

Leistungsfähigkeit moderner 3D-EM-Feldsimulationssoftware

Numerische Simulation elektromagnetischer Felder bietet Geschwindigkeitsvorteile bei der Bestimmung von EMV-Größen

Angesichts immer weiter steigender Betriebsfrequenzen, zunehmender Komplexität elektronischer Geräte, strengeren gesetzgeberischen Richtlinien und gleichzeitig sich verkürzenden Produktzyklen bietet die numerische Simulation elektromagnetischer Felder Geschwindigkeitsvorteile bei der Bestimmung von EMV-Größen wie Störfestigkeit und Emission und ermöglicht Einblicke in das Verhalten von Geräten, die mit einer Messung nicht oder nur mit großem Aufwand bewerkstelligt werden können. Der folgende Artikel fasst Anforderungen an eine heutige Simulationssoftware zusammen, beschreibt eine Methode, die ein direktes Abbild der Maxwell'schen Gleichungen in einem diskreten System bereitstellt und gibt Beispiele für ihre praktische Umsetzung. MARKO WALTER

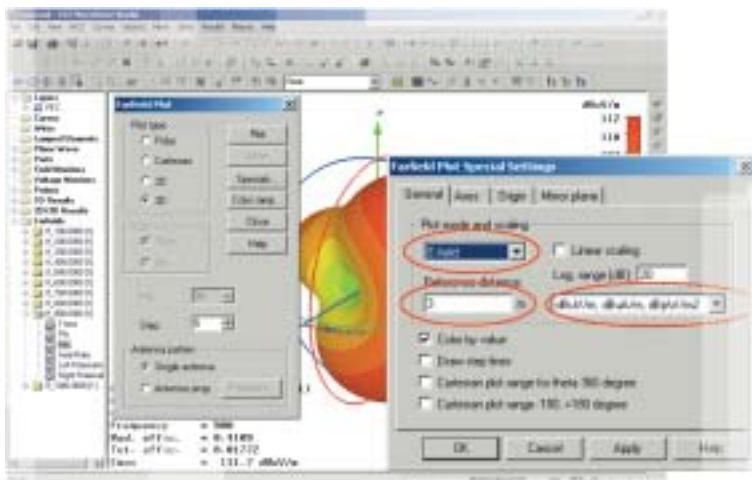


Abb. 1: Benutzerinterface des 3D-Feldsimulators 'CST Microwave Studio' mit EMV-spezifischen Einstellmöglichkeiten für das Post-Processing von Fernfelddaten

Im Vergleich zu anderen Anwendungsgebieten stellen sich gerade im EMV-Bereich heutzutage besonders hohe Anforderungen an eine Feldberechnungssoftware [1]. Die Probleme sind oft besonders komplex und groß, weil naturgemäß für Ein- oder Abstrahlungsuntersuchungen ganze Geräte mit Gehäuse und der näheren Umgebung berechnet werden müssen. Die folgende Übersicht zeigt Kriterien, denen moderne EM-Simulationsprogramme genügen sollten.

Leistungsfähigkeit

Die verwendete Methode soll Ergebnisse mit hoher Genauigkeit liefern und gleichzeitig

zuverlässige Möglichkeiten zu deren Überprüfung bieten. Gleichzeitig soll sie möglichst schnell rechnen und vorhandene Ressourcen effizient nutzen, d.h. mit möglichst wenig Arbeitsspeicher auskommen. Parallelisierung und verteiltes Rechnen im Netzwerk sind zukunftssträngige Möglichkeiten zur Beschleunigung.

Bedienbarkeit

Oft verschlingt die Bedienung eines Simulationsprogramms mehr Zeit als die eigentliche Berechnung. Es ist daher Wert auf möglichst hohe Benutzerfreundlichkeit zu legen. Typischerweise benutzt der Entwickler die Software nicht ständig, sondern nur in bestimmten



Dr. MARKO WALTER arbeitet im Bereich Vertrieb/Support der Softwarefirma CST in Darmstadt, welche sich auf 3D-EM-Feldsimulation spezialisiert hat.

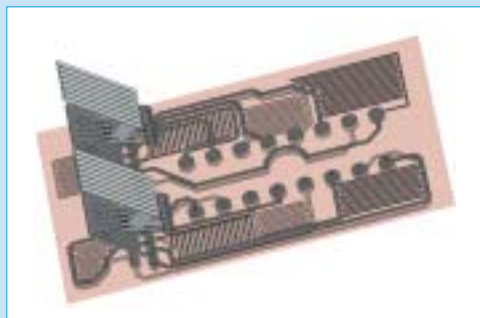


Abb. 2: Import eines CAD-Files in das EM-Feldsimulationsprogramm. Die planare Struktur wurde als Gerber-Datei, die dreidimensionale Struktur als STEP-Datei eingelesen.

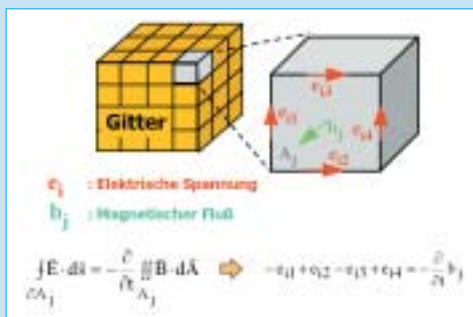


Abb. 3: Die Berechnung von Faradays Induktionsgesetz im Gitter der FI-Methode.



Abb. 4: Abstrahlung einer im Inneren eines PKW befindlichen Antenne

Projektstadien, dann aber zumeist unter Zeitdruck und sehr intensiv. Eine intuitive und leicht zu bedienende Oberfläche kann hier helfen, viel Zeit und Nerven zu sparen. Die Konstruktion von Modellen sollte dem Stand der Technik entsprechen, so wie man es heute von modernen CAD-Programmen gewöhnt ist. Ein Expertensystem unterstützt den Anwender bei der Wahl der richtigen Einstellungen von Diskretisierung und Randbedingungen. Der gesamte Berechnungs- und Auswertevorgang sollte automatisierbar sein. So sollte die Software in der Lage sein, durch Variation beliebiger Parameter gegebene Modelle hinsichtlich bestimmter Anforderungen automatisch zu optimieren. Zugriff auf und Auswertung der erzielten Ergebnisse sollten einfach sein, idealerweise werden spezielle EMV-Kenngrößen wie z. B. normierte Feldstärkewerte in bestimmten Referenzabständen unterstützt (Abb. 1).

Integration

Die Software sollte sich in den bestehenden Entwicklungsprozess eingliedern lassen, indem sie ein leichtes Ein- und Auslesen von bestehenden CAD-Daten erlaubt, zudem in der Lage ist mit anderen Anwendungen direkt zu kommunizieren (z. B. eine direkte Übergabe von Felddaten an Excel in der Windows-Umgebung) und Schnittstellen zu anderen Softwarepaketen

bietet, beispielsweise zu einem Schaltungssimulator. Es ist in diesem Sinn wünschenswert, dass die Software den Import von planaren CAD-Daten z. B. im DXF Format genauso erlaubt, wie das Einlesen dreidimensionaler Konstruktionen z. B. als STEP-Datei (Abb. 2).

Die FI-Methode

Bei der Simulation elektromagnetischer Felder kommen verschiedene Methoden zum Einsatz. Weit verbreitet sind z. B. das Finite-Elemente-Verfahren (FE), die Methode der Finiten Integration (FI), die Momentenmethode (MOM) oder Berechnungen mit Hilfe der Finiten Differenzen (FD) [2]. Wegen ihrer Leistungsfähigkeit und Vielseitigkeit bietet sich die FI-Methode – die bereits vor über 20 Jahren im Programmpaket MAFIA eingesetzt wurde – gerade für EMV-Berechnungen an und soll an dieser Stelle etwas näher beschrieben werden [3]: Es handelt sich um eine konsistente Umwandlung der Maxwellschen Gleichungen und Berechnung in einem orthogonalen Gitter ohne jegliche Näherungen oder Umwege über abgeleitete Größen. Die Berechnung im rechtwinkligen Gitter der FI-Methode anhand des Faradayschen Induktionsgesetzes veranschaulicht Abb. 3.

Die Maxwellschen Gleichungen in Integralform

(deshalb ‚FI-Methode‘) werden nun auf den einzelnen Gitterzellen gelöst. Für die i -te Gitterzelle erhält man das Umlaufintegral über die elektrische Feldstärke durch Aufsummierung der elektrischen Spannungen zwischen den Gitterknoten und damit den magnetischen Fluss auf der von den Zellenkanten umschlossenen Fläche. Die entstehenden Matrixgleichungen sind eine exakte Übertragung der integralen Maxwellgleichungen auf das Gitter. Daher bleiben viele analytische Eigenschaften der Lösungen auch im diskreten Raum voll erhalten. Dies hat nicht nur ästhetische Reize, sondern liefert auch praktische Vorteile, denn die Genauigkeit der Lösung kann zuverlässig anhand physikalischer Gesetze, z. B. des Energieerhaltungssatzes, überprüft werden. Wegen ihrer Robustheit und Genauigkeit kann die Methode im Zeitbereich arbeiten, in dem keine Gleichungssysteme gelöst werden müssen, sondern nur Matrix-/Vektor-Multiplikationen für jeden Zeitschritt durchgeführt werden und daher auch sehr große EMV-Probleme angegangen werden können wie z. B. die Abstrahlung von Antennen in einem PKW (Abb. 4).

Natürlich handelt man sich einen Fehler durch die an diskreten Stellen stattfindende Berechnung der Felder ein. Dieser sogenannte ‚Diskretisierungsfehler‘ tritt bei allen numerischen Methoden auf und kann bei der FI-Methode dank der erwähnten Eigenschaften genau kon-

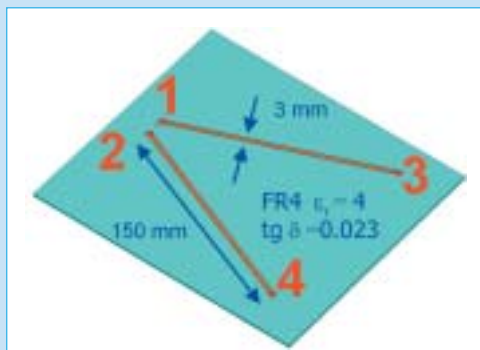


Abb. 6. links: Divergentes Mikrostreifenleitungspaar.

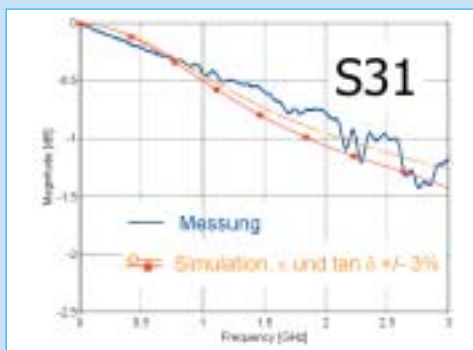


Abb. 6. mitte: Transmission S31 in dB über der Frequenz. Vergleich Messung versus Simulation mit CST MWS. Die Simulation zeigt zusätzlich den Effekt eines 3%igen Messfehlers bei der Bestimmung der Substrateigenschaften.

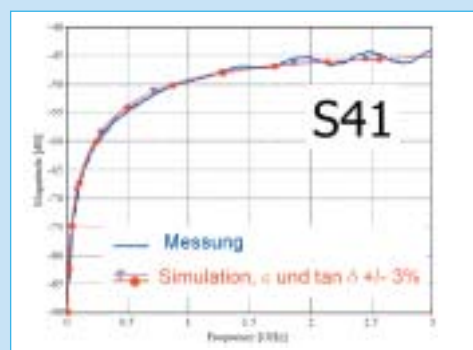


Abb. 6. rechts: Übersprechen S41 in dB über der Frequenz. Quelle: EMC Laboratorium der University of Missouri-Rolla; Universität L'Aquila, Dep. of Electrical Engineering (EMC Lab)

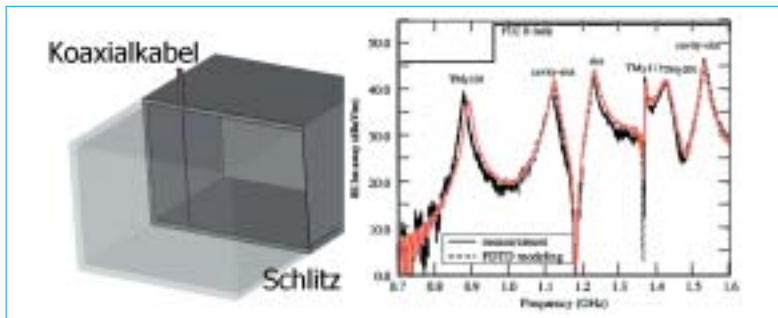


Abb. 5: Links: Darstellung eines Gehäuses. Die Leistung wird mit Hilfe eines Koaxialkabels eingespeist. Vorne rechts befindet sich ein abstrahlender Schlitz. Rechts: Das elektrische Feld in 3 m Abstand vom Gehäuse in dbmV/m aufgetragen über der Frequenz. Schwarze Linie: Messung [5]. Rote Linie: Simulation mit CST MWS (Quelle: Italtel, Mailand)

trolliert werden. Mit zunehmender Diskretisierungsdichte (also Anzahl von Gitterzellen) konvergiert die Methode immer gegen den richtigen Wert, vorausgesetzt der Benutzer definiert das Modell fehlerfrei.

Praktische Umsetzung

Die Anwendung der FI-Methode für EMV Berechnungen soll nun anhand zweier typischer Beispiele dargestellt werden.

Abbildung 5 zeigt die Abstrahlung eines Gehäuseschlitzes durch die Anregung von Resonanzen. Zu sehen ist der Vergleich einer Messung der elektrischen Feldstärke in 3 Meter Abstand vom Gehäuse mit einer Simulation. Die Übereinstimmung ist exzellent, jede Gehäuseresonanz findet sich exakt in der Berechnung wieder.

Abbildung 6 zeigt Transmission und Übersprechen für ein divergierendes Mikrostreifenleitungspaar. Auch hier ist eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation festzustellen. Als Besonderheit ist anzumerken, dass das Substrat FR4 einen konstanten Verlustwinkel im Frequenzbereich 0 bis 3 GHz aufweist, der in der Zeitbereichssimulation durch die Berücksichtigung als dispersives Material Eingang fand.

Fazit

Die aufgeführten Beispiele zeigen, mit welcher hoher Genauigkeit eine Feldsimulation arbeiten kann. Natürlich sind auch wesentlich komplexere und größere Beispiele berechenbar (siehe Abb. 4), zunehmende Rechnerleistungen und die bereits erwähnten Möglichkeiten der Parallelisierung oder des verteilten Rechnens werden in der Zukunft den Anwendungsbereich dieser Werkzeuge immer mehr erweitern. Die heute auf einem Standard-PC berechenbaren Strukturen waren noch vor wenigen Jahren nur auf Hochleistungsrechnern simulierbar.

Die 3D-EM-Feldsimulation hat heute einen Stand erreicht, der es erstmalig auch weniger erfahrenen Anwendern ermöglicht, komplexe Probleme zu berechnen, und dies in annehmbarer Zeit. Weiter steigende Leistungsfähigkeit und Nutzerfreundlichkeit der angebotenen Programmpakete werden zu einer zunehmenden Verwendung im EMV Bereich führen.

Literatur

- [1] P. Schütt: „Computerunterstütztes Design elektronischer Geräte“ ntz Bd. 47 (1994) Heft 9
- [2] A. Kost: „Numerische Methoden in der Berechnung elektromagnetischer Felder“ Springer Verlag Berlin Heidelberg 1994
- [3] T. Weiland: „Eine Methode zur Lösung der Maxwell'schen Gleichungen für sechskomponentige Felder auf diskreter Basis“ AEÜ, Band 31 (1977) Heft 3