

# Neue Aspekte zur ESD-Störfestigkeit

Mess-Phänomene deuten auf hochfrequente Effekte

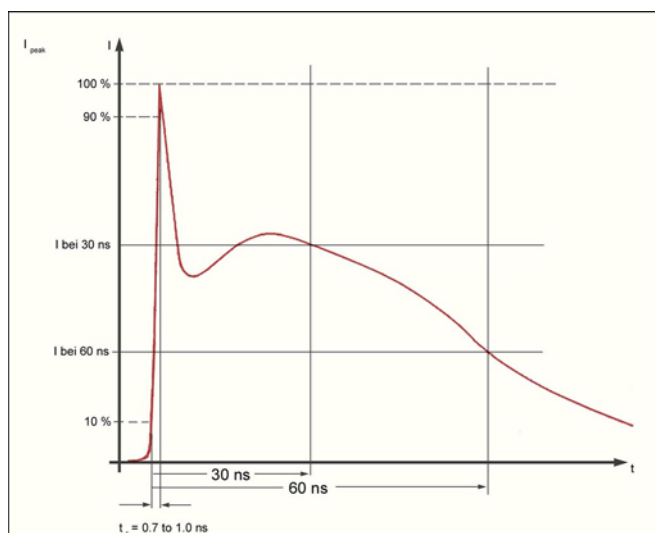
Der Entstöraufwand zum Erreichen der ESD-Störfestigkeit (Electrostatic Discharge) elektronischer Geräte nach EN 61000-4 ist in den letzten Jahren stetig gestiegen. Warum dies so ist -- hier einige Fakten .

Von Gunter Langer

Ursache für den erhöhten Entstöraufwand ist einerseits die technologiebedingte Steigerung der Empfindlichkeit elektronischer Komponenten. Weiterhin hat man festgestellt, dass ESD-Generatoren ("ESD-Pistolen") unterschiedlichen Typs große Streuungen in den Testergebnissen bewirken. In der Praxis kann der Unterschied in der gemessenen Störfestigkeit (Amplitude) den Faktor 5 betragen! Damit sind Gerätetests, die mit unterschiedlichen ESD-Generatoren ausgeführt wurden, nicht mehr vergleichbar.

## Wirkmechanismus des ESD-Phänomens

Eine Ursache für die erhöhte Störimpfindlichkeit ist die Verringerung der Strukturweite der ICs. Bei ASICs und Mikrocontrollern geht man derzeit in Richtung 100 nm, und bei Rechner-Chipsätzen können gar 45 nm erreicht werden. Die durch die Verringerung der Strukturgeometrien erreichte höhere Schaltgeschwindigkeit der Transistorzellen und die damit verbundene Absenkung der Versorgungsspannung führen zur Zunahme der IC-Störimpfindlichkeit. Die eben genannte Steigerung der Schaltgeschwindigkeit bedeutet eine zusätzliche Beeinflussungsmöglichkeit durch kürzere Störimpulse (kleiner 1 ns). Vor einigen Jahren spielten diese kürzeren Störimpulse keine Rolle, sie wurden von den IC's nicht "gesehen".



Der 0,7-ns-ESD-Referenzimpuls gemäß IEC / EN 61000-4-2.

Um das Phänomen der Streuung der Testergebnisse mit unterschiedlichen Generatortypen zu verdeutlichen, sind einige Erläuterungen erforderlich: Bei ESD-Tests mit Kontaktentladung wird üblicherweise der in >Bild 1< gezeigte Impuls mit einer 0,7-ns-Flanke verwendet. Dabei kontaktiert man mit einer ESD-Pistole (also dem Generator) metallische Teile des Gerätes. Über kapazitiv oder induktiv Kopplungen wird der Störimpuls auf die elektronischen Schaltungen übertragen. Dabei wird die 0,7-ns-Flanke differenziert, wobei ein 0,7-ns-Impuls entsteht. Dieser Impuls beeinflusst die ICs.

Es müssen jedoch wesentlich hochfrequenterere Vorgänge als die 0,7-ns-ESD-Flanke bzw. schaltungsintern der 0,7-ns-Impuls vorhanden sein, um bei ICs mit sehr hoher Schaltgeschwindigkeit diese Störampplituden-Unterschiede um den Faktor 5 zu erzeugen. Löst man die ESD-Flanke z.B. bei der Messung mit einem Oszilloskop höher auf,

stellt man generatortypabhängig hochfrequente Einschwingvorgänge in der Anstiegsflanke fest >Bild 2<

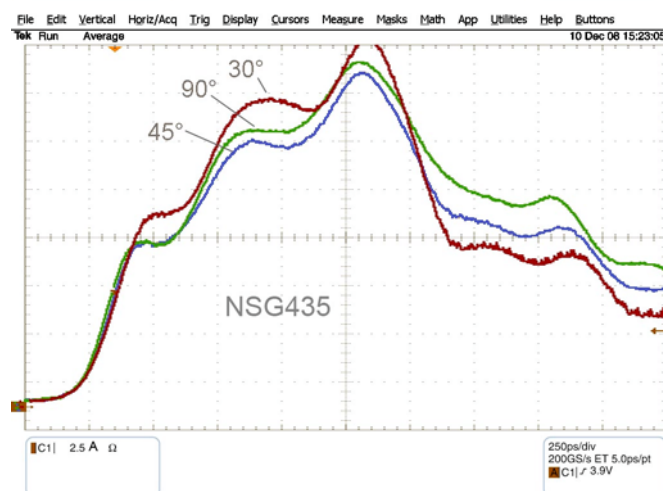
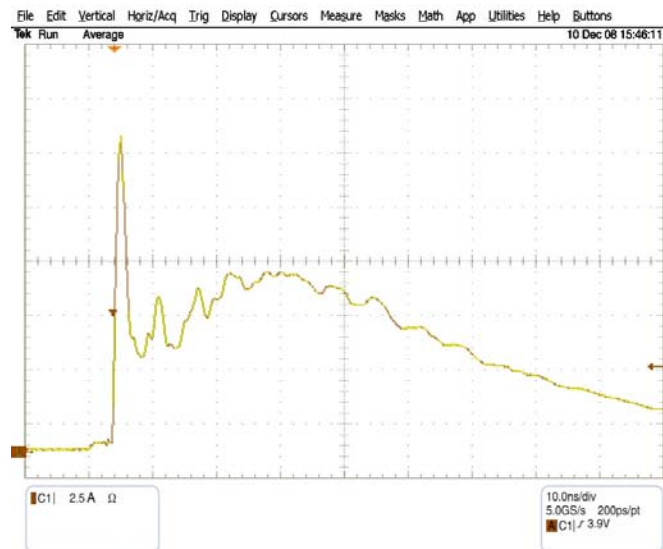
Diese Einschwingvorgänge mit Flankenbreiten unter 200 ps löst der ESD-Generator (also die ESD-Pistole) in Verbindung mit den induktiven und kapazitiven Elementen des Testaufbaus aus.

Je hochfrequenter diese Einschwingvorgänge sind, um so besser dringen sie über induktive bzw. kapazitive Koppelmechanismen in elektronische Geräte ein. Die im Bild 2 dargestellten Einschwingvorgänge der steigenden ESD-Flanke dringen demzufolge besser in Geräte ein als die 0,7-ns-ESD-Impulsflanke selbst. Mit dieser Wirkungskette sind die Streuungen und höheren Geräteempfindlichkeiten bei ESD-Störfestigkeitsmessungen erklärbar.

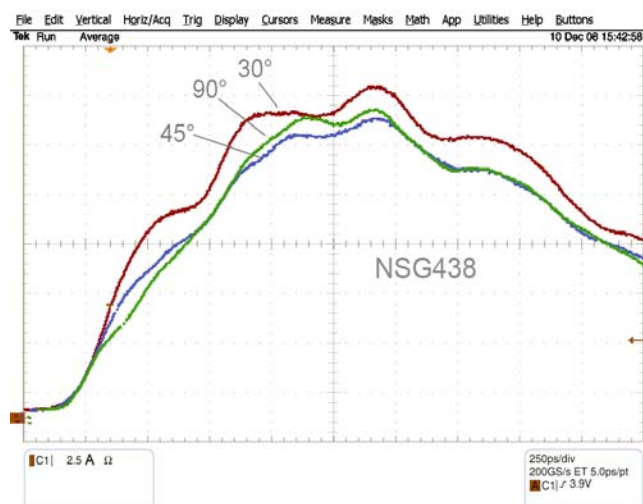
Die hier erwähnten und vermessenen Generatoren (siehe Bild 2) sind normkonform. Doch die zugrunde liegende Normung berücksichtigt die jetzt aktuell gewordenen höheren Schaltfrequenzen der ICs in Verbindung mit den eben genannten Einschwingvorgängen bei ESD-Entladungen im GHz-Bereich noch nicht. Die Lösung des Problems ist Aufgabe einer technischen Weiterentwicklung.

*Bild 2. ESD-Strom zweier verschiedener Generatoren (Bild a bzw. b), gemessen an einem 0,5 Shunt bei 4 kV Generatorspannung.*

*Parameter: Neigung des ESD-Generators zur GND-Platte in Grad.*



*Bild 2a*



*Bild 2b*

### Praxisbeispiel für leitungsgeführte IC-Einkopplung

>Bild 3< zeigt die an einem Ethernet Phy gemessene Spannung bei ESD-Einkopplung in den zugehörigen geschirmten RJ45-Steckverbinder. Der Steckverbinder besaß eine Transferinduktivität von 1,2 nH [1]. Die ESD-Generatoren unterschiedlichen Typs erzeugen in der Form und der Amplitude deutlich unterschiedliche Störimpulse am IC (Amplitude bis 40 bzw. 70 V). Die Störimpulse, die bis an den IC (Ethernet Phy) vordringen, haben in der Form keine Ähnlichkeit mehr mit dem eingekoppelten ESD-Impuls -- es sind vielmehr im Wesentlichen die bereits erwähnten Einschwingvorgänge der ESD-Flanke aus Bild 2 mit den damit verbundenen "kleiner-200-ps-Flanken".

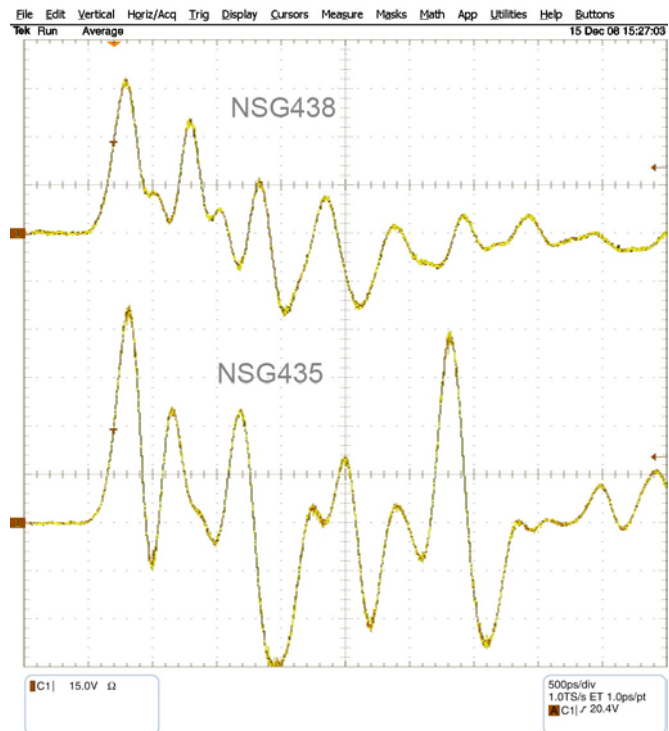
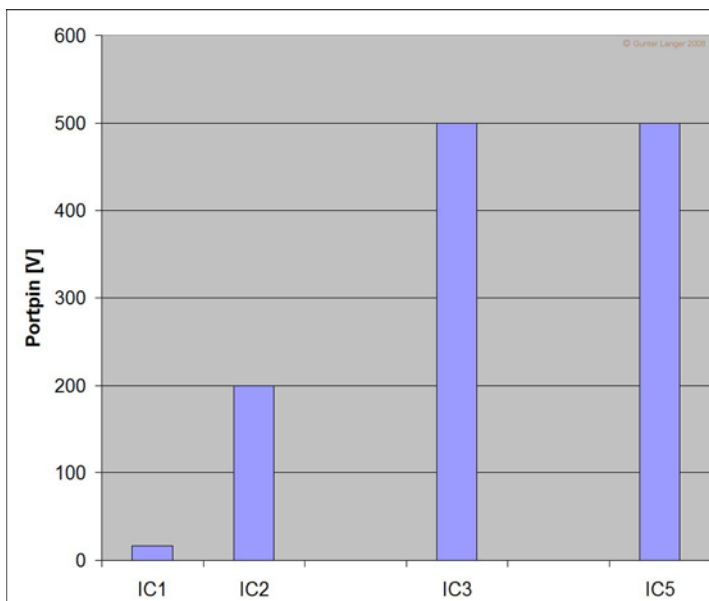


Bild 3. Oszillogramme der Pulsspannung an einem Ethernet-Phy bei einer 4-kV-ESD-Einkopplung mit verschiedenen normkonformen Generatoren (oben der Typ NSG 438, unten der Generator NSG 435) in den zugehörigen RJ45-Steckverbinder.

Letztlich bestimmen die Eigenschaften des speziellen IC-Designs, ob der Baustein diesen Impuls übersteht oder mehr oder weniger tiefgreifende Systemstörungen ausgelöst werden. Die Störfestigkeit, die von einem Baustein dem Störimpuls entgegengesetzt wird, hängt vom Know-how des Chip-Herstellers ab.

Die Störfestigkeit von Schaltungen im IC unmittelbar "hinter" den IC-Pins ist mit speziellen IC-Pulsgeneratoren messbar [3].



>Bild 4< zeigt die Störfestigkeit von Port-Pins (IC-Exemplare aus dem Jahr 2006 u. 2007). Die Unterschiede zwischen den ICs sind größer als der Faktor 10! Wenn Mikrocontroller demnächst in 45-nm-Technologie gefertigt werden, sind weitere Erhöhungen der Störempfindlichkeit zu erwarten..

Bild 4. Beispiele der Pulsspannungsfestigkeit von Microcontrollern, gemessen an Port-Pins mit Generator Typ P300.

**Die feldgebundene Einkopplung in ICs erhält steigende Bedeutung**

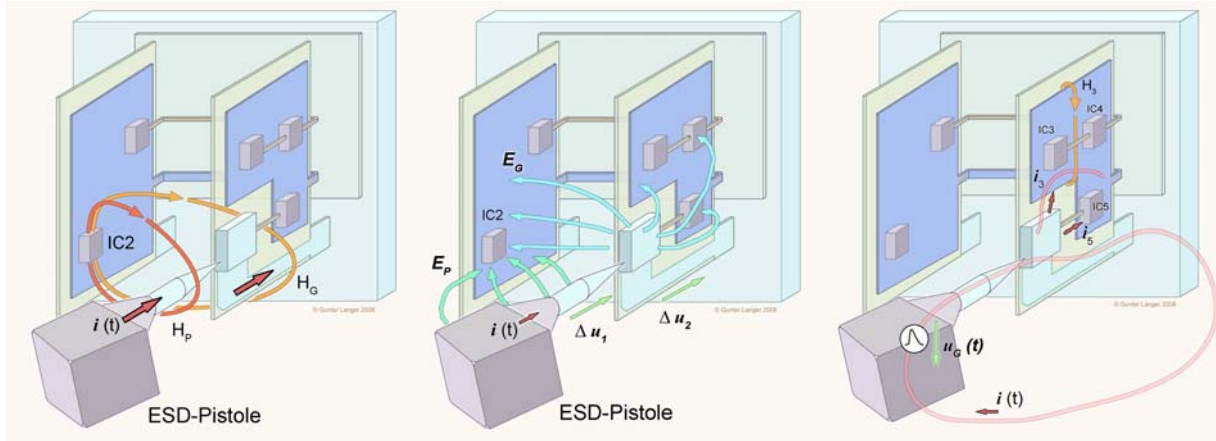


Bild 5. Feldgebundene (a, b) und leitungsgebundene (c) Einwirkung von ESD-Vorgängen auf ICs.

Mikroelektronik-Bauelemente werden heute zusätzlich zur leitungsgebundenen Einkopplung in die Pins auch durch elektrische oder magnetische Felder beeinflusst. Die <Bilder 5a bis c> zeigen die praktische Simulation derartiger Einwirkungen, die mit einer ESD-Pistole erzeugt werden können.

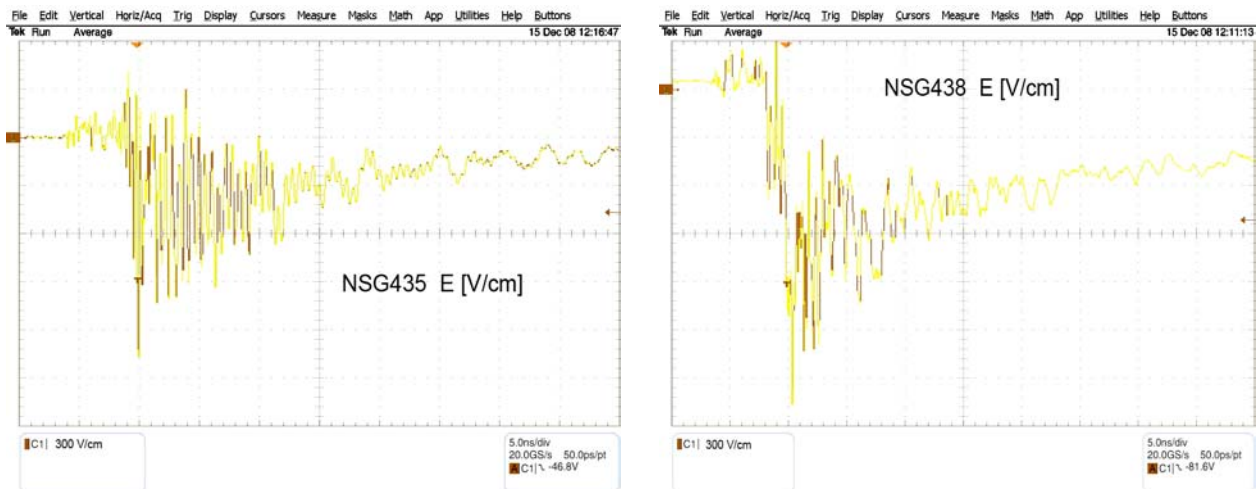


Bild 6. Messung der elektrischen Feldstärke eines ESD-Generators: Die Feldstärke wurde unterhalb zweier um 30 geneigter ESD-Generatoren auf einer GND-Platte gemessen, Generatorspannung 4 kV. a: Generator NSG 435, b: Generator NSG 438.

<Bild 6> zeigt als weitere interessante Beobachtung die elektrische Feldstärke, die ESD-Generatoren über ihr Gehäuse selbst erzeugen können. Die Messung der Feldstärke erfolgt an der Oberfläche einer GND-Platte unterhalb des ESD-Generators. Höhe und Verlauf sind neben dem Messort vom Typ des ESD-Generators abhängig. Bei Speisung mit 4 kV werden Werte um 1 bis 2 kV/cm erreicht. Die Werte sind in Verlauf und Spitzenwerten stark vom Messort unter dem Generator und von seiner Drehung und Neigung abhängig. Wesentlich höhere Feldstärkewerte (über 10 kV/cm) werden bei Einkopplung in benachbarte Metallteile erreicht. Das können Steckergehäuse oder Kühlkörper sein.

Die Feld-Störfestigkeit von ICs kann mit speziellen Generatoren vermessen werden. Der Prüfpuls 0,2 / 5 ns ist dabei aus dem hochfrequenten Einschwingvorgang der ESD-Generatoren (nach EN 61000-4) abgeleitet [2].

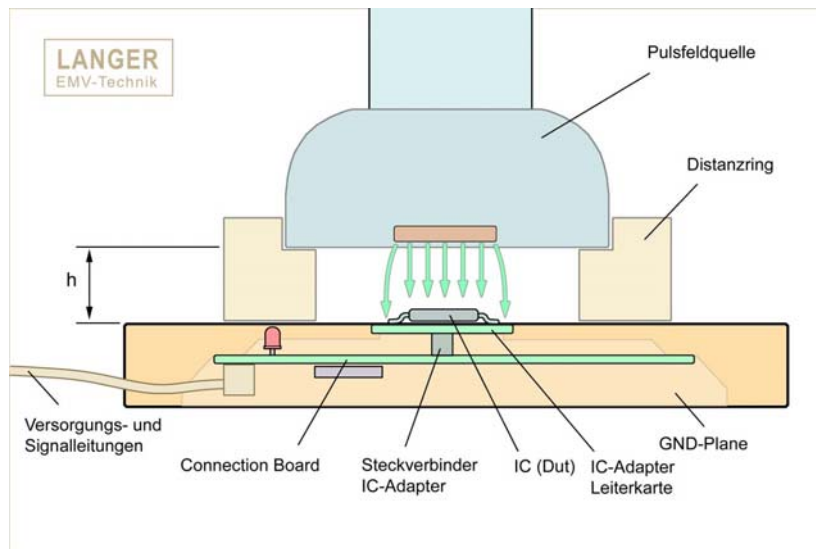
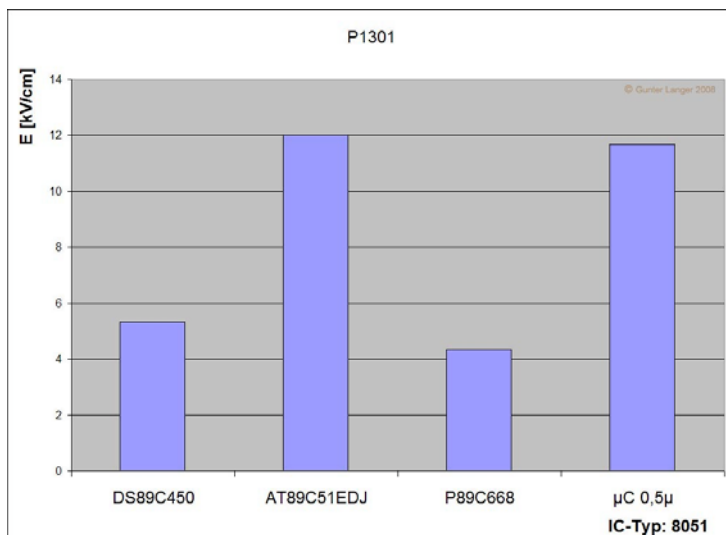


Bild 7. Messaufbau mit dem Generator P1301 0,2/5 ns bis 28 kV/cm zur Prüfung der elektrischen Pulsfestigkeit von ICs

Die Pulsstörfestigkeit von ICs lässt sich mit der Anordnung nach >Bild 7< relativ einfach messen. Die Schwierigkeit der Realisierung der leitungsgeführten Einkopplung in IC-Pins vor allem bei ICs mit sehr vielen Pins besteht nicht. Im <Bild 8< sind die Messergebnisse von verschiedenen Messungen an Mikrocontrollern dargestellt.



Empfindliche ICs sind durch entsprechende Platzierungsvorgaben verträglich verwendbar. Sie sollten z.B. nicht am Baugruppenrand oder in der Nähe von ESD-puls-spannungsführenden Metallteilen angeordnet werden. Das gilt auch, wenn diese Metallteile geerdet sind. Chipsätze sind heutzutage höher integriert (Geometrie-Strukturbreiten rund 45 nm) und arbeiten mit niedrigeren Versorgungsspannungen. Damit sind diese ICs weitaus empfindlicher.

Bild 8. Ergebnisse von Messungen der elektrischen Pulsfestigkeit (Impuls 0,2 / 5 ns) von Mikrocontrollern des Typs 8051 unterschiedlicher Hersteller.

Bei Chipsätzen werden meist nur noch wenige Pins über leitungsgebundene Einkopplung erreicht. Das sind meist Pins, deren Leitungen über Steckverbinder geführt werden, wie z.B. Interface- für USB, Ethernet usw. Die hochintegrierten ICs werden anteilmäßig mehr über ihre Gehäuse (Kühlkörper) durch äußere elektrische oder magnetische Felder beeinflusst.

Die unterschiedliche Feldempfindlichkeit von ICs in Verbindung mit der nicht definierten Feldabgabe von ESD-Generatoren bewirken zusätzlich Streuungen in den ESD-Testergebnissen.

Wie aus diesen Ausführungen zu erkennen war, ist in den letzten Jahren die Pulsspannungsfestigkeit für einige ICs von über 100 V auf unter 10 V abgesunken (Bild 3). Das erzeugt einen bedeutend höheren Aufwand bei der EMV-Entwicklung elektronischer Geräte. Durch weitere Erhöhung der Integrationsdichte wird dieser Trend beibehalten. Entgegen gewirkt werden kann diesen Problemen durch gezielte Entwicklung besser störfester ICs. Das gelingt auch für kleine Strukturbreiten. Diese Idee ist schon an einigen Beispielen umgesetzt. Die dafür notwendigen Prüfgeneratoren wurden in den letzten Jahren entwickelt [3].

Eine weitere Schwachstelle in elektronischen Systemen sind Steckverbinder. Um den EMV-Anforderungen der nächsten Jahre gerecht zu werden, sind entsprechend EMV-gerechte Steckverbinder technisch zu definieren und zu entwickeln [1].

[1] Paper from the firm of Langer EMV-Technik GmbH: Steckverbinder-Koppelinduktivität, August 2007.

[2] Paper from the firm of Langer EMV-Technik GmbH: EMV-Anforderungen und Prüfverfahren zum Testen der Pulsstörfestigkeit von ICs und ASICs, Dezember 2008.

[3] Prüfgeneratoren für ICs, technische Parameter: [www.langer-emv.de](http://www.langer-emv.de)