IC-EMV-Parameter: Wirkmechanismen der Störaussendung

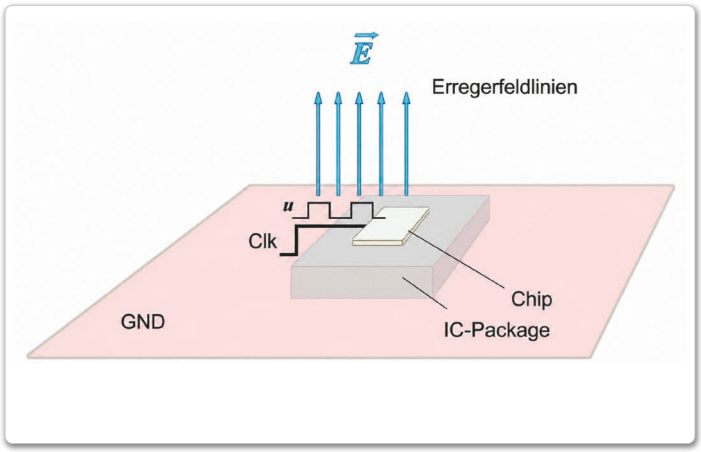

Bild 1: E-Erregerfeld-Auskopplung aus einem IC

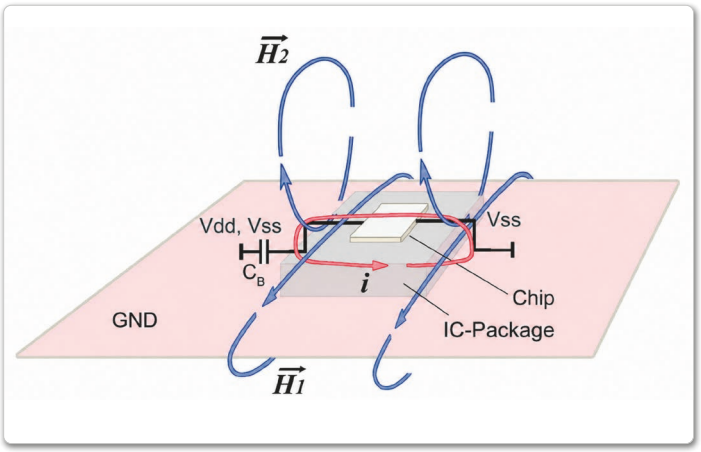

Bild 2: H-Erregerfeld-Auskopplung

Der Fachbeitrag zeigt, wie neue IC-Testmethoden und definierte IC-Parameter helfen, Emissionsrisiken frühzeitig zu erkennen und Baugruppen gezielt zu optimieren.

Das Störaussendungsverhalten eines ICs und die damit verbundene Emission einer Flachbaugruppe sind für Baugruppenentwickler oder EMV-Ingenieure nur mit hohem Aufwand vorhersehbar. Werden EMV-Schwachstellen in und um ICs zu spät erkannt, können sie aufwendige und kostspielige Nachentwicklungen verursachen.

Immer mehr IC-Hersteller prüfen daher, ob die Messergebnisse neuer IC-Tests einen Mehrnutzen für IC-Anwender schaffen und damit zu einer höheren Kundenzufriedenheit beitragen. Dabei werden IC-Parameter definiert, die den Einsatz eines ICs in einer Elektronik trotz hoher Komplexität weiter erleichtern. Gerade in automobilen Baugruppen ist der IC häufig die Hauptquelle für Emissionen.

Langer EMV-Technik GmbH
mail@langer-emv.de
www.langer-emv.de

IC-Nahfelder

Integrierte Schaltkreise geben aufgrund ihrer inneren Schaltvorgänge elektrische und magnetische Nahfelder ab. Diese Felder entstehen im Inneren eines ICs durch Ströme und Spannungen. Die komplexen Netzwerke eines ICs erzeugen dabei eine Vielzahl solcher Felder.

Die größten Oberflächen für die E-Feld-Abgabe und die größten Stromschleifen für die induzierte Erregerspannung befinden sich im Pin-, Leadframe- und Bonddrahtbereich. Dabei ist zu beachten, dass Pins mit statischen bzw. quasi-statischen Signalen durch interne parasitäre Überkopplung HF tragen können.

An inneren Metallteilen eines ICs können HF-Spannungen gegen GND anstehen. Diese Spannungen erzeugen elektrische Felder zwischen dem Metallteil und dem GND-System der Flachbaugruppe.

Die meisten Feldlinien erreichen auf kurzem Weg das GND-System. Wenige treten senkrecht nach oben aus und führen weit in den umgebenden Raum (Bild 1). Diese Feldlinien sind die für eine EMV-Betrachtung interessierenden Erregerfeldlinien. Sie erzeugen einen Verschiebestrom.

Der daraus ableitbare Ladestrom kann auf benachbarte Metallteile überkoppeln und das Metallsystem als Antenne anregen. Ein solches benachbartes Metallteil kann z.B. ein Kabelbaum, eine Lenksäule, eine Hutschiene und vieles mehr sein.

In Stromschleifen nahe des GND erzeugte Magnetfelder, wie z.B. V_{dd}-V_{ss}-Schleifen, werden in zwei Anteile H1 und H2 zerlegt, wie in Bild 2 dargestellt. Feld H2 bildet sich am IC-internen Stromleiter und schließt sich im Raum oberhalb eines ICs. Das Magnetfeld H2 ist das bedeutend stärkere magnetische Nahfeld. Seine wirksame Reichweite beträgt ca. 10 cm. Die weitere Umgebung vermittelt den Übergang in das Fernfeld im Meterbereich. Wenn das Feld H2 einen metallischen Leiter umfasst, wird in ihm eine HF-Spannung induziert. Diese Spannung kann den Leiter zu einer Störaussendung anregen. Diese Leiter können die gleichen Metallteile sein wie bei der vorangegangenen E-Feld-Kopplung.

Das Magnetfeld H1 ist das schwächere Magnetfeld. Es umschließt jedoch die Metallplane der Flachbaugruppe und ist damit für EMV-Betrachtungen am wichtigsten.

Das Wissen über Stärke und Richtung der Magnetfelder eines ICs bildet die Grundlage für die Erarbeitung eines EMV-gerechten Designs elektronischer Flachbaugruppen.

Die E-/H-Feld-gebundene sowie die leitungsgebundene Strom- und Spannungsauskopplung sind IC-spezifische Größen und als Parameter vorab messbar. Sind diese Parameter bekannt, kann der IC-Anwender bereits in der Projektplanung EMV-Maßnahmen vorsehen.

Messung der IC-Nahfeld-Auskopplung

Die Netzwerke in einem IC sind so komplex, dass eine vollständige Beschreibung aller wirkenden Ströme, Spannungen sowie elektrischen und magnetischen Feldkopplungen in der praktischen Anwendung kaum möglich ist. Für die messtechnische Bewertung ist es daher sinnvoll, sich auf die wesentlichen Parameter zu beschränken.

Für die Aussendung sind die leitungsgebundenen hochfrequenten Ströme und Spannungen sowie der magnetische und elektrische Feldfluss von Interesse.

Strom- und Spannungsmessung an den Pins (IEC 61967-4)

Ein Zweipol wird mit Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom charakterisiert.

Eine maximale Störaussendung entsteht durch maximale Spannung, die ein maximales E-Feld erzeugt, oder durch maximalen Strom, der ein maximales H-Feld erzeugt. Eine HF-Leerlaufspannungs- und HF-Kurzschlussstrommessung für die physikalische Charakterisierung eines ICs ist damit sinnvoll.

An den HF-Strommesser werden hohe Anforderungen gestellt, insbesondere an die Wahl des Shunt-Widerstands. Ein Shunt von 1 Ohm ist für bestimmte Anwendungen ausreichend. Bei Versorgungsspannungen unter 5 V kann sich jedoch ein Shunt von 0,1 Ohm besser eignen.

Ein weiterer Parameter eines HF-Strommessers ist seine innere Induktivität und ihr Verhältnis zur Schleifeninduktivität des Schaltkreises. Wenn in einem IC mehrere Versorgungspins intern HF-technisch verbunden sind und einer dieser Pins mit einem Strommesser mit zu hoher Induktivität kontaktiert wird, kann der HF-Strom aufgrund der Impedanzerhöhung auf andere Pins ausweichen und die Messung verzerren. Deshalb muss der gesamte Messaufbau eine extrem geringe Induktivität besitzen. Bei einer angenommenen Schleifeninduktivität eines ICs von 10 nH darf die interne Induktivität des Strommessers maximal 1 nH betragen.

Der Aufbau des Messgeräts bestimmt ebenfalls das Verhalten bei der Strommessung. Eine Messung auf stehenden Strom- oder Spannungswellen muss vermieden werden. Aus dem Frequenzbereich für die Messbandbreite von 10 kHz bis 3 GHz lässt sich bei 3 GHz eine Wellenlänge von ca. 10 cm ableiten. Die Messstrecke und der IC teilen sich eine entsprechend kleinere Länge, sodass die Messstrecke unter Umständen in einem sehr kleinräumigen Aufbau realisiert werden muss (Bild 3).

Der Aussendungsmechanismus über eine E- und H-Feldanregung benachbarter Metallteile wirkt nur im Abstand kleiner als eine halbe Wellenlänge. Wenn in diesem Abstand zum IC kein Metall vorhanden ist, dominiert der physikalische Effekt der direkten Aussendung.

Nahfeldmessung über IC (IEC TS 61967-3)

Die Messung der räumlichen Amplituden-Frequenz-Charakteristik elektromagnetischer Aussendungen erfordert eine Architektur des IC-Test-Systems, die folgende Komponenten umfasst: Neben einem Spektrumanalysator sind dies Nahfeldmikrosonden, ein Positioniersystem sowie Software zur Steuerung des gesamten Messablaufs im IC-Test-System und zur Datenauswertung.

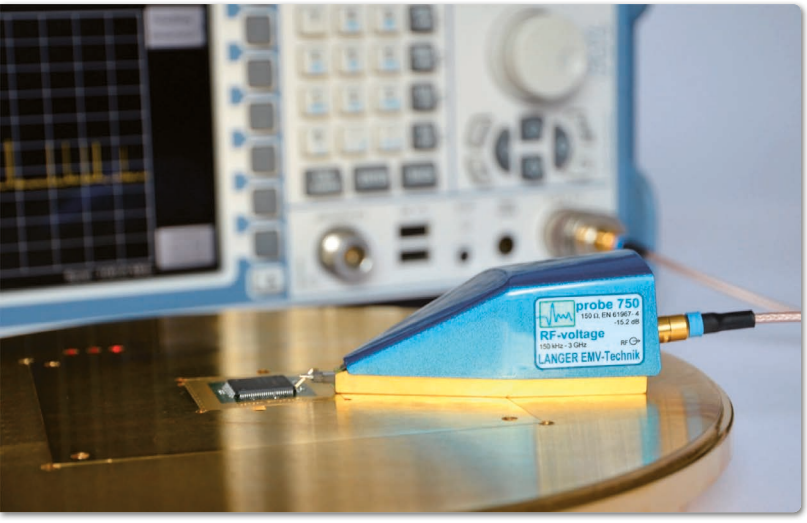

Bild 3: Messplatz i/u am Pin (IEC 61967-4)

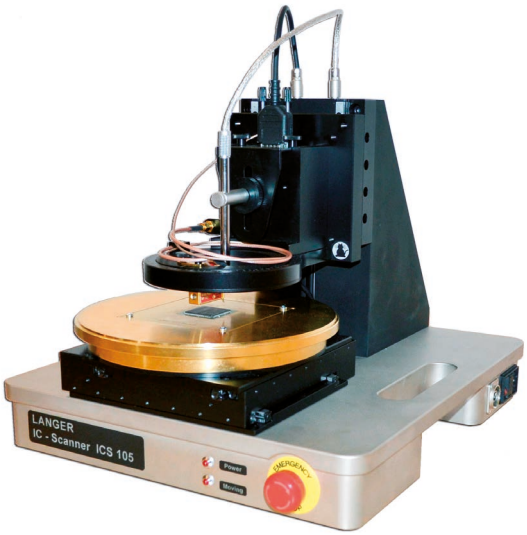

Bild 4: Surface-Scan-Messplatz (IEC 61967)

Zur vollständigen Erfassung der EMV-Emissionen von ICs sind drei Arten von Nahfeldsonden und ein mindestens vierachsiges Positioniersystem für die Mikrosonden erforderlich. Benötigt werden eine E-Feld-Sonde zur Messung des elektrischen Feldes und zwei H-Feld-Sonden zur Messung des magnetischen Feldes. Die beiden Magnetfeldsonden unterscheiden sich in ihrer Polarisationsebene: eine H-Feldsonde mit horizontaler und eine mit vertikaler Polarisierung. Mit diesem Set sind alle Feldkomponenten der EMV-Emissionen über dem IC erfassbar.

Das Positioniersystem platziert die Mikrosonden und ermittelt die Raumkoordinaten des elektromagnetischen Feldes. Physikalisch bedingt hat die vertikal polarisierte H-Feldsonde zwei Nullstellen in ihrer Richtcharakteristik. Die in der Ebene der Vertikalsonde liegenden Feldkomponenten werden nur durch Drehung der vertikalen Feldsonde erfasst.

Als Positioniersystem kommt somit ein mindestens vierachsiges IC-Test-System mit x-, y-, z- und einer Rotationsachse zur Anwendung.

Bild 4 zeigt eine prinzipielle Anordnung des IC-Testsystems für die Messung nach der Surface-Scan-Methode gemäß IEC 61967. Die Nahfeldmikrosonden sind aktive Sonden und liegen in ihren Abmessungen im Bereich von 0,1 bis 0,5 mm. Aufgrund ihrer Konstruktion ermöglichen sie die getrennte Untersuchung elektrischer und magnetischer Emissionen an IC- und Die-Oberflächen, Bonddrähten und Pins.

Die Auflösung und Empfindlichkeit der Sonden erfordern ein präzises Positioniersystem, das die Sonden punktweise im Messvolumen bewegt. Die eigentliche E- und H-Feld-Sonde ist als Sondenkopf an der Sondenspitze angeordnet.

Der Anwendungsbereich der IEC 61967-1 von 150 kHz bis 1 GHz wird mit diesen Sonden vollständig abgedeckt und überschritten.

Das IC-Testsystem der Langer EMV-Technik GmbH kann alle Typen von Mikrosonden und größere Nahfeldsonden aufnehmen. Diese werden durch das vierachsige Positioniersystem ICS 105 punktweise im Messvolumen bewegt. Die Positionskontrolle der Sondenspitze erfolgt über ein Digitalmikroskop. Die kleinste Schrittweite des Positioniersystems beträgt 10 µm. Allerdings bestimmt die Messauflösung der Nahfeldsonden die sinnvolle Schrittweite für die vollständige IC-Messung.

Volumen-Scan über IC

Bild 5 zeigt das Messergebnis eines Volumenscans über den IC, aufgenommen mit der Software ChipScan der Langer EMV-Technik GmbH.

Das Messvolumen beträgt in diesem Fall 11 x 11 x 1,6 mm über einem IC mit 44 Pins. Die Lokalisierung der Feldquellen ist sehr anschaulich und leicht möglich. Die Feldverteilung an der Oberfläche lässt Schlüsse auf die innere IC-Struktur zu. Bei der räumlichen Darstellung des Magnetfeldes werden die Orte gleicher Feldstärke durch ISO-Flächen verbunden und in ihrer Intensität farbig dargestellt (rot: intensive Störausstrahlung).

Am Ende der Messung stehen für alle Frequenzen des Messintervalls die Oberflächenscans zur Verfügung: pro Frequenzpunkt und pro Volumenebene jeweils ein kompletter Oberflächenscan. Durch Auswahl der Peaks im gemessenen kumulativen Spektrum und Einstellung der zugehörigen Frequenz in der Auswertesoftware lassen sich über den Frequenzwert des Oberflächenscans die Feldquellen der Störemissionen lokalisieren. Rückschlüsse auf die Einbauumgebung des ICs sind leicht erkennbar. Unter Verwendung von Spektrumanalysatoren und Nahfeldsonden sind Voruntersuchungen auf PCB-Ebene möglich. In Kombination mit einem IC-Test-System kann der Entwicklungsingenieur EMV-Emissionen präzise lokalisieren sowie die Messergebnisse reproduzieren und dokumentieren.

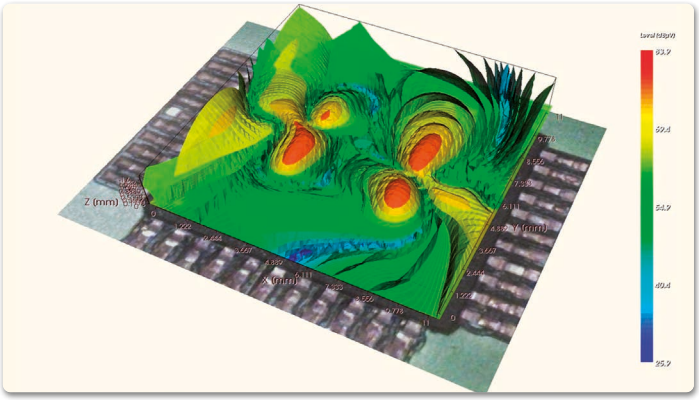

Bild 5: Messergebnis eines Volumen-Scans

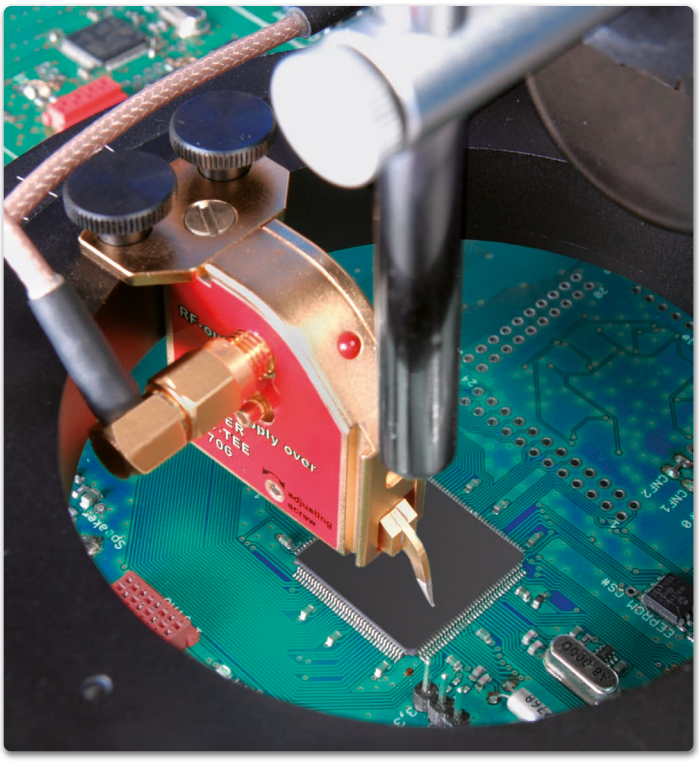

Bild 6: Nahfeldmikrosonde im ICS 105 der Langer EMV-Technik GmbH

Bild 6 zeigt eine Nahfeldmikrosonde im ICS 105 der Langer EMV-Technik GmbH.

Zudem können verschiedene Modifikationen zur Verringerung von EMV-Emissionen verglichen werden. Dazu eignet sich die Darstellung als räumliche Amplituden-Frequenzcharakteristik der elektrischen und magnetischen Felder, insbesondere dann, wenn eine IC-Gehäuseform durch spezielle Layout-Vorgaben einzusetzen war. Durch schrittweise IC-Tests während des Entwicklungsprozesses wird die EMV-Konformitätsprüfung zeitnah und kostengünstig ohne Überraschungen durchführbar.

Beispielmessungen am IC

Bei einer Baugruppe mit den Abmaßen 10 x 5 cm und 4 Lagen wurde in einer abschließenden EMV-Messung bei 120 MHz eine Grenzwertüberschreitung von 24 dB festgestellt (Bild 7). Nach einer intensiven Analyse des Boards wurde das E-Feld des eingebauten ICs als Erregerquelle für die Emission bestimmt.

Damit diese Kopplung des E-Feldes auf der Baugruppe unterbrochen werden konnte, musste ein Schirmteil über dem IC konstruiert, gefertigt und bestückt werden. Dies verursachte zusätzlichen Aufwand und Kosten.

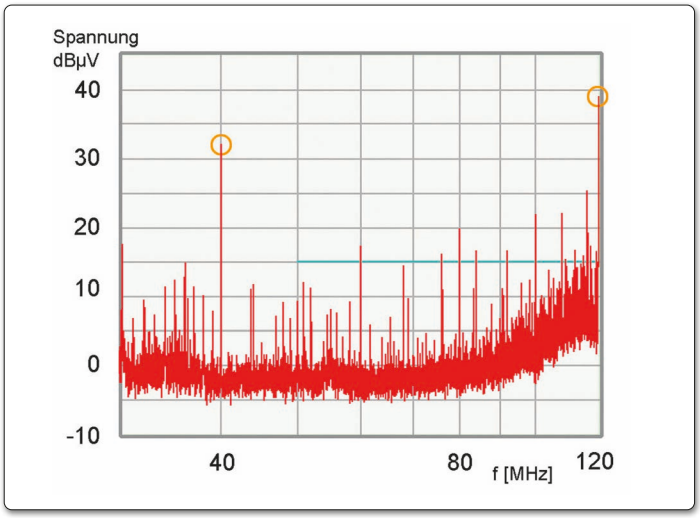

Bild 7: IC-E-Feld-Überschreitung

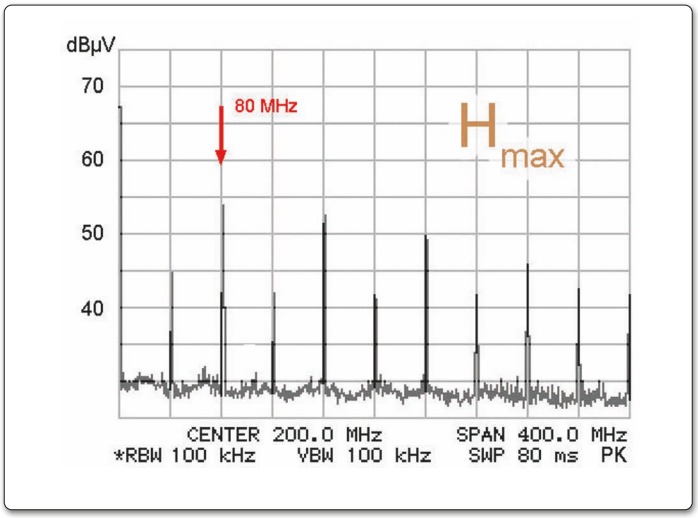

Bild 8: H-Feld-Messung 45°

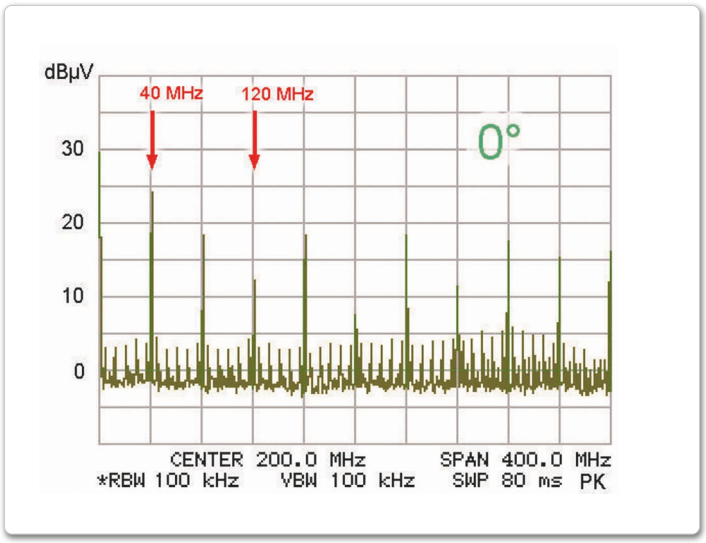

Bild 9: IC mit Clockline 0° 400-MHz-TEM-Zelle

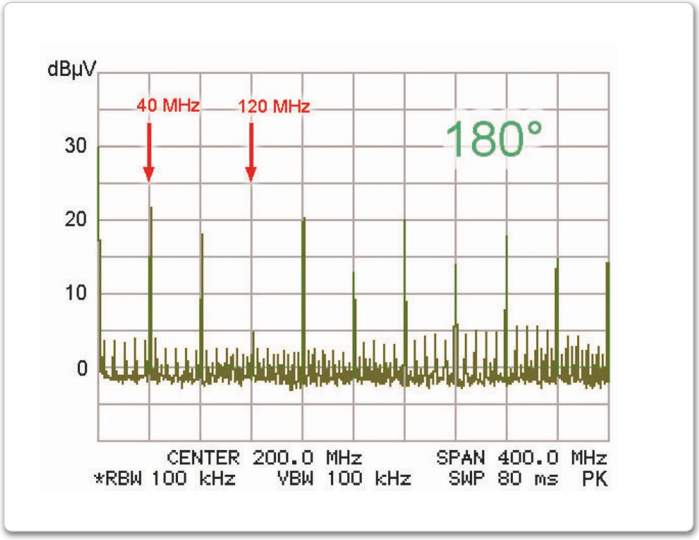

Bild 10: IC mit Clockline 180° 400-MHz-TEM-Zelle

Wäre dem Elektronikentwickler die E-Feld-Auskopplung des ICs bekannt gewesen, hätte er Layout und Gehäuse seiner Baugruppe am IC bereits in der Planungsphase anpassen können. In einem späteren Entwicklungsstand der Baugruppe ist eine solche Maßnahme nicht immer zulässig. Platzierungsänderungen sind dann aufgrund von Bauraumeinschränkungen, Bauteilgrößen und des zu betreibenden Aufwandes oft nicht mehr möglich.

Im Weiteren wurde mit einer E-Nahfeld-Sonde im definierten Messabstand von 20 mm über dem IC ein Scan durchgeführt. Die Messelektrode der E-Feld-Sonde Typ RF-E 09 hat eine Abmessung von 10 x 10 mm. Die Messung bestätigt die hohe E-Feld-Auskopplung von 49 dBµV.

Die Messung des IC-Magnetfeldes in 20 mm Abstand ergab im Vergleich zur Komponentenmessung andere kritische Frequenzen (80 und 160 MHz). Das Maximum des Magnetfeldes lag bei 45° und das Minimum bei 135° der IC-Ausrichtung (Bild 8). Der Board-Entwickler hatte es glücklichen Umständen zu verdanken, dass diese Erregung keine praktischen Probleme bewirkte.

TEM-Zellen-Messung (IEC 61967-2)

IC-Hersteller vergleichen die Felder von ICs mithilfe einer TEM-Zellen-Messung.

Die TEM-Zelle fasst alle Felder des ICs zu einer globalen Vergleichsgröße zusammen. Der IC wird auf einer 10 x 10 cm großen Leiterkarte (TEM-Cell-Print) angeordnet und kopfüber in der TEM-Zellenöffnung angebracht. Die Leiterkarte kann in 90°-Schritten auf der Öffnung gedreht werden (IC-Ausrichtung). Der IC koppelt in das gegenüberliegende Septum der Zelle.

Die Bilder 9 und 10 zeigen eine Vergleichsmessung von zwei IC-Ausrichtungen mit der TEM-Zelle. Das praxisrelevante E-Feld-Problem bei 120 MHz wird hierbei nicht erfasst. Bei 120 MHz sind die gemessenen Werte eher unbedenklich. Bei 40, 80 und 160 MHz werden die höchsten Werte gemessen. Der erzielte Messwert bei 40 MHz war mit unserem Praxisbeispiel konform.

Die TEM-Zelle misst das elektrische und magnetische Nahfeld zusammen. Das elektrische Feld koppelt kapazitiv und das magnetische Feld induktiv (Gegeninduktion) in das Septum der TEM-Zelle. Das Prinzip entspricht dem einer E- oder H-Nahfeldsonde. Das Septum bildet mit dem Gehäuse der Zelle die Induktionsschleife der Sonde.

Wenn die IC-Stromschleife parallel ausgerichtet ist, wird bei orthogonaler Ausrichtung keine Spannung induziert.

Die kapazitive Kopplung ist für alle Ausrichtungen der Schleife nahezu konstant. Die eingekoppelten Spannungen überlagern sich vorzeichenbehaftet. Deshalb liefern die Ausrichtungen des ICs in der TEM-Zelle unterschiedliche Ergebnisse. Bei entsprechender Grundausrichtung bewirkt eine 180°-Drehung einen Vorzeichenwechsel in der Spannungsinduktion.

Wie sich die eingekoppelten Spannungen aus kapazitiven und induktiven Anteilen zusammensetzen, hängt nicht nur von den jeweiligen Koppelfaktoren ab, sondern auch von der Vielfalt der IC-Schleifen und den Phasenwinkeln der jeweiligen Spannungszeiger.

Wie mit dem zuvor beschriebenen Surface-Scan bestimmt wurde, gibt der IC sein maximales Magnetfeld in 45°-Richtung ab. In der TEM-Zelle kann der IC jedoch nur in ganzen 90°-Schritten gedreht werden. Aus den TEM-Zellenspektren ist zu erkennen, dass eine Überlagerung von magnetischem und elektrischem Feld vorliegt.

Dieses Beispiel zeigt, dass die Ergebnisse der Messung mit der TEM-Zelle für unsere IC-Anwendung zu unscharf sind. Für die Anwendung des ICs auf der Flachbaugruppe sind aus Sicht gezielter Abhilfemaßnahmen genauere Informationen notwendig. Diese Informationen sind, wie unser Surface-Scan mit den Nahfeldsonden zeigt, in den elektrischen und magnetischen Nahfeldern vorhanden.

Ausblick

Für ein EMV-Design von Flachbaugruppen ist es notwendig, die EMV-Eigenschaften der ICs im Voraus einzubeziehen. IC-Parameter sollten definiert, dokumentiert und für den Entwickler frei zugänglich sein. Unter Berücksichtigung der IC-Eigenschaften kann der Entwickler die steigenden Anforderungen an das Design seiner Flachbaugruppe besser bewerten und gezielter berücksichtigen. Unser Beispiel zeigt, welche Bedeutung allein die Kenntnisse über die E- und H-Felder des ICs für den Entwickler von Flachbaugruppen haben können.

Weiterhin ist ersichtlich, dass die TEM-Zelle wichtige Feldanteile nicht erfassen kann. Für die Bewertung, ob ein bestimmter IC in der Anwendung zu Störaussendungen führt, ist daher auch die konkrete Umgebung des ICs auf der Flachbaugruppe mitentscheidend.

Ein EMV-gerechtes Design erfordert deshalb nicht nur die Kenntnis einzelner IC-Kenngrößen, sondern auch deren Bewertung im jeweiligen Projektumfeld. ◄