonde sind.

4. Analyse von Abhilfemaßnahmen

Sind die Störquellen, die Koppelmechanismen und die Abstrahlelemente bekannt, können Abhilfemaßnahmen implementiert und untersucht werden. Eine einfache Möglichkeit ist, mit Hilfe der Nahfeldsonden oder auch der Stromzangen zur Störstrommessung, den Effekt von Abhilfemaßnahmen auf die Abstrahlung zu untersuchen. Wichtig ist hier, dass bei Vergleichsmessungen mit Nahfeldsonden immer am gleichen Punkt gemessen wird, dabei sollte die Nahfeldsonde so gedreht werden, dass das Maximum gefunden wird. Das ist notwendig, da Abhilfemaßnahmen die Polarisierung der Abstrahlung ändern können. Bei Störstrommessungen auf angeschlossenen Leitungen sollte ebenso immer das örtliche Maximum des Störstroms gesucht werden.

4.2 Verwendung des R&S®RTO für die EMV-Fehleranalyse

4.2.1 Grundeinstellung des Oszilloskops

Mit den folgenden wenigen Schritten wird das R&S®RTO für die EMV-Fehleranalyse konfiguriert:

- Ausführen von PRESET für ein definiertes Setup
- Anschluss der Stromzange (zur Störstrommessung) oder der Nahfeldsonde an einen beliebigen Eingangskanal
- Wählen einer Vertikalauflösung im Bereich von 1 mV/div – 5 mV/div für eine hohe Empfindlichkeit
- Wählen von 50 Ω Kopplung (korrekte Anpassung an die Ausgangsimpedanz der verwendeten Stromzange / Nahfeldsonde)
- Auswahl einer Horizontalablenkung in der Größenordnung von 50 μ s/div. Dadurch können Störer, welche mindestens einmal in der Signalaufzeichnungslänge von 0,5 ms auftreten, erfasst werden.
- Aktivierung der FFT (Auswahl des FFT Toolbar Symbols und Klick auf das richtige Eingangssignal)
- Einschalten der Farbtabelle für die Spektralanzeige der FFT (Menü: Display – Signal Colors – Enable Color Table)

Diese Grundeinstellungen gewährleisten, dass man mit hoher Empfindlichkeit EMV-Störungen einfach erfassen kann. Gleichzeitig ist automatisch die überlappende FFT-Funktion mit einer großen Anzahl an Einzelspektren aktiviert. Gemeinsam mit der Farbtabelle kann man somit im dargestellten Spektrum einfach zeitliche Variabilität der Störemissionen erfassen.

4.2.2 Besondere Funktionen des R&S®RTO für die EMV-Fehleranalyse

Hohe Erfassungsbandbreite und einfache Navigation im Frequenzbereich

Ein entscheidender Vorteil der Verwendung des R&S®RTO für die Analyse von EMV Problemen ist die hohe Erfassungsbandbreite bei Verwendung der Spektralanalysefunktion. Damit ist es möglich, das gesamte Eingangsspektrum bis zu Bandbreite des Oszilloskops auf einmal zu erfassen. Bei der Lokalisierung der Störemissionen auf einer Leiterplatte ist es deshalb im Gegensatz zu Spektrumanalysatoren nicht zwingend nötig, eine Max-Hold Funktion einzuschalten und zu warten, bis sich das Spektrum vollständig aufgebaut hat. Der Benutzer kann die Nahfeldsonde ohne warten zu müssen über die Leiterplatte bewegen und bekommt immer das gesamte Spektrum angezeigt.

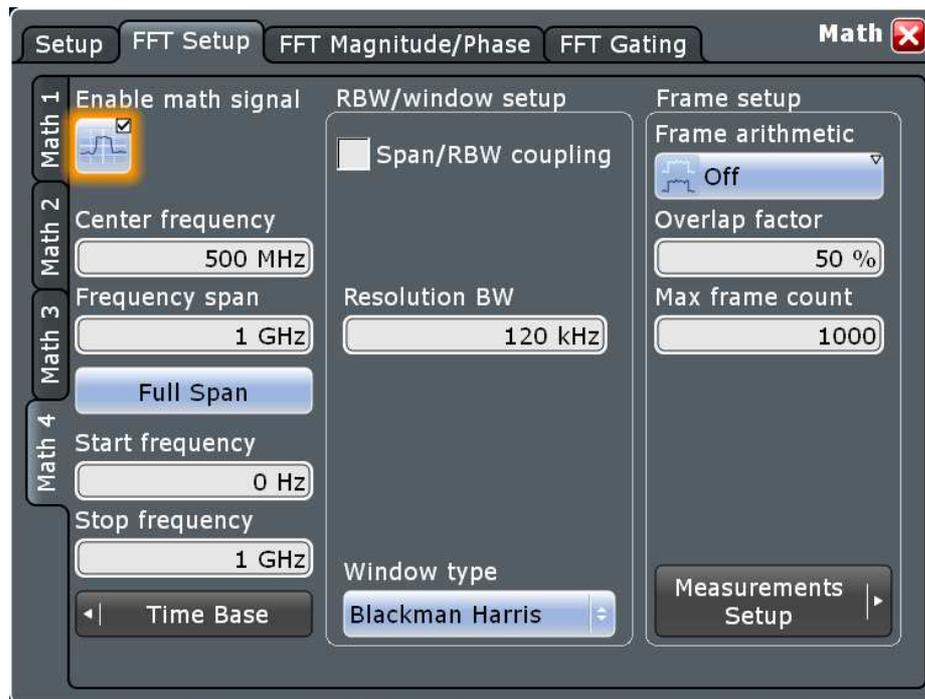


Fig. 4-1: Dialog zur Einstellung der FFT Parameter: Die Einstellmöglichkeiten orientieren sich an Spektrumanalysatoren

Die Bedienung der R&S®RTO FFT-Funktion orientiert sich an der eines Spektrumanalysators. Damit ist es möglich, direkt die Parameter Start- und Stop-Frequenz bzw. Mittenfrequenz und Bandbreite sowie auch Auflösebandbreite einzustellen. Die Zeitbereichseinstellung (notwendige Akquisitionslänge) wird automatisch angepasst. Dadurch ist es sehr einfach, im Frequenzbereich zu navigieren.

Bei Aktivierung der Funktion „Span/RBW coupling“ erscheint ein weiteres Eingabefeld über welches ein fixes Verhältnis zwischen Span und Auflösebandbreite eingestellt wird. Damit kann bei Änderung des Spans sichergestellt werden, dass die Auflösebandbreite immer im gleichen Verhältnis zur dargestellten Bandbreite geändert wird und damit immer eine ähnliche Darstellung am Bildschirm erreicht wird.

Die Parametergruppe „Frame setup“ ist für die Konfiguration der Overlap-FFT-Funktion relevant (siehe unten).

Überlappende FFT mit farbkodierter Darstellung der Spektralkomponenten

Eine weitere Schlüsselfunktionalität der FFT-Funktion des R&S®RTO ist die überlappende FFT. Diese automatisch aktive Funktion ermöglicht es, auch die zeitlichen Eigenschaften des Spektrums sichtbar zu machen. Dafür wird das aufgenommene Signal in eine Reihe an Segmenten aufgespalten und für jedes Segment das Spektrum berechnet. Die Anzahl der Segmente wird automatisch aus den eingestellten Parametern (Span und geforderte Auflösebandbreite) berechnet. Dabei gilt, dass eine kleinere Auflösebandbreite eine längere Segmentlänge und damit weniger Segmente (bei fixer Aufzeichnungslänge) bedingt.

Die einzelnen Spektren werden dann in der Spektralanzeige farbkodiert überlagert. Frequenzkomponenten welche häufig vorkommen werden in einer anderen Farbe dargestellt als Frequenzkomponenten welche nur selten auftreten. Damit ist es möglich auf einen Blick festzustellen ob eine Emission von einer Taktleitung mit konstanter Frequenz kommt oder ob es sich um sporadisch auftretende Störungen handelt.

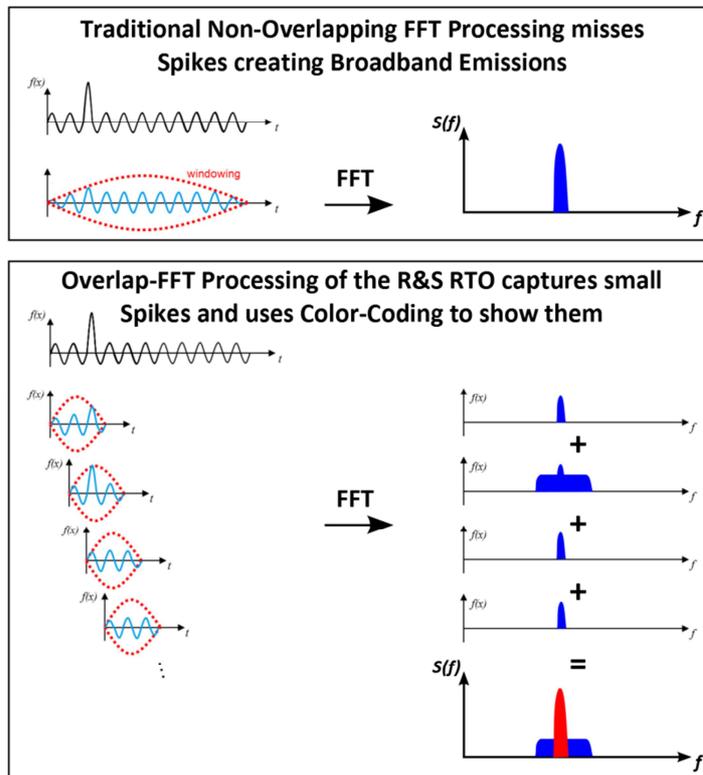


Fig. 4-2: Funktionsweise der überlappenden FFT: Häufig auftretende Spektralanteile werden in einer anderen Farbe dargestellt als Spektralanteile welche von sporadisch auftretenden Signalkomponenten kommen

Die Parametergruppe „Frame Setup“ (siehe Abbildung Fig. 4-1) stellt die Parameter der überlappenden FFT-Funktion ein. Der Begriff „Frame“ bezieht sich auf die automatisch gebildeten Segmente der Zeitfunktion. Mittels „Frame Arithmetic“ kann man auswählen ob alle Spektren der einzelnen Signalsegmente gleichzeitig dargestellt werden („Off“ gewählt) oder ob ein einziges Mittelwertspektrum angezeigt werden soll. Der „overlap factor“ bestimmt wie weit sich die einzelnen Signalsegmente überlappen. Ein Wert von 50% ist typischerweise ausreichend und stellt sicher, dass auch im Überlappungsbereich auftretende Spektralkomponenten erfasst und dargestellt werden. Bei Bedarf kann dieser Parameter aber auf einen Wert zwischen 0% und 99% eingestellt werden.

Der Parameter „maximum frame count“ limitiert die maximale Anzahl zu bildender Segmente. Diese Funktion stellt sicher, dass bei sehr großer Auflösungsbandbreite (und entsprechend sehr kleiner Segmentlänge bzw. sehr großer Segmentanzahl) nicht zu viele Segmente verarbeitet werden müssen. Die höchste Einstellung ist 10.000 Segmente um eine schnelle Spektraldarstellung zu gewährleisten. Falls die Anzahl der Segmente limitiert wurde, erscheint im FFT-Setup-Dialog eine Warnung („Maximum

frame count reached! Frame coverage 19%“), wobei die Prozentzahl angibt welcher Anteil des erfassten Signals noch für die Spektralberechnung verwendet wird (vom Start der Akquisition gemessen).

Zeitbegrenzte (gated) FFT für korrelierte Zeit-Frequenz-Analyse

Über die Funktion „Gated-FFT“ ist es möglich, nur einen definierten Teil des erfassten Signals für die Spektralanalyse zu verwenden. Damit ist es möglich sporadisch auftretende Spektren eindeutig den entsprechenden Zeitsignalen zuzuordnen. Die Einstellung erfolgt über den FFT-Setup-Dialog (siehe unten).

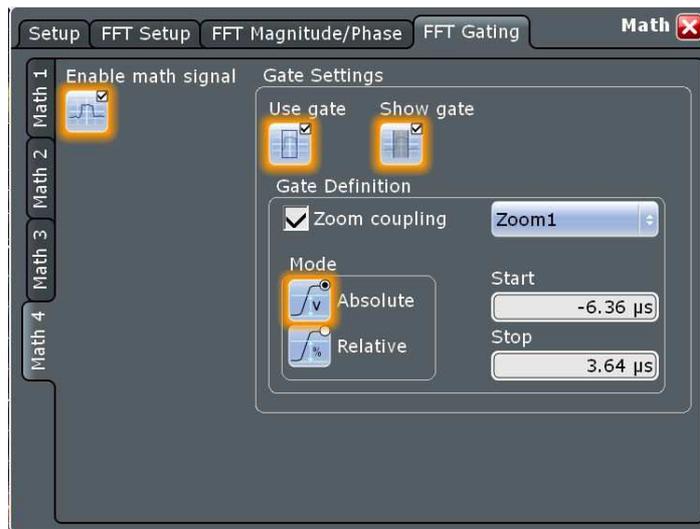


Fig. 4-3: FFT-Gating-Funktion: Die Einstellung erfolgt im FFT-Dialog. Mit der Option „Zoom Coupling“ lässt sich das Gate automatisch an ein Zoom-Fenster koppeln.

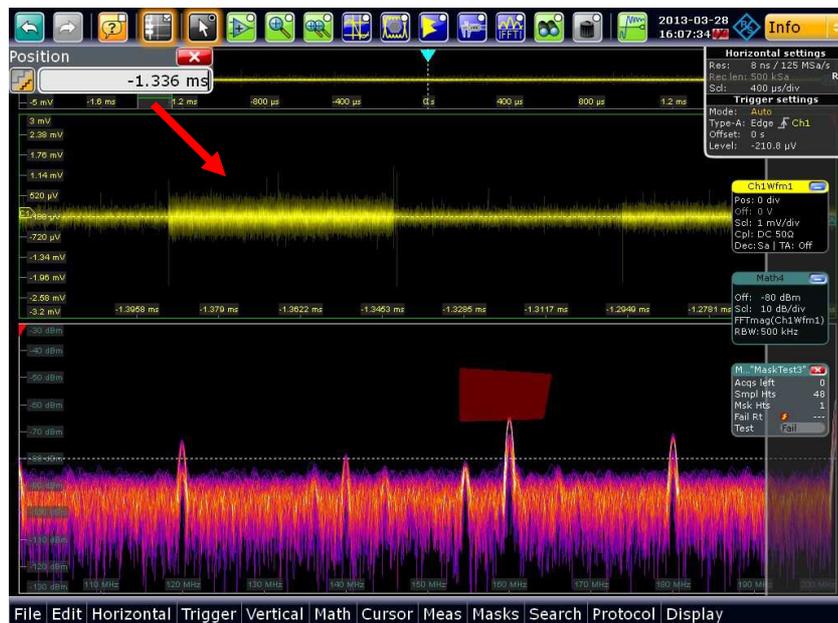


Fig. 4-4: FFT-Gating mit gekoppeltem Zoom-Fenster: Das dargestellte Spektrum ist automatisch auf die Länge des Zoom-Fensters limitiert. Damit kann durch das Verschieben des Zoom-Fensters eindeutig festgestellt werden welche Spektralkomponenten von Signalen im Zoom Fenster kommen.

Frequenzmasken mit Triggermöglichkeit zur Erfassung sporadischer Ereignisse

Die Maskenfunktion des R&S®RTO ist sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich anwendbar. Über die Funktion „Stop-On-Violation“, einstellbar im Maskendialog, können auf einfache Art und Weise sporadische Spektralkomponenten erfasst werden. Das Oszilloskop stoppt automatisch die Akquisition wenn eine Spektralkomponente in die Maske hineinragt. Besonders schwierig zu analysierende sporadische Emissionen können damit einfach eingefangen werden und dann in Folge im Detail analysiert werden.

Durch die Berechnung des Spektrums aus dem gespeicherten Zeitsignal mittels FFT, können Parameter wie der Span oder die Auflösungsbandbreite auch nach abgeschlossener Akquisition geändert werden. Voraussetzung dafür ist nur, dass im gegebenen Fall die eingestellte Abtastrate und Akquisitionslänge einen entsprechenden Span und eine entsprechende Auflösungsbandbreite zulassen.

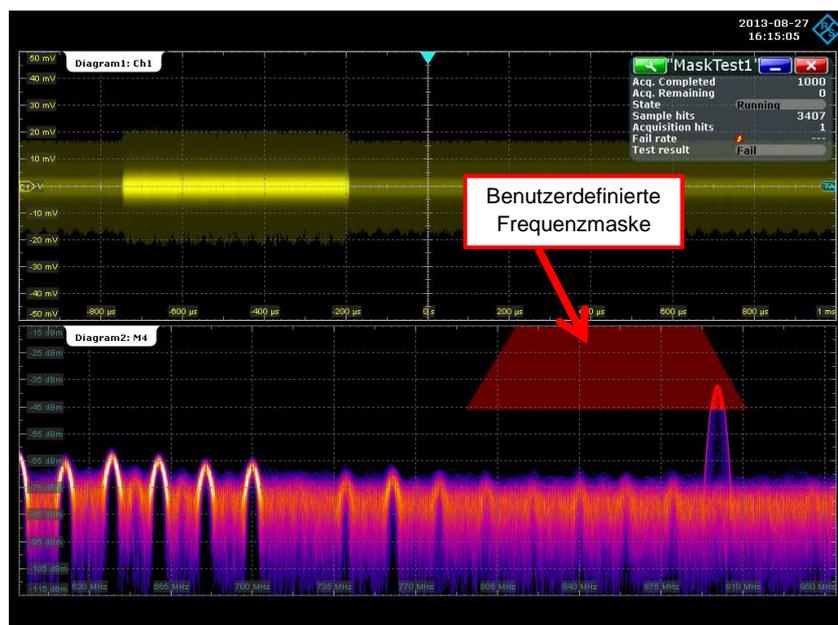


Fig. 4-5: Einfangen einer sporadisch auftretenden Spektrallinie: Durch die Maskenverletzung wird die Akquisition angehalten und das Signal kann in Folge detailliert untersucht werden.

Erhöhung der maximalen Aufzeichnungslänge für die FFT Darstellung zur Erfassung besonders langer Signalsequenzen

Manchmal ist es notwendig die maximale Aufzeichnungslänge für die FFT-Berechnung zu erhöhen. Im Horizontal-Setup-Dialog wird dazu der Parameter „Record length limit“ eingestellt. Standardmäßig ist dieser auf 1 MS (MSample) gesetzt um eine schnelle Reaktion der FFT-Funktion sicherzustellen. Dieser Parameter kann bei einem R&S®RTO 4-Kanal-Gerät mit Speichererweiterung R&S®RTO-B101 auf bis zu 25 MS erhöht werden.

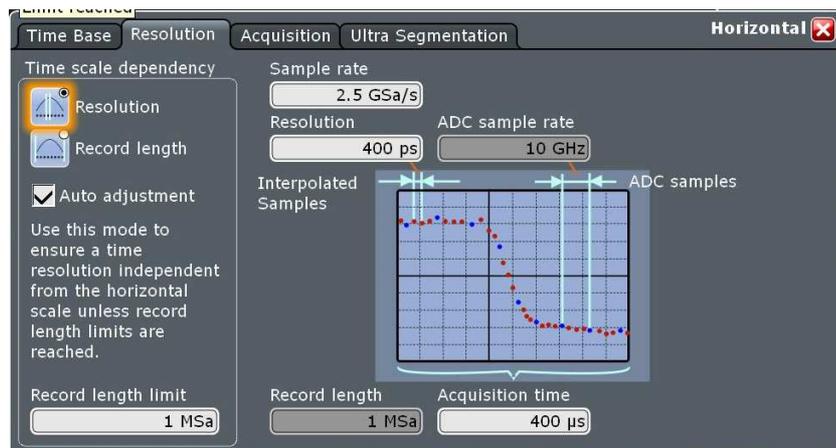


Fig. 4-6: Einstellung der maximalen Aufzeichnungslänge

Einschränkungen bei Verwendung von Oszilloskopen zur EMV-Fehleranalyse

Ein Oszilloskop mit einer leistungsfähigen Spektralanalysefunktion ist ein wertvolles Werkzeug um EMV-Probleme zu lösen. Trotzdem ersetzt ein Oszilloskop keinen Messempfänger und man muss sich bei der Anwendung der Einschränkungen bewusst sein. Dazu zählen:

- Limitierter Dynamikbereich

Oszilloskope haben typischerweise AD-Wandler mit deutlich geringerer Auflösung als Messempfänger und damit eine deutlich geringere Messdynamik. Für die EMV-Fehlersuche stellt das allerdings im Normalfall keine Einschränkung dar, da meistens nur die maximalen Emissionen gesucht werden.

- Keine Vorselektion

Oszilloskope verfügen über keine Vorselektion. Aus diesem Grund können starke Störer außerhalb des untersuchten Spektralbereichs zu unerwünschten Intermodulationsprodukten im untersuchten Frequenzband führen. Bei der EMV-Fehlersuche mittels Nahfeldsonden ist das typischerweise keine Einschränkung da durch die örtliche Selektivität der Nahfeldsonde sichergestellt wird, dass nur aus dem unmittelbar mit der Sonde untersuchten räumlichen Bereich Störemissionen erfasst werden.

- Keine Standard-konformen Detektoren

Das R&S®RTO verfügt zwar über Mittelwerts- und RMS-Detektoren, diese sind aber nicht CISPR Standard-konform. Für die Anwendung bei der EMV-Fehlersuche ist ein CISPR-konformer Detektor jedoch normalerweise nicht erforderlich.

4.2.3 Tipps & Tricks bei der EMV Fehlerdiagnose mit dem R&S®RTO

- Vermeidung von Übersteuerungssituationen

Um korrekte Ergebnisse der Spektralanalysefunktion zu erhalten, muss sichergestellt werden, dass das Oszilloskop nicht übersteuert ist. Übersteuerung tritt ein wenn das gemessene Signal nicht mehr vollständig am Bildschirm

angezeigt werden kann. Das ist bei der Nahfeldsondierung besonders wichtig, da große Amplitudenunterschiede auftreten können und somit leicht Übersteuerungssituationen entstehen. Neben falschen Spektralkomponenten erhält man im Falle der Übersteuerung auch falsche Ergebnisse für die Spektralleistungsdichte.

Um das zu vermeiden, sollte man zusätzlich zum Spektralsignal auch immer das Zeitsignal am Bildschirm beobachten. Im Falle der Übersteuerung muss die vertikale Empfindlichkeit des Oszilloskops reduziert werden.

- Die Einheit der Amplitudendarstellung im FFT-Spektrum kann im Spektralanalyse-Dialog auf die in der EMV-Messtechnik übliche Einheit dBuV geändert werden.

4.3 Praxisbeispiel - EMV Fehleranalyse eines IP Telefons

In diesem Abschnitt wird anhand eines Praxisbeispiels die Vorgehensweise zur Analyse von EMV-Problemen mit dem R&S®RTO dargestellt. Ausgehend von den Ergebnissen des EMV-Konformitätstests wird gezeigt wie man mittels Störstrommessung und Nahfeldsondierung direkt am Entwicklungsarbeitsplatz das EMV-Problem analysieren kann.

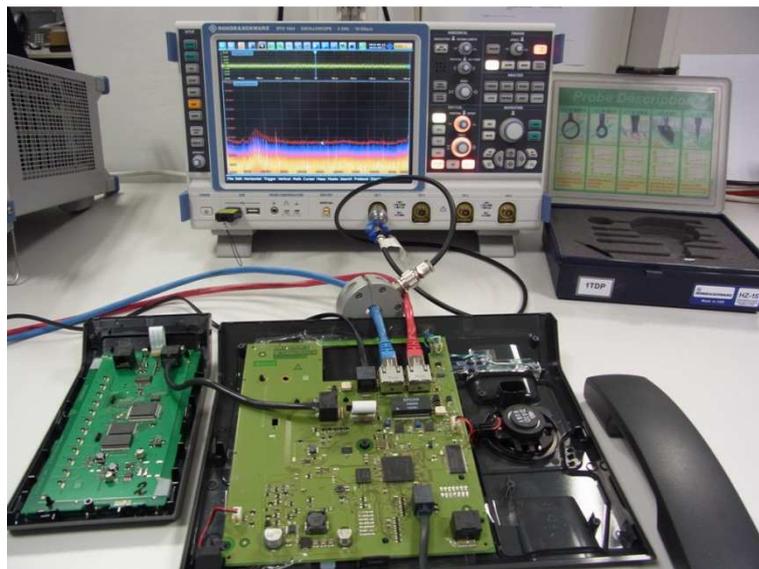


Fig. 4-7: Messaufbau zur EMV-Problemanalyse eines modernen IP-Telefons. Angeschlossen ist im Beispiel eine Stromzange zur Messung des Gleichtakt-Störstroms auf angeschlossenen Leitungen.

Bei dem Prüfobjekt handelt es sich um ein IP-Telefon bestehend aus Grundgerät und Erweiterungsgerät. Beide Geräte bestehen aus jeweils einer Steuerbaugruppe und einem Display. Die Geräte sind ungeschirmt, und über eine ungeschirmte Leitung miteinander verbunden. Das Grundgerät wird an 2 LAN Leitungen (Gigabit Ethernet, Power-over-Ethernet) sowie eine externe Stromversorgung angeschlossen. Zudem bestehen Kabelverbindungen zu einem Display und einem Handapparat.

Das Grundgerät besitzt einen komplexen Prozessor mit DDR2 Speicher, einen Ethernet Layer 2 Switch, 2 GBit-Ethernet PHYs zum Betrieb der LAN Schnittstellen,

diverse DC/DC Wandler, Display Interface Treiber, SPI Interface zum Erweiterungsgerät sowie analoge Schaltkreise für Lautsprecher und Mikrofon (Freisprechmodus). Das Erweiterungsgerät besteht aus Displaytreiber, SPI Interfacebaustein und Tastendecoder.

4.3.1 Ergebnisse der Fernfeldanalyse

Der EMV-Konformitätstest im Prüflabor (Fernfeldmessung) hat die Zielsetzung kritische Frequenzen aufzudecken und die absoluten Abstände zum gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwert zu ermitteln.

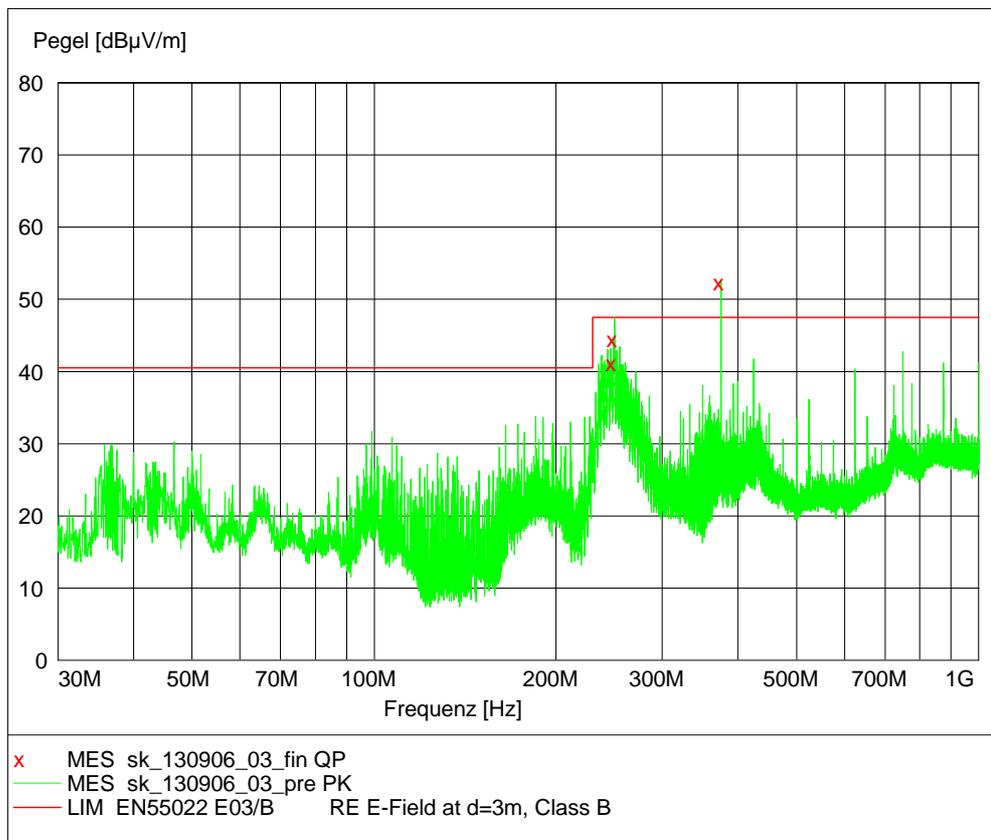


Fig. 4-8: Ergebnis des EMV-Konformitätstests

Frequenz	Pegel	Transd	Limit	Margin	Height	Azimuth	Polarisation
MHz	dB μ V/m	dB	dB μ V/m	dB	cm	deg	
248.68	41.20	17.50	47.50	6.30	0.0	157.00	HORIZONTAL
250.00	44.50	18.00	47.50	3.00	0.0	293.00	HORIZONTAL
375.00	52.30	20.30	47.50	-4.80	0.0	359.00	HORIZONTAL

Table 4-1: Tabellarisches Ergebnis der Fernfeldmessung. Es gibt drei kritische Frequenzen. Zusätzlich dazu sieht man eine Breitbandstörung bei 250 MHz welche die Grenzwerte nicht überschreitet allerdings Leistungswerte knapp unterhalb der Grenzwerte hat.

Die Ergebnisse aus der EMV-Messung bedeuten, dass man die Störquellen der Schmalbandstörer bei 250 MHz, 375 MHz und der weiteren Harmonischen von 125 MHz ermitteln muss. Zusätzlich dazu ist es wichtig, auch die Ursache des Breitbandstörers bei 250 MHz zu analysieren. Geänderte Bedingungen können leicht dazu führen, dass der momentan unter den Grenzwerten liegende Breitbandstörer bei einer neuen Fernfeldmessung im EMV-Prüflabor Emissionen über den Grenzwerten liefert.

Für eine zielgerichtete Problembeseitigung ist es wichtig, auch den Auskoppelmechanismus ins Fernfeld zu ermitteln. Dazu hilft die folgende Vorüberlegung:

Die Wellenlänge der höchsten kritischen Frequenz (375 MHz), liegt bei 80 cm. Effiziente Antennen benötigen bei dieser Frequenz eine Größe von mindestens $\lambda/6$, also etwa 13,3 cm. Nachdem solche Leitungslängen auf der Leiterplatte nicht vorkommen, kann man vorerst davon ausgehen, dass an das Gerät angeschlossene Leitungen die EMV-Abstrahlung verursachen. Grundsätzlich müssen aber auch andere mögliche Abstrahlelemente wie Kühlkörper oder mechanische Komponenten betrachtet werden. Störsignale können auf diese Elemente gekoppelt werden und diese zur Abstrahlung anregen.

4.3.2 Störstrommessung auf den angeschlossenen Leitungen

Im ersten Schritt werden die Störpegel aller angeschlossenen Leitungen erfasst und die Maxima ermittelt. Auf der blauen LAN-Leitung (siehe Fig. 4-9) ergibt sich der höchste Störstrom, diese Leitung stellt somit die kritische Antenne zur Auskopplung ins Fernfeld dar. Gemessen wurde mit einer Stromzange mit einer Transferimpedanz von 20 dB Ω . Ein Vorverstärker wurde nicht verwendet. Der Störstrompegel kann somit direkt aus dem am Oszilloskop abgelesenen Spannungspegel (in dBuV) minus 20 dB errechnet werden. Im Messbeispiel unten errechnet man von einem abgelesenen Spannungswert von etwa 34 dBuV bei 375 MHz einen Strom von 14 dBuA bzw 5 uA. Entsprechend der Abschätzung im Kapitel 3.2.1 kann das bereits als kritisch beurteilt werden.

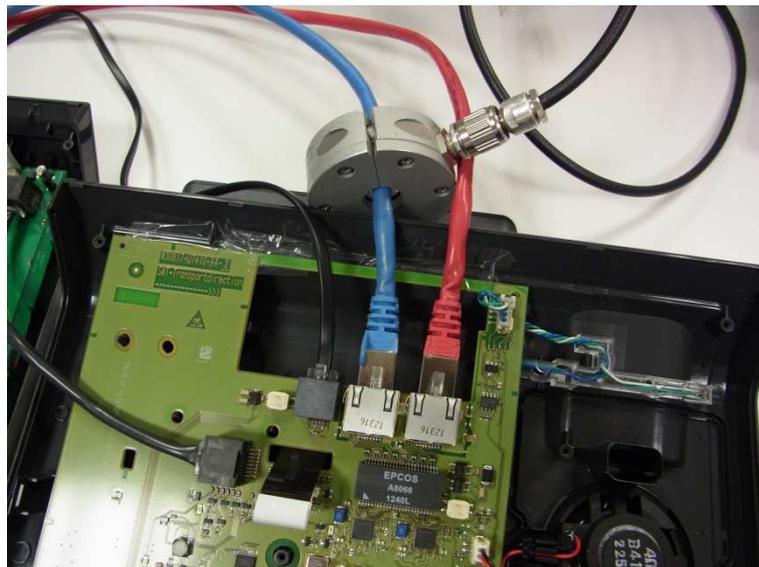


Fig. 4-9: Messung des Störstroms auf einer angeschlossenen LAN-Leitung mittels einer speziellen Stromzange

Neben den im Fernfeld sichtbaren Störungen bei 250 MHz und 375 MHz sieht man noch andere Störungen, beispielsweise den Breitbandstörer bei 360 MHz, dieser stellt aber offensichtlich kein Problem bei der EMV-Konformität dar (vgl. Fernfeldmessung) und muss deshalb nicht weiter berücksichtigt werden.

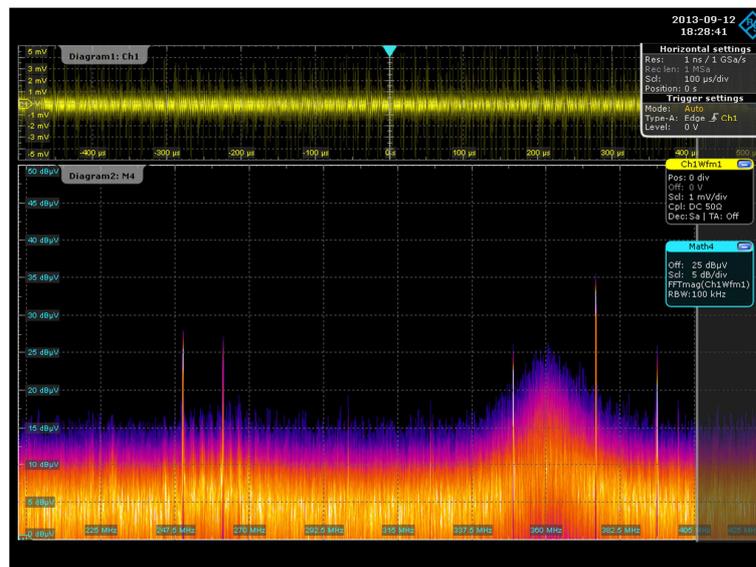


Fig. 4-10: Ergebnis der Störstrommessung auf der blauen LAN-Leitung im Frequenzbereich 200 MHz – 425 MHz. Es ergeben sich klare Maxima bei 250 MHz, 262 MHz, 350 MHz, 375 MHz und 400 MHz. Zusätzlich dazu sieht man deutlich einen Breitbandstörer bei 360 MHz.

Falls man neben konstant vorhandenen Störern auch noch sporadische Störer erwartet bzw in der Fernfeldmessung gesehen hat, kann man mit Hilfe des Detektortyps „Max-Hold“ (siehe Abschnitt 4.2) auch solche Störungen erfassen bzw. dauerhaft zur Anzeige bringen. Da der Störstrom über der Leitung ortsabhängig ist, wird im Messbeispiel die Stromzange während der Messung entlang der Leitung bewegt, durch die Max-Hold-Funktion wird das Maximum festgehalten. Bei dem

untersuchten Gerät ergeben sich allerdings keine neuen Erkenntnisse durch die Max-Hold Messung bezogen auf sporadische Störer. Man kann aber deutlich sehen, dass der maximale Störstrom (rote Spektralkurve) vom aktuell gemessenen Wert an der aktuellen Position der Stromzange (farbcodiertes Spektrum) deutlich abweicht.

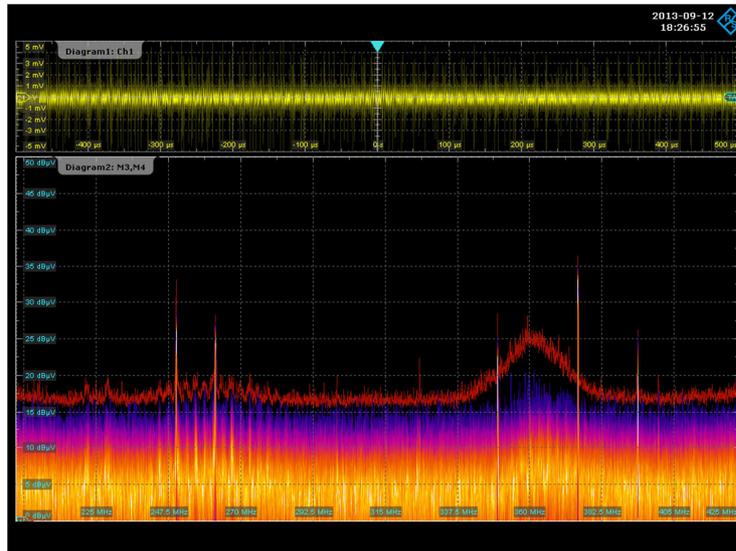


Fig. 4-11: Spektralanalyse mit dem R&S®RTO mit zwei Spektren im selben Diagramm: Aktuell gemessenes Spektrum in farbcodierter Darstellung (gelb-rot-blau) und zusätzlich ein über Max-Hold ermitteltes Spektrum (rote Hüllkurve).

Die Unterscheidung zwischen Breitband- und Schmalbandstörer kann durch die Vergrößerung der Messbandbreite optisch klar dargestellt werden. Durch die Farbkodierung sind Spektren, welche konstant vorhanden sind, anders dargestellt als Spektren, welche nur sporadisch auftreten. Im Beispiel zeigt die weiße Linie bei 375 MHz ein konstantes Spektrum, welches von einem Taktsignal konstanter Frequenz erzeugt wird. Blaue Spektralanteile sind im Analysezeitraum nur selten aufgetreten.

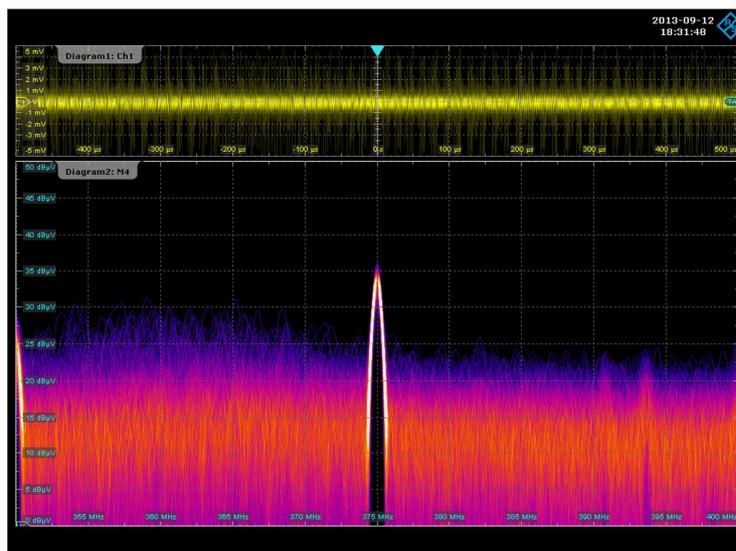


Fig. 4-12: CW-Störer bei 375 MHz: Die weiße Linie zeigt, dass dieses Spektrum konstant vorhanden ist. Häufig werden solche Oberwellen von Taktsignalen erzeugt.



Fig. 4-13: Störstrommessung auf der Handapparateleitung

Die Störstrommessung auf der Handapparateleitung ergibt einerseits einen hohen Störstrom bei 375 MHz, es ist aber auch der Breitbandstörer bei 250 MHz sichtbar. Die Handapparateleitung stellt also ebenfalls ein wichtiges Abstrahlelement dar. Nachdem der Breitbandstörer bei 250 MHz bei keiner der anderen Leitungen sichtbar war, wird er offensichtlich im Wesentlichen über die Handapparateleitung abgestrahlt.

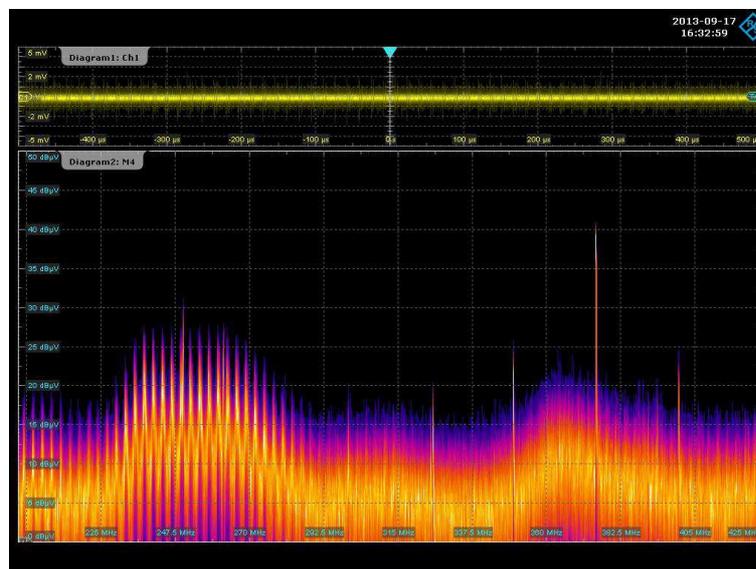


Fig. 4-14: Ergebnis der Störstrommessung auf der Handapparateleitung: Neben dem CW-Störer bei 375 MHz ist auch der Breitbandstörer bei 250 MHz gut sichtbar

Mit den Störstrommessungen konnte also nachgewiesen werden, dass die angeschlossenen Leitungen eine wesentliche Rolle bei der Abstrahlung ins Fernfeld spielen. Dies ergibt sich aus der Amplitude der gemessenen Störströme (Beispiel: Fig.

4-13; gemessene Spannung am Fußpunkt der Stromzange bei 375 MHz ist 40 dBuV; das ergibt gemäß der Transferimpedanz von 20 dBΩ einen Störstrom von 20 dBuA bzw 10 uA)

4.3.3 Nahfeldanalyse

Mit Hilfe der Nahfeldsondierung werden im folgenden Abschnitt die Störquellen lokalisiert und die Kopplungsmechanismen aufgedeckt. Für diesen Zweck wurden die Einstellungen des Oszilloskops leicht angepasst. Das betrifft insbesondere:

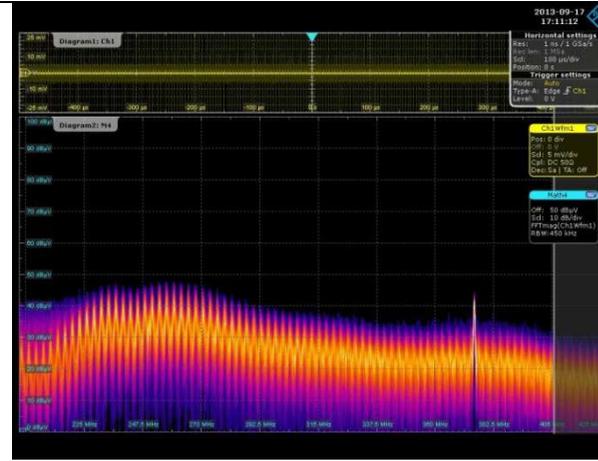
- Reduzierte Empfindlichkeit: 5mV/div statt 1mV/Div. Bei der Nahfeldsondierung treten oft relativ hohe Pegel auf. Um eine Übersteuerung zu vermeiden muss die Empfindlichkeit reduziert werden.
- Vertikale Skala geändert: Im FFT-Setup-Dialog wurde über die Option „manual range“ die Vertikalskala so geändert, dass das FFT-Spektrum den Bildschirm gut füllt und damit leichter ablesbar ist.

Auf den folgenden Seiten wird anhand von Fotos, Screenshots und Erklärungen dargestellt wie die Suche mit den Nahfeldsonden verläuft, und wie die Quellen der Störung identifiziert werden.

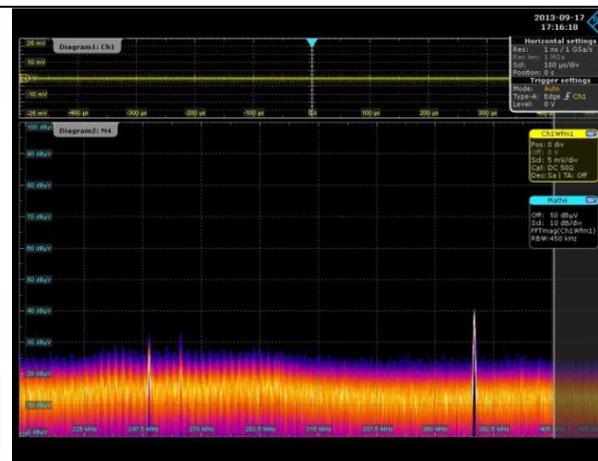
EMV Fehleranalyse mit dem digitalen Oszilloskop R&S®RTO in der Praxis

■ Messungen mit großer magnetischer Loop Antenne RS H 400-1 an unterschiedlichen Positionen

Zielsetzung: Quellen identifizieren, welche ein Nahfeldspektrum vergleichbar zu dem Störspektrum der Fernfeldmessung bzw. zu den Störspektren auf den angeschlossenen Leitungen erzeugen.

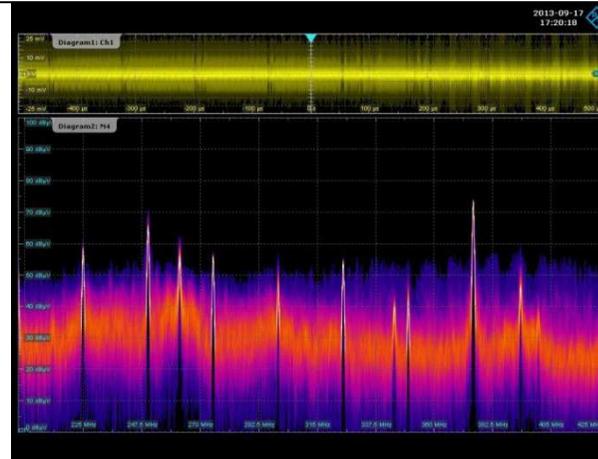


Nahfeldspektrum im Bereich eines DC-DC Hauptwandlers. Man sieht deutlich die Vielzahl an Harmonischen, welche vom Schaltwandler erzeugt werden. Diese Frequenzen treten auch im Fernfeld auf (Breitbandstörer bei 250 MHz).

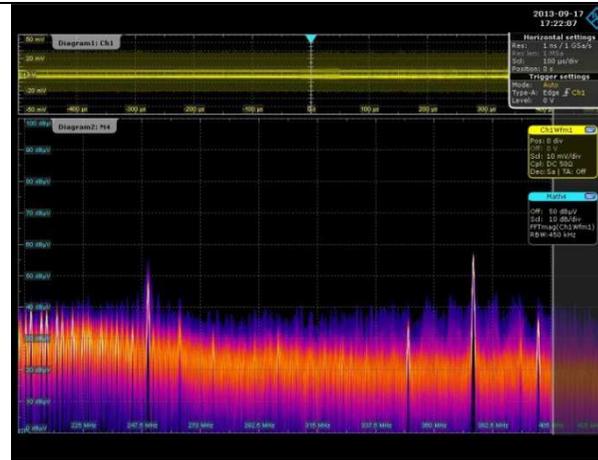


Nahfeldspektrum im Bereich eines weiteren DC-DC Wandlers. Deutlich reduzierte Pegel im Vergleich zur Messung am Hauptwandler. Dieser Spannungswandler ist dementsprechend unkritisch und wahrscheinlich keine Störquelle.

EMV Fehleranalyse mit dem digitalen Oszilloskop R&S®RTO in der Praxis



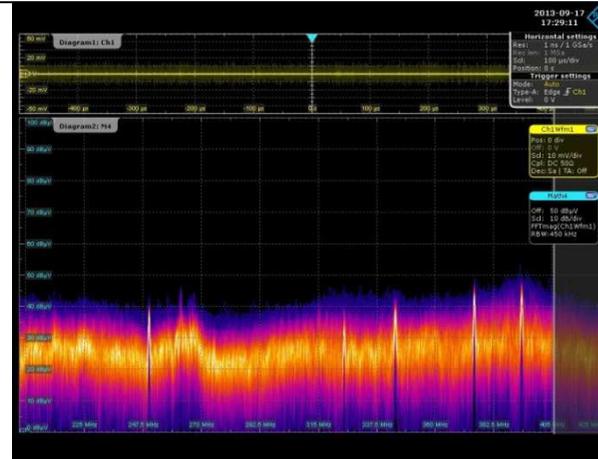
Nahfeldspektrum im Bereich des Prozessorbausteins. Deutlich erhöhter Pegel bei Harmonischen von 125 MHz, insbesondere 375 MHz. Dieser Baustein könnte eine mögliche Quelle für die Fernfeldabstrahlung darstellen.



Nahfeldspektrum, welches im Bereich der GBit-Ethernet PHY ICs aufgegriffen wird. Man kann deutlich die einzelnen Taktfrequenzen, insbesondere bei 250 MHz und bei 375 MHz sehen.

Zwar sind die Pegel geringer als am Prozessorbaustein, dafür treiben die PHYs das LAN Interface direkt, d.h. sie werden über einen Übertrager mit dem LAN Kabel verbunden. Nachdem das LAN-Kabel ein wesentliches Abstrahlelement ist, kann davon ausgegangen werden, dass hier der Koppelpfad vorliegt.

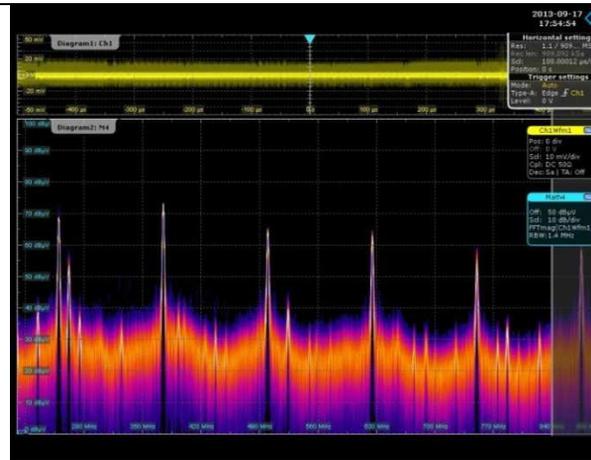
EMV Fehleranalyse mit dem digitalen Oszilloskop R&S®RTO in der Praxis



Nahfeldspektrum, welches im Bereich des Speicherbausteins gemessen wurde. Man sieht deutlich reduzierte Pegel im Vergleich zu anderen Messpositionen bzw kann die im Fernfeld beobachteten Störspektren gar nicht erkennen. Aus diesem Grund ist dieser Baustein unkritisch.

■ Messungen mit kleiner magnetischer Loop Antenne RS H 50-1

Mit Hilfe der kleineren Loop-Antenne können die im ersten Schritt gefundenen Quellen noch genauer lokalisiert werden.

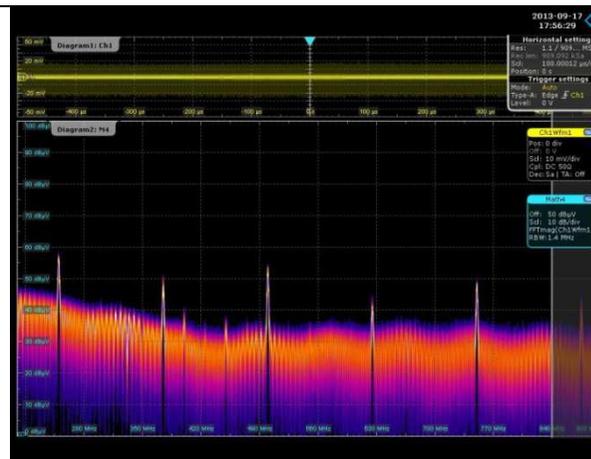


Messung am Prozessorbaustein:

Gut erkennbar sind Vielfache von 125 MHz. Zusätzlich dazu noch eine Emission bei 262 MHz bzw deren Harmonische.

Die Vielfachen von 125 MHz entsprechen auch den Frequenzen, welche im Fernfeld beobachtet werden, deshalb sind diese Frequenzen kritisch.

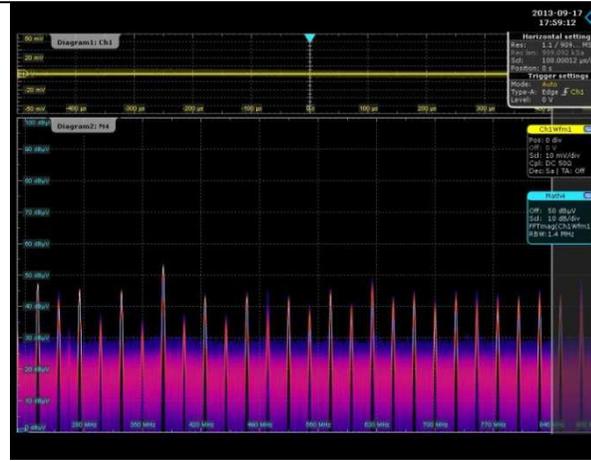
Zudem konnte das Maximum der Emission im Bereich links oben am Prozessor ermittelt werden (RGMII – Reduced Gigabit Media Independent Interface – Bereich des Prozessors). Damit kann die Störquelle weiter eingegrenzt werden.



Messung am GBit-Ethernet-PHY:

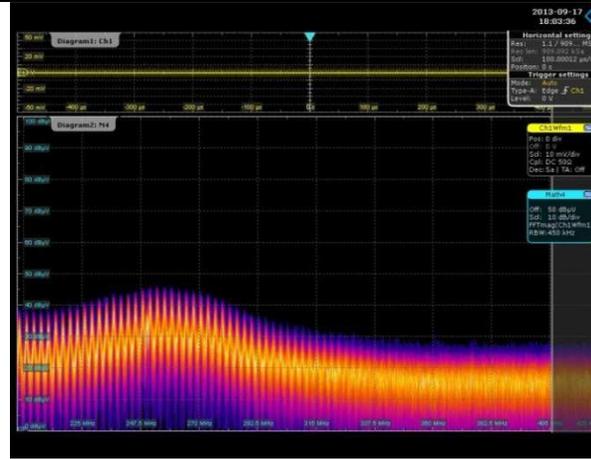
Gut erkennbar ist, dass eine Quelle vorliegt welche Oberwellen von 125 MHz erzeugt. Diese Frequenzen treten auch im Fernfeld mit hohem Pegel auf und sind daher kritisch.

EMV Fehleranalyse mit dem digitalen Oszilloskop R&S®RTO in der Praxis



Messung am Taktgenerator (25 MHz):

Gut erkennbar ist, dass eine signifikante Quelle vorliegt, welche Oberwellen von 25 MHz erzeugt. Nachdem im Fernfeld allerdings Oberwellen von 125 MHz und nicht von 25 MHz auftreten, ist der Taktgenerator als Störquelle unwahrscheinlich.

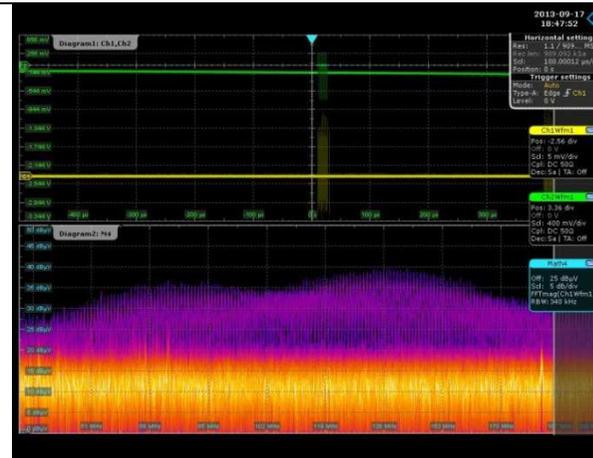
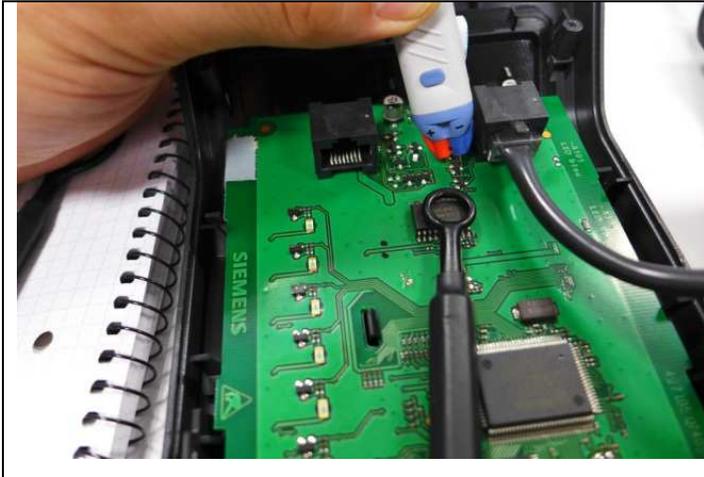


Messung am Hauptwandler (DC/DC 36 V auf 3,3 V); Gleichrichterdiode am Ausgang:

Gut erkennbar ist ein aus vielen Linien bestehendes Spektrum mit einem Maximum bei etwa 250 MHz. Das entspricht dem Breitbandstörer bei 250 MHz im Fernfeld. Die besondere spektrale Signatur macht diesen Spannungswandler zur wahrscheinlichen Störquelle. Dies ergibt sich auch, wenn man das Signal im Zeitbereich betrachtet. Im Beispiel wurde mittels der Gated-FFT Funktion nur das Spektrum im Schaltmoment des Schalttransistors angezeigt und damit die zeitliche Korrelation hergestellt.

I Kombinierte Zeit-Frequenz-Messung

Mit Hilfe der kleinen magnetischen Loop Antenne RS-H 50-1 und einem differenziellen Tastkopf wird der zeitliche Zusammenhang zwischen einem Teil der beobachteten Störabstrahlung und der SPI-Datenübertragung zwischen Telefon und Zusatzgerät dargestellt.



Messung im Zeitbereich am SPI Interface (Clk, grüne Kurve) + Nahfeldsondierung am SPI Interface Baustein (gelbe Kurve):

Das beobachtete Störspektrum tritt zeitgleich mit Aktivität am SPI Interface (Clk) auf. Damit kann eindeutig nachgewiesen werden, dass der SPI-Takt bzw. dieses Interface die im Fernfeld beobachteten Störungen erzeugt. Hier wurde wieder die Gated-FFT-Funktion verwendet und damit nur das Stör-Spektrum angezeigt, welches entsteht wenn eine SPI-Übertragung stattfindet.

4.3.4 Ergebnis der EMV-Problemanalyse

- Ausgehend von den Ergebnissen der Fernfeldmessung konnten mittels Nahfeld- und Störstromanalyse sowohl die Störquellen als auch Koppelpfade ermittelt werden.
- Als kritische Störquellen wurden der Prozessor (RGMII Interface), die LAN PHYs und der Hauptwandler ermittelt. Weitergehende Analysen zeigten, dass die erzeugten Gleichtaktstörungen über die Versorgung des LAN PHYs als auch über den LAN Übertrager auf die LAN-Leitung eingekoppelt werden. Die Einkopplung in die Handapparateleitung erfolgt über den Prozessor bzw. aufgrund des Layouts galvanisch.
- Auf Basis dieser Analysen konnten Maßnahmen getroffen werden, welche die Abstrahlung deutlich reduzierten, z.B. Filter- und Terminierungsmaßnahmen, Layoutänderungen im Bereich des RGMII Interface (Rückführung des Gleichtaktstroms), verbesserte Masse-Anbindung der LAN Abschirmung, Verbesserung der Stromversorgung (mit niedriger Impedanz) der LAN PHYs bzw. des Prozessors, sowie Layoutverbesserungen und Schaltungsänderungen im Bereich des Hauptwandlers.

5 Zusammenfassung

In der Vergangenheit waren Oszilloskope aufgrund der langsamen und schwer bedienbaren FFT-Funktion kaum für die EMV Fehlersuche geeignet. Ihre Empfindlichkeit reichte außerdem nicht aus um Störemissionen sicher zu erfassen.

Mit der Einführung des digitalen Oszilloskops R&S RTO von Rohde & Schwarz hat sich das geändert. Mit einer Empfindlichkeit von 1 mV/Div kombiniert mit einer Bandbreite von bis zu 4 GHz und sehr geringem Eingangsruschen eignet sich das Oszilloskop, Störemissionen mittels Nahfeldsonden oder Stromzangen zu erfassen und zu analysieren. Basierend auf Ergebnissen von EMV-Konformitätsprüfungen können mit dem Oszilloskop im Entwicklungslabor unerwünschte Aussendungen von elektronischen Designs analysiert und deren Ursachen ermittelt werden. Als Standard-Werkzeug des Entwicklers erweitert sich dadurch das Anwendungsfeld von Oszilloskopen im Entwicklungslabor auch auf die EMV-Fehleranalyse.

Neue Möglichkeiten ergeben sich insbesondere durch die flexible Koppung von Zeit- und Frequenzbereich. Zusätzlich dazu unterstützt die farbkodierte Darstellung der Häufigkeit von Spektrumsanteilen die Fehleranalyse.

In dieser Applikationsschrift wurde sowohl die Theorie als auch das praktische Vorgehen bei der EMV-Fehleranalyse beschrieben. Ein Praxisbeispiel illustriert die einzelnen Arbeitsschritte. Dem Entwickler wird damit eine Anleitung an die Hand gegeben, mit welcher er Probleme bei der EMV-Konformität auch im Labor und ohne zusätzliche Messgeräte analysieren kann.

6 Literatur

- [1] Henry W. Ott, "Noise Reduction Techniques in Electronic Systems", John Wiley & Sons Inc (19. Mai 1976)
- [2] Henry W. Ott, "Electromagnetic Compatibility Engineering", John Wiley & Sons; 1. Auflage (11. September 2009), ISBN-13: 978-0470189306
- [3] Clayton R. Paul, "Introduction to Electromagnetic Compatibility", John Wiley & Sons; 2. Auflage (10. Februar 2006), ISBN-13: 978-0471755005

7 Bestellinformation

Bezeichnung	Typ	Bestellnummer
Oszilloskope		
1 GHz, 2 Kanäle, 10GSa/s, 20 / 40 MSa pro Kanal	R&S®RTO1012	1316.1000.12
1 GHz, 4 Kanäle, 10GSa/s, 20 / 80 MSa pro Kanal	R&S®RTO1014	1316.1000.14
1 GHz, 2 Kanäle, 5 GSa/s, 10/20 MSa pro Kanal	R&S®RTE1102	1317.2500.02
1 GHz, 4 Kanäle, 5 GSa/s, 10/40 MSa pro Kanal	R&S®RTE1104	1317.2500.04
Zubehör		
Kompakter Sondensatz für E- und H-Nahfeldmessungen, 30 MHz bis 3 GHz	R&S®HZ-15	1147.2736.02
Vorverstärker 3 GHz, 20 dB, Netzadapter 100 V bis 230 V, für R&S®HZ-15	R&S®HZ-16	1147.2720.02
1,5 GHz, aktiv, differenziell, 1 MΩ 0,6 pF, R&S®ProbeMeter, Mikrotaster	R&S®RT-ZD20	1410.4409.02
Stromwandler Modell 02: 20 Hz bis 100 MHz	R&S®EZ-17	0816.2063.02
Stromwandler Modell 03: 20 Hz bis 100 MHz	R&S®EZ-17	0816.2063.03
Stromwandler 9 kHz bis 600 MHz	R&S®ESV-Z1	0353.7019.02
Absorptions-Messwandlerzange 30 MHz bis 1000 MHz	MDS21	0194.0100.50
Ferritzange 1 MHz bis 1000 MHz	EZ-24	1107.2535.02

About Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz is an independent group of companies specializing in electronics. It is a leading supplier of solutions in the fields of test and measurement, broadcasting, radiomonitoring and radiolocation, as well as secure communications. Established more than 75 years ago, Rohde & Schwarz has a global presence and a dedicated service network in over 70 countries. Company headquarters are in Munich, Germany.

Regional contact

Europe, Africa, Middle East
+49 89 4129 12345
customersupport@rohde-schwarz.com

North America
1-888-TEST-RSA (1-888-837-8772)
customer.support@rsa.rohde-schwarz.com

Latin America
+1-410-910-7988
customersupport.la@rohde-schwarz.com

Asia/Pacific
+65 65 13 04 88
customersupport.asia@rohde-schwarz.com

China
+86-800-810-8228 /+86-400-650-5896
customersupport.china@rohde-schwarz.com

Environmental commitment

- Energy-efficient products
- Continuous improvement in environmental sustainability
- ISO 14001-certified environmental management system



This application note and the supplied programs may only be used subject to the conditions of use set forth in the download area of the Rohde & Schwarz website.

R&S® is a registered trademark of Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG; Trade names are trademarks of the owners.