

Kombination von Netzwerk- und Finite-Elemente-Methoden für die effiziente Modellierung und Optimierung akustischer und elektromechanischer Systeme

Eric Starke, Günther Pfeifer

*Institut für Halbleiter- und Mikrosystemtechnik, Technische Universität Dresden, 01062 Dresden,
E-Mail: eric.starke@tu-dresden.de*

Einleitung

Um eine schnelle und wirtschaftliche Produktentwicklung zu ermöglichen wird der Entwurf elektromechanischer Systeme zunehmend mithilfe von Simulationsmethoden realisiert. Das gelingt nur, wenn effiziente Simulationswerkzeuge für die jeweilige Entwurfsaufgabe verfügbar sind, die eine Produktoptimierung schon während des Entwurfs ermöglichen. Eine eigene Problemgruppe stellt in dieser Hinsicht die Vorausberechnung des dynamischen Verhaltens elektromechanischer Systeme dar. Typische Beispiele derartiger Systeme sind Sensoren und Aktoren in Mikrosystemtechnik, Biomedizintechnik, Elektroakustik, Fahrzeugtechnik u. v. m.

Obwohl für die Vorausberechnung dieser Systeme typischerweise die Annahme eines linearen bzw. näherungsweise linearen Verhaltens getroffen werden kann, resultieren mit bekannten Simulationswerkzeugen oft unbefriedigende Ergebnisse. Gründe dafür sind ein ungenügender Näherungsgrad, ein zu hoher Aufwand für die Erstellung des Modells, eine zu lange Rechenzeit oder Modelle die kein Verständnis für die Funktion des Systems erlauben.

Kombinierte Simulation

Die Verkopplung mehrerer physikalischer Ebenen und der erforderliche dynamische Entwurf führen bei elektromechanischen Systemen dazu, dass die Vorausberechnung mit nur einer Simulationsmethode nicht immer möglich oder zweckmäßig ist. Erst durch die Verbindung von mehreren Simulationsverfahren wird eine zweckmäßige Vorausberechnung erreicht. Ein bekannter Lösungsansatz ist die so genannte „Gekoppelte Simulation“, bei der Simulationsprogramme verschiedener Simulationsmethoden auf Datenebene gekoppelt werden (siehe z. B. Schroth et al. [1] und Eccardt et al. [2]). Hierzu wird mit einem zusätzlichen Koppelprogramm ein Datenaustausch zwischen den Simulationsprogrammen realisiert. Es sind zurzeit jedoch keine universellen und für den Anwender leicht zugänglichen Koppelprogramme verfügbar. Zudem besteht bei der Gekoppelten Simulation die Gefahr, dass bei einem Versionswechsel eines Simulationsprogramms Inkompatibilitäten zwischen Simulations- und Koppelprogramm auftreten können.

Eine weitere Möglichkeit eines effizienten Entwurfs besteht in der Verbindung zweier Methoden durch den Anwender selbst. Eine der Methoden ist dabei die Modellierung elektromechanischer Systeme mit Netzwerken, die durch die methodische Entwicklung ein leistungsfähiges und gut handhabbares Simulationswerkzeug darstellt (siehe z. B. Lenk et al. [3] und Werthschützky, Pfeifer [4]). Für die Vorausberechnung elektromechanischer Systeme eignet sich vor allem die Verbindung von Netzwerkmethoden und Finite-Elemente-

Methoden (FE-Methoden). Die Verbindung dieser beiden Methoden auf Anwenderebene wird als „Kombinierte Simulation“ bezeichnet. Hierbei nutzt der Anwender in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabe die Methoden problemangepasst und nur unter Verwendung von kommerziell verfügbaren Simulationsprogrammen. Im Gegensatz zur gekoppelten Simulation erfolgt kein Eingriff in die Datenebene oder eine Modifikation der Simulationsprogramme.

Anwendungen der Kombinierten Simulation

Die Verbindung der Methoden führt bei der Kombinierten Simulation für viele Entwurfsaufgaben zu effizienten Modellen. Wie bei Starke [5] ausführlich gezeigt wird ergeben sich fünf prinzipielle Anwendungsmöglichkeiten:

1. Verwendung von FE-Modellen zur Bestimmung der Bauelementeparameter von Netzwerkdarstellungen
2. Verwendung von FE-Modellen zur Bestimmung der Struktur von Netzwerkdarstellungen
3. Einbindung von Netzwerkmodellen von Teilsystemen in ein FE-Modell
4. Anwendung von Netzwerkmethoden zur Erstellung von Ersatzstrukturen für die effiziente Berechnung eines FE-Modells
5. Modellierung eines Problems auf verschiedenen Abstraktionsstufen

Zur Verdeutlichung sind in Abbildung 1 die Anwendungsmöglichkeiten schematisch dargestellt. Die ersten zwei nutzen FE-Modelle, um ein Netzwerkmodell zu erstellen. Die Lösung erfolgt anschließend im Netzwerkmodell. Bei den Anwendungen 3 und 4 werden Netzwerkmodelle zur Erstellung eines FE-Modells genutzt oder Netzwerkmodelle in ein FE-Modell eingebunden. In diesen Fällen erfolgt die Lösung im FE-Modell. Als fünfte Anwendung kann durch Verwendung von Netzwerk- und FE-Modellen eine Modellierung des Problems auf verschiedenen Abstraktionsstufen erfolgen

Simulation als Basis für Verständnis

Ein großer Vorteil der Kombinierten Simulation ist, dass sie dem Anwender das Verständnis für die Funktion komplizierter Systeme ermöglicht. Für einen Produktentwurf ist das Verständnis der Funktion eine Grundvoraussetzung. Gerade weil die Möglichkeiten für eine vollautomatisierte Vorausberechnung von Systemen steigen, ist es wichtig, Methoden zu besitzen, die das Verständnis fördern. Mit der Kombinierten Simulation gelingt es besser als mit vielen anderen Ansätzen, Modelle auf verschiedenen Abstraktionsebenen zu erstellen und verschiedene Denkweisen zur Problemlösung anzuwenden. Dies kann und muss durch den Entwicklungingenieur selbst durchgeführt werden, der sich so sukzessive das Verständnis für Wirkungsweisen und Funktionszusammenhänge erarbeitet und vertieft.

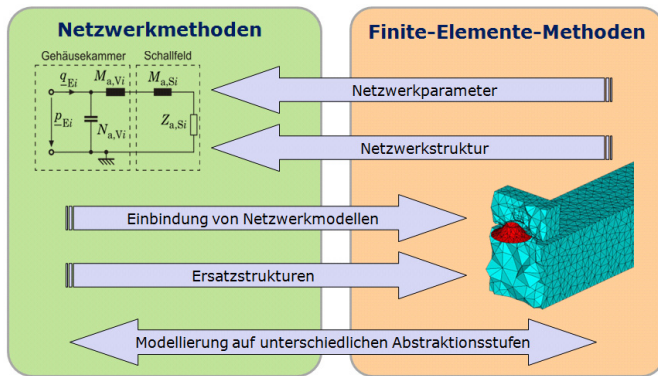


Abbildung 1: Anwendungen der Kombinierten Simulation

Beispiel: Einbindung von Netzwerken

Als eine Möglichkeit der Kombinierten Simulation soll nachfolgend die Einbindung von Netzwerken in FE-Modelle an einem Beispiel kurz erläutert werden. Für die Auslegung einer aktiven Absorberkassette ist die Vorausberechnung einer elektroakustischen Übertragungsfunktion erforderlich. Da diese maßgeblich von den akustischen Eigenschaften des Kanals abhängt, wird eine Modellierung des Systems in einem FE-Modell gewählt. Die vollständige Modellierung des elektrodynamischen Wandlers der Absorberkassette im FE-Modell ist jedoch aus folgenden Gründen nicht zielführend:

1. Multiphysik-Modellierung von Mechanik, Magnetik und Elektrik erforderlich
2. Große Abmessungsunterschiede führen zu aufwändiger Vernetzung und hoher Anzahl an Elementen
3. Benötigte Geometrie- und Materialparameter nicht vollständig bekannt

Ein deutlich zweckmäßigerer Ansatz ist hier die Einbindung des bekannten Netzwerkmodells des Wandlers in das FE-Modell. Dieses beschreibt das Verhalten des Wandlers für niedrige Frequenzen hinreichend genau und alle benötigten Parameter werden vom Hersteller des Wandlers mitgeliefert.

Für die in Abbildung 2 dargestellte Einbindung des Netzwerkmodells in das verwendete FE-Programm ANSYS wird das Netzwerk zunächst so umgeformt, dass es in dem FE-Programm modelliert werden kann. Dazu werden die elektrischen Elemente auf die mechanische Seite transformiert. Die mechanischen Elemente können als FE-Modell von Punktmassen- und Feder-Dämpfer-Elemente dargestellt werden. Der mechanisch-akustisch Wandler (Lautsprechermembran) wird vereinfacht als konphas schwingende Fläche modelliert. Für niedrige Frequenzen kann so eine schnelle und hinreichend genaue Berechnung erfolgen. Weitere Beispiele für die Kombinierte Simulation sind bei Starke [5], Marschner und Starke [6] und Krause et al. [7] zu finden.

Zusammenfassung

Simulationsmethoden sind derzeit für den effizienten dynamischen Entwurf elektromechanischer Systeme oft unzureichend. Dies gilt z. B. hinsichtlich der Schnelligkeit der Modellerstellung, der Genauigkeit des Modells oder der benötigten Rechenzeit. Eine vor allem für Ingenieure der Ausbildungsrichtungen Elektrotechnik und Mechatronik zweckmäßige Lösung ist die Verbindung von Netzwerk- und FE-Methoden auf Anwenderebene, die Kombinierte Simulation.

Sie stellt einen guten Kompromiss zwischen Beherrschbarkeit, Aufwand für die Modellerstellung, Rechenzeit, Genauigkeit und Verständnis dar. Durch die Verbindung auf Anwenderebene werden keine zusätzlichen Koppelprogramme benötigt. Je nach Entwurfsaufgabe können Netzwerkmethoden, FE-Methoden oder die Kombinierte Simulation zur Lösung verwendet werden. Die vorgestellte Strukturierung in fünf Anwendungsmöglichkeiten ermöglicht einem zielgerichteten Zugang.

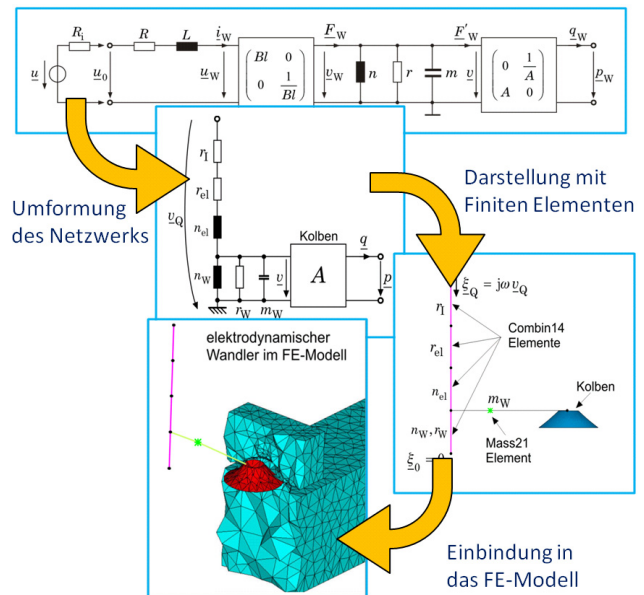


Abbildung 2: Einbindung des Netzwerks eines elektrodynamischen Wandlers in ein FE-Modell

Literatur

- [1] A. Schroth, T. Blochwitz, and G. Gerlach: Simulation of a complex sensor system using coupled simulation programs. Sensors and Actuators A: Physical, 54(1):632-635, June 1996.
- [2] P.-C. Eccardt et al.: Coupled finite element and network simulation for microsystem components. In Proc. MICRO SYSTEM Technologies '96, pages 145-150, Berlin, 1996. VDE-Verlag.
- [3] Lenk, A. et al.: Electromechanical Systems in Microtechnology and Mechatronics, Springer, 2010.
- [4] R. Werthschützky und G. Pfeifer: Die Netzwerktheorie als leistungsfähige Entwurfsmethode für elektromechanische Systeme der Mikrotechnik und Mechatronik, 38. DAGA, Darmstadt, 19.-22. März 2012.
- [5] Starke, E.: Kombinierte Simulation – eine weitere Methode zur Optimierung elektromechanischer Systeme, TUDPress, 2010.
- [6] U. Marschner und E. Starke: Bestimmung von Netzwerkparametern piezo-magnetischer Zweischicht-Biegeelemente mit Kombinierte Simulation, 38. DAGA, Darmstadt, 19.-22. März 2012.
- [7] M. Krause et al.: Entwurf der Wandlereinheit eines vollimplantierbaren Mittelohrhörgerätes mit Finite-Elemente-Methoden und Netzwerkmethoden, 38. DAGA, Darmstadt, 19.-22. März 2012.