Smith Chart als praktisches Hilfsmittel

Antennenanpassung ohne Kopfweh

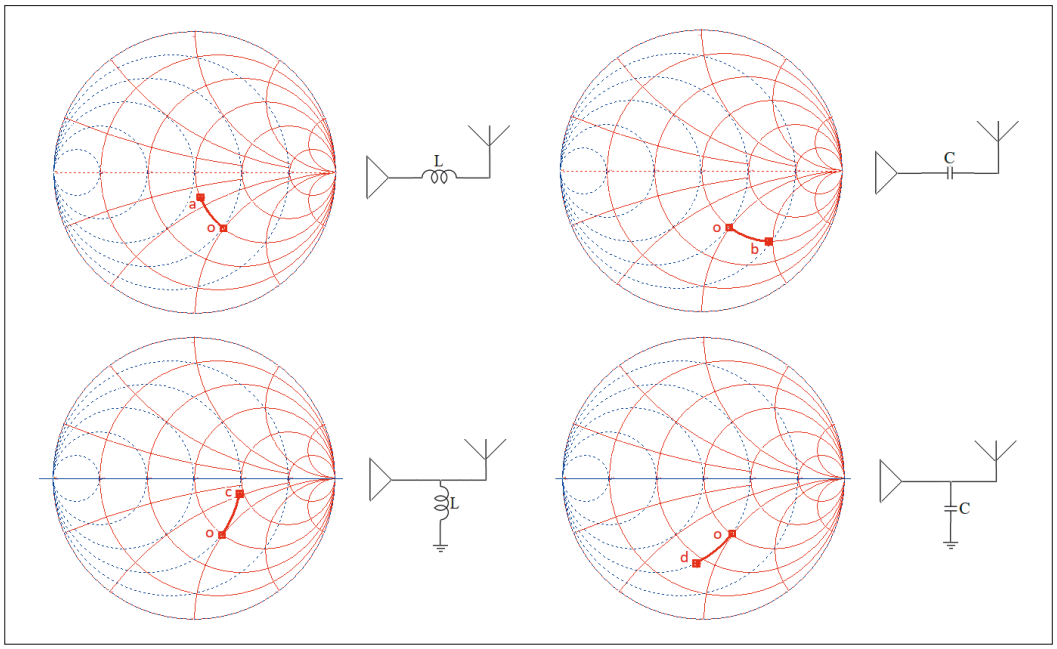


Bild 1: Impedanztransformations mit „lumped network elements“

Die Herausforderungen Internet of Things und Smart Applications verlangen nach hocheffizienten und zuverlässigen Antennensystemen.

Die gute Antennenanpassung kann einen Ingenieur viel Zeit kosten, daher lohnt es sich, die grundlegenden Techniken der Impedanzanpassung zu verstehen.

Impedanzanpassung ist ganz einfach der Prozess, in dem Leistungsanpassung zwischen der Antennenimpedanz und dem zugehörigen HF-Ausgang (Sender) oder -Eingang (Empfänger) hergestellt wird. In den meisten Fällen betragen letztere Impedanzen reell 50 Ohm.

Leitungseinfluss und Messung

Man spricht bei Antennen vom Reziprozitätsgesetz und meint damit, dass eine Antenne beim Senden genauso funktioniert wie beim Empfangen. Dies gilt jedoch zunächst einmal nur für die reine Antenne. Stimmen Antennenimpedanz und/oder Impedanz von Sender/Empfänger nicht mit dem Kabel-Wellenwiderstand überein, können sich zwischen Senden und Empfang unterschiedliche Leistungsfähigkeiten der gesamten Antennenanlage (Antenne plus Zuleitung) ergeben. Denn die Leitung kann dann längenabhängig abweichend von 1 transformieren. Man ist also gut beraten, immer zwischen Sende- und Empfangsfall zu unterscheiden.

EinVector Network Analyzer (VNA) kann zum Messen der Antennenimpedanz genutzt werden. Dazu ist jedoch ein Direktanschluss der Antenne erforderlich. Wird ein Anpassnetzwerk eingefügt, so sollte der VNA direkt an diesem platziert werden. Ein VNA lässt sich nutzen, um den Parameter S11 zu messen und um die Impedanz auf einem Smith Chart darzustellen.

Wann benötigt man eine Antennenanpassung?

Die Impedanzverhältnisse drückt man mit dem Reflexionskoeffizienten aus. Anzumerken wäre, dass es bei ungleichen Impedanzen immer dann zu keiner Reflexion kommt, wenn die Leistung aus einer Quelle (Sender) auf die Leitung geht. Dennoch

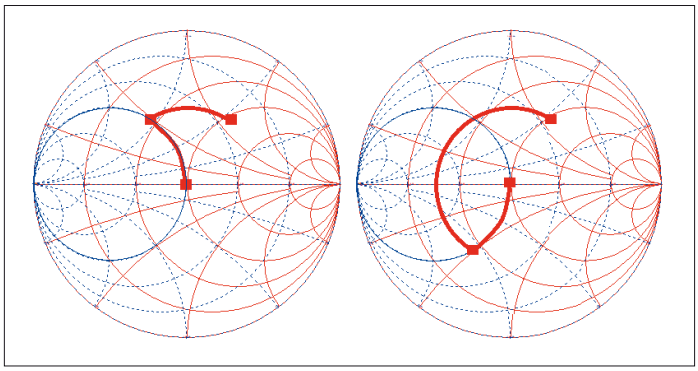


Bild 2: Transformation aus dem oberen Halbkreis heraus

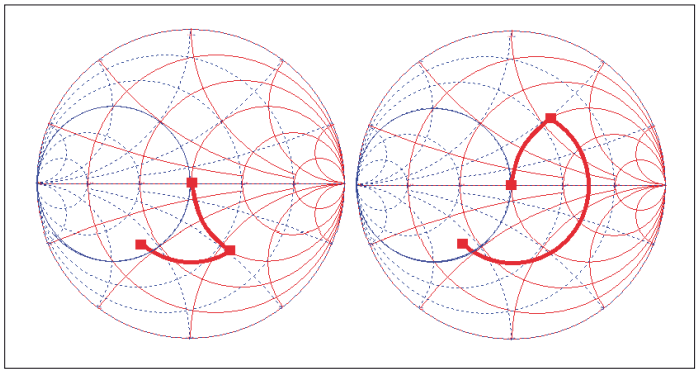


Bild 3: Transformation aus dem unteren Halbkreis heraus

Quelle:
Dr. Anitha Govind: Antenna Impedance Matching – Simplified, White Paper, Abracon LLC, www.abracon.com

übersetzt, gekürzt und ergänzt von FS

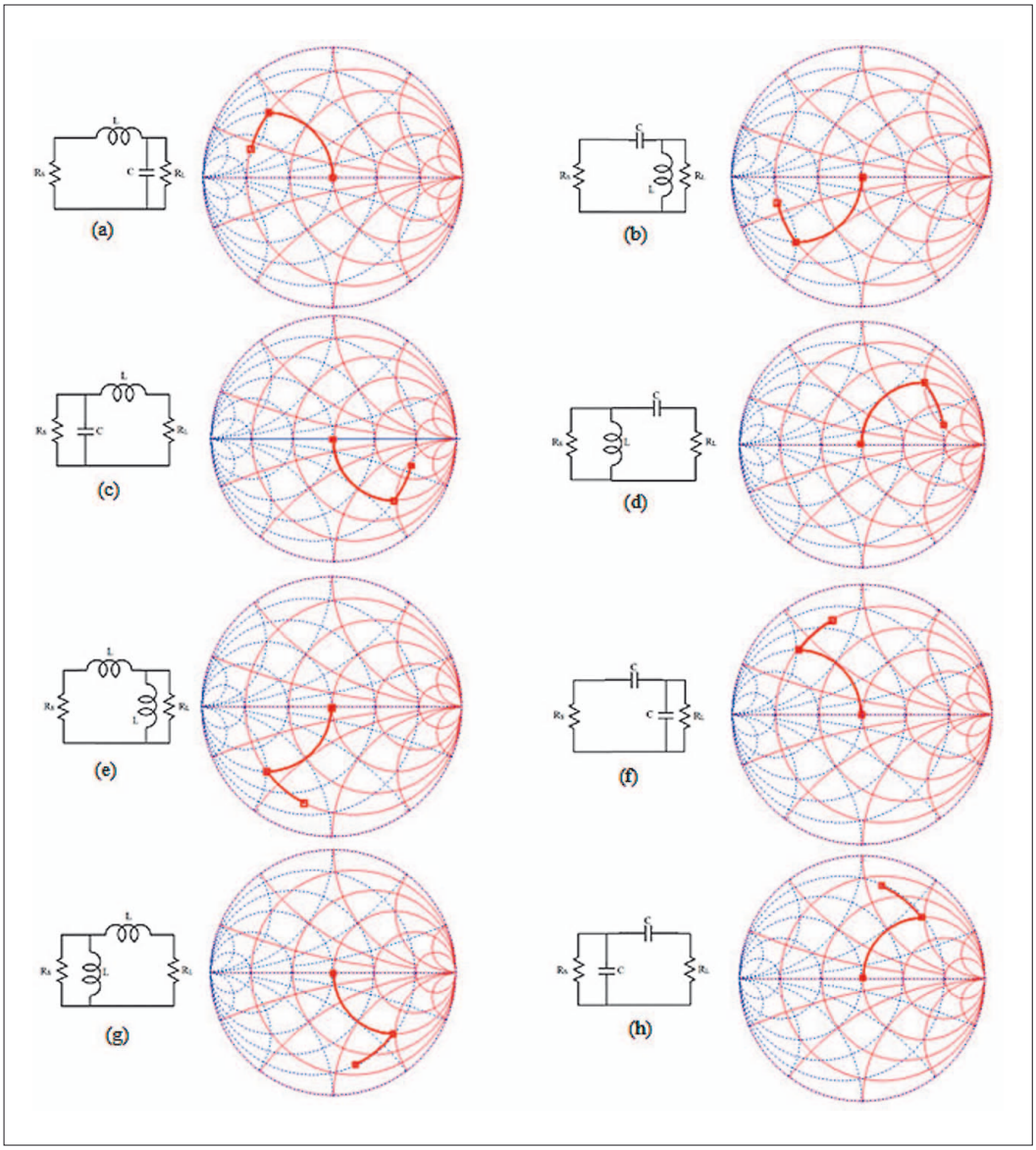


Bild 4: Die Spielarten der anpassung mit dem L-Glied

lässt sich hier ein Reflexionskoeffizient errechnen.

Eine Antennenanpassung wird ab einem bestimmten Betrag des Reflexionskoeffizienten nötig. Der Reflexionskoeffizient kann sich im Bereich -1 bis 1 bewegen, 0 bedeutet perfekte Anpassung. Für den äußeren Rand eines Smith Charts gilt -1 oder 1 (Betrag 1).

Und damit sind wir beim eigentlichen Thema: Ein Smith Chart ist eine exzellente grafische Hilfe, um die Impedanz an jedem Punkt der Übertragungsleitung einschließlich dem Anschlusspunkt der Antenne bei verschiedensten Frequenzen zu visualisieren. Ein Smith Chart bildet sich bekanntlich aus Kreisen mit konstanten Widerstandswerten (Constant Resistance Circles) und Kreisen mit konstanten Leitwerten (Constant Conductance Circles), siehe Aufmachergrafik. Ein Smith Chart lässt sich nutzen, um eine Anpassung zu entwerfen, indem man die Zielimpedanz entsprechend einem Reflexionskoeffizienten von 0 (keine Reflexion. Leistungsanpassung) in das Zentrum des Charts setzt. Der Rand des Smith Charts steht für totale Fehlanpassung, etwa durch Kurzschluss (short circuit) oder Leerlauf (open circuit).

Das Smith-Diagramm lässt sich bereits nutzen, um eine Anpassung auf Basis nur eines Bauteils (lumped element) zu realisieren.

Matching Methods

Eine Antennenimpedanz ist meist komplex, besteht also aus einem reellen (resistiven) Anteil R und einem imaginären (reaktiven) Anteil X, der induktiv (positiv) oder kapazitiv (negativ) sein kann: R +jX oder R -jX. Entspricht R der Zielimpedanz (50 Ohm), dann genügt die Kompensation von X mit den vier Möglichkeiten nach Bild 1. Etwa eine serielle Kapazität in der Antennenimpedanz wird durch eine serielle externe Induktivität kompensiert. Die Punkte in den Charts markieren die reine Antennenimpedanz und die Impedanz der Antenne mit Anpass-Bauteil.

Praktisch gilt es dabei zu beachten, dass insbesondere Spulen einen oft beachtlichen Verlustwiderstand mit einbringen. Hier sollte man sich daran erinnern, dass sich jede RC-Schaltung in eine äquivalente RL-Schaltung umrechnen lässt. Man kann also eine externe Induktivität vermeiden, indem man bei einer kapazitiven Antennenimpedanz diesen Trick anwendet (s. z.B. Buch „Die wichtigsten 100 Formeln...“, www.beam-verlag.de).

Ein paar „goldene Regeln“:

1. Ein Smith Chart lässt sich aufteilen in zwei Hälften: Die obere ist induktive und die untere ist kapazitiv.

2. Wann immer die Impedanz erhöht werden soll, ist eine Induktivität (L) erforderlich, wann immer die Impedanz erniedrigt werden soll, muss eine Kapazität (C) eingesetzt werden.

3. Der rechte/konstante Widerstandskreis ist der „Serienschaltungs-Kreis“ (series circle) und der linke/konstante Kreis ist der „Parallelschaltungs-Kreis“ (shunt circle).

Beispielsweise wird ein Shunt-Element benötigt, wenn man die Impedanz entlang des linken Kreises verschieben will. Andernfalls muss man ein serielles Element einsetzen.

Das Hinzufügen von L oder C kompensiert lediglich den imaginären Impedanzanteil. Doch durch Kombination mehrerer Elemente lässt sich jede Antennenimpedanz anpassen. Dabei wird dann der Realanteil transformiert.

Häufig werden HF-Leitungen genutzt, um eine Impedanztransformation zu bewirken. Eine von 1:1 abweichende Transformation gelingt dabei immer dann, denn die zu transformierende Impedanz nicht mit dem Wellenwiderstand übereinstimmt („angepasste Leitung“) oder wenn die elektrische Leitungslänge nicht Lambda/2 oder Vielfachen davon entspricht („abgestimmte Leitung“).

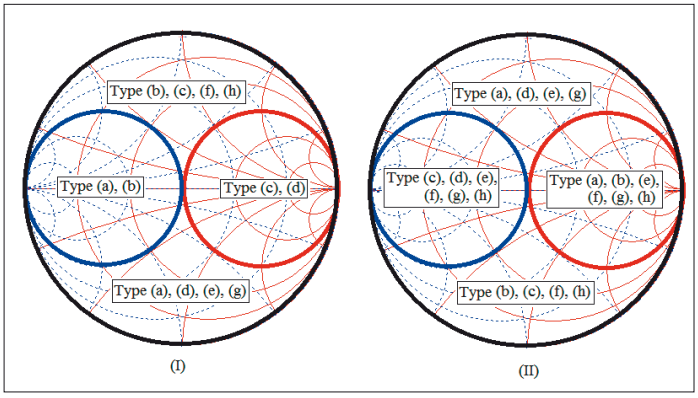


Bild 5: Erlaubte (I) und „verbotene" (II) Bereiche beim L-Matching

Zunächst bringt man über die Leitungslänge die Impedanz im Smith Chart auf den Kreis, auf welchem der Punkt „Reflexionsfaktor = 0" liegt und fügt dann ein diskretes Element hinzu, um schließlich den Mittelpunkt des Diagramms mit der Zielimpedanz zu erreichen. Diese beiden Schritte sind in den Bildern 2 und 3 dargestellt. Man sieht: Stets erfolgt beim ersten Schritt eine Teilrotation um den Mittelpunkt, um diesen dann auf einer der Bahnen von linkem oder rechtem Kreis zu erreichen.

Ein Anpassnetzwerk kann nur einen begrenzten Abschnitt der im Smith Chart möglichen Impedanzen auf den Zielwert transformieren, was bedeutet, dass es ein Bandbreiten-Limit für jedes Anpassnetzwerk gibt. Eine Anpassschaltung kann genutzt werden, um sowohl Impedanz-Matching als auch Bandbreiten-Optimierung zu erreichen. Dazu werden diskrete Elemente in Form von L-, Pi oder T-Struktur angeordnet. Die dabei möglichen Spielarten beim L-„Netzwerk" zeigt Bild 4.

Man erkennt auch, dass L nicht für Induktivität, sondern für die optische Form der Zusammenschaltung der beiden reaktiven Bauelemente steht. Für jede dieser Konfigurationen gibt es „verbotene" Bereiche, in denen die Transformation nicht möglich ist. Je nach konkreter Ausprägung der anzupassenden Impedanz muss man die passende Konfiguration finden. Hierbei helfen die Smith Charts. So kann etwa die Variante (c) nur induktive Impedanzen (untere Hälfte) anpassen, welche aus dem Constant-Conductive-Circle-Bereich fallen und somit im Bereich der Constant Resistance Circles (rechts) liegen. In Bild 5 sind die möglichen und „verbotenen" Bereiche bei der Anpassung mit dem L-Glied dargestellt.

Dreielement-Netzwerke wie Pi- oder T-Filter bieten höhere Flexibilität beim Impedanztyp und bei der Bandbreite sowie auch in Bezug auf die Beeinflussung der Güte des Netzwerks.

Ist die Anpassschaltung entworfen und aufgebaut, so kann auch die transformierte Impedanz auf der eingebauten Smith-Shart-Funktion mancher VNAs für mehr Genauigkeit dargestellt werden. Jedoch sollte man beachten, dass eine ungebaue Einstellung (Calibration) oder eine Port-Erweiterung zu schlechten Resultaten führen kann.

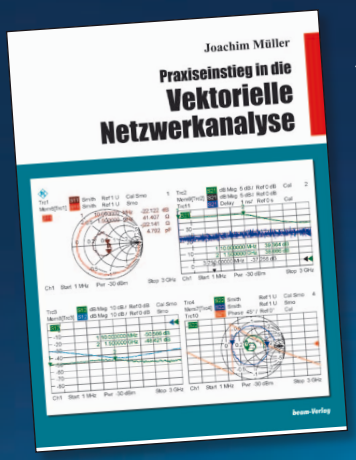
Güte und Bandbreite

Die Bandbreite des Anpassungsnetzwerks hängt direkt von dessen Güte ab (Q-Factor). Für die -3-dB-Bandbreite gilt allgemein:

Bandbreite = Frequenz/Q

Eventuell lässt sich die Bandbreite durch ein zusätzliches L-Glied optimieren. Es erfolgt dann eine Transformation in zwei Schritten. Erwähnt sei noch einmal der Trick mit der Umrechnung der kapazitiven Antennenimpedanz in eine äquivalente Schaltung mit induktivem Anteil. Der externe Kondensator zu deren Kompensation wird wahrscheinlich eine höhere Güte haben als eine Spule. ◄

Fachbücher für die Praxis



Praxiseinstieg in die vektorielle Netzwerkanalyse

Joachim Müller,
21 x 28 cm, 142 Seiten, zahlr. Abb. und Tabellen
ISBN 978-3-88976-159-0,
beam-Verlag 2011, 32,- €
Art.-Nr.: 118100

In den letzten Jahren ist es der Industrie gelungen, hochwertige vektorielle Netzwerkanalysatoren vom schwergewichtigen Gehäuse bis auf Handheldgröße zu verkleinern. Doch dem nicht genug: Durch ausgefeilte Software wurden einfache Bedienkonzepte bei steigender Funktionalität erreicht.

Auch für den Funkamateur wird neuerdings die Welt der Netzwerkanalyse durch Selbstbauprojekte, deren Umfang und Funktionalität den Profigeräten sehr nahe kommen, erschlossen. Damit sind die Voraussetzungen für die Anwendung der vektoriellen Netzwerkanalyse im Feldeinsatz aus Sicht der verfügbaren Gerätetechnik geschaffen.

Fehlte noch die geräteneutrale Anleitung zum erfolgreichen Einstieg in die tägliche Praxis.

Das in Hard- und Software vom Entwickler mit viel Engagement optimal durchkonstruierte Gerät büßt alle seinen hervorragenden Eigenschaften ein, wenn sich beim Messaufbau grundlegende Fehlerquellen einschleichen.

Dieses Buch beschäftigt sich mit den Grundlagen des Messaufbaus, unabhängig vom eingesetzten Gerät, um den Praxiseinstieg zu meistern.

Unser gesamtes Buchprogramm finden Sie unter www.beam-verlag.de oder bestellen Sie über info@beam-verlag.de