

Viertor-Hybrid-Koppler für Tracking-Antennen-Systeme

Hochfrequente Simulation



Um am Anfang gleich die Frage nach dem Unterschied zwischen Hochfrequenz (HF) und Niederfrequenz (NF) zu beantworten, muss klargestellt werden, dass die Maxwell-Gleichungen – die Bewegungsgleichungen der Elektrodynamik – Wellengleichungen sind. Die elektromagnetischen Wellen breiten sich im Vakuum mit Lichtgeschwindigkeit aus, also mit 300.000 km/s. Dies entspricht bei einer Frequenz von 1 GHz einer Wellenlänge von ca. 30 cm.

Hochfrequenter Elektromagnetismus beschäftigt sich mit der Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen. Diese sind jedoch nur dann relevant, wenn Strukturen betrachtet werden, die vergleichbare oder größere Abmessungen als die Wellenlänge bei der gegebenen Frequenz haben. Für Bauteile von einigen Zentimeter Größe ist dies also im oberen MHz oder im GHz Bereich, für eine Stromleitung von Afrika nach Mitteleuropa ist dies einige Hz. Daher wird für eine solche Stromleitung auch Gleichstrom benötigt, da die Leitung sonst als Antenne wirkt und einen erheblichen Teil der zu übertragenden Energie einfach abstrahlen würde.

Im Alltagsleben finden sich viele Anwendungen von HF-Elektromagnetismus: Meist haben diese Anwendungen mit der Übertragung von Signalen und Information zu tun. HF-Elektromagnetismus wird aber auch zur Bildgebung (Kernspintomographie oder Radartechnologie), in der Sensorik (Radarsensoren) oder zum Heizen mit Mikrowellen genutzt.

Freie Wellenausbreitung

Elektromagnetische Wellen können sich entweder frei ausbreiten, z.B. Radio- oder

Handysignale, aber auch an Leiter gebunden sein, wie in Koaxialkabeln oder in Leiterbahnen auf Platinen. Die Funktion von Antennen ist es, leitergebundene Wellen dazu zu bringen, dass sie sich vom Leiter lösen und frei ausbreiten oder umgekehrt, dass sie die Wellen wieder einfangen. Dagegen wird beim Leiterplatten-design das Ziel verfolgt, die Wellen davon abzuhalten, sich von dem für sie bestimmten Leiter zu lösen (Abstrahlung, Übersprechen).

Um diese Art von Problemen mit der Simulation in den Griff zu bekommen, hat ANSYS eine Reihe von hochwertigen Lösungen entwickelt. Einerseits sind das leistungsstarke Feldsimulatoren wie HFSS, SIwave oder Q3D Extractor, die auf finiten Elementen, Integralgleichungsmethoden und Hybridmethoden beruhen, um Feldverteilungen, Fernfelder und sich daraus ergebende Schaltkreisparameter (S-Parameter) zu berechnen. Andererseits gehören auch Schaltungssimulatoren und Layout Tools wie DesignerSI und DesignerRF dazu. In diesen Schaltungssimulatoren können sowohl die S-Parameter aus der Feldsimulation als auch aktive Schaltelemente und elektronische Verhaltensmodelle (IBIS: Input/Output Buffer Information Specification) berücksichtigt werden.

Gerichtete Signalübertragung

In Zusammenarbeit mit dem Unternehmen PIDSO wurde ein 2x2 Antennen Array untersucht (Bild 1), das zur gerichteten Signalübertragung zu bewegten Objekten dient (Tracking). Um den bewegten Objekten folgen zu können, wurde das Antennen Array auf einer kardanischen Aufhängung montiert. In die Antenne ist ein Viertor-Hybrid-Koppler integriert um die vier Ausgangssignale der Antennen in ein Summensignal zur Signalübertragung und Differenzsignale zum Tracking zu verwandeln.

Ein Funksignal, das schräg auf das Antennen Array auftrifft, führt zu phasenverschobenen Signalen an den Patchantennen, wobei der Hybridkoppler konstruktive und destruktive Interferenzen nutzen soll, um die Summen und Differenzsignale zu produzieren. Die Kantenlänge des Hybridkopplers ist ungefähr eine viertel Wellenlänge und die S-Matrix für das Übertragungsverhalten des Kopplers von den Eingangs- zu den Ausgangsports soll durch

$$S_{Out, In} \sim \begin{pmatrix} i & 1 & i & 1 \\ 1 & i & 1 & i \\ -i & 1 & i & -1 \\ -1 & i & 1 & -i \end{pmatrix}$$

beschrieben sein.

Bild: shutterstock.com/Mmaxer



Bild 1: Das Antennen Array dient zur gerichteten Signalübertragung.

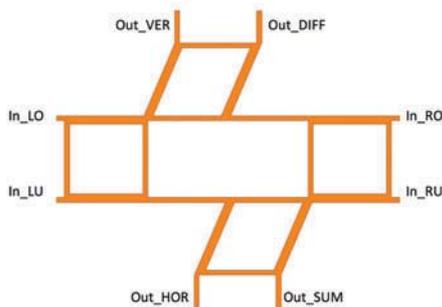
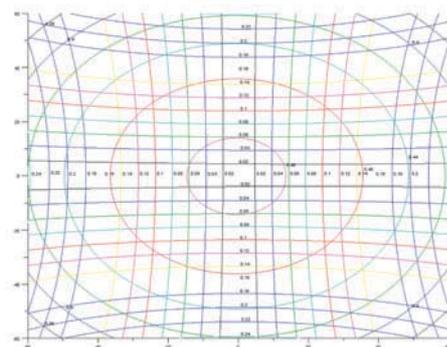


Bild 2: Die Kanten des Hybridkopplers sind ungefähr eine viertel Wellenlänge lang.



Bilder: PIDSO

Bild 3: Der Konturplot veranschaulicht die hohe Qualität der Optimierung.

Zur Anpassung des Kopplers an eine gegebene Frequenz musste die Geometrie parametrisiert werden. Dazu wurden wegen der Symmetrie der Geometrie fünf Kantenlängen, ein Winkel und die Position des Parallelogramms bezüglich der Rechtecke berücksichtigt (Bild 2). Die Feldsimulation der parametrisierten Struktur wurde bei der gegebenen Frequenz mit ANSYS HFSS durchgeführt. Ziel der Optimierung mit optiSLang war es, die mittlere quadratische Abweichung der wahren S-Matrix des Kopplers von der, mit einer entsprechenden multiplikativen (komplexen) Konstante angepassten, idealen S-Matrix zu minimieren. Außerdem soll der Return Loss des Summenports unter -12dB sein. Die Sensitivitätsanalyse mit optiSLang ergab, dass sechs der sieben Parameter einen signifikanten Einfluss auf einen der zwei Zielparameter haben. Eine Optimierung mit einer adaptiven Response-Surface-Methode führte nach einer Rechenzeit über Nacht zu einer sehr guten Geometrie.

Qualität der Optimierung

Wie der Konturplot (Bild 3) der Ausgangssignale am Summenport und den horizontalen und vertikalen Differenzports über den horizontalen und vertikalen Phasendifferenzen zeigt, ist die Qualität der Optimierung sehr gut: Die Konturen der horizontalen und vertikalen Differenzsignale bilden über einen großen Winkelbereich ein rechtwinkliges Koordinatensystem. Außerdem hängt das Summensignal kaum von den Phasendifferenzen ab. Aus der Darstellung der elektrischen Feldstärke (Bild 4) ist ersichtlich, dass bei senkrecht auf die Antennen Patches einfallenden Wellen kaum etwas an den Differenzports des Hybridkopplers ankommt.

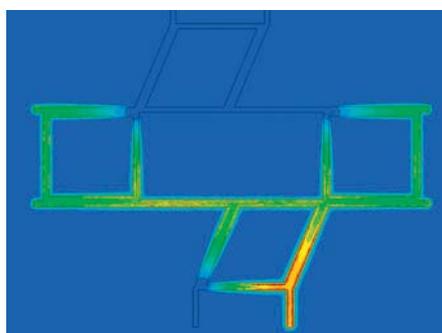


Bild 4: Die von den Antennen Patches ausgesendeten Signale kommen an den Differenzports kaum an.

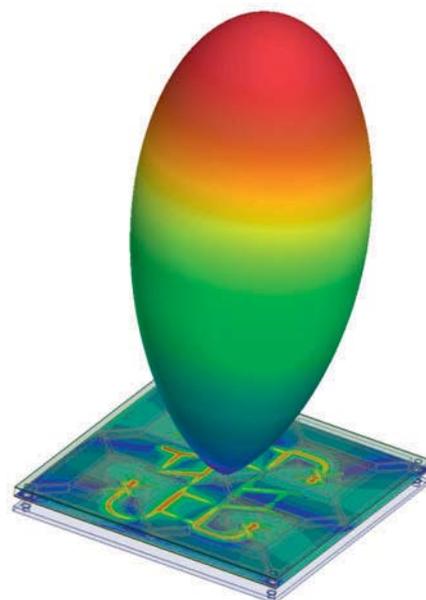


Bild 5: Feldsimulation für die gesamte zusammengebaute Antenne.

Ein weiterer Schritt beim Design der gesamten Antenne umfasst den Anschluss des Hybridkopplers an das Antennen Array über eine Microstrip Line. Dazu wird zunächst eine Schaltungssimulation mit dem ANSYS Designer durchgeführt.

Hierbei lassen sich z.B. die Längendifferenz der Microstrip Lines und eine Kapazität zur Anpassung am Feed der Patch Antennen als Parameter verwenden. Anschließend kann über den dynamischen Link zwischen ANSYS Designer und HFSS der Gain der Antenne in senkrechter Richtung gegen diese Parameter aufgetragen und optimiert werden.

Letztendlich muss dann aber die gesamte Antenne wieder zusammengebaut und eine Feldsimulation durchgeführt werden (Bild 5). Die Geometrie dafür lässt sich aus dem Ergebnis der Schaltungssimulation ableiten. Durch dieses Vorgehen kann der Designprozess signifikant beschleunigt werden. In weiteren Schritten erlaubt es die ANSYS Umgebung auch, die Robustheit eines Designs gegenüber anderen physikalischen Einflüssen zu untersuchen: Da die Antenne bewegt wird, können z.B. Vibrationen zu einem veränderten Abstrahlverhalten führen. In einer gekoppelten Analyse lassen sich solche Fragestellungen effizient untersuchen.

InfoUnternehmen

PIDSO GmbH
Phorusgasse 8, A-1040 Wien
Tel. +43 (0) 1 25 24 189
www.pidso.com



InfoAutor | CADFEM

Christian Römelsberger, CADFEM GmbH

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Jens Otto, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0)8092-7005-17
jotto@cadfem.de

InfoVerwendeteSoftware

ANSYS HFSS, ANSYS Designer, optiSLang

InfoTag

Elektromagnetik
www.cadfem.de/elektromagnetik