

Wenn der Chip streikt

DER AUSFALL MIKROELEKTRONISCHER SCHALTUNGEN KANN WEIT REICHENDE KONSEQUENZEN HABEN

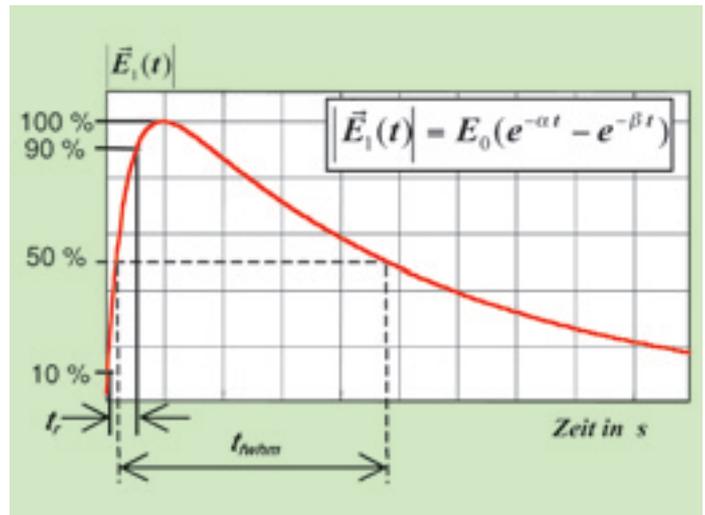
Mikroelektronische Bauelemente sind eine Achillesferse der modernen Gesellschaft. Medizinische Geräte, Energieversorgung – alles funktioniert per Computerchip. Am Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik wird untersucht, wo die Ursachen für Ausfälle liegen, um die Schaltungen sicherer zu machen.

Einleitung

Mikroelektronische Schaltungen sind heute in allen Lebensbereichen zu finden. Ihr Ausfall kann daher katastrophale Konsequenzen haben. Das harmlose Versagen von Haushaltsgeräten ist vielleicht noch hinzunehmen, der Ausfall von intensivmedizinischen Geräten hingegen bedeutet höchste Lebensgefahr. Betrachtet man die Ursachen dieser Ausfälle, so sind immer häufiger neben den natürlichen Störquellen wie Blitz und ESD (elektrostatische Entladung) künstliche Quellen festzustellen. Fatalerweise sind solche Quellen mit geringem Aufwand herzustellen, so dass sie für Terroristen interessant werden.

Konsequenterweise muss man sich daher fragen, wie mikroelektronische Bauteile ausfallen, um sie sicherer und zuverlässiger aufzubauen. Die elektromagnetischen Störimpulse treten meistens in doppeltexponentieller Form (Abbildung 1) auf.

Abbildung 1
Doppeltexponentieller Impuls



Mit extrem kurzen Anstiegszeiten ($t_r < 100$ ps) und Impulslängen ($t_{\text{rise}} < 1$ ns) bei Amplituden im mehrstelligen kV/m-Bereich, stellen sie eine gefährliche Bedrohung dar [1]. Neuentwickelte Impulsgeneratoren mit extrem kleinen Dimensionen (realisierbar aufgrund des geringen Energieinhaltes) in Kombination mit mobilen Antennensystemen zur breitbandigen Abstrahlung der Störimpulse sind in der Lage, beliebige Elektronikkomponenten auch über größere Entfernungen nachhaltig zu schädigen. Aus diesem Grund ist die genaue Kenntnis der Wirkmechanismen, die beim Ausfall von Elektronikkomponenten verschiedener Technologien zum Tragen kommen, von großer Wichtigkeit.

Einflussfaktoren

Die Empfindlichkeit elektronischer Schaltungen gegen elektromagnetische Störgrößen hängt von einer Vielzahl Faktoren ab. Schaltungsparameter wie Betriebsleitungslängen, Taktfrequenzen, Platinen- und Chipdesign sind ebenso von entscheidender Bedeutung wie Betriebs- und Programzustände (bei höherwertiger Elektronik), Technologiefamilie (TTL, CMOS ...) und Impulsparameter (Anstiegszeit, Impulslänge, Amplitude, spektrale Energieverteilung). Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Veränderung der Ausfallraten BFR (Breakdown Failure Rate) von vier Mikrocontrollersystemen gleichen Typs bei Beaufschlagung mit drei verschiedenen Feldimpulsen doppeltexponentieller Form nach Abbildung 1.

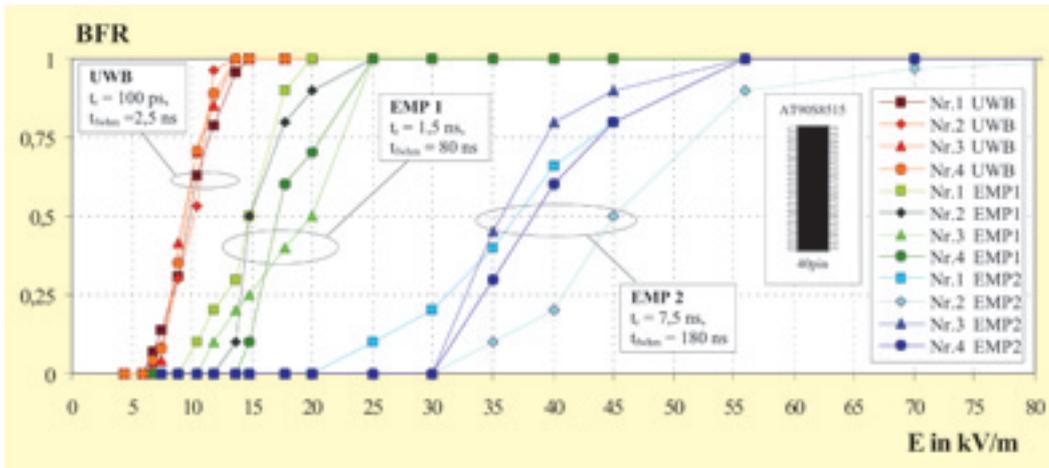


Abbildung 2
Ausfallraten von vier Mikrocontrollern gleichen Typs bei Beaufschlagung mit Feldimpulsen verschiedener Anstiegszeiten und Impulslängen

Die Ausfallrate BFR ist hierbei definiert als Anzahl der Ausfälle, die ein System erfährt, bezogen auf die Anzahl der beaufschlagten Feldimpulse.

Impulse mit langsameren Anstiegszeiten führen trotz eines größeren Gesamtenergieinhaltes erst bei deutlich höheren Amplituden zu Ausfallerscheinungen als Impulse mit schnelleren Anstiegszeiten.

Grund hierfür ist die spektrale Energieverteilung der Testimpulse. Die Einkopplung in komplexe Systeme verhält sich prinzipiell gemäß Abbildung 3 [2].

Zwischen den Grenzfrequenzen f_1 und f_2 , festgelegt durch die physikalischen Dimensionen, findet der Großteil der Einkopplung von Störenergie statt.

Für die Größenordnung der hier betrachteten Systeme (< Doppelleitplattenformat) liegen die Grenzfrequenzen bei etwa $f_1 \approx 100 \text{ MHz}$ und $f_2 \approx 1 \text{ GHz}$ [3]. Mit sinkender Anstiegszeit wächst der Energieinhalt in diesem Frequenzbereich beträchtlich, obwohl der Gesamtenergieinhalt des Impulses aufgrund der kürzeren Impulslänge deutlich abnimmt.

Ähnlich starke Auswirkungen auf Ausfallerscheinungen haben andere Einflussfaktoren [4][5].

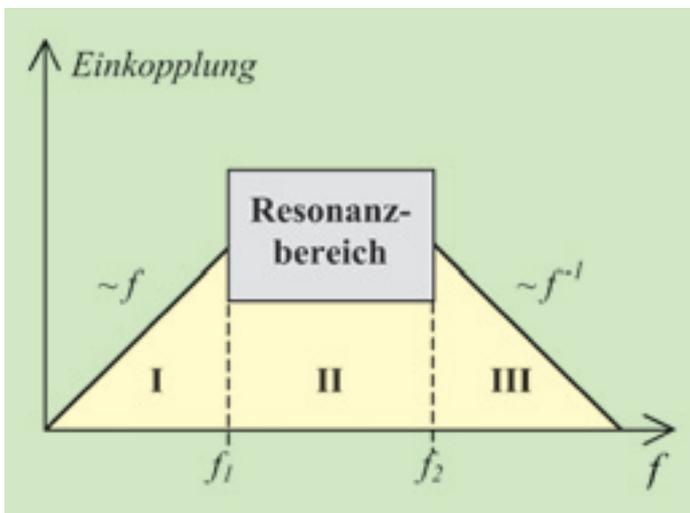


Abbildung 3
Einkoppelverhalten komplexer Systeme

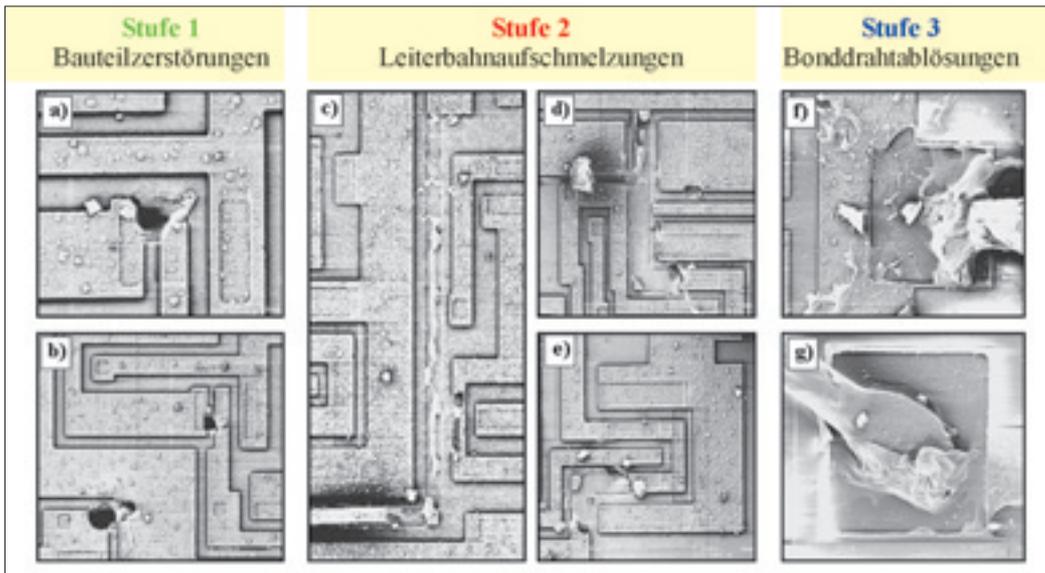


Abbildung 4
Einstufung der Schadensmechanismen auf Chipebene

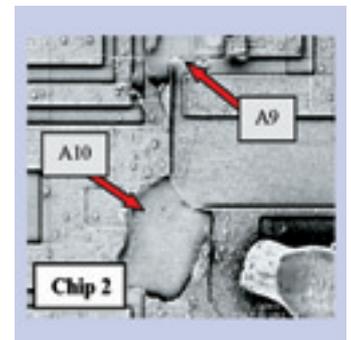
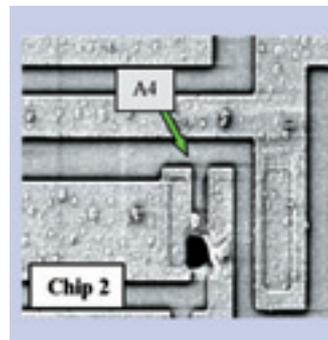
Schadensmechanismen

Die Analyse der Schadensmechanismen auf Chipebene zeigt drei prinzipielle Zerstörungsschwellen.

Zuerst kommt es durch Überschlagerscheinungen zur Zerstörung von integrierten Bauelementen (Stufe 1). Bei Erhöhung der Amplitude kommt es zu zusätzlichen Leiterbahnaufschmelzungen ohne Beteiligung von Überschlagerscheinungen (Stufe 2) und schließlich zur Zerstörung von Bonddrähten (Stufe 3).

Abbildung 4 zeigt beispielhaft verschiedene Zerstörungen der Stufen 1 bis 3 im Vergleich.

Als Sekundäreffekte treten ab Zerstörungen der Stufe 2



So sind beispielsweise leitende Verbindungen zwischen normalerweise galvanisch getrennten Pins möglich.

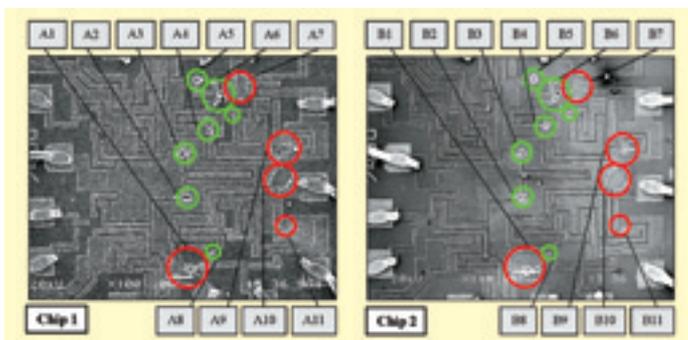
Üblicherweise sind die Bauteile jedoch bei Auftreten dieser Sekundäreffekte bereits multipel geschädigt, so dass ein normaler Betrieb ohnehin nicht mehr möglich ist.

Interessant ist die hohe Reproduzierbarkeit der Zerstörungseffekte auf Chipebene.

Noch deutlicher wird die Reproduzierbarkeit anhand der Detailaufnahmen ausgewählter Störstellen nach Abbildung 6.

Sowohl Überschlagerscheinungen wie auch Leiterbahnaufschmelzungen treten nahezu identisch auf.

Abbildung 5
Reproduzierbarkeit von Zerstörungseffekten auf Chipebene



Leiterbahnkurzschlüsse durch Schmelzprodukte auf, die zu gänzlich unerwarteten Schaltzuständen führen können.

Abbildung 5 zeigt beispielhaft zwei integrierte Schaltungen beaufschlagt mit einem identischen Feldimpuls bei gleichem Testsetup mit Zerstörungen der Stufen 1 und 2.

Zerstörungen der Stufe 1 sind grün, Zerstörungen der Stufe 2 rot gekennzeichnet. Deutlich zu erkennen ist, dass die Reproduzierbarkeit der Zerstörungen bei nahezu 100 Prozent liegt.

Zusammenfassung

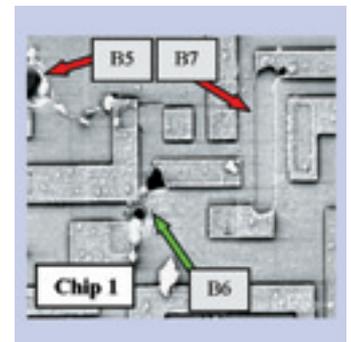
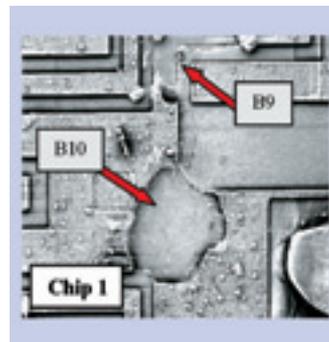
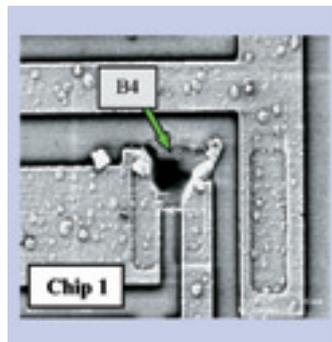
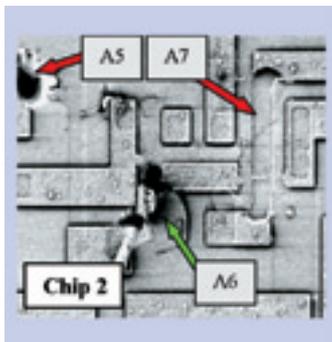
Die vollständige Erfassung und Bewertung aller relevanten Parameter bezüglich ihres Einflusses auf die Ausfallerscheinungen von Elektronikkomponenten bei Beaufschlagung mit transienten elektromagnetischen Feldimpulsen stellt eine bedeutende Aufgabe



Dipl.-Ing. Michael Camp
Jahrgang 1968, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik.



Prof. Dr.-Ing. Heyno Garbe
Jahrgang 1955, ist Universitätsprofessor am Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik.



dar. Steigende Integrationsgrade bei immer kleineren Strukturgrößen führen zum stetigen Anstieg der Empfindlichkeit integrierter Schaltungen bei wachsender Bedrohung durch neuentwickelte Impulsgeneratoren mit extrem kurzen Anstiegszeiten, hohen Impulsamplituden und kleinen physikalischen Abmessungen.

Die genaue Kenntnis der Einkopplungs- und Schadensmechanismen ist von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung wirksamer Schutztechnologien.

Speziell hinsichtlich terroristischer Aktivitäten ist durch die wachsende Abhängigkeit von Mikroelektronikkomponenten in allen Bereichen des täglichen Lebens ein hohes Gefahrenpotenzial vorhanden.

Literatur

- 1 M. Camp, H. Garbe, D. Nitsch, UWB and EMP Susceptibility of Modern Electronics, IEEE EMC 2001, Montreal, August 13-17, ISBN 0-7803-6569-0
- 2 C.D.Taylor, D.V.Giri, High Power Microwave Systems and Effects, Taylor and Francis, 1994
- 3 D.Nitsch, M.Camp, UWB and EMP Susceptibility of Modern Microprocessorboards, EMC Europe 2000, Brügge, September 2000
- 4 M.Camp, H.Garbe, D.Nitsch, »Influence of the Technology on the Destruction Effects of Semiconductors by Impact of EMP and UWB Pulses«, 2002 IEEE EMC Symposium, USA, Minneapolis 2002, August 19-23, ISBN: 0-7803-7265-6, pp.87-92
- 5 H.Garbe, M.Camp, »Susceptibility of Different Semiconductor Technologies to EMP and UWB«, XXVIIth General Assembly of the International Union of Radio Science (URSI) 2002, Niederlande, Maastricht 2002, August 17-24

Abbildung 6
Vergleich ausgewählter Störstellen