

Elektromagnetische Abstrahlung von IC und OnChip/OffChip Kopplungen

P. Kralicek*, W. John*
D. Manteuffel**, F. Gustrau**
J. Brückner***

* Fraunhofer Institut Zuverlässigkeit und Mikrointegration - ASE, Berlin/Paderborn

** IMST GmbH - Antennas & EMC, Kamp-Lintfort

*** Robert Bosch GmbH - Automotive Equipment, Reutlingen

1 Einleitung

Die Entwicklung moderner mikroelektronischer Systeme ist durch hohe Taktfrequenzen und eine wachsende Komplexität der verwendeten Schaltungs- und Gehäusestrukturen gekennzeichnet. Dies belegen z.B. die Prognosen der SIA-Roadmap [1] wonach die Taktfrequenzen im On- als auch OffChip Bereich drastisch ansteigen werden. Im Hinblick auf eine umfassende Qualifizierung des Gesamtentwurfs kommt der Analyse und Modellierung elektromagnetischer Emissionen von IC als auch der Suzeptibilität bezüglich hochfrequenter Störungen, eine besondere Bedeutung zu.

Durch die Verwendung moderner mehrlagiger Leiterplatten mit quasi-geschirmten Innenlagen rücken, speziell im höheren Frequenzbereichen, die elektromagnetischen Emissionen von IC stärker in den Vordergrund [2]. Aufgrund der Komplexität des Gesamtentwurfs ist eine vollständige Analyse der Abstrahlung mit numerischen Verfahren in der Regel nicht, oder nur für einzelne Teilstrukturen möglich. Im Rahmen dieser Veröffentlichung werden deshalb geeignete Analyse- und Meßverfahren sowie Modelle präsentiert, welche eine Charakterisierung und Modellierung der elektromagnetischen Emissionen von IC erlauben. Auf dieser Basis besteht die Möglichkeit den parasitären Einfluß bereits während der Entwurfsphase zu berücksichtigen.

Neben den elektromagnetischen Emissionen gewinnt auch die Störfestigkeit immer mehr an Bedeutung, da die IC aufgrund der immer kleiner werdenden Halbleiterstrukturen und höheren Transitfrequenzen zunehmend empfindlicher gegenüber elektromagnetischer Störenergie werden. Für leitungsgebundene HF-Störsignale, die z.B. bei Kraftfahrzeugen über den Kopplungsweg "Kabelbaum-Leiterplatte-IC-Pin" in den Chip gelangen, können durch den Einsatz geeigneter Meß- und Simulationswerkzeuge bereits in der Designphase Pin- bzw. baugruppenspezifische Störfestigkeitsanalysen durchgeführt werden, deren Ergebnisse zu verbesserten EMS-Eigenschaften (EMS: Elektromagnetic Susceptibility) von IC und Gesamtsystem führen.

2 Simulation und Modellierung der Abstrahlung

Feldsimulationen komplexer Anordnungen, wie sie z.B. eine Leiterplatte oder ein HDP (High-Density-Package) darstellen, erfordern eine gewissenhafte Modellierung der einzelnen Strukturelemente. Zum einen sollte das wesentliche Verhalten des Systems erfaßt, zum anderen aber nicht zu viele (redundante) Details in die Modellierung mit einbezogen werden, welche die Komplexität des Problems explodieren lassen. Während für Leiterbahnstrukturen bereits vereinfachende Ansätze wie z.B. Leitungstheorie [3] oder Stromfadenmodellierung [4] erfolgreich verwendet werden, wird der Einfluß von IC im Hinblick auf die elektromagnetischen Emissionen des Gesamt-

systems weitgehend vernachlässigt. In der Regel werden IC lediglich mit Hilfe von Modellen aus konzentrierten Elementen oder Makromodellen repräsentiert. Eine vollständige Analyse, welche neben den leitfähigen Strukturen auf der Leiterplatte auch die IC umfaßt, ist aufgrund der hohen Komplexität und detaillierten Strukturen im IC bzw. Package mit heutigen Analyseverfahren kaum möglich. Um dieses Problem zu umgehen wird im folgenden eine Methodik vorgestellt, welche eine Miteinbeziehung von Emissionen integrierter Schaltungen in Abstrahlungssimulationen auf PCB- bzw. Systemebene ermöglicht.

Im quellenfreien Raum läßt sich das elektromagnetische Feld durch eine Überlagerung auslaufender sphärischer Wellen, dem sogenannten Multipol, beschreiben [5]. Für den Hertzschen Vektor gilt dabei folgende Reihendarstellung

$$\begin{pmatrix} \vec{\Pi}^e \\ \vec{\Pi}^h \end{pmatrix} = \frac{j/k}{j/Z_0 k} \sum_{l=0}^{\infty} h_l(kr) \sum_{m=0}^l P_l^m(\cos\vartheta) \cdot \begin{pmatrix} A_{l,m}^e \sin m\varphi + B_{l,m}^e \cos m\varphi \\ C_{l,m}^h \sin m\varphi + D_{l,m}^h \cos m\varphi \end{pmatrix} r \vec{e}_r \quad (1)$$

mit $k = \omega\sqrt{\mu\epsilon}$ und den komplexen frequenzabhängigen Koeffizienten (Modellparametern) $A_{l,m}^e$, $B_{l,m}^e$, $C_{l,m}^h$ und $D_{l,m}^h$. Entsprechend gilt für das elektrische und magnetische Feld:

$$\vec{E} = \nabla \times \nabla \times \vec{\Pi}^e - j\omega\mu \nabla \times \vec{\Pi}^h \quad \vec{H} = \nabla \times \nabla \times \vec{\Pi}^h + j\omega\epsilon \nabla \times \vec{\Pi}^e \quad (2)$$

Im Gegensatz zur bisherigen Verwendung von Multipolen in der analytischen Berechnung elektromagnetischer Felder kugelsymmetrischer Anordnungen und der numerischen Feldberechnung [6] werden sie an dieser Stelle zur Modellierung eines gemessenen bzw. durch Simulation bestimmten Feldes eingesetzt. Wie bereits in [7] und [8] gezeigt wurde, ist dies in guter Näherung mit wenigen Modellparametern möglich.

Ziel dieser Arbeit ist es die entwickelte Modellierungsmethodik anhand eines komplexeren Beispiels zu verifizieren. Hierfür wurde ein 64 pinniges Keramikpackage der Firma Kyocera verwendet, bei dem je zwei gegenüber liegende Leadframe-Enden mit Bonddrähten verbunden wurden. Diese einfache Anordnung ohne DIE wurde benutzt, um grundsätzliche Fragen bezüglich der Modellbildung von IC für Abstrahlungssimulationen zu klären. Abbildung (1) zeigt das Package sowie das verwendete Simulationsmodell mit berechneter Stromverteilung bei 900MHz (Anregung durch eine Spannungsquelle).

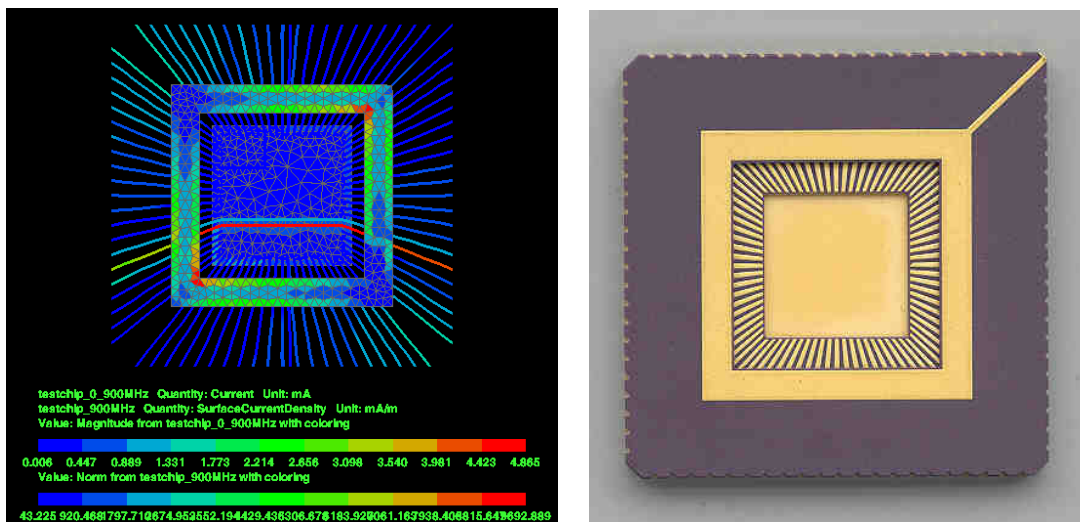


Abbildung 1. Simulationsmodell (links) mit Stromverteilung bei 900MHz des 64 pinnigen Kyocera Testpackages (rechts)

Im Rahmen dieser Veröffentlichung soll neben der Bestimmung der Modellparameter auch die Integration bzw. Anwendung der entwickelten Modelle in einem System-Level Werkzeug [9] gezeigt werden.

3 Charakterisierung des Emissionsverhaltens mittels Nearfield-Scans

Zur Validierung der oben beschriebenen numerischen Modellierungstechnik, sowie zur Parametrisierung der endgültigen Multipolmodelle in Bezug auf komplexe Chipkomponenten wird ein geeignetes Meßverfahren benötigt. Dieses Verfahren muß in der Lage sein, das elektromagnetische Nahfeld eines kompakten Multichipmoduls mit ausreichender Genauigkeit und räumlicher Auflösung hinsichtlich aller Feldkomponenten zu messen [10]. Das hier vorgestellte Verfahren verwendet miniaturisierte Feldsonden, die mittels eines planaren Scanners einen Bereich des Nahfeldes des Multichipmoduls erfassen können. In dieser Hinsicht werden neue Konzepte miniaturisierter Feldsonden vorgestellt und ein geeignetes Verfahren zu deren Kalibrierung abgeleitet. Die Entwicklung basiert auf analytischen Ansätzen, sowie auf numerischen Simulationen mittels des Verfahren der Finiten Differenzen im Zeitbereich (FDTD).

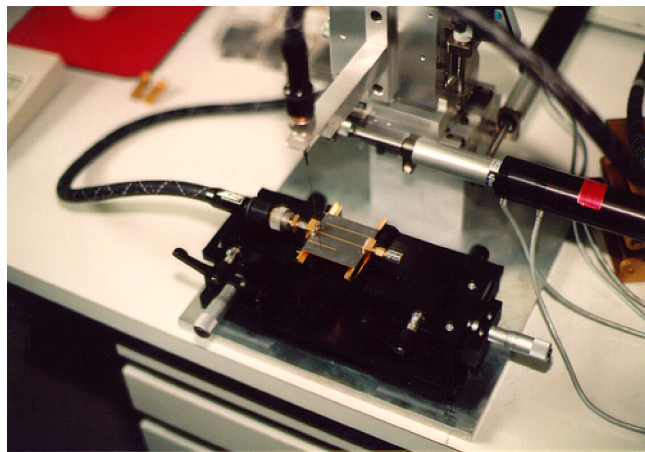
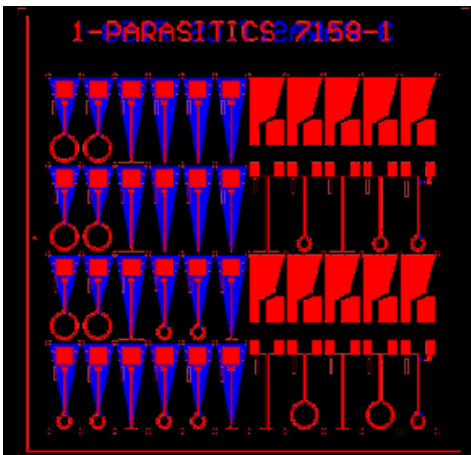


Abbildung 2. Layout der miniaturisierten Nahfeldsonden und Nahfeldscanner mit Positioniereinrichtung des DUT

Die Eignung der Sonden in Bezug auf Feldselektivität, Polarisationsreinheit und ausreichende Sensitivität wird anhand von Messungen an Teststrukturen vorgestellt, die zuvor simulationstechnisch untersucht wurden. Durch messtechnische Parametrisierung erstellte Multipolmodelle könnten zukünftig zur Berücksichtigung der Strahlungsanteile von Komponenten in System- und PCB-Level Simulatoren eingesetzt werden.

4 Störfestigkeitsanalyse für leitungsgebundene Störungen

Die Störfestigkeitsanalyse von IC-Baugruppen gegenüber leitungsgebundener Stör-HF kann zum einen durch EMS-Messungen mit Hilfe einer geeigneten Meßtechnik [11] und zum anderen durch EMS-Schaltungssimulationen im Zeitbereich erfolgen. Voraussetzung für Störfestigkeitsanalysen durch Schaltungssimulation sind zum einen geeignete Schaltungssimulationswerkzeuge und zum anderen eine Meßtechnik, mit der sich die Simulationsergebnisse in der Praxis überprüfen lassen. Die Simulation erfolgt dabei mit einem parametrisierten Meßplatzmodell in einer geeigneten Charakterisierungsumgebung. Somit lassen sich die gemessenen Störfestigkeitskennlinien (HF-Leistung über Frequenz) mit den simulierten Kennlinien vergleichen. Die durch Messungen gewonnenen Erkenntnisse (kritische Pins/Baugruppen, Störpfad, Störsecke, Störklasse) können durch gezielte EMS-Simulationen weiter vertieft werden. Ungenügende Störfestigkeitswerte sind dabei meist auf Chipinterne Verkopplungen und Demodulationseffekte an Eingangsimpedanzen zurückführbar. In diesem Beitrag wird exemplarisch die Störfestigkeitsanalyse eines CAN-Treibers beschrieben.

Literatur

- [1] SIA-Semiconductor Industry Association. The National Technology Roadmap for Semiconductors, 1997.
- [2] S.Criel, F.Bonjean, R.De Smedt, J.De Moerloose, L. Martens, F. Olyslader, D. De Zutter. Accurate Characterization of Some Radiative EMC Phenomena at Chip Level, Using Dedicated EMC-testchips. In *IEEE EMC Symposium, Aug. 24-28, Denver CO (USA), 1998.*
- [3] F. Sabath; H. Garbe. The Analysis of PCB Layout Using a Hybrid MoM-MTL Method. In *Proceedings of the 1998 IEEE International EMC-Symposium, Denver, USA, August 1998.*
- [4] R. F. Harrington. *Field Computation by Moment Methods.* IEEE Press, New York, 1993.
- [5] J. A. Stratton. *Electromagnetic Theory.* McGraw-Hill Book Company, 1941.
- [6] C. Hafner. *The Generalized Multipole Technique for Computational Electromagnetics.* Artech House Inc., Boston, 1990.
- [7] P. Kralicek, W. John, H. Garbe, H. Reichl. Konzept zur Analyse und Modellierung des elektromagnetischen Feldes von integrierten Schaltungen bei hohen Taktfrequenzen. In *Analog '99, 5. ITG/GMM Diskussionsitzung, Muenchen, 1999.*
- [8] P. Kralicek, H. Garbe, W. John. Modellierung der Abstrahlung von integrierten Schaltungen zur Systemanalyse. In *EMV 2000, 8. Internationale Fachmesse und Kongress fuer Elektromagnetische Vertraeglichkeit, Duesseldorf, 2000.*
- [9] S. Öing; W. John; M. Künne. Radiation and Irradiation Effects on Printed Circuit Boards Calculated with an Extended EMC-Workbench. In *Proceedings of the '1994 International Symposium on Electromagnetic Compatibility', pages 48-51, Sendai, Japan, 1994.*
- [10] D. Manteuffel, Y. Gao. Konzeptionierung eines Feldsondenmeßplatzes zum EMV-gerechten Design von Chip/Multichipmodulen. In *Analog '99, 5. ITG/GMM Diskussionsitzung, Muenchen, 1999.*
- [11] J. Brückner. EMV von ICs: Störfestigkeitsmeßverfahren mit kapazitiver HF-Einkopplung in IC-Pins. In *Analog '99, 5. ITG/GMM Diskussionsitzung, Muenchen, 1999.*

Die Arbeiten zu diesem Thema werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter den Kennzeichen 01 M 3034 H, 01 M 3034 A und 01 M 3034K im Rahmen des Projekts PARASITICS - *Parasitäre Effekte in integrierten Schaltungen* - gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein bei den Autoren.