EM-Simulationstechniken verbessern das Modellieren von PCB-VHF-Baluns, Teil 2

In diesem zweiten und abschließenden Teil wird beispielhaft gezeigt, wie die Entwicklung eines planaren Baluns unter Nutzung der Simulations-Software Axiem von AWR konkret abläuft.

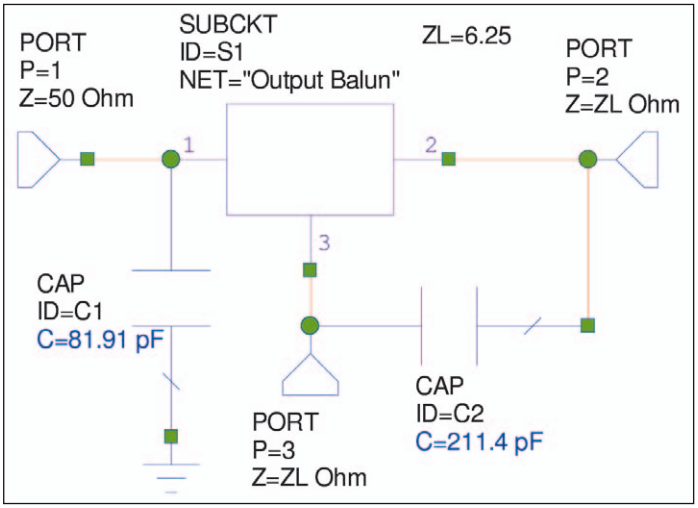

Bild 11: Weitentwickeltes Analysis-Schema mit dem EM Block, untergebracht in einer Sub-Schaltung

Der erste Schritt des Design-Prozesses besteht darin, die Impedanzen, welche anzupassen sind, näher zu betrachten und eventuell resistive und reaktive Komponenten zu ermitteln. Es ist nicht immer notwendig, die Anpassung mit einem einzigen Balun zu bewerkstelligen. Bei großen Verhältnissen der Impedanzen kann es von Vorteil sein, stufenweise vorzugehen, denn je höher der Anpassungsgrad (Impedance Step) ist, umso höher wird die Güte und umso geringer die nutzbare Bandbreite.

Anpassung einer komplexen Impedanz

Als Beispiel sei ein Balun für die Center-Frequenz 98 MHz vorgestellt, der an einem Very-High-Power-Gerät wie dem NXP BLF178 liegen soll. Das resistive Element liegt im Bereich um 2,5 Ohm, und das reaktive Element wurde mit -j6,8 Ohm (entsprechend 240 pF) ermittelt. Die Tabelle listet mögliche Balun-Spulen-Werte auf. Sie gelten für 50 Ohm Quellimpedanz und eine Sekundärinduktivität von 11 nH (resonant mit 240 pF auf 98 MHz) sowie einen Koppelfaktor von 0,8.

Hier wird klar, dass es eine Reihe von Optionen gibt, je nachdem, wie groß die Impedanztransformation sein soll. Zu beachten ist, dass dies nur für eine Frequenz gilt und dass mit zunehmender Bandbreite die Variation des Koppelfaktors zunimmt. Eine Daumenregel für größere Bandbreite besagt, dass eine geringere Impedanztransformation zu geringerem Ripple führt. Hohe Impedanzverhältnisse (etwa 10) lassen sich dann erreichen, wenn der Verlust kein kritischer Faktor ist. Daher ist es bei Leistungsverstärkern unklug, ein Transformationsverhältnis über 5 zu dulden. In diesem Beispiel wurde daher auf eine Lastimpedanz von 12,5 Ohm optimirt. Die entsprechenden Werte aus der Tabelle können in das Schaltungsmodell gemäß Bild 3 übernommen und für die erforderliche Bandbreite optimiert werden. Sie ermöglicht dann den Entwurf eines optimierten einfachen Baluns, wie er in Bild 8 dargestellt wurde.

Wenn es möglich ist, auch Substratdicke oder Dielektrizitätskonstante zu variieren, dann kann man den Einfluss anderer Faktoren, wie z.B. der Leiterbahnbreite, auf Anpassung, Kosten und Lieferbarkeit noch besser untersuchen. Die Entwicklung von PCB-Material ist ja im Gange und bringt neue Formen, wie Flex- und Soft-Ausführungen, hervor.

Optimierung und Simulation

Aus dem einfachen Modell heraus entwickelt, wird so ein komplizierterer Entwurf entstehen. Ausgehend von Linienbreite und -länge der simplen Schaltung, lässt sich z.B. die Eingangsspur hin zu geringerer Breite optimieren, während die Ausgangsspur verbreitert wird, um das geforderte Induktivitätsverhältnis bei gleichen Längen zu erreichen. Bei verschiedenen Längen ergeben sich wiederum oft besser praktikable Spurbereiten.

Am einfachsten ist es, zuerst die Form und Größe der einfachen Schleife (in C-Form) zu definieren. Der spiralförmige Teil ist komplizierter, und die Leiterlängen lassen sich am besten in Relation zu einer Seite einer Windung beschreiben, die als Referenz dient. Auf diese Weise wird es möglich, dass nur ein Parameter geändert werden muss, um alle anderen zu optimieren. Bei nicht zu hohem geforderten Impedanzverhältnis wird eine einfache Windung ausreichen. Selbstverständlich ist es notwendig, die Stromtragfähigkeit der Spuren zu prüfen. Auch ein solcher Balun hat eine obere Leistungsgrenze.

Im Bild A ist dargestellt, wie ein konventionelles Microstrip-Modell genutzt wird, um die Geometrie zu definieren. Die Formen, welche hier mit der EM-Analyse erstellt und zusammengeführt wurden, sind fertig definiert, und ein EM Extraction Block innerhalb der NI-AWR-Design-Umgebung wurde hinzugefügt. Die Ports, die Masseverbindung und die Multiple-Substrate-Elemente (MSUB), die nicht Teil der EM Analysis

Quelle: Dominic Fitz-Patrick: Modelling of a Printed VHF Balun Using E-M Simulation Techniques, Powerful Microwave, ARMMS Conference April 2013, übersetzt von FS

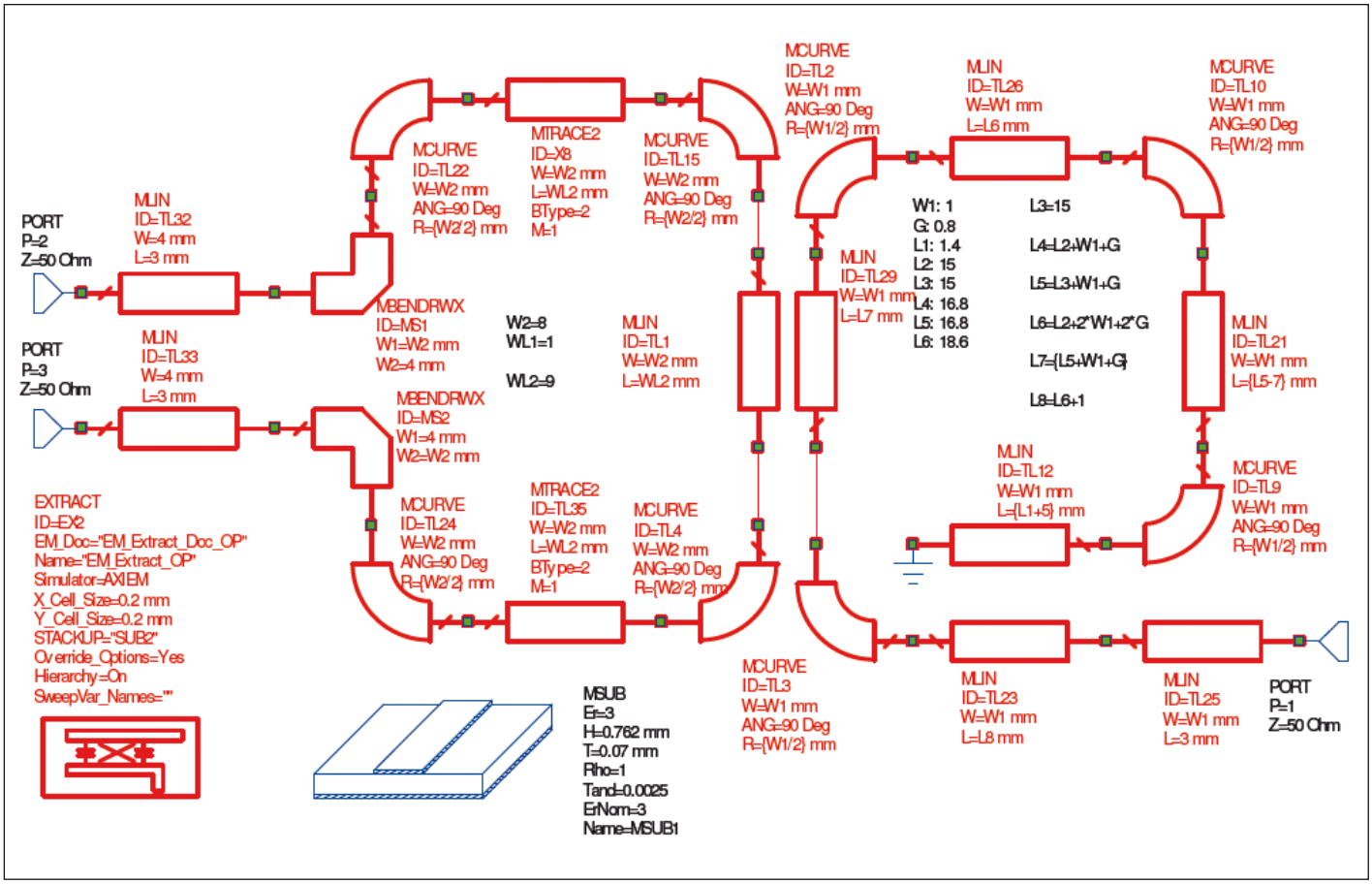

Bild A: Nutzung eines konventionellen Microstrip-Modelles, um die Geometrie zu definieren

sind, werden in Blau dargestellt. Der Extract-Block enthält die EM-Analyse-Parameter, wie etwa Zellengröße, Simulations-Engine und Materialdefinitionen. Die Stackup-Parameter gehören zu einem MSUB-Definitionselement, welches die Nutzung verschiedener Material-Layer erlaubt, um dem Anwender die Steuerung und Kontrolle der normalen Substratparameter, des Leitermaterials und der Hohlräume (Air Gaps) zu erleichtern. Beide Spurenmuster wurden hier definiert, und einer der Elementparameter wurde dementsprechend ausgewählt, auf welcher Seite des Boards eine Teilsektion platziert ist. Es ist von grundlegender Bedeutung, sicherzustellen, dass alle Sektionen gut verbunden sind.

In diesem Fall wird sowohl primär als auch sekundär eine einfache Windung eingesetzt, wobei Kondensatoren und/oder Erdungsmethoden ausgespart wurden. Die EM-Sektion der Schaltung ist zwecks möglichst schneller Analyse separiert; wenn dieser Teil der Schaltung nicht verändert wird, dann muss man die Analyse auch nicht wiederholen, und das spart Zeit. Ist stattdessen die EM-Sektion als Block enthalten, so sind die anderen Schaltungselemente einbezogen. In diesem Falle wurden die Resonanzkondensatoren hinzugefügt, wie in Bild 11 gezeigt. (Anmerkung: Andere Anpasselemente können ebenfalls einbezogen werden.)

Die Resultate der Optimierung der Kondensatorwerte für einen 3-dB-Split werden in Bild 12 dargestellt. Wie man daraus erkennen kann, ist mit dieser Konstruktion eine Unsymmetrie von 0,5 dB zwischen den Ports vorhanden. Es gibt mehrere Techniken, welche man heranziehen kann, um diesen Makel innerhalb der Simulationsmöglichkeiten zu beheben. Dabei muss man sorgfältig vorgehen, um die 180° Phasendifferenz nicht zu gefährden, denn diese ist eine Grundanforderung an den Balun. Mit diesem Wissen im Kopf, lässt sich die erforderliche Abweichung (Anti-Phase Response) einhalten. Hierzu informiert Bild 13.

Die Simulationszeit für diese Struktur liegt unter einer Minute mit einer typischen Laptop-Konfiguration, und daher sind abstimmung und Optimierung des Designs gut praktikabel. Eine automatische Optimierung ist ebenfalls vorstellbar, allerdings muss man bei den meisten Optimierungsroutinen ein wachsames Auge auf das Design haben, um sicherzustellen, dass das schließlich vorgeschlagene Layout sich durch tatsächlich realisierbare Parameter auszeichnet. Wenn man die Elemente mit der Funktion Auto-Snap setzt und Grenzen für die Dimensionen festlegt, die mit dem Rastermaß des Layouts

Z_L in Ohm	N	L_p in nH	M	C_p in pF
50	1	7	7	375
25	2	14,1	9,9	187,5
12,5	4	28,1	14,1	93,8
10	5	35,2	15,7	75
8,3	6	42,4	17,3	62,3
4	12,5	87,9	24,9	30
2	25	175,8	35,2	15

Mögliche Werte der Balun-Spule Lp (Primärinduktivität) für sieben verschiedene Lastimpedanzen (n ... Impedanzverhältnis)

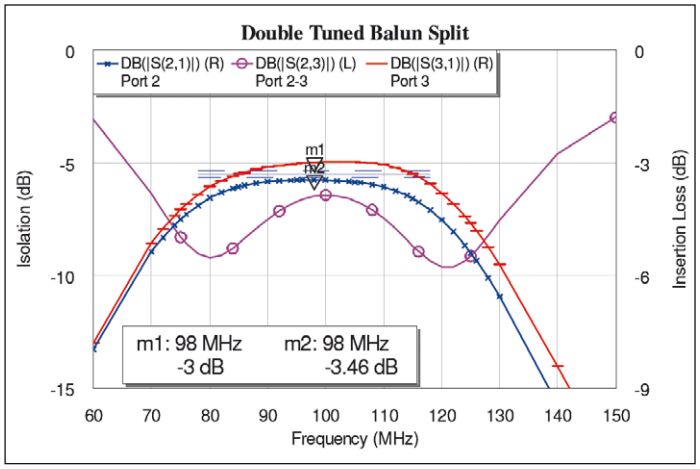

Bild 12: Leistungsverteilung (Power Split) beim abgestimmten Balun

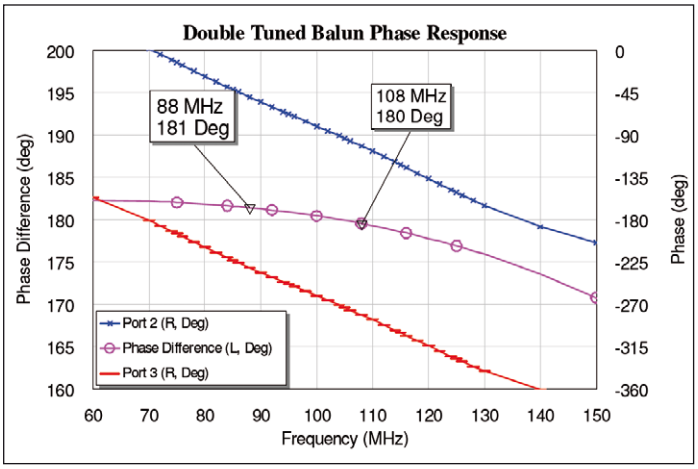

Bild 13: Phasenverhalten beim abgestimmten Balun

zusammenpassen, hilft dies bei diesem Problem weiter.

Zu verstehen, bis zu welchem detaillierten Grad die Modellierung getrieben werden soll, ist ein weiterer wichtiger Punkt bei Simulation und Messungen. Beispielsweise wird oft das Gehäuse ignoriert oder nur die Höhe der Abdeckung beachtet. Im Falle des betrachteten Output Balun muss z.B. auch der rechteckige Hohlraum unter dem Board berücksichtigt werden. In der Praxis sind auch die Übergänge von der auslaufenden Stripline zur Microstrip-Form zu beachten, und Sorgfalt muss darauf verwendet werden, wie und wo die spiralförmigen Tracks unter dem Board geerdet werden sollten. Dies alles lässt sich recht einfach mit Axiem modellieren, indem man den freien Raum in verschiedene Lagen einteilt. Die einzelnen Schritte kann man dann zu diesen Lagen addieren.

Schlussbemerkungen

Es wurde eine Herangehensweise demonstriert, welche das Verständnis einer nutzvollen Balun-Konstruktion unterstützt und die ein Balun Design ermöglicht, welches auch für voluminöse High-Power-VHF/UHF-Applikationen geeignet ist. Der Umgang mit NI AWR Design Environment inklusive Microwave Office und der Axiem EM Simulation Engine wurde ebenso demonstriert, und es wurde gezeigt, wie nützlich diese Werkzeuge sind. Sie erlauben einen akuraten Entwurf von Stripline-Layouts, wofür konventionelle lineare Schaltungmodelle nicht existieren. Dieser Ansatz erlaubt es auch, sowohl die EM-Lösung als auch das Layout zum größten Teil zu automatisieren, ausgehend von Standard-Microstrip-Schaltungselementen.

Der Autor dankt Mr. Andrew Wallace and Dr. Jaakko Juntunen von AWR Group, NI für ihre Unterstützung.