

9 Literatur

- [1] EN 55022: Grenzwerte und Meßverfahren für Funkstörungen von Einrichtungen der Informationstechnik, August 1994 + A1:1995 + A2:1997.
- [2] IEC 61587-3 Electromagnetic shielding performance test for cabinets, racks and subracks for the IEC 60917- and 60297-series, 1998.
- [3] IEC 61000-5-7 Degrees of protection against electromagnetic disturbances provided by enclosures, 1998.
- [4] EN 61000-4-3 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-3: Prüf- und Meßverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen hochfrequente elektromagnetische Felder, September 1996 + A1:August 1998.
- [5] MIL-STD-285: Military Standard, Attenuation measurements for enclosures, electromagnetic shielding, for electronic test purposes; June 25th 1956.
- [6] NSA 65-6: National Security Agency Specification for R.F. shielded enclosures for communications equipment, general Specification, October 30th 1964.
- [7] VG95 373 T. 15: Elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten: Meßverfahren für Kopplungen und Schirmungen, Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, 15. Dezember 1978.

Messung von Ausfall-Schwellwerten an modernen Hochgeschwindigkeits-Prozessor-Platinen mit gepulsten Hochleistungs-Mikrowellen und in Moden-Verwirbelungs-Kammern

Ch. Braun, P.Guidi, Dr. H.U.Schmidt, A. Taenzer, Fraunhofer-Institut f. naturw.-techn. Trendanalysen (INT), Postfach 1491, D-53864 Euskirchen,
Dr. H.G.Krauthäuser, Prof.Dr. J.Nitsch, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Postfach 4120, 39016 Magdeburg

1. Einleitung

Seit einer Reihe von Jahren ist das INT an Messvorhaben beteiligt, bei denen die Verwendbarkeit von elektronischen Geräten und Systemen durch die Einwirkung von gepulster Mikrowellenstrahlung hoher Leistung (HPM) untersucht werden soll. Bei dieser inzwischen recht realistischen Bedrohung können Mikrowellen-Signale im Frequenzbereich 400 MHz bis über 10 GHz mit Feldstärken von einigen 10 kV/m, Pulsdauern von einigen 100 ns bis zu einigen 10 µs und Pulswiederholfrequenzen bis zu mehreren kHz erwartet werden. Zur Durchführung von Untersuchungen, die das Risiko für vorhandene Geräte und Systeme aufzeigen sollen, wurden im INT Simulationsanlagen mit gepulsten Mikrowellen-Quellen und Felderzeugung in einem Drei-Streifen-TEM-Wellenleiter oder mit Hornantennen [1] aufgebaut. Mit diesen Anlagen wurden in Zusammenarbeit mit mehreren Industriefirmen grundlegende Untersuchungen der HPM-Wirkungen auf unterschiedliche Elektronik-Systeme durchgeführt [2].

Bei diesen Untersuchungen zeigten sich je nach Schaltungsart (analog, langsame / schnelle Digitalschaltungen) sehr unterschiedliche Stör- und Ausfall-Mechanismen und sehr unterschiedliche Abhängigkeiten von Hf-Amplitude, Pulsbreite, Pulswiederholfrequenz bzw. Leistungs- oder Energieinhalt der Schwingungspakete. Weiterhin wurden die gemessenen Ausfallschwellen in den meisten Fällen durch die Einkopplung in die angeschlossenen Leitungen und ihre Resonanzen dominiert.

Um theoretische Abschätzungen von Stör- und Ausfall-Schwellwerten von Geräten und Systemen zu ermöglichen und die Schutzwirkung von Geräteabschirmungen sowie Leitungsschutzmaßnahmen getrennt beurteilen zu können, war es nötig, Informationen über die HPM-Empfindlichkeit einer Schaltung selbst ohne die Resonanz- und Antenneneffekte der angeschlossenen Leitungen zu erhalten. Ausserdem sollte die Auswirkung der immer höheren Grenzfrequenz und der steigenden Integrationsdichte von modernen Digitalschaltungen untersucht werden.

Zu diesem Zweck wurden im INT Testschaltungen konzipiert und aufgebaut, die jeweils aus einer vollständig betriebstfähigen Industrie-PC-Prozessorplatine in Steck-Karten-Form bestehen, über direkt angeschlossene Akkumulatoren versorgt werden und nur über Lichtwellenleiter mit der Diagnose-Elektronik verbunden sind. Auf diese

Weise wirken nur die Leiterbahnen der recht kompakten Karte als Einkopplungs-Antennen, was die direkte Feldeinkopplung in ein Gerät simuliert, während alle Einkopplungen über lange Leitungen vermieden werden.

Bei den durchgeführten Messungen zeigte sich, dass diese Testschaltungen sehr reproduzierbare frequenzabhängige Schwellwerte aufwiesen. Daraufhin wurde erwogen, diese Schaltungen auch zu Vergleichsmessungen zwischen unterschiedlichen Felderzeugungssystemen einzusetzen. In einer ersten Vergleichs-Versuchsreihe wurden Ausfallschwellwerte in der Modenverwirbelungskammer der Universität Magdeburg ermittelt und mit den im TEM-Wellenleiter gewonnenen Daten verglichen.

2. Messtechnik, Messaufbau

2.1. Testobjekt

Als Testobjekte wurden Industrie-PC-Prozessor-Steckkarten verwendet, die in modernen Industrie-PCs auf passiven Bus-Platinen betrieben werden. Zur Anwendung kamen Karten der Firma ICP, Typ SSC-5x86H mit 133-MHz-Prozessor AMD-5x86 (PC-1) und Typ Rocky-518HV mit 233-MHz-Prozessor Pentium/MMX (PC-2). Die ausgewählten Steckkarten hatten für die geplanten Aufgaben folgende Vorzüge:

- Sie haben kleine Abmessungen (180mm x 120mm, halbe ISA-Karte).
- Sie benötigen nur eine Spannungsversorgung von +5 V, wodurch ein Betrieb aus Akkus ohne zusätzliche längere Leitungen möglich ist.
- Die Platinen beinhalten jeweils einen vollständigen Rechner (PC), so dass ein Rechnerbetrieb ohne weitere Karten oder Anschlüsse möglich ist.

Der Massenspeicher zur Speicherung des Betriebssystems und der Programme besteht aus einer sog. Halbleiter-Festplatte ("Disk On Chip"), die in Form eines "Flash RAMs" auf der Platine sitzt. Bei entsprechender Konfiguration arbeitet der Rechner ohne Tastatur oder sonstige angeschlossene Geräte.

An die Parallel-Schnittstelle sind direkt eine oder mehrere Niedrig-Schwellen-Laser-Dioden angeschlossen, die über Lichtwellenleiter (LWL) den Zustand der Schnittstelle nach aussen weitermelden und zur Diagnose verwendet werden können. Der RESET-Eingang wird über einen direkt angeschlossenen Photodioden-Empfänger mit einem weiteren Lichtwellenleiter verbunden, so dass der Rechner nach einem Software-Ausfall direkt neu gestartet werden kann.

Bei den Untersuchungen wird nach dem Boot-Prozess automatisch ein Programm gestartet, welches ein oder mehrere Bits der Parallel-Schnittstelle zyklisch umschaltet. Das Bitmuster wird über die LWL-Übertragungsstrecke aus dem Feld-Simulator geleitet und nach Wandlung auf einem Digital-Oszilloskop registriert und

vom Steuerrechner ausgelesen. Die Feldstärke wird dabei kontinuierlich oder schrittweise über eine Rechnersteuerung so lange erhöht, bis das Schmittstellen-Signal durch Rechner-Fehlfunktion verschnwindet. Die zu diesem Zeitpunkt eingestellte Feldstärke wird als Ausfallschwelle festgehalten. Falls sich die Rechner-Platine durch ein RESET-Signal wieder in Betrieb setzen lässt, kann die Messung auf einer neuen Frequenz fortgesetzt werden.

2.2. HPM-Feldsimulation im TEM-Wellenleiter

Die ersten Versuche fanden im Drei-Streifen-TEM-Wellenleiter des INT statt, an den zu diesem Zweck eine gepulste Mikrowellen-Generator-Anlage angeschlossen war [1]. Die Generator-Anlage besteht aus einer gepulsten Hochspannungsversorgung und einer Reihe von Leistungoszillator-Einschüben für verschiedene Frequenzbereiche. Der insgesamt überreichbare Bereich reicht von 150 MHz bis ca. 3,4 GHz mit Puls-Ausgangsleistungen zwischen 15 kW und 40 kW, Pulsbreiten von 0,2 μ s – 25 μ s und Pulsfolgefrequenzen bis 10 kHz. Während die Frequenzen von Hand eingestellt werden müssen, können die anderen Parameter wie Amplitude, Pulsbreite und Pulsfolgefrequenz über einen Steuerrechner (HPIB-Steuerung) eingesteilt werden. Üblicherweise wird die Hf-Amplitude über eine Rampensteuerung so lange erhöht, bis die Ausfallschwelle oder die maximal erreichbare Amplitude erreicht ist.

2.3. Feldsimulation in der Modenverwirbelungskammer

Wegen der Höhe der Ausfall-Schwellwerte (einige hundert bis über 1000 V/m) kamen normale EMV-Messanlagen für Vergleichszwecke nicht in Frage. Als einzige in Deutschland verfügbare weitere Messmethode boten sich Modenverwirbelungskammern (MVK, engl.: mode-stirred chambers, MSC, reverberation chambers) an, bei denen die hohe Feldstärke durch Resonanzüberhöhung in einem Hohlraum-Resonator erreicht wird. Für die Vergleichsversuche stand die Modenverwirbelungskammer der Universität Magdeburg [3] zur Verfügung. Sie hat die Abmessungen 7,87m x 6,37m x 3,43m, einen mechanischen Modenquirl mit einstellbarer Rotations-Periode und eine logarithmisch-periodische Sendeanenne (80 - 1000 MHz) als Felderregung. Mit einem rechnersteuerbaren Signalgenerator (R&S-SMT) und einem 100 W-Breitband-Leistungsverstärker konnte eine Feldstärke (Ensemble-Maximum) von ca. 1000 V/m im Testvolumen erreicht werden.

Während des Versuchsablaufs wurde bei festeingestellter Frequenz die Amplitude nach je zwei Umläufen des Modenquirls schrittweise gesteigert, bis ein Rechner-ausfall auftrat, und danach die Frequenz um eine Schrittweite erhöht.

3. Messergebnisse

Die Versuche im TEM-Wellenleiter wurden im gesamten zur Verfügung stehenden Frequenzbereich von 150 MHz - 3,4 GHz, mit Pulsbreiten von 0,2 μ s bis 10 μ s und

Pulsfolgefrequenzen von 1 Hz - 10 kHz bei verschiedenen Orientierungen der Platinen zum Feld durchgeführt. Bei nahezu allen Frequenzen konnte ein Rechner-Ausfall mit Feldstärken zwischen 200 V/m und 2000 V/m ausgelöst werden. Es kam zu mehreren als verschieden identifizierbaren Ausfall-Typen, die nicht alle durch die

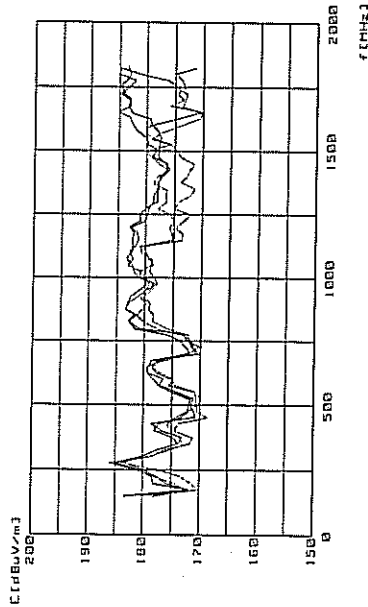


Abb.1: Abhängigkeit der Ausfallschwelle von der Impuls-Wiederholfrequenz und der Impulsbreite für PC-1 im TEM-Wellenleiter, Einzelimpuls 0,2 µs und 1 µs (durchgezogen); 1000 Hz, 0,2 µs und 1 µs (gestrichelt)

RESET-Betätigung beseitigt werden konnten (z.B. Löschen des CMOS-RAMs mit Setup-Daten). Beispielhaft zeigt Abb.1 für die Platine PC-1 (SSC-5x86H mit 133-MHz-Prozessor) die Ausfallschwellen bei 0,2 µs und 1 µs bei Impulsfolgefrequenzen von 1 Hz und 1000 Hz (E-Feld parallel zur Platine). Erstaunlich ist die Tatsache, dass keine Begrenzung hinsichtlich einer oberen Frequenzgrenze festzustellen ist, wie sie bei Analog-Elektronik und auch langsameren Digital-Schaltungen meist beobachtet wird. Dies ist auf die sehr hohen Grenzfrequenzen der Transistoren in modernen Digitalschaltungen zurückzuführen, die inzwischen bei mehreren GHz liegen.

Wie die Kurven für Pulsbreiten von 0,2 µs und 1 µs zeigen, ist auch keine signifikante Abhängigkeit der Ausfallschwelle von der Pulsbreite beobachtbar. Ebenfalls spielt die Pulsfolge-Frequenz unterhalb 1000 MHz keine und oberhalb nur eine untergeordnete Rolle (5-10dB Differenz). Dies gilt in noch stärkerem Masse für die Platine PC-2 (Rocky-518HV 233-MHz-Pentium/MMX) in Abb.4 (durchgezogene Linien), wo die Differenz nur wenige dB beträgt.

Die Abhängigkeit der Ausfallschwellen von der Orientierung der Platinen im Feld zeigen die Abb.2 und Abb.4. Die Differenzen zwischen der Orientierung E-Feld parallel und E-Feld senkrecht zur Platine betragen maximal 15dB, sind aber meist deutlich niedriger.

In Abb.3 und Abb.5 sind schliesslich die Vergleiche der TEM-Wellenleiter-Messungen mit den in der Modenverwirbelungskammer gewonnenen Schwellwerten dargestellt. In der MVK wurden dabei die während einer Rotationsperiode des Modenquirls einmal auftretenden Maxima der Feldstärke registriert und als Ausfall-

Schwellwerte benutzt. Dies ist gerechtfertigt, da die TEM-Messungen ja ausschliesslich eine Abhängigkeit vom Absolutwert der Feldamplitude zeigten. Wie erwartet korrespondieren die Schwellwerte recht gut mit den je nach Orientierung im TEM-Wellenleiter am niedrigsten liegenden Ausfall-Schwellwerten.

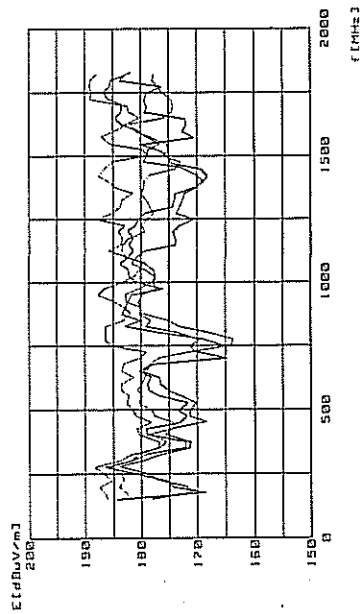


Abb.2: Abhängigkeit der Ausfallschwelle (PC-1, 1 µs Puls) von der Orientierung (durchgezogen: E-Feld || Platine, gestrichelt: E-Feld ⊥ Platine, jeweils bei 1 und 1000 Hz Folgefrequenz), im TEM-Wellenleiter

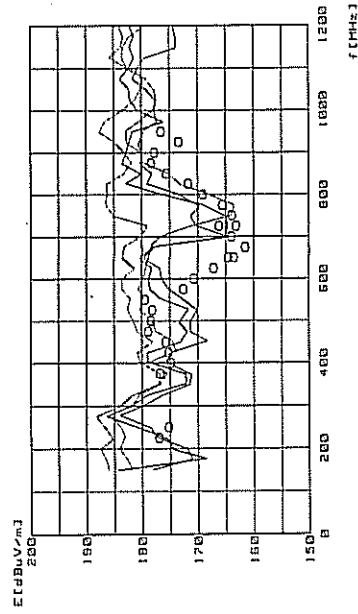


Abb.3: Vergleich der Ausfall-Schwellwerte (PC-1, 1 µs Puls) im TEM-Wellenleiter (durchgezogen: E-Feld || Platine, gestrichelt: E-Feld ⊥ Platine, jeweils bei 1 und 1000 Hz Folgefrequenz) und in der Modenverwirbelungskammer (- O -)

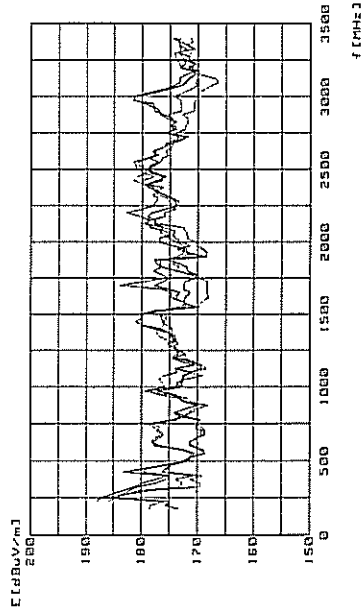


Abb.4: Abhängigkeit der Ausfallschwelle (PC-2, 1 μ s Puls) von der Orientierung (durchgezogen: E-Feld II Platine, gestrichelt: E-Feld $\perp$ Platine, jeweils bei 1 und 1000 Hz Folgefrequenz)

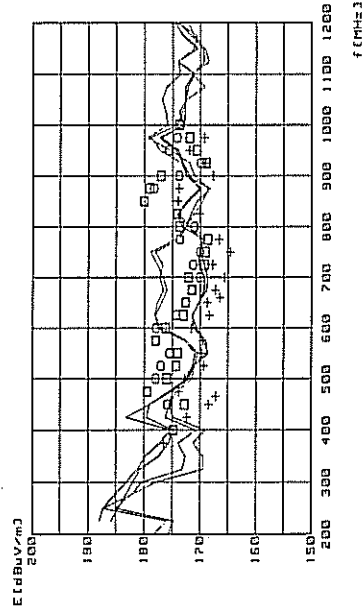


Abb.5: Vergleich der Ausfall-Schwellwerte (PC-2) im TEM-Wellenleiter (durchgezogen: E-Feld II Platine, gestrichelt: E-Feld $\perp$ Platine, jeweils bei 1 und 1000 Hz Folgefrequenz, 1 μ s) und in der Modenverwirbelungskammer (-O-; $\square$ - zwei aufeinander folgende Messungen, -+- Messung an 2. Position)

Zusätzlich wurden auch in der MVK Messungen mit impulsmodulierter Hochfrequenz durchgeführt. Wegen der hohen Güte (Einschwingzeit $\geq 5 \mu$ s) konnten die im INT verwendeten Impulsparameter jedoch nicht verwendet werden. Ab einer Impulsbreite von etwa 100 μ s zeigten sich jedoch interessante Effekte, die mit anderen Messverfahren bisher nicht aufgedeckt werden konnten. In Abb.6 (links) erkennt man, dass bis 775 MHz die Störschwellen für CW- und Pulsanregung identisch sind und der Fehler von dem Typ war, der sich durch den intern ausgelösten Reset beseitigen liess (Ra). Oberhalb (bis etwa 1 GHz) trat praktisch nur bei CW-Anregung ein anderer Fehler auf (Rex). Hieraus folgt zunächst, dass der Fehlermechanismus Ra eine Zeitkonstante kleiner als 10 μ s hat, und der Fehlermechanismus Rex eine wesentlich größere Zeitkonstante aufweist. Wenn Rex jedoch ein Mechanismus mit grosser Zeitkonstante ist, hätten als Feldstärkewerte die Ensemble-Mittelwerte genommen werden müssen, d.h. dass die wahren Störschwellen für diesen

Mechanismus 6 - 7 dB niedriger liegen. Weiter folgt, dass die Störschwellen des anderen Fehlermechanismus (Ra) (wenn dieser überhaupt noch vorhanden ist) mindestens 6-7 dB oberhalb von Rex liegen müssen (sonst würde dieser Mechanismus von Ensemble-Maximum ausgelöst). Hieraus ergibt sich eine Vorhersage für das Fehlerbild bei der Variation der Impulsbreite bei einer Trägerfrequenz oberhalb 800 MHz: Bei kurzen Impulsen erwartet man den Fehlermechanismus Ra (falls er noch vorhanden ist); ab einer bestimmten Impulsbreite sollte dann der Fehlermechanismus Rex ausgelöst und die Störschwelle um mindestens 6-7 dB sprunghaft verringert werden. Genau dieses Verhalten zeigt die in Abb.6 (rechts) abgebildete Messung der Störschwellen bei einer Trägerfrequenz von 925 MHz. Zusätzlich folgt aus dieser Messung, dass der Fehlermechanismus Rex bei dieser Trägerfrequenz und bei der gewählten Impuls wiederhol frequenz (1 kHz) eine Impulsbreite von etwa 400 μ s benötigt.

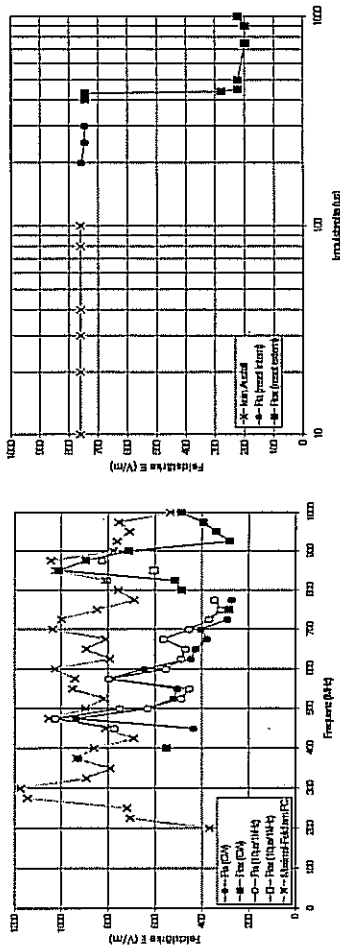


Abb.6: Links: Störschwellen für PC2 bei CW- und Pulsanregung (10 μ s, 1 kHz). Ra entspricht selbständigen Reset; Rex entspricht einem Fehler, der nur durch einen externen Reset beseitigt werden kann. Rechts: Störschwelle bei einer Trägerfrequenz von 925 MHz in Abhängigkeit von der Pulsbreite bei einer Puls wiederhol frequenz von 1 kHz.

4. Zusammenfassung

Die HPM-Messungen an den modernen Prozessor-Platinen ergeben ein deutlich anderes Bild der Ausfall-Mechanismen im Vergleich zu bisherigen Untersuchungen. Bei Analog-Schaltungen wird das zum Ausfall führende Störsignal praktisch immer durch Gleichrichtung (Demodulation) des i.a. hüllkurvenmodulierten oder gepulsten HF-Signals erzeugt. Da die hierbei relevanten Schaltungsteile und auch die Halbleiter meist Tiefpass-Eigenschaften besitzen, hängt die Störschwelle von der Pulsbreite und der Pulsfolge-Frequenz ab, d.h. von der eingekoppelten Energie pro Puls oder von der mittleren eingekoppelten HF-Leistung. Ausserdem macht sich die niedrige Grenzfrequenz der Halbleiter-Bauelemente in Analog-Schaltungen in einem Ansteigen der Störschwellen mit steigender Trägerfrequenz bzw. mit dem Aufhören von Störungen oberhalb bestimmter Grenzfrequenzen bemerkbar.

Auch in langsamerer Digital-Elektronik sind diese Tendenzen meist feststellbar, dazu kommt das Absinken von Störschwellen bei höher werdender Pulsfolge-Frequenz durch die Erhöhung der Wahrscheinlichkeit, einen empfindlichen "Zeitschlitz" zu treffen.

Bei Hochgeschwindigkeits-Digital-Elektronik, wie sie in modernen Prozessoren anzutreffen ist, können alle diese Abhängigkeiten praktisch nicht beobachtet werden. Offensichtlich findet das Umschalten zwischen den binären Zuständen direkt durch die HF-Sinusschwingungen statt, wobei bei einem gepulsten Signal bereits die erste Halbwelle dazu ausreicht. Die restlichen, von der Höhe der Trägerfrequenz abhängigen Schwankungen scheinen nach bisherigen Analysen hauptsächlich durch frequenzabhängige Einkoppel-Mechanismen bewirkt zu werden. Dies wird durch Messungen bei verschiedenen Wellen-Einfallswinkeln nahegelegt.

Die vergleichenden Messungen in der Modenverwirbelungskammer zeigten eine gute Übereinstimmung mit den im TEM-Wellenleiter gewonnenen Ausfall-Schwellwerten unter der Bedingung, dass in der MVK die maximal während einer Umlaufperiode des Modenquirls erreichten Feldstärken benutzt wurden. Diese Vorgehensweise ist sicher nur bei Tests an schneller Digitalelektronik anwendbar, die nur auf die Maximal-Amplitude reagiert. Bei den Messungen mit impulsmodulierter HF in der MVK zeigte sich die Möglichkeit, Fehlermechanismen mit deutlich unterschiedlichen Zeitkonstanten getrennt zu identifizieren. Diese Effekte sollen in nächster Zeit ausführlicher untersucht werden. Weiterhin entfällt in der MVK die Richtungsabhängigkeit der Schwellwerte, so dass für Vergleiche mit klassischer Feldbeeinflussung die Minima der in allen Richtungen ermittelten Schwellwerte herangezogen werden müssen.

5. Literatur

- [1] Ch. Braun, P. Guidi, H.U.Schmidt: Eine Simulationsanlage für Störfestigkeitsmessungen an Geräten und kleineren Systemen mit gepulsten Hochleistungs-Mikrowellen, Symposiumsband Elektromagnetische Verträglichkeit - EMV'98, VDE-Verlag, Berlin, Offenbach (1998)
- [2] S. Schultz: Verwundbarkeit von Luftfahrtgerät durch Hochleistungs-Mikrowellen, Symposiumsband Elektromagnetische Verträglichkeit - EMV'98, VDE-Verlag, Berlin, Offenbach (1998)
- [3] Krauthäuser, H.G., Nitsch, J.: Characterization of Mode-Stirred-Chambers in the Time Domain, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Magdeburg, ISBN 3-929757-25-7, 389-392, 5.-7. Oktober 1999

Beobachtung störcritischer Zeitabschnitte bei mikroprozessor-basierten Geräten

Prof. Dr.-Ing. Holger Hirsch, AG Theorie der EMV, Universität Dortmund

Prof. Dr.-Ing. Dirk Peier, Lehrstuhl für Hochspannungstechnik und elektrische Anlagen, Universität Dortmund

Dipl.-Ing. Tycho Weißgerber, Lehrstuhl für Hochspannungstechnik und elektrische Anlagen, Universität Dortmund

1. Einleitung

Bei mikroprozessorbasierten Geräten können trotz bestandener Störfestigkeitsprüfung im praktischen Einsatz Funktionsstörungen auftreten. Dies gilt erstaunlicherweise auch dann, wenn die Einsatzbedingungen nachweislich den Prüfungen ähnlich waren. Zahlreiche experimentelle Untersuchungen belegen dieses Verhalten als typisch für mikroprozessorbasierte Geräte und zeigen hier ein Grundsatzproblem auf [1]. Demnach ist erwiesen, daß die Störfestigkeit komplexer Systeme vom konstruktiven Aufbau und der Programmierung abhängt [2]. So ist neben der Nichtlinearität insbesondere die Beobachtung der Zeitvarianz für die Zuverlässigkeit des Nachweises wichtig. Die Programmierung bestimmt mit dem sequentiellen Ansteuern störemfindlicher Strukturen Zeitabschnitte, in denen das Gerät auf Störungen von außen reagieren kann. Werden außerhalb dieser störcritischen Zeitabschnitte Prüf störgrößen appliziert, ist der Aussagegehalt der bestandenen Normprüfung (EN 61000-4-4 oder ISO 7637) zu hinterfragen. Aus diesem Grund werden bei sicherheitsrelevanten Applikationen in der Kraftfahrzeugtechnik zeitaufwendige Messungen von bis zu einigen Stunden bei den Prüfpulsen 3a und 3b durchgeführt. Eine sinnvolle Bewertung der Störfestigkeit kann dennoch mit statistischen und selbstadaptiven Methoden erfolgen [3]. Denn obwohl das Störverhalten zunächst scheinbar statistischen Charakter aufweist, werden mit Methoden der nichtlinearen Dynamik regelmäßige Strukturen entdeckt [4]. Aus diesem Grund ist die Möglichkeit zur Anpassung des Störgenerators an den Prüfungscharakter gegeben. Mit dem Ziel der Gestaltung eines zuverlässigeren Störfestigkeitssnachweises wird im folgenden gezeigt, daß basierend auf dieser Anpassung die Anzahl der zeitlichen Übereinstimmungen von störcritischen Zeitabschnitten und Prüf störgrößen gesteigert werden kann. Kostenintensive Prüfzeiten können auf ein Minimum reduziert werden.