

# Kapitel 1

## Einleitung

### 1.1 Problemstellung

Die Entwicklung im Bereich elektronischer Schaltungen ist durch eine ständige Zunahme der Arbeitsfrequenzen gekennzeichnet. Dies führt unmittelbar dazu, dass auch die Flankensteilheiten von Strom und Spannung ansteigen und die elektrischen Verbindungen zwischen den Bauelementen immer stärkeren Einfluß auf die Funktion der Schaltung nehmen. Die Verbindungsleiter können unter diesen Bedingungen nicht mehr als ideal angesehen werden und müssen mit ihren statischen und dynamischen Eigenschaften korrekt modelliert werden.

Mit Hilfe der Modellierung und Analyse sollen dabei bereits während der Geräteentwicklung, noch bevor der erste Prototyp gebaut ist, verlässliche Aussagen über die Funktion und die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) des Gerätes getroffen werden können.

Die DIN VDE 0870 definiert die EMV als die

*Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung, in ihrer elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu funktionieren, ohne diese Umgebung, zu der auch andere Einrichtungen gehören, unzulässig zu beeinflussen.*

Es wird dabei zwischen der *inneren* und der *äußeren EMV* unterschieden. Die Gewährleistung der inneren EMV umfasst die fehlerfreie Funktion der einzelnen Komponenten des elektrischen Systems und ihre fehlerfreie Zusammenarbeit. Beispielsweise kann es durch parasitäre Induktivitäten und Kapazitäten zum Übersprechen zwischen Signalleitungen und zu Überspannungen und Spannungseinbrüchen im Schaltmoment kommen. Die Gewährleistung der inneren EMV obliegt in erster Linie dem Gerätehersteller, um ein fehlerfreies Produkt auf den Markt zu bringen. Dementgegen sind we-

sentliche Eigenschaften der äußeren EMV gesetzlich geregelt. In Verkehr gebrachte Produkte dürfen einerseits ihre Umgebung nicht unzulässig stören (Störaussendung) und müssen andererseits unter Einwirkung externer Störquellen zufriedenstellend arbeiten (Störfestigkeit).

Aufgrund ihrer Länge stellen die Verbindungsleiter einer Schaltung wesentliche Koppelpfade für Störungen dar. Sie wirken als effektive Sende- und Empfangsantennen für gestrahlte und übertragen die leitungsgebundenen Störungen. Ferner sind es oft die nichtidealen Eigenschaften der Verbindungsleiter innerhalb der Schaltung, die zur Entstehung der hochfrequenten Störungen, z. B. im Versorgungssystem der Schaltung, führen. Um die Störungen in ihrer Stärke und in ihrem Frequenzspektrum bereits im Vorfeld einschätzen zu können, ist eine Analyse der Schaltung unter Einbeziehung von Modellen für die Verbindungsleiter erforderlich.

Dies erfordert neben einem Simulationsmodell für die elektronische Schaltung Modelle für die Verbindungsleiter, die sich in das Schaltungsmodell einfügen lassen. Da Halbleiter-Bauelemente meist nichtlinear und dynamisch sind, muss die Schaltungsanalyse im Zeitbereich erfolgen und die Modelle der Verbindungsleiter müssen im Zeit- und im Frequenzbereich gültig sein.

## 1.2 Numerische Verfahren für die Modellierung elektrischer Verbindungsstrukturen

Für die Analyse von Verbindungsstrukturen wurden in der Vergangenheit verschiedene Verfahren und Anwendungsprogramme entwickelt. Diese beruhen, in Abhängigkeit von der Problemstellung und dem Einsatzgebiet, auf verschiedenen mathematischen und physikalischen Modellen.

Für grundlegende Untersuchungen sowie die Analyse und Optimierung von einzelnen Komponenten werden häufig Programme für die Simulation statischer und/oder dynamischer Feldprobleme eingesetzt. In den meisten Fällen besteht aber keine Möglichkeit, die Feldsimulation mit der Schaltungssimulation zu koppeln.

Im Bereich schneller Digitalschaltungen haben sich Simulationsprogramme, die auf Leitungsmodellen basieren, etabliert. Ihr Anwendungsgebiet ist auf Mehrlagenleiterplatten mit separaten Lagen für Masse und Versorgungsspannung beschränkt. Die Parameter der Leitungsmodelle werden entweder aus analytischen Formeln oder mittels Feldsimulationen der Querschnittsgeometrie gewonnen. Da diese Programme für die Analyse von Reflexions- und Übersprechphänomenen in schnellen Digitalschaltungen bestimmt sind, erlauben sie eine gemeinsame Simulation der Modelle für die Bauelemente

und der Leitungsmodelle für die Verbindungsstruktur im Zeit- und im Frequenzbereich.

Für die Analyse der elektrischen Eigenschaften von Packages und Steckverbindern werden Programme benötigt, die eine Modellierung und Simulation dieser dreidimensionalen Strukturen erlauben. Diese Aufgabe wird ebenfalls oft mit Hilfe von Programmen für die Berechnung von Feldproblemen bearbeitet. Um den Simulationsaufwand für die anschließende Schaltungsanalyse zu reduzieren, werden im Postprocessing aus den Feldgrößen die gesuchten Ersatzparameter (Induktivität, Widerstand, Kapazität, etc.) und die Ersatzschaltung ermittelt.

Die meisten Programme zur Analyse von Verbindungsstrukturen enthalten somit in ihrem Kern ein System zur Analyse zweidimensionaler oder dreidimensionaler Feldprobleme. Entsprechend den zugrundeliegenden Ansätzen können die Verfahren in Differential- und Integralgleichungsverfahren eingeteilt werden. Zu den Differentialgleichungsverfahren zählen:

- das Finite-Differenzen-Verfahren (FD, FDTD),
- das Finite-Integrations-Verfahren (FIT),
- das Finite-Elemente-Verfahren (FEM) und
- das Transmission Line Matrix Verfahren (TLM).

Differentialgleichungsverfahren erfordern die Diskretisierung des gesamten Feldraumes. Aufgrund der ungünstigen Längen-Querschnittsverhältnisse von Verbindungsleitern ist die Diskretisierung üblicher Schaltungen nicht sinnvoll durchführbar. Da sich die Diskretisierung an der zeitlichen und lokalen Änderung der Feldstärke orientieren muss, erfordern die starken Feldstärkeänderungen in der Umgebung von Drähten und an Kanten eine sehr feine Diskretisierung.

Weiterhin sind EMV-Probleme meist offene Probleme, d. h. der Raum, in den die abgestrahlte Energie entweichen kann, ist unendlich weit. Da in Differentialgleichungsverfahren das Berechnungsgebiet stets begrenzt ist, muss der offene, reflexionsfreie Rand speziell nachgebildet werden. Dies führt zu einer zusätzlichen Vergrößerung des Berechnungsgebietes und erhöht somit den Speicher- und Rechenaufwand.

Im Gegensatz zu den Differentialgleichungsverfahren erfordern die Integralgleichungsverfahren nur die Diskretisierung der Quellen des elektromagnetischen Feldes. Die Feinheit der Diskretisierung orientiert sich an deren lokaler und zeitlicher Änderung. Die Änderung der Feldstärke selbst muss nicht berücksichtigt werden.