



Thema: **Untersuchung von Zirkulatorschaltungen in planarer Bauweise**

Verfasser: Tobias Degener

Studiengang: Elektrotechnik und Informationstechnik

Fachrichtung: Kommunikationstechnik

Betreuer: Professor Dr.-Ing. Klaus W. Kark
Professor Dr.-Ing. Siegfried Osterrieder

Tobias Degener
Geb.: 04.06.1980



1996-1998 BK-FH IK
1999-2000 Ausbildung zum **Webmaster**
2000-2002 Ausbildung zum **Fachinformatiker**
2002-2005 Berufstätigkeit
2005-2008 Studium der Wirtschaftsinformatik
2008-2013 Studium der Elektrotechnik und Informationstechnik
2013 **Bachelor of Engineering**
HS Ravensburg-Weingarten

Aufgabenstellung

Die Arbeit umfasste den Entwurf eines CAD-Modells einer planaren Zirkulatorschaltung in CST Microwave Studio 2012. Die Schaltung wurde im Zeitbereich simuliert und durch Veränderung der Disk- und Ferritradien hinsichtlich der S-Parameter und der Bandbreite optimiert.

Der Dreitor-Zirkulator

Der Dreitor-Zirkulator ist eine einheitliche nichtreziproke symmetrische Schaltung. Sie verfügt über 3 Tore, welche in einem 120° Winkel zueinander liegen. Die drei Streifenleitungen bestehend aus Kupfer, laufen in einer zentralen Kupferscheibe (Disk) zusammen und sind von einem Dielektrikum umgeben. Das Substrat wird oben und unten von Kupferplatten abgeschlossen, um Abstrahlungen und Fremdeinflüsse zu vermeiden. Die Kupferscheibe in der Mitte der Schaltung wird von einem gyromagnetischen Ferritkern umschlossen, welcher durch ein Magnetfeld H_{DC} so angeregt werden kann, dass das eingespeiste Signal gezielt von einem Tor zum nächsten weitergeleitet wird.

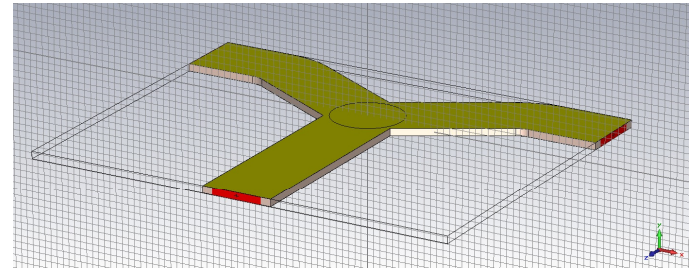


Abbildung 1: Stripline Zirkulator [1]

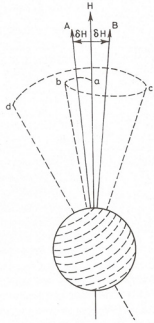


Abbildung 2: Gyrotropie des Elektrons [2]

$$S_{Z,ideal} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$S_{Z,ideal,\varphi} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & e^{-j\varphi} \\ e^{-j\varphi} & 0 & 0 \\ 0 & e^{-j\varphi} & 0 \end{pmatrix}$$

Eigenschaften der Zirkulatorschaltung

Das Zirkulatorverhalten wird durch einen magnetisierten Ferritkern bewirkt. Durch die Magnetisierung werden die Elektronen in eine kreisförmige Bewegung (Gyrotropie) versetzt.

Bei Dreitoren können die Eigenschaften „allseitige Anpassung“, „Reziprozität“ und „Verlustlosigkeit“ nicht gleichzeitig erreicht werden. Es wird somit auf die „Reziprozität“ verzichtet. Ein idealer Zirkulator überträgt Signale von Tor 1 an Tor 2, von Tor 2 an Tor 3 und von Tor 3 an Tor 1. Somit besitzen die Transmissionsparameter der Streumatrix S_{21} , S_{32} und S_{13} dem Betrage nach den Wert Eins, während die Reflexionsparameter den Wert Null haben. Der Zirkulator ist nicht reziprok, da $S_{ij} \neq S_{ji}$ gilt. Bei endlichen Abmessungen kommt zusätzlich ein Phasenterm $e^{-j\varphi}$ hinzu.

Simulation und Optimierung im Zeitbereich

Die konstruierte Schaltung wurde mit dem Transient Solver zuerst im X-Band Bereich (8 - 12 GHz) simuliert. Mit der Funktion „Adaptive Mesh Refinement“ wurde die optimale Gitterdichte von $\lambda/30$ für einen Leitungswellenwiderstand von 50 Ohm ermittelt. Die Zirkulatorschaltung weist ein Bandpassverhalten auf.

Für die Optimierung der Schaltung wurden die Radien der Disk und des Ferritzylinders in ihrer Größe variiert. Die Durchführung fand über die Funktionen „Parameter Sweep“ und den „Optimizer“ statt. Für eine grobe Einschätzung des Zirkulatorverhaltens wurde der Diskradius in 10% Schritten verändert. Eine genaue Untersuchung der Bereiche von 0.3 mm, 0.6 mm und 0.8 mm mit einem Ferritradius von 1 mm wurde daraufhin durchgeführt. Durch die Veränderung der Radien verschoben sich allerdings die Frequenzbereiche. Die Optimierungen wurden mit dem „Trust Region Framework“ - Algorithmus umgesetzt. Die zu erreichenden Ziele wurden auf -20 dB für den Reflexionsparameter S_{11} bzw. den Transmissionsparameter S_{31} und für den Transmissionsparameter S_{21} auf 0 dB festgelegt.

Für die Radien der Disk mit 0.5967 mm und des Ferrits mit 1.065 mm wurden die besten Werte ermittelt. Mit diesen Abmessungen erreichte die Schaltung eine absolute Bandbreite von 1.653 GHz bei einer Mittenfrequenz von 7.687 GHz, was einer relativen Bandbreite von 21.5 % entspricht.

$$S_{Z,real} = \begin{pmatrix} 0.0224 & 0.0225 & 0.9572 \\ 0.9583 & 0.0213 & 0.0248 \\ 0.0209 & 0.958 & 0.0216 \end{pmatrix}$$

$$S_{Z,real,\varphi} = \begin{pmatrix} e^{-j174.83^\circ} & e^{-j124.2^\circ} & e^{-j59.69^\circ} \\ e^{-j56.77^\circ} & e^{-j195.22^\circ} & e^{-j134.33^\circ} \\ e^{-j122.8^\circ} & e^{-j68.09^\circ} & e^{-j194.83^\circ} \end{pmatrix}$$

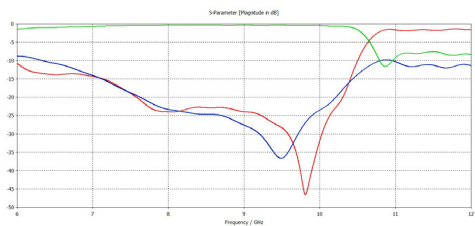


Abbildung 3: S-Parameter der nicht optimierten Schaltung [1]

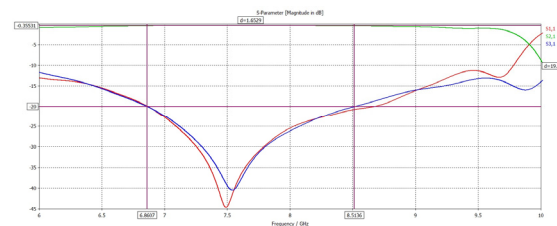


Abbildung 4: S-Parameter der optimierten Schaltung [1]

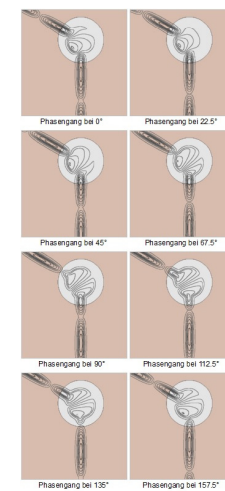


Abbildung 5: Phasengänge der Schaltung [1]

Fazit

Durch die vielen Möglichkeiten der Optimierung in CST Microwave Studio 2012 und dem neuen Trust Region Framework – Algorithmus gelang es, eine sehr effiziente Schaltung zu entwerfen. Die angepeilte Bandbreite von 500 MHz wurde weit übertroffen. Auch die S-Parameter S_{11} und S_{31} lagen in weitem Bereich deutlich unterhalb der Vorgabe von -20 dB. Mit -0.37 dB wurde auch für S_{21} ein recht guter Wert erreicht. Diese Schaltungsart wird als Sende- und Empfangsweiche in bidirektionalen Kommunikations- und Radarsystemen eingesetzt.

Quellen:

- [1] Tobias Degener: Untersuchung von Zirkulatorschaltungen in planarer Bauweise; 2013 HS Ravensburg-Weingarten
[2] A.J. Baden Fuller – Ferrites at Microwave Frequencies