

HF-Technik entzaubert

Streuparameter näher betrachtet

Der folgende Beitrag erläutert die verschiedenen Arten der Streu- oder S-Parameter.



Im Gegensatz zu anderen Artikeln dieser Art gibt es hier einen kurzen Überblick über die wichtigsten Arten von Streuparametern in der Hochfrequenztechnik.

Grundlegende Definitionen

S-Parameter quantifizieren, wie sich HF-Energie durch ein System ausbreitet. Sie enthalten somit Informationen über die grundlegenden Eigenschaften des Systems. Mit S-Parametern lässt sich selbst die komplexeste HF-Komponente als einfaches N-Tor-Netzwerk darstellen.



Autor:
Anton Patyuchenko
Analog Devices
www.analog.com

Bild 1 zeigt ein unsymmetrisches Zweitor-Netzwerk. Es kann verwendet werden, um Standard-HF-Komponenten wie HF-Verstärker, Filter oder Dämpfungsglieder zu beschreiben.

Bei den schematisch dargestellten Wellengrößen handelt es sich

um komplexe Amplituden der Spannungswellen, die auf Port 1 und Port 2 der Komponente treffen. Dabei ist der allgemein benutzte Begriff „Welle“ jedoch irreführend, da eine elektromagnetische Welle nur durch Zwischenschalten einer HF-Leitung entstehen würde.

Wird ein Anschluss mit einer Wellengröße versorgt, während der andere angepasst abgeschlossen ist, lassen sich die Vorwärts- und Rückwärtsantworten der Komponente definieren. Es entstehen Spannungen, welche den Anpassungsgrad und den Übertragungsgrad kennzeichnen.

Nimmt man das Verhältnis aus den resultierenden komplexen Antworten und den anfänglichen Stimuligrößen, kann man folgende S-Parameter definieren:

$$\begin{aligned} S_{11} &= \frac{b_1}{a_1}; S_{12} = \frac{b_1}{a_2}; \\ S_{21} &= \frac{b_2}{a_1}; S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \end{aligned} \quad (1)$$

Die Antwort des Netzwerks lässt sich dann durch die Zusammenfassung von S-Parametern in einer Streu- oder S-Matrix ausdrücken, welche die komplexen Wellengrößen an allen Anschlüssen in Beziehung setzt. Für das unsymmetrische Zweitor-Netzwerk hat die Beziehung zwischen Stimulus und Antwort folgende Form:

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Die S-Matrix kann auf ähnliche Weise für eine beliebige N-Tor-HF-Komponente definiert werden.

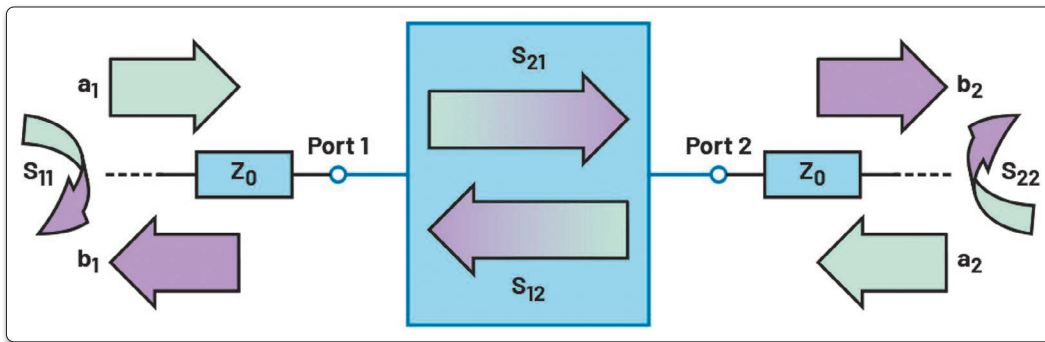


Bild 1: Unsymmetrisches Zweitor-Netzwerk

S-Parameter-Typen

Wenn nicht ausdrücklich anders angegeben, sind die Wellengrößen Kleinsignale (linearer Betrieb). Damit lassen sich grundlegende HF-Eigenschaften wie VSWR bzw. Rückflussdämpfung, Einfügedämpfung bzw. Verstärkung bei bestimmten Frequenzen bestimmen. Nichtlineare Effekte sind mit Großsignal-S-Parametern quantifizierbar. Hier sind neben der Frequenz Leistungspegel eines Stimulussignals Nebenbedingungen. So lassen sich die nichtlinearen Eigenschaften eines Prüflings, beispielsweise die Kompressionsparameter, bestimmen.

Sowohl Klein- als auch Großsignal-S-Parameter werden normalerweise mit Dauerstrich-Stimulationssignalen (CW) und unter Anwendung einer Schmalband-Antwortssignaldetektion gemessen. Viele HF-Komponenten sind jedoch für den Betrieb mit gepulsten Signalen ausgelegt. Dies erschwert die genaue Charakterisierung einer HF-Komponente mit der Standard-Schmalband-Detektionsmethode. Für die Charakterisierung von Bauteilen im gepulsten Betrieb werden daher normalerweise die sogenannten gepulsten S-Parameter verwendet. Diese werden mit speziellen Pulsantwort-Messverfahren ermittelt.

Eine weitere besondere Art von S-Parametern, die selten erwähnt wird, die aber manchmal von Bedeutung sein kann, sind Cold-S-Parameter. „Cold“ bedeutet hier, dass die Streuparameter für ein aktives Bauteil

im nichtaktiven Betrieb ermittelt werden (wenn alle aktiven Elemente inaktiv sind, beispielsweise Transistorübergänge in Sperrichtung oder auf Null vorgespannt sind und keine Querströme fließen). Cold-S-Parameter können zum Beispiel genutzt werden, um die Anpassung der Signalkettensegmente mit ausgeschalteten Komponenten zu verbessern, welche hohe Reflexionen im Signalpfad verursachen.

Bisher wurden S-Parameter für massebezogene Komponente definiert. Für symmetrische Komponenten ist diese Definition jedoch nicht mehr ausreichend. Symmetrische Netzwerke erfordern einen umfassenderen Charakterisierungsansatz, welcher deren differentiell und Gleichtaktverhalten vollständig beschreiben kann. Dies ist mit Mixed-Mode-S-Parametern erreichbar. Bild 2 zeigt ein Beispiel für die Mixed-Mode-Streuparameter, die in einer

erweiterten S-Matrix zusammengefasst sind. Diese repräsentiert eine typische symmetrische Zweitor-Komponente. Die Indizes verwenden die Bezeichnungskonvention b-mode, a-mode, b-port und a-port, wobei die ersten beiden die Modi des Antwortports (b-mode) und des Stimulusports (a-mode) beschreiben und die letzten beiden die Indexnummern dieser Ports angeben. Dabei entspricht b-port der Antwort und a-port dem Stimulationsport.

Weiter werden die Port-Modi entweder durch den Index d (differentiell) oder c (common, Gleichtakt) definiert. In einem allgemeineren Fall einer Komponente mit sowohl symmetrischen als auch unsymmetrischen Anschlüssen enthält eine Mixed-Mode-S-Matrix jedoch auch zusätzliche Elemente mit dem Index s, welche die für die massebezogenen Anschlüsse erhaltenen Größen beschreiben.

Mit den Mixed-Mode-Streuparametern lassen sich nicht nur die grundlegenden Parameter einer HF-Komponente, wie beispielsweise Rückflussdämpfung oder Verstärkung, bestimmen, sondern auch die wichtigsten Kennzahlen zur Charakterisierung der Leistungsfähigkeit von differentiellen Schaltungen wie beispielsweise die Gleichtaktunterdrückung (CMRR) sowie die Betrags- und Phasenungleichheit.

Wo findet man S-Parameter?

HF-Ingenieure verlassen sich auf bereits vorhandene S-Parameter-Daten, welche normalerweise in Standard-Textdateien, den so genannten Touchstone- oder SnP-Dateien, gespeichert sind. Diese Dateien stehen häufig für die gängigsten HF-Komponenten kostenlos zur Verfügung.

Wer schreibt:

Anton Patyuchenko erwarb 2007 seinen Master of Science in Mikrowellentechnik an der Technischen Universität München. Danach arbeitete er als Wissenschaftler beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Er kam 2015 als Field Application Engineer zu Analog Devices und bietet derzeit Field Application Support für strategische und wichtige Kunden von ADI, die auf HF-Anwendungen spezialisiert sind. ◀

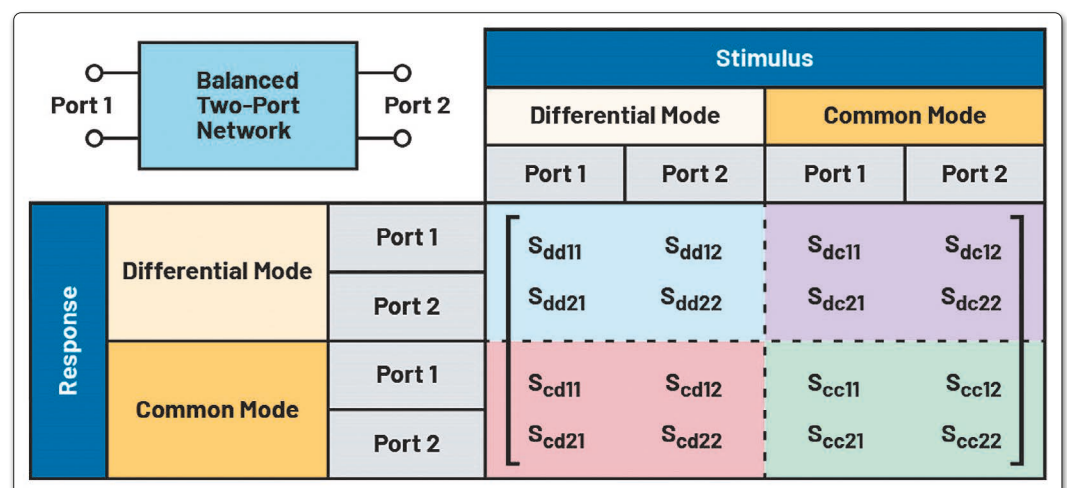


Bild 2: Symmetrisches Zwei-Tor-HF-Netzwerk und die zugehörige Mixed-Mode-Streumatrix