

Diss. ETH no. 14544

Passive microwave circuit elements  
analyzed with the  
frequency-domain TLM method

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZURICH

for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by  
JAN HESSELBARTH  
Dipl.-Ing., Dresden University of Science and Technology (TU)  
born April 13, 1970  
citizen of Germany

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Rüdiger Vahldieck, examiner  
Prof. Ke Wu, PhD, co-examiner

2002

---

## Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die *Transmission-Line Matrix* Methode im Frequenzbereich (*FDTLM* Methode) für die Untersuchung passiver, linearer Mikrowellenbauelemente (wie beispielsweise Resonatoren, Wellenleiter und Mehrtorschaltungen) verwendet.

Zuerst wird die *FDTLM* Methode in ihren verschiedenen Varianten in einer einheitlichen Art und Weise aus den Maxwell'schen Gleichungen hergeleitet. Die verschiedenen Diskretisierungsvarianten der *FDTLM* Methode werden hinsichtlich ihrer numerischen Genauigkeit (Dispersion) verglichen. In mehreren Fällen können analytische Ausdrücke für die Dispersion angegeben werden, die einen besonders klaren Vergleich gestatten.

In einem zweiten Teil werden algebraische Verfahren entwickelt, die es erlauben, praktische Probleme (beispielsweise die Berechnung von Resonanzfrequenzen, Eigenmoden und Streuparametern) mit der *FDTLM* Methode zu lösen. Dabei wird insbesondere die numerische Effizienz der verschiedenen Algorithmen im Hinblick auf ihre Anwendung auf realistische, numerisch grosse Problemstellungen untersucht.

Im letzten Teil wird die *FDTLM* Methode zur Bearbeitung einiger repräsentativer Problemstellungen verwendet. Hier werden zudem verschiedentlich auftretende nicht-physikalische Lösungen diskutiert. Die *FDTLM* Methode wird hinsichtlich der Genauigkeit der berechneten Lösungen sowie des dazu notwendigen numerischen Aufwandes untersucht.

Es stellt sich heraus, dass die *FDTLM* Methode im Vergleich mit anderen Frequenzbereichsverfahren (etwa der Methode der finiten Elemente) sowohl Vor-, als auch Nachteile besitzt und sie diesen Methoden durchaus ebenbürtig ist.

---

---

## **Abstract**

The Frequency-Domain Transmission-Line Matrix (FDTLM) method is applied to the analysis of passive, linear microwave circuit elements, such as resonators, waveguides, and multiport devices.

First, the FDTLM method is derived from Maxwell's equations in a consistent way and the accuracy of the discretization scheme is evaluated. In several cases, the accuracy of the discretization is described in an analytical form, giving more insight into the very nature of the FDTLM method.

Second, appropriate algebraic procedures are presented to solve the various problems at hand (resonances, waveguide modes, scattering parameters). The mathematical formulations are optimized in order to allow for the efficient treatment of large, real-world problems.

Finally, the overall applicability of the FDTLM method is evaluated and benchmarked using various case studies. The appearance of non-physical solutions is discussed, and the tradeoffs between accuracy and numerical cost are investigated.

It turns out that the FDTLM approach is competitive with other frequency-domain methods, such as the finite-difference method or the finite-element method.