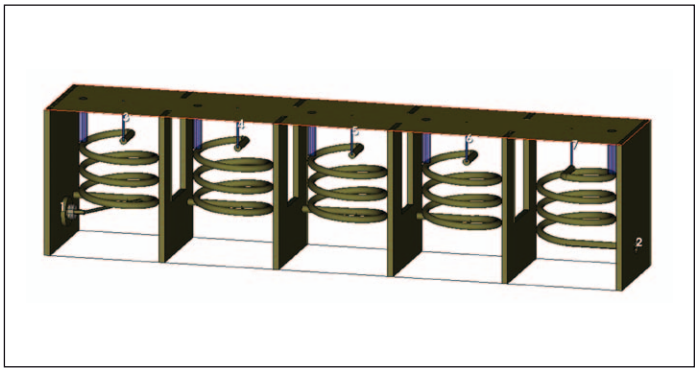
NI AWR Software in Aktion:

Entwicklung hohlraumbasierter Helical-Resonator-Bandpassfilter mit parametrierter Projektvorlage (Teil 1)



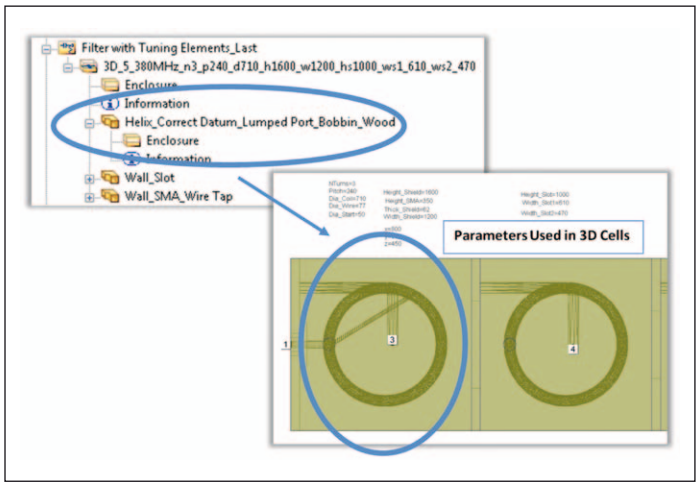


Bild 1: Die 3D PCells wurden hier zunächst in einem 2D Layout kaskadiert.

Diese Application Note behandelt den Designprozess für eine kostengünstige Familie von hohlraumbasierten (cavity-based) UHF-Helical-Resonator-Bandpassfiltern zum Einsatz in einer umschaltbaren Testanordnung für CATV-Komponenten.

Ein solches Cavity-Filter arbeitet mit einem oder mehreren Hohlraumresonatoren als frequenzbestimmendes Element. Dabei handelt es sich um einen Resonator, der in einen elektrisch leitenden Hohlkörper, wie z.B. einen Zylinder, eintaucht.

Durch eine Änderung der Geometrie von Hohlkörper oder Resonator kann dieses Gebilde abgestimmt werden und erlaubt einen sehr selektiven Durchgang. Es lassen sich sehr hohe Güten erreichen, die wiederum direkt Einfluss auf die Selektivität haben.

Die Leistungsfähigkeit solcher Filter wird also lediglich durch die Geometrie bestimmt. Daher kann man durch Abstimmen der Filterstruktur bzw. Bestimmen der Größe aller Komponenten die Einstellelemente so gestalten, dass auf effektive Weise das geplante Betriebsverhalten des Filters erreicht wird. Bei dieser Aufgabe sind Software-Werkzeuge wie NI AWR Design Environment – inklusive des Simulators Analyst 3D EM – großartige Assistenten.

PCB-Material als Basis

Die Entwicklung und Simulation einer Geometrie für hohlraumbasierte Filter mit 3D EM einschließlich der Abstimmelemente ist im Allgemeinen sehr zeitintensiv. Doch integriert man ein solches Projekt in die Software, kann eine neue Auslegung sehr schnell durch Ändern einer kleinen Anzahl von Schlüsselparametern untersucht werden.

Mithilfe parameterisierter 3D-EM-Bausteine für Hohlleiter und Resonatoren im Filter werden die Synthese und das Design einzelner Stufen vereinfacht. Das gesamte Design ist dann

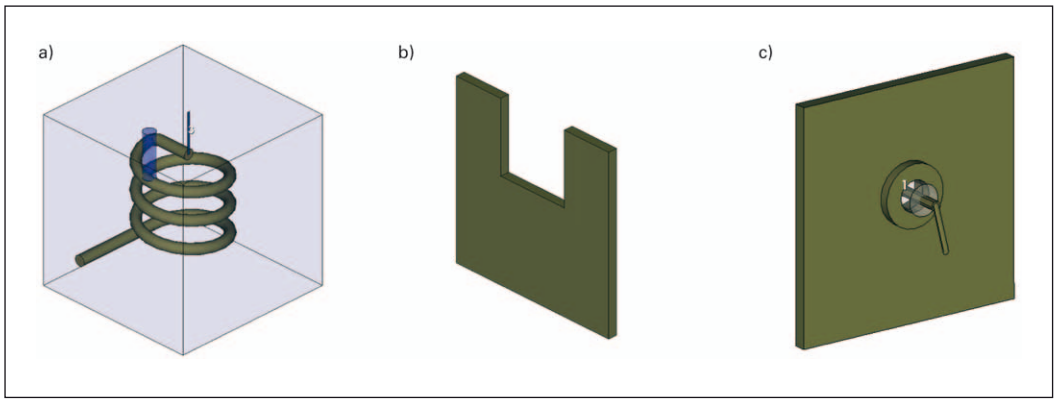


Bild 2: Die drei Kernelemente Helical Resonator (a), Schlitz-Apertur-Kopplung (b) und SMA-Bulkhead-Abschluss (c)

Quelle: Application Note „Cavity-Based Helical Resonator Bandpass Filters Designed With Parameterized Project Template in NI AWR Software“ frei übersetzt und leicht gekürzt von FS

Variables

Primary_ValueSet

Name	Expression	Value	Export	Constrain	Min	Max	Step	Tune	Optimize	Log	Note
Width_Shield	1200 mil	1200 m	✓		0	0	0				my new variable (v1)
Height_Shield	1200 mil	1200 m	✓		0	0	0				my new variable (v1)
Dia_Top	50 mil	50 mil	✓		0	0	0				my new variable (v1)
NTurns	3 None	3 None	✓		0	0	0				Number of turns
WireDia	77 mil	77 mil	✓		0	0	0				Diameter of the wire
CoilDia	500 mil	500 m	✓		0	0	0				Coil inner diameter
Pitch	200 mil	200 mi	✓		0	0	0				Distance between turns, r
Rho	1 None	1 None			0	0	0				Bulk resistivity of conduc
Height_Base	150 mil	150 mil			0	0	0				my new variable (v1)
Width_Base	100 mil	100 mil			0	0	0				my new variable (v1)

Bild 3: Aufstellung der Parameter, welche zurück in die Microwave-Office-2D-Umgebung exportiert wurden

hochgradig reproduzierbar. Ein Schlüsselelement für die preisgünstige und schnelle Filter-Implementation war die einzigartige Konstruktion der Filter auf Basis von doppelt kaschiertem Platinenmaterial. Die Hohlräume und ihre Abschlüsse und Weiterführungen werden ausgeschnitten unter Nutzung einer LPKF-PCB-Mahlmaschine (Milling Machine), welche von einem parameterisierten Satz von Fertigungs-Files angesteuert wird.

NI AWR Design Environment Software, speziell Microwave Office Circuit Design Software, wurde ebenfalls eingesetzt, um einen kompletten „Synthese-zu-Implementations"-Prozess für das gesamte Filter-Design einschließlich der Erstellung von Fabrikations-Files zu ermöglichen. Eine hierarchische Vorgehensweise bei der Modellierung wurde genutzt, welche die Optimierung des Objekts als Modell in Microwave Office und die Verifizierung durch Nutzung der Analyst-EM-Simulation erlaubt.

Stark verkürzte Entwicklungszeit

Sobald einmal die Projektvorlage oder Schablone kreiert ist, kann der gesamte Prozess der Entwicklung einer Variante mit einer neuen Filterfrequenz in weniger als einem Tag durchgeführt werden. Dies ist der in sich geschlossenen integrierten Projektumgebung zu verdanken. Ein erster Erfolg wurde mit drei verschiedenen Frequenzauslegungen erreicht und war verbunden mit einer beträchtlichen Zeitersparnis bei der Kreation der 3D-EM-Struktur der Filterfamilie infolge der Grundstruktur aus kaskadierbaren Bausteinen der Analyst PCells.

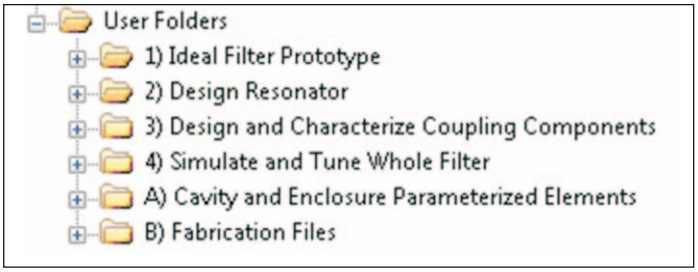


Bild 4: Design-Ablauf, dargestellt anhand von Ordnern

Die PCell-Bausteine

Ein hierarchisches Herangehen beim Entwicklungsprozess des Filters wurde mithilfe von parameterisierten 3D PCells innerhalb des Analyst umgesetzt. Ein Kernsatz allgemeiner Parameter spezifiziert dabei alle physikalsichen Filterdimensionen. Bild 1 zeigt die ersten beiden Sektionen des kompletten Filtermodells im 2D Layout Editor in Form einer Kaskade parameterisierter 3D PCells. Das Aufmacherbild bringt die dazugehörige 3D-Darstellung des kompletten Filtermodells. Koaxiale SMA-Anschlüsse bilden die Wellen-Ports 1 and 2. Die Ports 3 bis 7 werden genutzt, um die Port-Abstimmungstechnik zu implementieren.

Das gesamte Filter wurde mit lediglich drei parameterisierten Kernbausteinen:

- Helical Resonator (Spule)
- Schlitz-Apertur-Kopplung
- SMA-Bulkhead-Abschluss mit justierbarem Resonator-Abgriffsdraht

Bild 2 zeigt diese Baugruppen genauer.

Die 3D PCells wurden unter Nutzung des Analyst 3D Editors gezeichnet und dann die für die Konstruktion relevanten Parameter nach Microwave Office exportiert (Bild 3).

Verlauf des Designs

Sowohl die Entwicklung als auch die Fertigung eines solchen Filters enthält eine Anzahl von Herausforderungen, die ganz typisch für diese Art von Filtern sind. Zunächst erfolgte das Design mit als ideal angenommenen Elementen gemäß der traditionellen Filtertheorie. Optimierungen wurden dann ausgeführt, um zur vorgegebenen Filterkurve zu kommen.

Die erste Herausforderung bestand darin, das angestrebte ideale Filterverhalten soweit wie möglich mit einem aktuellen physikalisch realen kaskadierbaren Hohlleiter zu erreichen. Die EM Simulation mithilfe von Analyst wurde dabei hochgradig genutzt, da sie gerade für ein solches Projekt einige Vorteile bietet. Dazu zählt die Fähigkeit, 3D-Teile in Form von PCells zu kreieren, die dann immer wieder im Verlauf des Entwicklungsprozesses genutzt werden können. Dadurch wird die Modellentwicklung schneller und leichter, da die Schritte vom individuellen Hohlraum-Design zu den letztendlichen fünf kaskadierten Sektionen miteinander verbundene einheitliche Grund-

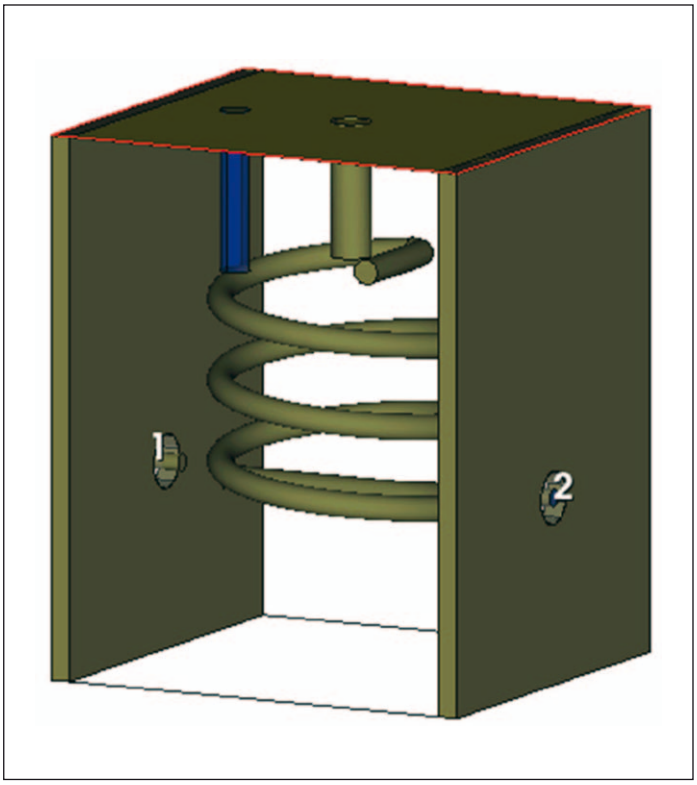


Bild 5: Ein einzelner Resonator im 3D-Modell

formen ausnutzen. Diese sind so gestaltet, dass dabei Parameter genutzt wurden, die es gestatten, die aktuelle Geometrie schnell zu ändern und anzupassen, ohne dabei die Gesamtstruktur in einem 3D Layout Editor ändern zu müssen.

Der Design-Prozess für gekoppelte Resonator-Bandpassfilter wird in der Literature [1] bis [3] gut dargestellt und kann wie folgt für die Implemtierung des Helical-Resonators dargestellt werden:

1. Bestimmmung des Typs (z.B. Chebyshev oder Bessel) und Errechnung der Ordnung des Filters für die gewünschte Übertragungskurve, basierend auf vorgegebener Welligkeit und Stopband-Unterdrückung sowie Impedanz

2. Errechnung des Koppelfaktors zwischen Filtereingang, Resonatoren und Ausgang. Umwandlung der Koppelfaktoren in Koppelbandbreiten, welche man leicht durch eine Simulation oder physikalisch auf dem Labortisch überprüfen kann

3. Design eines Helical-Resonators und der Implementation in den Hohlleiter, wobei die auf der Filter-Center-Frequenz beruhenden Dimensionen den besten Kompromiss zwischen Leerlaufgüte, Betriebsverlusten und Größe des Hohlleiters ergeben sollen

4. Auswahl einer Eingangs- und Ausgangsresonator-Anschlusskopplung; zur Wahl stehen E-Feldkopplung mit direkter Resonatoranzapfung und H-Feld-Kopplung mit Koppelschleife

5. Auswahl einer internen Resonator-Koppelmethode, wie etwa Schlitzkopplung auf Basis der Apertur, und Kreation eines Lageplans betreffs der Schlitze mit ihren gewählten Größen unter Berücksichtigung der resultierenden Koppelbandbreiten, sodass die nominelle Schlitzgröße zwischen jedem Einzelhohlleiter auf Basis der Koppelfaktoren gemäß Schritt 3 ermittelt werden kann.

6. Bau des Filters mit seinen Abstimmelementen auf allen Resonatoren und Koppelelementen

7. Abstimmung des Filters und Bewertung des Designs

Eine Microwave-Office-Projektschablone mit Anwenderordnern (User Folders) wurde für diesen Design-Ablauf unter Heranziehung hierarchischer Techniken und Parametrierungen entwickelt (Bild 4). Danach wurde mit dieser Schablone je ein separates Projekt für die Frequenzen 215, 380, und 540 MHz entwickelt.

Der ideale Filter-Prototyp

Auch ein ideales Filter-Prototypmodell wurde geschaffen, und zwar mit invertiert gekoppelten Resonatorelementen in einem linearen Schema. Dies hatte den Sinn, dass man nun überprüfen konnte, ob die sich ergebenden Koppelfaktoren korrekt waren. Das ideale Filtermodell wurde auch dazu genutzt, um die Gruppenlaufzeit zu bestimmen, die für die Abstimmschritte innerhalb der Filterkaskade von Bedeutung ist.

Gleichungen für die Funktionen von Teilbandbreiten, für die Impedanz und für eine Skalierung der Frequenz zwecks Bestimmung der Koppelfaktoren wurden direkt diesem Schema hinzugefügt (s. Originalquelle). Die Koeffizienten g_0 bis g_N wurden aufgrund der Welligkeit im Durchlassbereich für die jeweils vorgegebene Ordnung des Chebychev-Filterverhaltens kalkuliert. Das Verlustelement des Resonators wurde dabei von der Resonatorimpedanz und der Leerlaufgüte der Sektion 2 sowie vom Kurvenfaktor des Resonators bestimmt.

Der Resonator

Ein Tabellenblatt (Spreadsheet) wurde entworfen mit den Helical-Resonator-Gleichungen nach [1], um Dimensionen für den Start des Design-Prozesses zu erhalten: Helix-Durchmesser, Drahtdurchmesser, Pitch, Windungsanzahl und resultierende Cavity-Dimensionen; dann wurde bezüglich Gesamtvolumen, Resonator-Impedance und Leerlaufgüte optimiert bzw. abgewogen.

Die Dimensionen wurden dann mit dem Analyst unter Nutzung des lose angekoppelten 3D-Modells gemäß Bild 5 fein abgestimmt. Die beiden Plots in Bild 6 illustrieren die für 380 MHz erhaltene Implementation mit der Abstimmschraube auf Minimum und Maximum der Einsatztiefe und resultierende 20 MHz als Abstimmbereich.

Teil 2 folgt im nächsten Heft

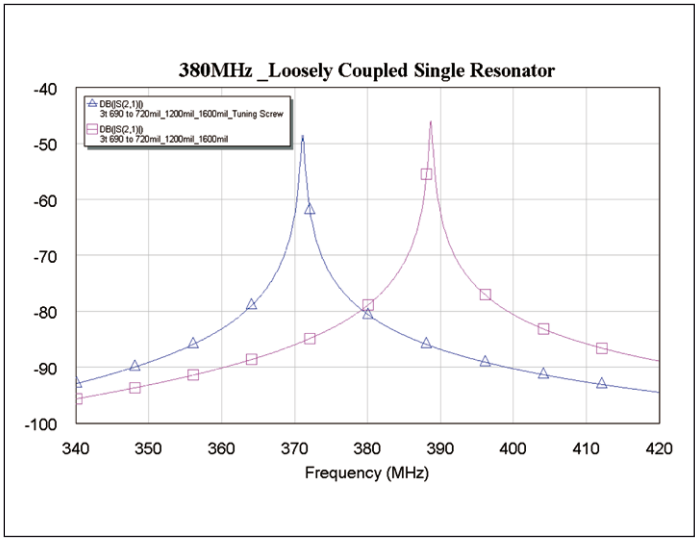


Bild 6: Resonanzkurven für extreme Stellungen der Abstimmschraube