

IC-Scanner mit drehbar gelagerter Sonde, Test-IC und Feldverteilung

## Anwendung von Microsonden auf IC-Ebene für H- und E- Feld

### Einleitung

IC-Störaussendungen hängen hauptsächlich mit IC-Nahfeldern zusammen. Für die IC-Entwicklung wäre es von Vorteil, diese Felder nachweisen und darstellen zu können. Das erfolgt üblicherweise mit Nahfeldsonden. Die kleinsten verfügbaren Nahfeldsonden, die für die Untersuchung elektronischer Baugruppen entwickelt werden, haben derzeit Größen im Bereich von 1 bis 2 mm. Diese Auflösung reicht nicht für die Untersuchung an ICs aus. ICs besitzen feinere Leitungsnetze. Die Untersuchung von ICs bezogen auf PIN, Bonddraht, Leadframe oder Chip kann nur mit Microsonden im  $\mu\text{m}$ -Bereich verwirklicht werden.

In den folgenden Ausführungen werden Untersuchungsergebnisse von Sonden mit einem Durchmesser von  $150\ \mu\text{m}$  vorgestellt. Durch Messungen an Gleich- und Gegentaktmodellen werden Eigenschaften und Auflösung der Sonden näher betrachtet. An einem Beispiel-IC wird ein Vergleich zwischen direkter Strom- und Nahfeldmessung durchgeführt.

### Messmittel: Microsonden

Praktische Erfahrungen aus der EMV-Messtechnik zeigen, dass neben dem magnetischen auch das elektrische Feld Bedeutung besitzt. Eine getrennte Erfassung und somit Betrachtung der Felder wird mit feldspezifischen Sonden ermöglicht.

In diesen Nahfelduntersuchungen werden für das H-Feld die Sonden ICRH-S und ICRH-H verwendet. Die Messspule der H-Feldsonden hat einen Innendurchmesser von ca.  $150\ \mu\text{m}$  sowie einen Außendurchmesser von ca.  $250\ \mu\text{m}$ . Der Unterschied zwischen beiden Sonden besteht in der Ausrichtung der Spule: ICRH-S vertikal und ICRH-H horizontal. Weiterhin sind beide gegen E-Feld geschirmt. Die E-Felddämpfung beträgt ca. 20 dB. Die in der Spule induzierte Spannung wird sondenintern mit 30 dB verstärkt. Der Messbereich erstreckt sich von 16 kHz bis 3 GHz.

Das E-Feld wird mit der Sonde ICRE gemessen. Die Messung des E-Feldes erfolgt mit einem Sondenkopf der Größe  $150 \times 35 \mu\text{m}$ . Die E-Feldsonde arbeitet mit dem gleichen Verstärker und Messbereich wie die H-Feldsonden ([www.langer-emv.de/produkte/IC-Nahfeldsonden.htm](http://www.langer-emv.de/produkte/IC-Nahfeldsonden.htm)).

### Nahfeldmessungen am $25 \mu\text{m}$ -Rundleiter, an runden Doppelleitern und am IC

Mit den Feldsonden ICRH-S, ICRH-H und ICRE wird das Nahfeld zuerst an einem Rundleiter und dann an zwei runden Doppelleitern mit unterschiedlichen Höhen der Sonden über dem Rundleiter und den Doppelleitern gemessen. Der Übertragungsfaktor kann am Rundleiter bestimmt werden. Diese Messungen sind bezogen auf den horizontalen, den vertikalen Abstand und den durch den Rundleiter fließenden Strom. Geführt werden die Sonden durch den Scanner IC S 103.

#### Messung an einem Rundleiter

Am Rundleiter werden die Übertragungsfaktoren im Frequenzbereich von 16 kHz bis 3 GHz ermittelt. Folgende Parameter liegen der Messung zugrunde: der Rundleiter hat einen Durchmesser von  $25 \mu\text{m}$  und einem Abschluss von 50 Ohm. Der Fußpunkt der Sondenspule ist in einer Höhe von  $20 \mu\text{m}$  über dem Rundleiter justiert. Die Speisung des Rundleiters erfolgt mittels Tracking-Generator des Spectrum-Analyzers R3132 mit  $107 \text{ dB}\mu\text{V}$  ( $0 \text{ dBm}$ ). Jede weitere Messung an dem Rundleiter und an den Doppelleitern wird mit dieser Speisung durchgeführt. Es wird eine Schrittweite von  $0,05 \text{ mm}$  für die Messung der Übertragungskennlinien eingestellt. Die Kennlinien für ICRH-S, ICRH-H und ICRE sind unter [www.langer-emv.de/produkte/IC-Nahfeldsonden.htm](http://www.langer-emv.de/produkte/IC-Nahfeldsonden.htm) abgebildet. Bild 1 stellt die Ausdehnung des H-Feldes dar: induzierte Spannung in Abhängigkeit vom seitlichen Abstand zum Rundleiter.

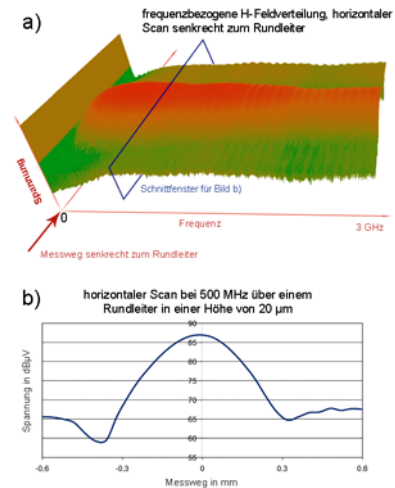


Abbildung 1 Feldverteilung an einem Rundleiter

#### Messungen an der Nachbildung benachbarter Leitungen

Um die Auflösung und das Verhalten der Sonden genauer zu analysieren, werden die Felder zweier paralleler Leiter (Doppelleiter) gescannt. Die Leiter werden mit Gegen- oder Gleichtaktstrom betrieben und im Abstand variiert. Zusätzlich wird die Abhängigkeit des Feldes von der vertikalen Messposition untersucht. Die schematische Darstellung des Aufbaus und seiner Variationen ist in Bild 2a dargestellt. Die Sonde erfasst messbare Unterschiede zwischen den Feldern der Leitungen in Abhängigkeit der Höhe.

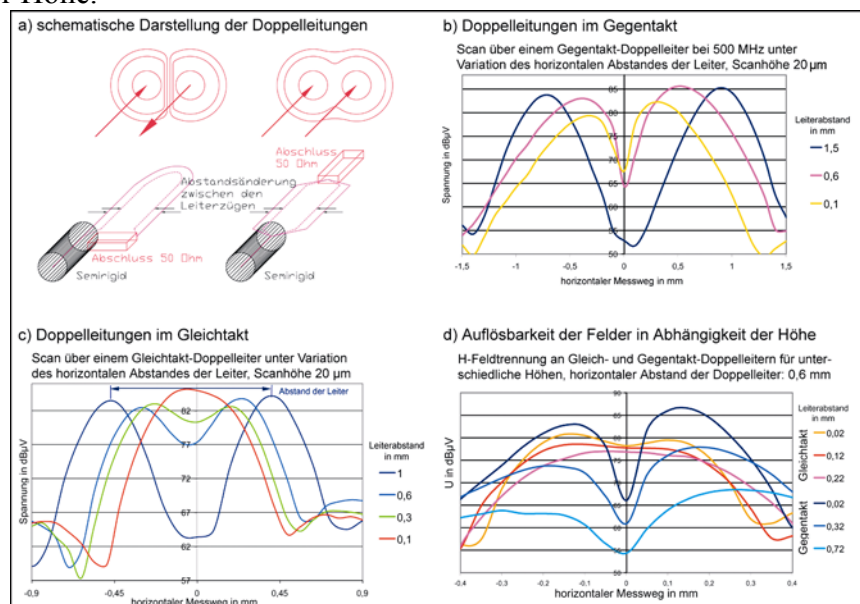


Abbildung 2 Feldverteilungen an Doppelleitern

### Messung Gegentaktleitung

In Bild 2b ist die Abstandsänderung zwischen den Doppelleitern im Gegentakt und einem Sondenabstand von  $20\ \mu\text{m}$  über den Doppelleitern dargestellt. Anhand der gemessenen Maxima kann sehr leicht der eingestellte Abstand der Leiter abgelesen werden. Selbst bei einem Abstand von  $0,1\ \text{mm}$  zwischen den Doppelleitern kann jeder Rundleiter noch eindeutig identifiziert werden. Bezieht man die Höhe der Sonde über den Doppelleitern ein, so kann festgestellt werden, dass mit zunehmender Höhe die Unterscheidung zwischen den Rundleitern weiter gegeben ist, Bild 2d. Diese Messanordnung entspricht Stromschleifen auf dem DIE von ICs.

### Messung Gleichtaktleitung

In Bild 2c ist die Abstandsänderung zwischen den Doppelleitern im Gleichtakt und einer Höhe von  $20\ \mu\text{m}$  zu sehen. Das Maximum kann wieder als Indikator für den eingestellten Abstand verwendet werden. Verringert sich der Abstand zwischen den Doppelleitern auf weniger als  $0,3\ \text{mm}$ , verschmelzen beide Magnetfelder zu einem. Bezieht man die Höhe der Sonde über dem Doppelleiter ein, kann festgestellt werden, dass die Unterscheidung bei einem Abstand von  $0,6\ \text{mm}$  zwischen den Doppelleitern schon ab einer Höhe von  $0,2\ \text{mm}$  nicht mehr möglich ist, Bild 2d.

### Messung an einem Beispiel-IC

Für die Messungen am IC (64-PIN QFP) wird eine anwendungsnahe Beschaltung vorgenommen. Das E-Feld im Bereich der PINs 53 bis 59 wird mit der Sonde ICRE gemessen. Im Frequenzbereich von  $10$  bis  $1000\ \text{MHz}$  liegt das E-Feld im Rauschen. Es nimmt damit auf die H-Feldmessungen in diesem Beispiel keinen Einfluss.

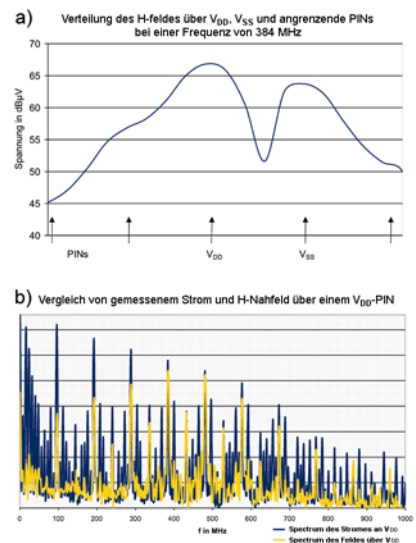
Messungen mit der ICRH-S über PIN 53 bis 59 zeigen, dass über dem  $V_{DD}$ -PIN die gemessenen Spektren ein Maximum erreichen. Zwischen  $V_{DD}$  und  $V_{SS}$  ist eine Einschnürung zu erkennen, Bild 3a. Anhand der Gegentaktmessungen an den Doppelleitern kann geschlussfolgert werden, dass die Störung aus dem  $V_{DD}$  PIN über den Blockkondensator in den  $V_{SS}$  PIN fließt und somit ein Gegentaktssystem darstellt. Der Feldverlauf über den weiteren PINs wird vom Streufeld verursacht. Um die erzielten Ergebnisse der H-Feldmessung vergleichen zu können, wird der Strom am  $V_{DD}$ -PIN gemessen. Die Messung des Stromes muss sehr niederimpedant erfolgen, damit die Strommessung nicht verfälscht wird. Es wird der Strommesser Probe 622 verwendet. Er hat einen Innenwiderstand von  $1\ \Omega$  und ist damit für die Messung an den PINs der

Spannungsversorgung geeignet (Datenblatt: [www.langer-emv.de/produkte/prod\\_hf.htm](http://www.langer-emv.de/produkte/prod_hf.htm)).

Die direkte Messung des Stromes ergibt ein breit gefächertes Spektrum; dunkelblaue Kurve in Bild 3b. Werden die Spektren der Strom- und der Feldmessung miteinander verglichen, so ist deutlich ein Zusammenhang zu erkennen.

In einer zusätzlichen Oberflächenmessung mit dem Scanner ICS 103 wird die H-Feldverteilung mit der ICRH-H über dem Chip bestimmt. In Bild 4 ist die Verteilung des H-Feldes bei  $384\ \text{MHz}$  dreidimensional dargestellt. In diesem 3D-Diagramm kann die Feldstärke in Abhängigkeit des Ortes betrachtet werden. Rechts oben ist ein großer Bereich hoher Feldstärken zu erkennen. Hier befindet sich auch der Anschlussbereich zu den betrachteten

Versorgungs-PINs. Aufgrund des größeren Abstandes zu den Bonddrähten als in den vorangegangenen Messungen direkt über den PINs, sind geringere Feldstärken in Form von geringeren induzierten Spannungen vorhanden. Im Bereich des  $V_{DD}$ -PINs ist ein hellroter und orangener Bereich höchster Feldstärken zu finden. Die gelben Bereiche stellen das Feld über den Leitungen zu/ von den anderen Versorgungs-PINs dar.



**Abbildung 3 Ergebnisse an den Versorgungs pins**

Die Messungen der Spektren der Ströme an den weiteren Versorgungs-PINs bestätigten, dass die Spektren des Feldes über dem IC mit dem des Stromes korrelieren. Mit diesen Messungen des H-Feldes ist es möglich, den Stromlaufpfaden auf dem IC im Nahfeld zu folgen.

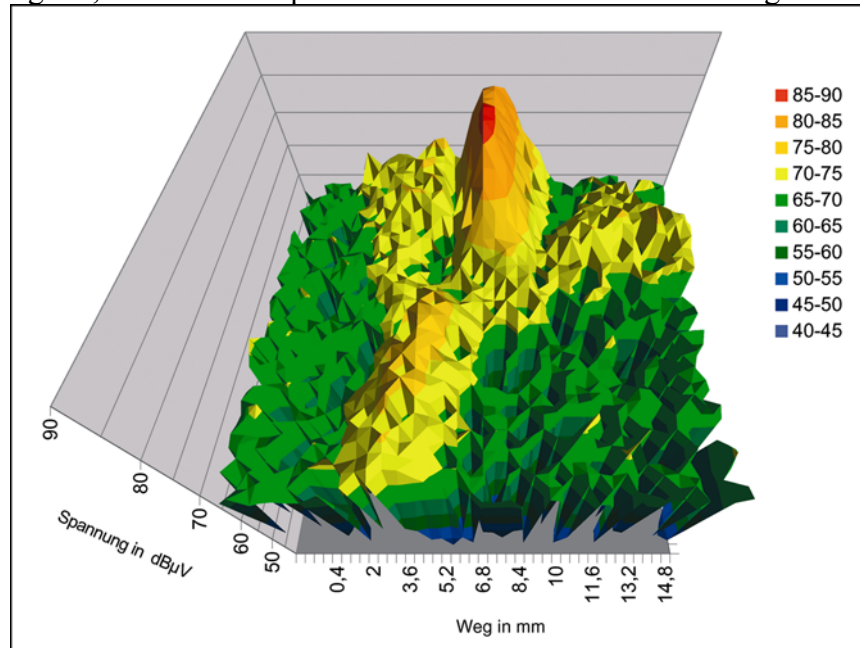


Abbildung 4 3D-H-Feldverteilung über dem IC bei  $f = 384$  MHz

### Zusammenfassung

Anhand der Messungen an der Nachbildung benachbarter PINs in Form von Doppelleitern zeigt sich, dass eine Abschätzung von zu erwartenden Feldern unterteilt in E- und H-Feld möglich ist. Innerhalb kurzer Zeit und mit reproduzierbaren Positionen können Messungen im Nahfeldbereich durchgeführt werden. Unter der Beachtung der Parameter wie Abstand (Seite/Höhe), Schrittweite und anliegender Feldstärken können unterschiedlich feine Strukturen aufgelöst und getrennt nach Feldart gemessen werden. Auflösungen im 100  $\mu\text{m}$ -Bereich lassen einen genauen Einblick über Verteilung und Stärke von Feldern und deren möglichen Störaussendungen zu.

Am IC lassen sich Übereinstimmungen von Strom- und Feldmessung ermitteln. Als Ergebnis dieser Messung kann das Spektrum und der Wirkungsbereich extrahiert werden. Am Beispiel des Versorgungs-PINs ist erkennbar, dass Unterscheidungen zwischen einzelnen PINs in Abhängigkeit der Feldrichtung möglich sind. Damit sind wichtige Hilfsmittel für die IC-Entwicklung gegeben. Über und an kleinen Strukturen, wie an offenen DIES, lassen sich mit Hilfe der Microsonden sowohl das E- als auch das H-Feld getrennt bestimmen. Durch die Messung des H-Feldes können die Stromlaufpfade des IC im Nahfeld verfolgt werden.

Werden IC-Muster verschiedener Entwicklungsstufen ausgemessen, so ist es dem Designer möglich, die Auswirkung seiner Änderung am IC im Nahfeldbereich zu messen und zu bestimmen. Damit können während des Entwicklungsprozesses Rückschlüsse gezogen und Änderungen in der laufenden Entwicklung vorgenommen werden. Diese Sonden eröffnen neue Möglichkeiten im Bereich der IC-Technik.