

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
1. Arbeiten mit Signalflussgraphen.....	1
1.1 S-Parameter und Signalflussgraf.....	2
1.2 S-Matrizen einiger idealisierter Mehrpole.....	3
1.2.1 Leitung.....	3
1.2.2 Kurzschluss.....	3
1.2.3 Richtungsleitung.....	3
1.2.4 Zirkulator.....	3
1.3 Rechenregeln für Signalflussgraphen.....	4
1.3.1 Zusammenfassungen.....	4
1.3.2 Pfad-Schleifenregel (Nontouching loop rule).....	5
1.4 Anwendungsbeispiele zur Nontouching Loop Rule.....	6
1.4.1 Zweitor mit Kurzschlusschieber.....	6
1.4.2 Dopplerradar.....	8

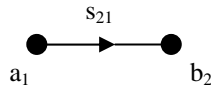
## 1. Arbeiten mit Signalflussgraphen

Nach einer kurzen Einführung in die Signalflussgraphentheorie und ihre Rechenregeln werden zwei Anwendungsbeispiele vorgestellt. Das Beispiel Dopplerradar zeigt, wie die Anwendung der Signalflussgraphenmethode auch bei etwas aufwendigeren HF-Systemen eine übersichtliche Darstellung gewährleistet und eine relativ einfache Berechnung ermöglicht.

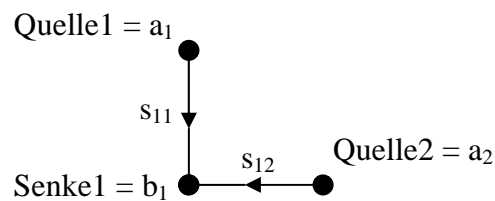
## 1.1 S-Parameter und Signalflussgraf

Ein Signalflussgraf besteht aus Quellen, Zweigen und Senken. Es lassen sich drei Regeln aufstellen:

- Jeder Wellengröße wird ein Knoten zugeordnet. Das betrifft alle hineinlaufenden unabhängigen Wellenparameter  $a_i$  und alle hinauslaufenden vom Zweitorverhalten abhängigen Wellenparameter  $b_i$ .
- Jeder S-Parameter wird mit einem die Energieflussrichtung kennzeichnenden Pfeil gekennzeichnet:



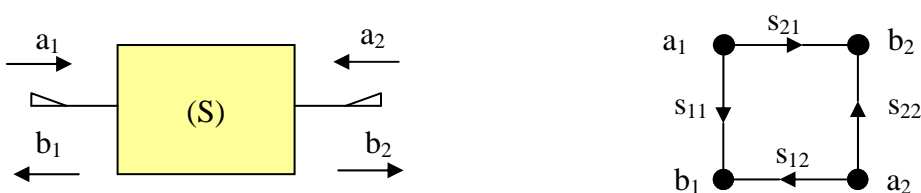
- Jeder Knoten entspricht der Summe der darin einlaufenden Verbindungslinien, wobei für jede Verbindungslinie der zugehörige S-Parameter mit dem Wert des Herkunftsknotens zu multiplizieren ist:



Mathematisch ausgedrückt ergibt sich der Wellenparameter an der Senke 1 im obigen Beispiel dann zu :

$$b_1 = s_{11} \cdot a_1 + s_{12} \cdot a_2$$

Für das vollständige allgemeine S-Parameterzweitor, angepasst an beiden Toren ergibt sich folgender Signalflussgraf:



Diese Art der Darstellung bleibt auch bei mehr als zwei Wellentoren noch recht übersichtlich und erfasst lückenlos alle Pfade des HF- oder Mikrowellensystems auf denen Leistung entlang fließen kann.

## 1.2 S-Matrizen einiger idealisierter Mehrpole

Um sich an den Umgang mit S-Parameter beschriebenen Mehrpolen besser zu gewöhnen seien im folgenden einige einfache Grundelemente mit ihren zugehörigen S-Matrizen vorgestellt.

### 1.2.1 Leitung

Die Leitung ist ein reziprokes Zweitor, das bedeutet nach dem Vertauschen der beiden Ports ändert sich das Verhalten des Zweitors nicht.

$$(S) = \begin{pmatrix} 0 & e^{-j\beta l} \\ e^{-j\beta l} & 0 \end{pmatrix}$$

Die Verzögerung eines die Leitung durchlaufenden Signales im Zeitbereich wird durch eine Phasendrehung im Frequenzbereich erfasst.

### 1.2.2 Kurzschluss

Der Kurzschluss ist ebenfalls als reziprokes Zweitor darstellbar.

$$(S) = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

### 1.2.3 Richtungsleitung

Die Richtungsleitung ist nicht reziprok.

$$(S) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

### 1.2.4 Zirkulator

Der Zirkulator ist ein Dreitor und nicht reziprok:

$$(S) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Alle vier Beispiele stellen ideale Elemente dar.

## 1.3 Rechenregeln für Signalflussgraphen

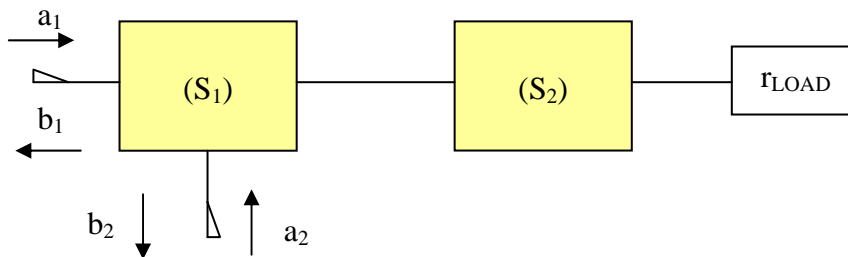
### 1.3.1 Zusammenfassungen

Parallele Zweige addieren sich wie bereits unter 1.1 im Beispiel gezeigt und hintereinander angeordnete Zweige multiplizieren sich:



### 1.3.2 Pfad-Schleifenregel (Nontouching loop rule)

Eine mögliche Problemstellung für ein Mikrowellennetzwerk könnte so aussehen:



Gesucht sei jetzt das Verhalten der Schaltung zwischen den Toren 1 und 2. Die Parameter seien zur besseren Unterscheidbarkeit zu den S-Parametern, welche die Einzelzweitere beschreiben mit T bezeichnet. Zwei Tore am Gesamtnetzwerk ergeben 4 mögliche Parameter für das dargestellte Beispiel:

$$T_{11} = \frac{b_1}{a_1}; \quad T_{12} = \frac{b_1}{a_2}; \quad T_{21} = \frac{b_2}{a_1} \quad \text{und} \quad T_{22} = \frac{b_2}{a_2}$$

Die allgemeine Regel zur Berechnung solch eines Netzwerkparameters wird auch Mason's Rule genannt und kann wie folgt formuliert werden:

$$T_{qs} = \frac{\sum \left[ P_{\mu} (1 - \sum_v L_v^{(1)} + \sum_v L_v^{(2)} - \dots) \right]}{(1 - \sum_v L_v^{(1)} + \sum_v L_v^{(2)} - \dots)}$$

mit

$T_{qs}$  = Transmissionsfaktor von s nach q (Reflexionsfaktor bei s=q)

$P_{\mu}$  = Pfad  $\mu$  von s nach q, wobei kein Knoten zweimal durchlaufen werden darf!

$L_v^{(1)}$  = Schleife v 1. Ordnung, wobei kein Knoten zweimal durchlaufen werden darf!

$L_v^{(2)}$  = Schleife v 2. Ordnung. Diese ist ein Produkt zweier  $L_v^{(1)}$  ohne gemeinsamen Knoten.

$L_{v,n}^{(1)}$  = Schleife v 1. Ordnung, die das  $P_{\mu}$  vor der Klammer nicht berührt wobei wiederum kein Knoten zweimal durchlaufen werden darf!

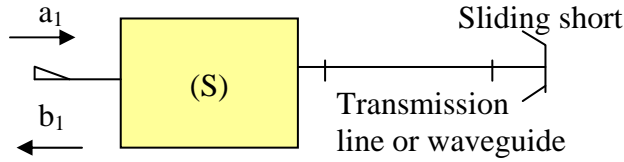
$L_{v,n}^{(2)}$  = Schleife v 2. Ordnung, die das  $P_{\mu}$  vor der Klammer nicht berührt. Diese ist ein Produkt zweier  $L_{v,n}^{(1)}$  ohne gemeinsamen Knoten.

Die Nontouching Loop Rule lässt sich am besten an Beispielen erläutern. Zwei seien im Folgenden vorgestellt.

# 1.4 Anwendungsbeispiele zur Nontouching Loop Rule

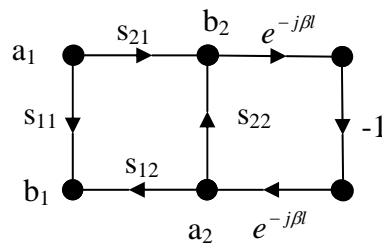
## 1.4.1 Zweitor mit Kurzschlusschieber

Gegeben ist folgendes Mikrowellennetzwerk:



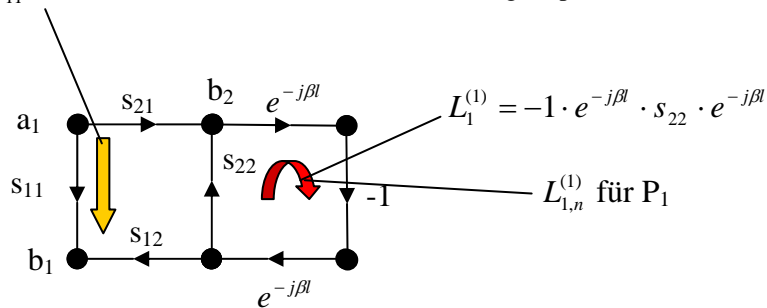
Gesucht sei der Reflexionsfaktor am Tor 1:  $T_{11} = \frac{b_1}{a_1}$

Das Signalfussdiagramm zum Netzwerk sieht folgendermaßen aus:



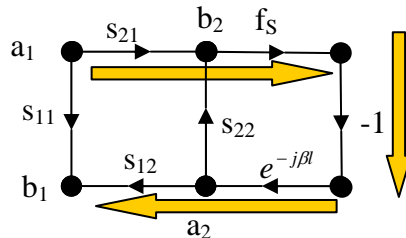
Unter Beachtung der Pfad-Schleifen-Regel lassen sich von  $a_1$  nach  $b_1$  2 Pfade finden und für einen dieser beiden Pfade eine non touching Loop:

Der erste Pfad ist:  $P_1 = s_{11}$  zu diesem Pfad existiert eine non touching loop:



Der zweite Pfad ist:  $P_2 = s_{21} \cdot e^{-j\beta l} \cdot e^{-j\beta l} \cdot (-1) \cdot s_{12}$

Zu diesem Pfad existiert keine non touching loop.



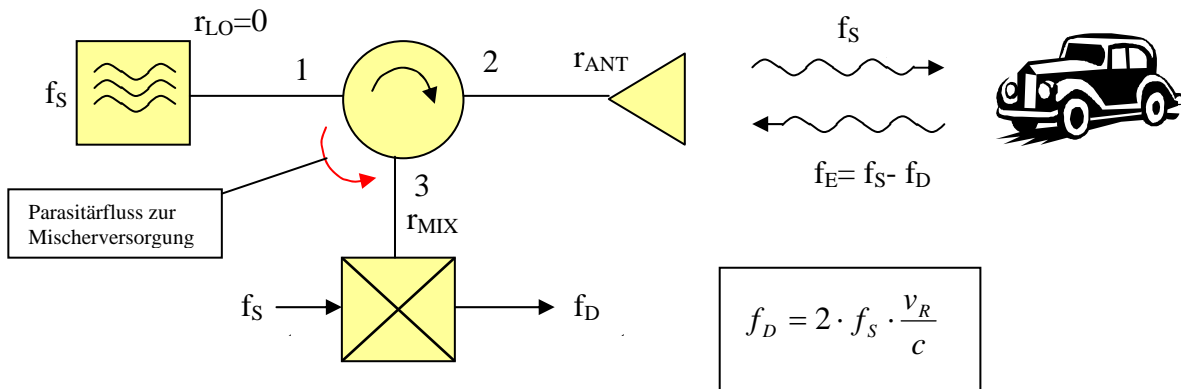
$T_{11}$  ergibt sich jetzt wie folgt:

$$T_{11} = \frac{P_1(1 - L_{1,n}^{(1)}) + P_2}{1 - L_1^{(1)}} = \frac{s_{11} \cdot (1 + s_{22} \cdot e^{-j2\beta l}) - s_{12} \cdot s_{21} \cdot e^{-j2\beta l}}{(1 + s_{22} \cdot e^{-j2\beta l})}$$

$$T_{11} = \underline{\underline{s_{11} - \frac{s_{12} \cdot s_{21} \cdot e^{-j2\beta l}}{(1 + s_{22} \cdot e^{-j2\beta l})}}}$$

Deutlich lässt sich am Ergebnis erkennen, dass es eben nicht allein  $s_{11}$  ist, welches den Reflexionsfaktor am Netzwerkeingang darstellt. Über die Transmissionen des Zweitores wirkt der ausgangsseitige Kurzschluss auf den Eingang des Netzwerkes. Die Leitung modifiziert dabei die Phasenlage. Dank der Pfad-Schleifenregel gelangt man zu diesem vollständigen Ergebnis.

## 1.4.2 Dopplerradar



Der lokale Oszillator speist seine Leistung mit der Frequenz  $f_S$  in den Zirkulator an Tor 1 ein. Aus Tor 2 heraus fließt sie in die Hornantenne. Ein Teil wird reflektiert und ein Teil wird in eine Freiraumwelle gewandelt und abgestrahlt. Die Welle trifft auf die Oberfläche des sich bewegenden Fahrzeugs und wird teilweise zurückreflektiert. Die reflektierte Welle weist jetzt jedoch durch den Dopplereffekt bedingt die Frequenz  $f_E$  auf. Die von der Hornantenne empfangene Leistung wird über Tor 2 in den Zirkulator gespeist und gelangt so über Tor 3 als Ausgang an den einen Mischereingang. Der andere Mischereingang erhält einen Teil der Lokaloszillatorleistung. Am Mischerausgang steht dadurch ein Produkt mit der Frequenz  $f_D$  zur Verfügung.

Mit der Pfad-Schleifen-Regel soll jetzt der Parasitärfluss der LO Leistung zur Mischerversorgung untersucht werden. Der Zirkulator wird als nichtideal und mit dreifacher Drehsymmetrie angenommen. Das führt zu folgenden s-Parametern:

$$S_{11} = S_{22} = S_{33} = R \text{ (Reflexion)}$$

$$S_{21} = S_{32} = S_{13} = T \text{ (Transmission)}$$

$$S_{12} = S_{23} = S_{31} = I \text{ (Isolation)}$$

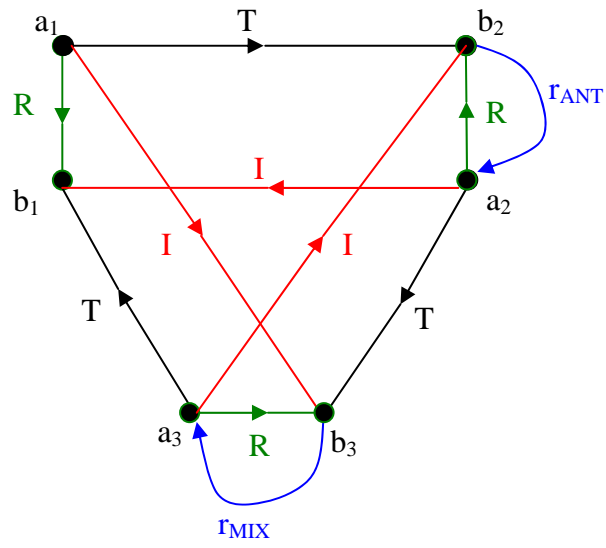
Die S-Matrix :

$$(S) = \begin{pmatrix} R & I & T \\ T & R & I \\ I & T & R \end{pmatrix}$$

Die Matrix ist nichtreziprok!



Durch diese Vorgaben entsteht folgender Signalflussgraf:



gesucht ist  $T_{31} = \frac{b_3}{a_1}$  der Parasitärfluss zur Mischerversorgung.