

# Designverständnis von Antennensystemen (HF-Simulation, Teil 3)

Der dritte und letzte Teil der Artikelserie erläutert, wie Schaltungssimulationen, die auf den Resultaten von Feldsimulationen basieren, zum Verständnis ganzer Antennensysteme beitragen.

CHRISTIAN RÖMELSBERGER \*

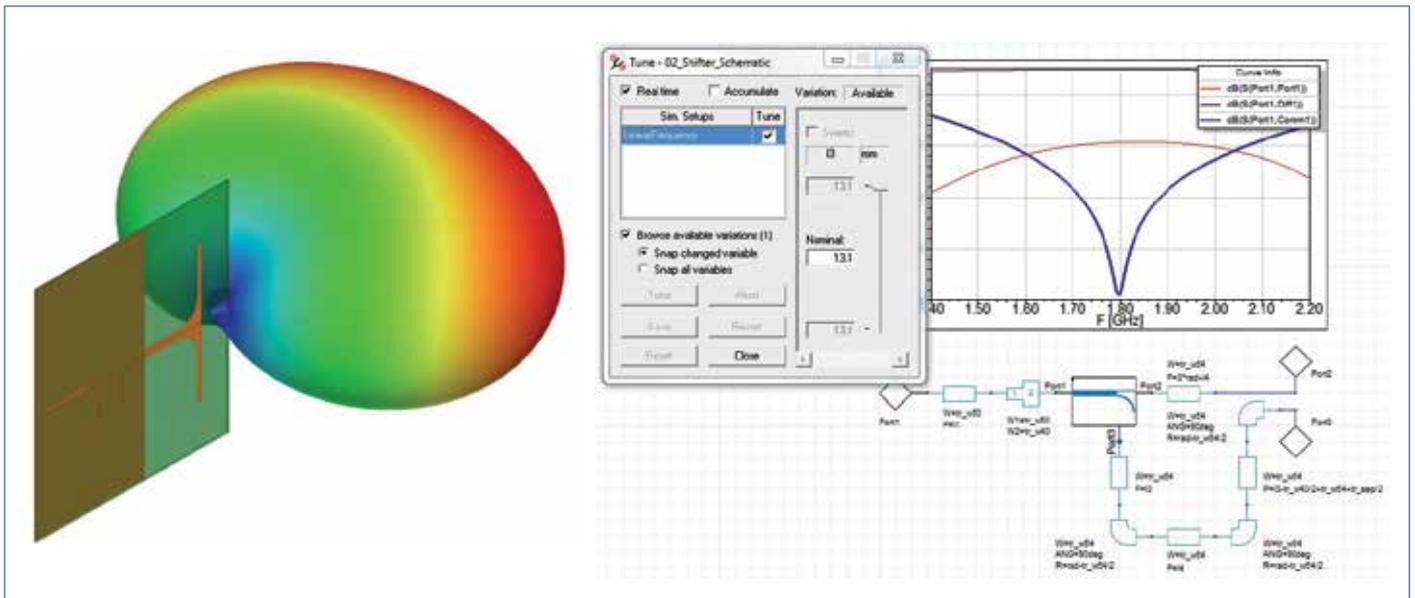


Bild: CADFEM

**Bild 1:** Gedruckte Dipolantenne mit Speisetzwerk (links) und Schaltungssimulation des Speisetzwerks (rechts). Die Modenumwandlung in eine Gleichtaktmode ist in blau dargestellt, die Reflexionsdämpfung in rot.

In den ersten beiden Teilen dieser Artikelserie wurde im Detail beschrieben, welche Unterstützung die hochfrequente elektromagnetische Feldsimulation beim Entwickeln von Antennen oder passiven RF-Komponenten bietet. Hierbei wurde ein großes Augenmerk auf die Optimierung des Designs gelegt, indem mit Hilfe parametrischer Variantenuntersuchungen das Verständnis bezüglich des Produktverhaltens erhöht wurde. Darauf aufbauend ließ sich das Design verbessern und dessen Robustheit bewerten. Dieser dritte und letzte Teil der Artikelserie erläutert, wie Schaltungssimulationen, die auf Ergebnissen der Feldsimulation aufbauen, helfen können, ein ge-

samtes Antennensystem oder größere Teile davon zu verstehen.

Um die Systemsimulation an einem einfachen Beispiel zu erklären, soll hier das Design einer gedruckten Dipolantenne, die aus einer Mikrostreifenleitung gespeist wird, betrachtet werden (Bild 1). Die Dipolantenne wird dabei durch ein differenzielles Signal gespeist und die Abstrahlcharakteristik ist durch die Masseebene unter dem Speisetzwerk ein wenig gerichtet. Das Speisetzwerk auf der anderen Seite soll das Signal einer 50-Ohm-Mikrostreifenleitung mit Hilfe einer Verzögerungsleitung in ein differenzielles Signal umwandeln, das der Fußpunktimpedanz der Dipolantenne angepasst ist.

## Kopplung von Segmenten des Speisetzwerks

Das Verhalten des Speisetzwerks lässt sich sehr gut und effizient in einer Systemsimulation im ANSYS Electronics Desktop ab-

bilden: Da sich das Signal entlang der Mikrostreifenleitungen als leitungsgebundene Welle ausbreitet, die sehr stark durch die Grundmode (Quasi-TEM-Mode – Transversal Elektro-Magnetisch) dominiert ist, können unterschiedliche Segmente des Speisetzwerks über Terminals gekoppelt werden (siehe Bild 1 rechts).

Dabei wird das Übertragungsverhalten jedes Segments durch ein frequenzabhängiges S-Parametermodell beschrieben. Für Mikrostreifenleitungen lässt sich das Übertragungsverhalten analytisch beschreiben, wogegen zum Beispiel der Teiler als Ergebnis einer Feldsimulation hinterlegt ist.

Die Kopplung der Segmente erfolgt auf konservative Weise. Das heißt, dass der Strom erhalten bleibt. Denn zum einen gilt die Kirchhoff'sche Knotenregel und zum anderen fließt an jedem Port aller Strom, der durch die Terminals hereinkommt, durch den Referenzterminal auf die Erde ab.



\* Christian Römelsberger, PhD  
... ist Experte im Bereich der hochfrequenten elektromagnetischen Simulation bei CADFEM.

Aufgrund der starken Reduktion der Freiheitsgrade und somit der Modellgröße lässt sich eine solche Systemsimulation in Sekunden vornehmen. Folglich ist das Speisetzwerk sehr schnell per Hand optimierbar, indem die Länge des Extraweges eines der beiden Teilsignale verändert wird. Hier soll bei der Resonanzfrequenz die Umwandlung des Eingangssignals in eine Gleichtaktmode der Dipolantenne minimiert werden.

### Antennenabstimmung durch Feldsimulation

In weiteren Schritten wird dann die Antenne aus dem Dipol und dem Speisetzwerk zusammengesetzt und in einer Feldsimulation nochmals abgestimmt. Das ist notwendig, um die Wechselwirkung zwischen dem Dipol und der Verzögerungsleitung auszugleichen, die durch freie Wellen hervorgerufen werden, also nicht durch die terminale Kopplung abgebildet sind.

Hierbei werden die Dipollänge und die Länge der Verzögerungsleitung als bestimmende Parameter für die Anpassung der Antenne verwendet. Die Längen werden mit einer Tuning-Funktionalität in ANSYS HFSS angepasst, die auf der Ableitung – und der damit verbundenen Taylor-Entwicklung – der S-Parameter nach den Tuning-Parametern beruht. Diese sehr effiziente Methodik basiert zum einen auf Ingenieurwissen und zum anderen auf dem Wechselspiel zwischen System- und Feldsimulation, das durch den ANSYS Electronics Desktop als integrierte Simulationsumgebung realisierbar wird.

### Abbildung nichtlinearer Bauteileigenschaften

Bei der oben beschriebenen Schaltungsanalyse handelt es sich um eine lineare Netzwerkanalyse im Frequenzbereich. Folglich wird von einem linearen Verhalten der einzelnen Komponenten des Systems ausgegangen, was bei diesen passiven Strukturen der Fall ist.

Die Systemsimulation lässt sich aber auch verwenden, um nicht-lineare Bauteileigenschaften wie zum Beispiel die von Transistoren, Dioden oder komplexeren Baugruppen wie Mixern oder Verstärkern effizient abzubilden. Dafür stehen je nach vorliegendem Anwendungsfall und aktueller Fragestellung verschiedene Analysetypen im ANSYS Electronics Desktop bereit:

- 1. Transiente Analysen zur Abbildung nicht-periodischer Signale oder von Signalen mit sehr scharfen Schaltflanken, also mit einem sehr großen Frequenzgehalt.
- 2. DC-Analysen zum Bestimmen von Arbeitspunkten aktiver Bauteile.

## PRAXIS WERT

### Entscheidungen können früher fallen

Durch Simulationsmethoden lassen sich wichtige Entscheidungen bereits in einer sehr frühen Phase der Antennenentwicklung fällen. Die Simulation trägt zum tiefen Verständnis des Verhaltens des Antennendesigns bei, da sich nicht nur Einzelkomponenten berechnen lassen, sondern auch die Untersuchung von Gesamtsystemen möglich wird.

### Emissionspektrum bestimmen

So lassen sich zum Beispiel ungewollte Antennen entdecken. Dazu zählen etwa Leiterbahnen und Kabel, die Teil des Gesamtsystems sind. Durch Feld- und Systemsimulationen ist es möglich, diese ungewollten Antennen aufzuspüren und zu ermitteln, wie stark sie im Betrieb angeregt werden. So lässt sich das Emissionsspektrum bestimmen.

- 3. Nicht-lineare Frequenzbereichsanalysen zur Berechnung des Oberwellengehalts periodischer Signale.

- 4. Modulationsanalysen zur Untersuchung der Einhüllenden von nicht-periodischen Signalen auf hochfrequenten Trägerwellen.

- 5. Augendiagrammanalysen zur Analyse der digitalen Signalqualität.

Beim Design eines rauscharmen Verstärkers (LNA – Low Noise Amplifier) ist das Zusammenspiel des verstärkenden Transistors mit den Anpassungsnetzwerken des Ein- und Ausgangs von besonderem Interesse. Da ein LNA möglichst linear operieren soll, interessiert bei seiner Auslegung speziell auch die Abweichung von der Linearität. Deshalb muss in einer Simulation besonders das nicht-lineare Verhalten des Transistors abgebildet werden.

### Zahl der diskreten Bauelemente verringern

Die Impedanzen der Anpassungsnetzwerke werden oft durch spezielle Leiterbahnführungen erreicht. Auf diese Weise wird die Anzahl der diskreten Bauelemente reduziert und auch Induktivitäten, die nicht dem Stan-

## Top Qualität für hohe Leistung

Ultrakondensatoren sind kompakte Energiespeicher mit schneller Energieabgabe und hoher Leistungsdichte.

Die neue DuraBlue Technologie, mit der 2.85V, 3400F Zelle erfüllt die höchsten Schock und Vibrationsanforderungen.

Maxwell Ultrakondensatoren – Top Qualität für hohe Leistung.

### Anwendungen:

- ❖ Energiespeicherung und -Backup für kurzfristige Netzausfälle und Spitzenlaststrom für Industrieanlagen
  - ❖ Transport
  - ❖ Grid, Wind- und Solar-Anlagen
- ... und die Liste wird ständig länger.



**Maxwell**  
TECHNOLOGIES  
Enabling Energy's Future™

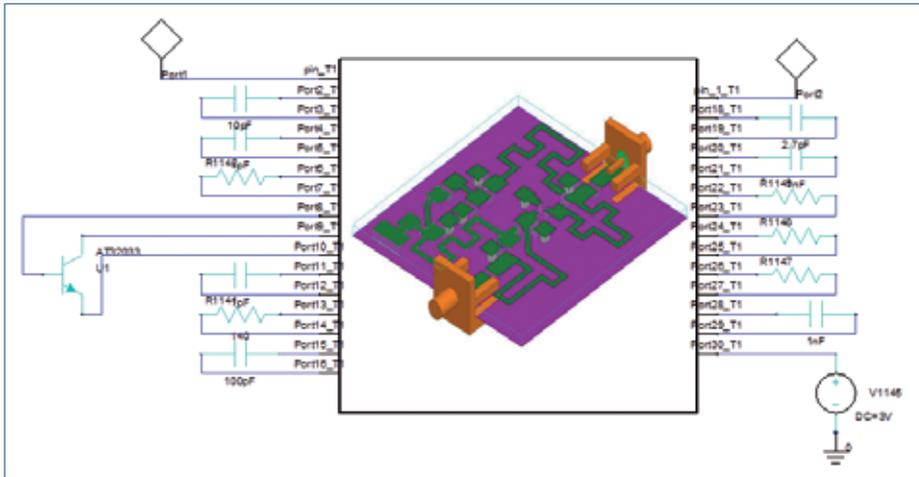


Bild: CADFEM

**Bild 2:** Der Schaltplan für die Systemsimulation eines Low Noise Amplifiers. Das Übertragungsverhalten der Platine inklusive parasitärer Impedanzen ist in dem großen Block hinterlegt.

dard entsprechen, sind sehr einfach realisierbar. Der gesamte LNA ist daher in einer Systemsimulation (siehe Bild 2) abzubilden, in die sowohl die Impedanzen des Layouts aus einer Feldsimulation als auch ein gutes nicht-lineares Verhaltensmodell des Transistors eingebunden werden.

Die Untersuchung des LNA erfolgt mit mehreren Analysen:

- 1. Der Arbeitspunkt des Transistors wird in einer DC-Analyse bestimmt.
- 2. Der Frequenzgang des Kleinsignalverhaltens lässt sich in einer linearen Netzwerkanalyse ermitteln. Hierbei geben die S-Parameter Auskunft über die Verstärkung und die Reflexionsdämpfung an beiden Eingängen sowie über die Bandbreite des Verstärkers. In dieser Analyse wird der Arbeitspunkt verwendet, der in der DC-Analyse bestimmt wurde.
- 3. Das nicht-lineare Verhalten des LNA kann in einer ‚Harmonic Balance‘-Analyse untersucht werden. Beispielsweise wird es

bei einer gegebenen Eingangsleistung und Frequenz durch die angeregten höheren harmonischen Anteile im Ausgangssignal charakterisiert bzw. durch die Kennlinie, der Ausgangsleistung gegen die Eingangsleistung bei der Grundfrequenz.

### Nachbildung eines gesamten Antennensystems

Die Systemsimulation kann natürlich noch eine Stufe weiter getrieben werden, indem ein gesamtes Antennensystem nachgebildet wird. In solchen Modellen können die verschiedenen Komponenten in unterschiedlichen Detailgraden modelliert werden. Dabei sind sowohl einfache Verhaltensmodelle von gesamten Verstärkern, Mixern oder Filtern verwendbar als auch eine detaillierte Modellierung, die auf komplexen Feldsimulationen und vielen detaillierten Einzelkomponenten beruht.

Zum Beispiel sind bei einem RFID-System (Radio Frequency Identification) viele Her-

ausforderungen zu bewältigen: Die Signale müssen vom Lesegerät zum Chip auf dem RFID-Tag und zurück gut übertragen werden, der Chip auf dem Tag wird dabei aber auch mit Energie aus dem empfangenen Signal gespeist. Hierfür müssen sowohl das Energie-Harvester-System als auch das Send- und Empfangssystem mit der Modulation des Signals untersucht werden.

Von ganz besonderer Bedeutung ist die Feldkopplung zwischen den Antennen. Diese sollte in einer wohldefinierten Region um das Lesegerät und bei möglichst vielen Tag-Ausrichtungen möglichst günstig sein. Hierbei hilft die ‚Dynamic Link‘-Technik im ANSYS Electronics Desktop für Systemsimulationen, die auf parametrischen Feldsimulationen aufbaut. Um bei solchen Fragen auch Feldauswertungen in einer Systemsimulation zu berücksichtigen, lassen sich die Anregungen, die in der Systemsimulation ermittelt wurden, automatisch in die Feldsimulation übertragen.

### Effekte ungewollter Antennen spielen große Rolle

Die HF-Simulationslösungen von ANSYS basieren auf leistungsstarken 3D-Feldlösern und Schaltungssimulatoren, die an die jeweiligen Anforderungen angepasst sind und nahtlos miteinander zusammenspielen. Diese eignen sich hervorragend, um Antennensysteme zu simulieren. Darüber hinaus ist der Anwendungsbereich dieser Lösungsverfahren noch viel breiter: Im EMV-Bereich spielen zum Beispiel Leiterbahnen und Kabel, die als ungewollte Antennen betrieben werden, eine große Rolle. Diese ungewollten Antennen können mit Feldsimulationen entdeckt werden und in einer Systemsimulation lässt sich bewerten, wie stark sie im Betrieb angeregt werden. Damit ist das Emissionsspektrum bestimmbar.

Die hier aufgezeigten Simulationenmethoden für Antennen und Antennensysteme zeichnen sich durch einen durchgängigen parametrischen Workflow aus – von der Berechnung der einzelnen Komponente bis zur Untersuchung des Gesamtsystems. Damit lassen sich komplette Antennensysteme als virtuelle Prototypen systematisch analysieren und optimieren. Auf diese Weise können schon in einer sehr frühen Entwicklungsphase wichtige Entscheidungen – mit einem durch die Simulation gewonnenen umfassenden Verständnis des physikalischen Verhaltens des Antennendesigns – fundiert getroffen werden. // FG

CADFEM  
+49 (0)8092 70050

## Webinare zum Thema Antennendesign

CADFEM zeigt in kostenlosen Webinaren die Grundlagen der HF-Simulation. Im Design von Antennen sind vielfältige Anforderungen zu erfüllen: Ein kleiner Bauraum, wie er durch die Größe eines Gerätes oder einer Platine limitiert ist, eine gute Empfangs- beziehungsweise Sendeleistung sowie eine für die Anwendung optimierte Richtcharakteristik. Die FEM-Simulation mit ANSYS HFSS bietet die Möglichkeit, diese Aufgabenstellungen schon in einer frühen Designphase

zielgerichtet zu lösen. Anhand typischer Designaufgaben wie der Simulation einer Parabolantenne, der Anpassung der Richtcharakteristik eines Mobilfunk-Antennenarrays und der Optimierung einer Dualband-Schlitzantenne wird das praktische Arbeiten mit der Software demonstriert. Anmeldungen sind unter der Adresse [www.cadfem.de/antennen-webinar](http://www.cadfem.de/antennen-webinar) möglich. Termine: Donnerstag, 26. März, 11.00 Uhr und Dienstag, 5. Mai, 14.00 Uhr.