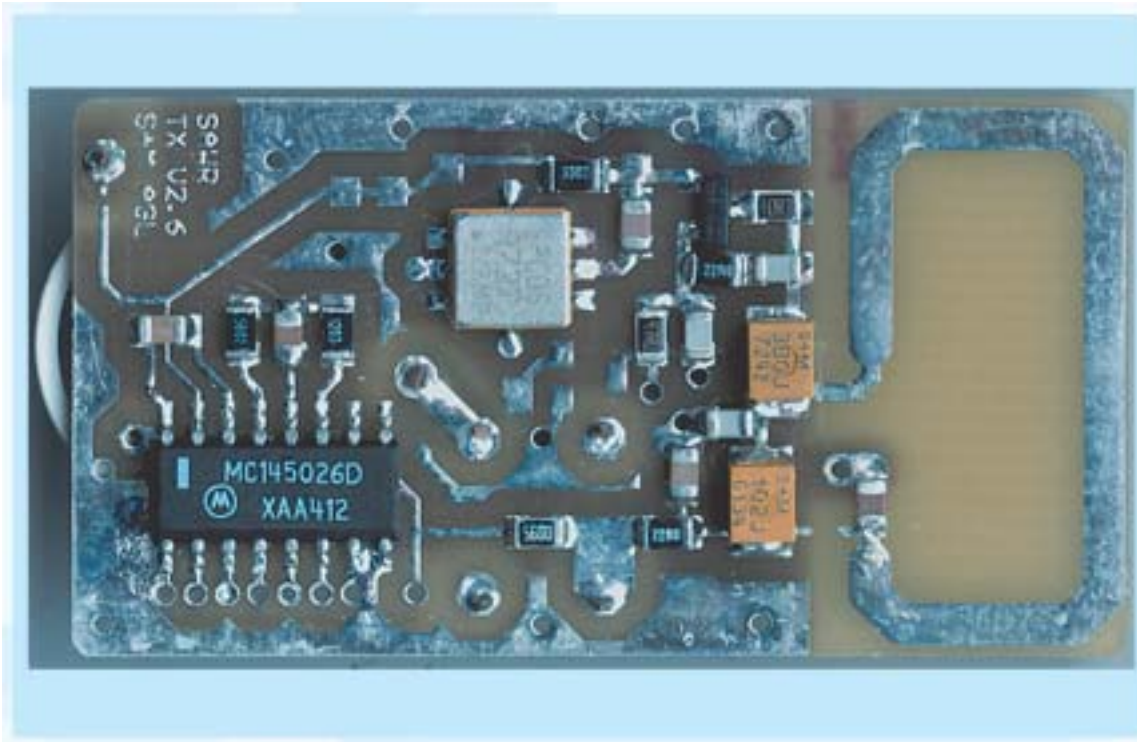


Effizient simulieren

Kombinierte EM-Feld- und Schaltungssimulation bei Funkmodulen in der Automobilindustrie

Elektromagnetische Effekte hochfrequenter Baugruppen im Automobilbereich sind in zunehmendem Maße von Interesse. Um gegebene EMV-Grenzwerte einhalten zu können, müssen elektromagnetische Emissionen von vorn herein so weit wie möglich beschränkt werden. Aufgrund ihrer Ergebnisvielfalt und der Möglichkeit zur Feldvisualisierung sind dazu EM-Feldsimulatoren hilfreich, die sich direkt an Schaltungssimulatoren anbinden lassen.

Gerade die Kombination elektromagnetischer Feldsimulation mit Schaltungssimulation liefert hilfreiche Aussagen. MARKUS LAUDIEN



Türöffnermodul bei 433 MHz (A. Glas: Principles of SAWR stabilized oscillators and transmitters)



MARKUS LAUDIEN ist Applikationsingenieur für Hochfrequenz Feldsimulation und Schaltungssimulation bei Ansoft

KONTAKT
T +49/89/680862-44
mlaudien@ansoft.com

Seit Jahren ist in der Automobilindustrie ein klarer Trend erkennbar, drahtlose Module für Datenübertragungen zu verwenden. Auch bei kompakteren Einheiten wie Türöffnermodulen und RFID-Komponenten werden für den Entwickler hohe Vorgaben an die Stückkosten, Funktionssicherheit, Größe und EMV-Eigenschaften gestellt. Eine der wesentlichen Herausforderungen bei diesen Einheiten ist die Antenne. Wird diese beispielsweise aus Platzgründen in die Baugruppe oder die Leiterplatte integriert, kann das die benachbarte Elektronik beeinflussen; vor allem, wenn eine Abschirmung aus Kostengründen nicht vorgesehen ist. Werden weniger aktive, diskrete Elemente ver-

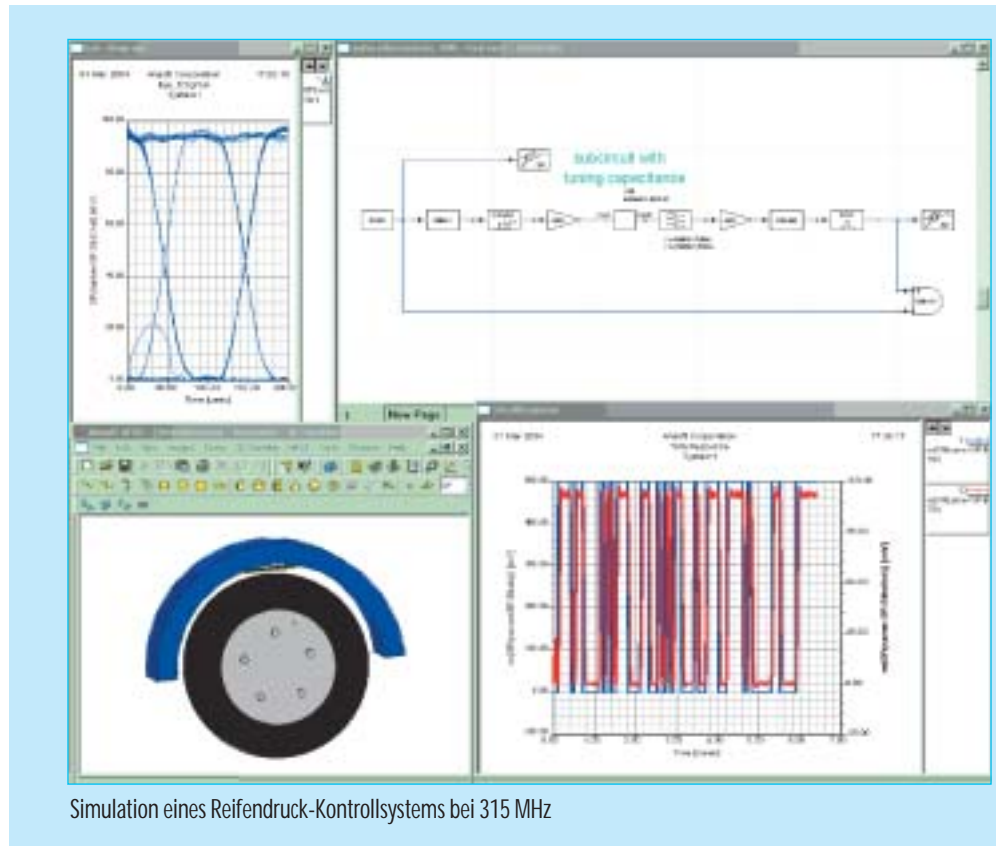
wendet, um Kosten und Stromaufnahme zu reduzieren, können zudem bei fehlenden Bufferstufen Rückwirkungen der Antennenumgebung auf die Schaltung auftreten. Für die Funktionssicherheit sind darüber hinaus gute Kenntnisse der Bauteiltoleranzen und Auswirkungen auf die Funktion der Schaltung erforderlich. Während von den meisten Halbleiterherstellern Evaluierungsschaltungen und Testboards für Datenfunkapplikationen angeboten werden, ist die Einbindung der Antenne oft mit einer Unsicherheit behaftet. Nachfolgend soll an zwei prinzipiellen Studien gezeigt werden, inwieweit 3D-Feldsimulation innerhalb der Schaltung erlaubt, Aussagen über das Gesamtverhalten zu treffen.

Reifendruckkontrolle per Funk

Verstärkt kommen in der Automobiltechnik Kontrollsysteme zum Einsatz, welche die Daten des gemessenen Luftdrucks drahtlos übertragen. So ist etwa ab 2006 in den USA eine Kontrolle des Reifendrucks bei Neufahrzeugen gesetzlich vorgeschrieben. Wichtige, aber oft unbekannt Kenngrößen für Entwickler sind die Eigenschaften der Funkübertragungsstrecke innerhalb eines drahtlosen Systems. Aus Unsicherheit darüber werden oft die Sendemodule mit unnötig hoher Leistung betrieben, was trotz des gepulsten Betriebes die Lebensdauer der Batterie verkürzen kann. Ebenso kommt es vor, dass die Anzahl und Güte der Empfangsantennen überdimensioniert werden, was sich auf die Kosten auswirkt.

Eine der wichtigsten, aber auch kritischsten Komponenten solcher Systeme ist die Antenne, die sehr kompakt sein muss. So kommen meist kleine Schleifen- oder Spiralantennen zum Einsatz, welche einen recht niedrigen Gewinn und Wirkungsgrad aufweisen.

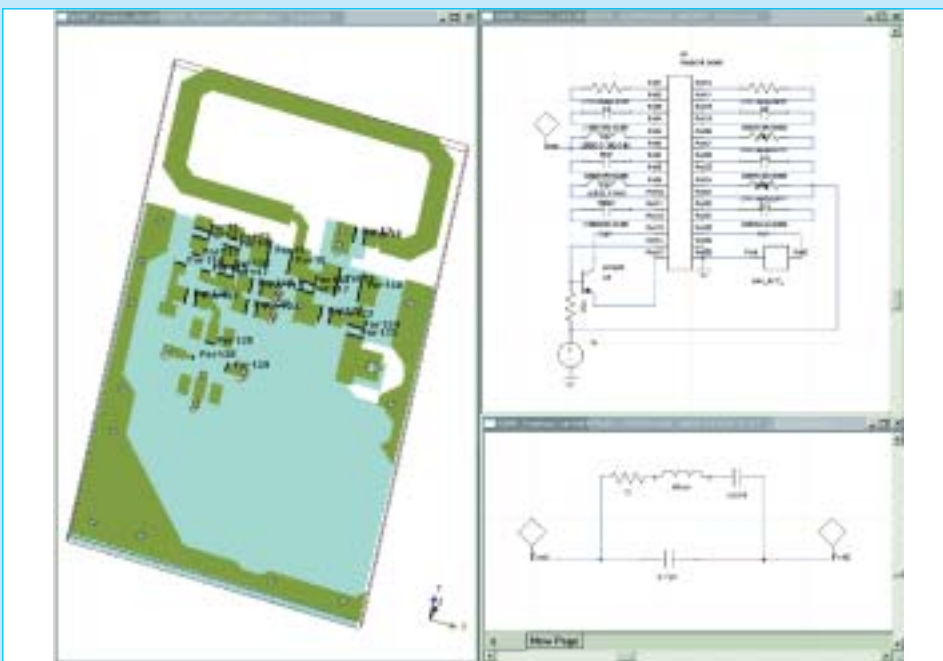
Optimierungen solcher Antennen auf Eingangsanpassung und Gewinn lassen sich durch Variation geometrischer Merkmale wie Windungszahl und Schleifenlängen mit 3D-Simulationstools vornehmen. Eine alleinige Charakterisierung der Antenne durch Gewinn und Effizienz ist aber oft unzureichend, da die Antennenverkopplung zum Teil unter Nahfeldbedingungen geschieht. In diesem Umfeld lassen sich aber die Fernfeldeigenschaften der Antenne nicht ausreichend genau beschreiben. Wichtig ist also eher die Kenntnis, wie sich eine solche Übertragungsstrecke zwischen mehreren Antennen in einem Gesamtsystem verhält. So kann bei einem vereinfachten Modell untersucht werden, wie sich die Übertragung in Abhängigkeit der Drehposition des Reifens verhält: Von Interesse



sind dabei zum Beispiel die Übertragungsdämpfung zwischen der Sendeantenne, die hier als integriert im Reifenventil angenommen wurde, und der Empfangsantenne, aber auch das positionsabhängige Signal-/Rauschverhältnis als Maß für die Übertragungsqualität.

Als Lösungsweg bietet sich an, in einem 3D-Simulator die Kopplung zwischen den Antennen als Funktion mehrerer Parameter zu berechnen, z. B. die Drehposition der Felge oder veränderte Materialeigenschaften infolge von Feuchtigkeit. Die dadurch generierten Lösungsdaten nehmen aber schnell einen schwer handhabbaren Um-

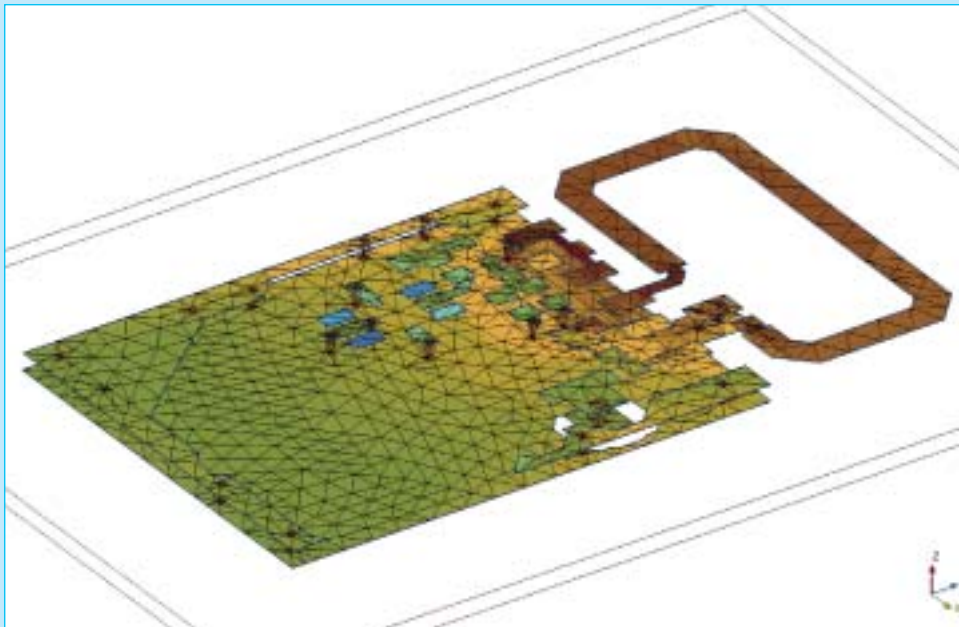
fang an, wenn mehrere Parameter gleichzeitig variiert werden sollen. Eine einfache Verarbeitung dieser meist als S-Parameter vorliegenden Daten kann durch eine parametrische Lösungsdatei erfolgen – etwa im „neutral model format“ (*.nmf) –, in der S-Parameter in Abhängigkeit der jeweiligen parametrischen Variable gespeichert sind. Dieser mehrdimensionale Satz an Lösungspunkten kann dann als Datei in einem Schaltungssimulator eingebunden werden. Eine noch flexiblere Anbindung ist dann gegeben, wenn der Schaltungssimulator einen direkten Zugriff auf den EM-Feldsimulator erlaubt. Eine zu simulierende 3D-Struktur wird dann vom Schaltungssimulator lediglich als eine parametrisierte Komponente gesehen, was die Handhabung deutlich vereinfacht. Mit einer solchen Anbindung lassen sich unmittelbar in Abhängigkeit der zuvor gelösten variablen Größen wichtige systemrelevante Werte berechnen wie Signal-Rauschabstand, Bit-Error Rate oder ein Augendiagramm. Wichtig für die Einhaltung der EMV-Grenzwerte ist die auch Möglichkeit, den Leistungspegel des Senders bei gegebener Übertragungsstrecke so auszulegen, dass eine Überdimensionierung von Sender oder Antenne vermieden wird.



Einbindung der 2.5D-Feldberechnung in eine Schaltungssimulation

Funkmodul eines Türöffners

Drahtlose Türöffner kommen mittlerweile bei vielen Fahrzeugen zum Einsatz. Bei einer mittleren Reichweite von einigen Metern senden sie kurzzeitig das codierte Signal des Schlüssels zu meist in ASK- oder FSK-Modulation aus. Auch hier werden die Antennen oft in die Leiter-▶



Stromdichteverteilung auf der Leiterplatte des Senders

platte als Leiterschleife integriert, was Verkopplungen zwischen der Antenne und sensitiven Teilen der Schaltung hervorruft. Solche Effekte können durch eine reine Schaltungssimulation nicht mit guter Genauigkeit berücksichtigt werden. Da die Oszillatorfrequenz des Senders unter allen Betriebszuständen innerhalb einer Bandbreite von ca. 20...50 kHz um die Nominalfrequenz liegen muss, bietet sich für eine genaue Betrachtung dieser Effekte eine elektromagnetische Modellierung an. Durch benachbarte Objekte in unmittelbarer Nähe der Antenne, wie etwa ein Schlüsselbund oder eine Hand, kann es durch die Rückwirkung der veränderten Antennenimpedanz zu ungewollten Frequenzverschiebungen kommen. Anhand einer im Internet verfügbaren Application-Note der Firma Epcos (www.epcos.com; Alexander Glas: application note #1 „Principles of SAWR stabilized oscillators and transmitters“, Mai 2001) wurde der Oszillatorteil eines solchen Moduls durch Kombination von elektromagnetischer Analyse der Leiterplatte und Antenne mit einem Schaltungssimulator untersucht.

Das von EPCOS freundlicherweise zur Verfügung gestellte Layout der Leiterplatte wurde in einen 2.5D EM Solver (Momentenmethode, Ansoft Designer) bzw. in einem 3D-Solver (Finite Elemente Methode, HFSS) eingelesen und in Co-Simulation mit dem Oszillatorteil der Schaltung simuliert. Die Leitungen des Boards werden durch Ports gespeist, was es erlaubt, die Leiterplatte einschließlich Antenne als einen passiven Funktionsblock innerhalb der Schaltung zu betrachten. Diese Vorgehensweise unterscheidet sich von der seit langem üblichen Einbindung analytischer Leitungsmodelle: Dort werden verteilte Elemente wie Leitungen oder Durchkontaktierungen als separate Elemente betrachtet und keine Verkopplungen zwischen ihnen berücksichtigt. Bei einer EM-Simulation hingegen sind sämtliche Verkopplungen einbezogen.

Koppelt man nichtlineare Schaltungssimulationen mit einem Feldsimulator, so ist die Bandbreite der Feldlösung entsprechend der Anzahl der Harmonischen zu setzen, also etwa bei 433 MHz und fünf Harmonischen auf eine Bandbreite bis circa 2,2 GHz. Einen Eindruck über den Zuwachs an Genauigkeit durch EM-Berechnung der Leiterplatte verschafft der Vergleich der simulierten Resonanzfrequenz mit einer Messung: Bei einer reinen Schaltungsbetrachtung (ohne Leiterplatteneinfluss) beträgt die Abweichung zwischen Simulation und dem Referenzobjekt rund 77 kHz, bei Berücksichtigung der Leiterplatte durch eine 2.5D-Feldlösung (Momentenmethode) etwa 16 kHz und bei Berücksichtigung der Leiterplatte durch eine 3D-Feldlösung nur circa 4 kHz. Durch Modellierung der Leiterplatte mit Antenne in einem 3D-Simulator lassen sich auch die Rückwirkungen von Umgebungseinflüssen auf die Funktion des HF-Teils ermitteln: Die Leiterplatte des Senders wurde in einem Gehäuse modelliert, in dessen Nähe ein vereinfachtes Handmodell in verschiedenen Positionen angenommen wurde. Es konnte eine Frequenzverschiebung von 20 kHz festgestellt werden, was gemessenen Werten recht nahe kommt.

Qualitätsaspekte

Gerade bei den hohen Qualitätsanforderungen in der Automobilindustrie ist es erforderlich, eine Baugruppe so auszulegen, dass die gesamte Einheit gegenüber Toleranzen von Bauteilen und Materialien eine möglichst geringe Sensitivität aufweist. So können durch eine Verknüpfung mit einem Feldsimulator auch Variationen von geometrischen Größen, Materialeigenschaften oder der Umgebung direkt in die Sensitivitätsanalyse des Gesamtsystems einbezogen werden. Im vorliegenden Referenzprojekt des drahtlosen Türöffners wurde die Abhängigkeit der Oszilla-

torfrequenz von der Permittivität der Leiterplatte ermittelt: Bei einer angenommenen Änderung der relativen Dielektrizitätszahl von 4.4 um + (-) 0,3 ergab sich eine Verschiebung von circa + (-) 4 kHz. Dieser Effekt, der durchaus im Rahmen üblicher Toleranzen liegt, ist überwiegend auf die Veränderung parasitärer Kapazitäten zurückzuführen. Solche Betrachtungen verdeutlichen die Auswirkungen durch Toleranzen der Leiterplattendicke, Variation von Materialeigenschaften oder Positionsänderungen einer kritischen hochfrequenten Komponente.

Fazit

Die Verknüpfung von EM-Simulation und Schaltungssimulation im Automobilbereich eröffnet dem Entwickler breite Möglichkeiten. Sie reduziert Fehlerquellen, die zum einen durch die Komplexität der zu untersuchenden Struktur gegeben sind, zum anderen in der Unkenntnis über Materialeigenschaften bei hohen Frequenzen. Ein elektromagnetisches Simulationsmodell geht häufig von Annahmen aus, die sich nicht vollständig mit der Realität decken. Betrachtet man jedoch gerade die Auswirkungen von Veränderungen, wie bei Materialeigenschaften oder Positionsabhängigkeiten, so lassen sich durch kombinierte EM- und Schaltungssimulationen wesentliche Erkenntnisse gewinnen, die allein durch Messreihen kaum möglich sind. ■

Dieser Beitrag als PDF und weiterführende Informationen (ähnliche Beiträge, technische Daten, Direktlinks zum Hersteller etc.) sind online verfügbar auf www.duv24.net