

Filter Design mit Hilfe der Kopplungs-Matrix

Kommunikationstechnik / Prof. Fritz Dellsperger
 Experte: Dipl. Ing. Hans Zahnd

Bei modernen Kommunikationsanwendungen werden auch im digitalen Zeitalter weiterhin analoge Bandpass-Filter eingesetzt. Typische Anforderungen sind steile Übergangsbereiche und kleine Verluste. Die Filter werden mit gekoppelten Schwingkreisen realisiert. Mit Kreuzkopplungen sind steilere Übergangsbereiche möglich, ohne dass die Ordnung erhöht werden muss. Die Verluste werden dadurch kleiner. Mit der Kopplungs-Matrix lassen sich solche Filter gut beschreiben und effizient realisieren.



Peter Hürlimann

Übersicht

Schmalbandige Bandpass-Filter werden mit verschiedensten Technologien realisiert. Es können jedoch einheitliche Entwurfsmethoden angewandt werden. In der vorliegenden Arbeit wird ein Modell von gekoppelten Schwingkreisen verwendet. Im Vergleich zu herkömmlichen Entwurfsmethoden berücksichtigt die Kopplungs-Matrix auch Kopplungen zwischen nicht benachbarten Schwingkreisen. Mit diesen Kreuzkopplungen können die Übergangsbereiche steiler gestaltet werden. Mit jeder zusätzlichen Kreuzkopplung entsteht ein weiterer Kopplungspfad. Bei gegenphasigen Kopplungspfaden gleicher Amplitude entsteht eine Nullstelle durch Auslöschung.

Aufbau der Kopplungs-Matrix

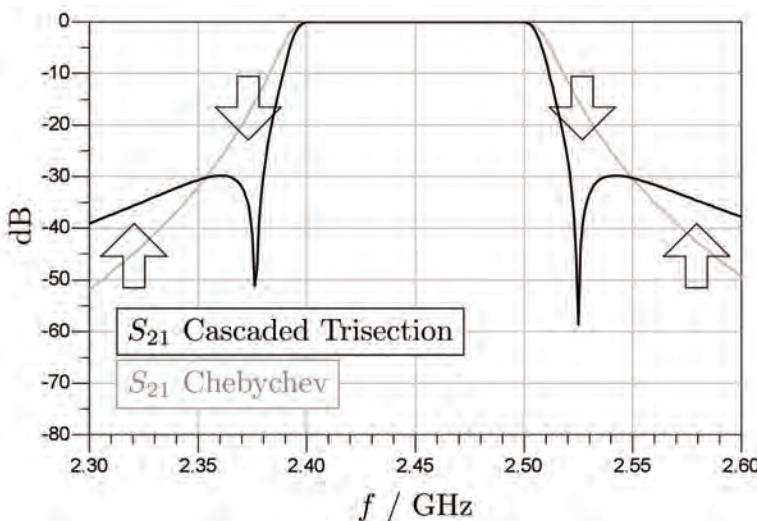
Die Kopplungen können mit einer Matrix beschrieben werden. Die Matrix hat die Dimension $N+2$ (Anzahl Schwingkreise + Quelle + Last) und ist symmetrisch zur Diagonalen. Sie beschreibt alle Eigenschaften des Filters ausser Mittenfrequenz und Bandbreite. Die Positionen der Diagonalen entsprechen Quelle, Schwingkreisen, und Last. Neben der Diagonalen sind die Hauptkopplungen angeordnet. Die Kreuzkopplungen befinden sich weiter aussen. Auf der Diagonalen sind Eigenkopplungen angeordnet. Sie beeinflussen die Resonanzfrequenz der einzelnen Schwingkreise.

Bestimmung der Kopplungs-Matrix

Die Koeffizienten der Kopplungs-Matrix können analytisch berechnet werden. Dies ist jedoch sehr aufwändig. In dieser Arbeit wird die Kopplungs-Matrix mit Hilfe des Optimierers vom Softwarepaket ADS von Agilent bestimmt. Vergleiche mit analytisch berechneten Lösungen zeigen nur geringe Abweichungen.

Realisierung von Filtern in Microstrip-Technologie

Im Anschluss zur Theorie werden verschiedene Filter in Microstrip-Technologie realisiert. Für die Schwingkreise bieten sich $\lambda/2$ -Resonatoren an. Die Resonatoren werden induktiv oder kapazitiv gekoppelt. Die geometrische Anordnung und die Art der Kopplung bestimmen die Vorzeichen der Haupt- und Kreuzkopplungen. Die realen Filter werden mit der Space-Mapping-Methode optimiert. Als Beispiel dient ein Filter mit 5 Resonatoren und zwei kaskadierten Trisections (CTs).



Amplitudengang Filter mit Chebychev-Charakteristik und Filter mit zwei kaskadierten Trisections

$$\begin{bmatrix}
 0 & m_{S1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 m_{S1} & m_{11} & m_{12} & m_{13} & 0 & 0 & 0 \\
 0 & m_{12} & m_{22} & m_{23} & 0 & 0 & 0 \\
 0 & m_{13} & m_{23} & m_{33} & m_{34} & m_{35} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & m_{34} & m_{44} & m_{45} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & m_{35} & m_{45} & m_{55} & m_{5L} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{5L} & 0
 \end{bmatrix}$$

Kopplungs-Matrix