

Einführung in die Netzwerkanalyse mit SPICE

Von Dr.-Ing. Rudolf Kleinöder
Professor an der Fachhochschule Gießen-Friedberg



B. G. Teubner Stuttgart 1993

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Kleinöder, Rudolf:

Einführung in die Netzwerkanalyse mit SPICE / von Rudolf Kleinöder. –

Stuttgart : Teubner, 1993

ISBN 978-3-519-06166-3

ISBN 978-3-322-91861-1 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-91861-1

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© B. G. Teubner Stuttgart 1993

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1993

Gesamtherstellung: Zehnersche Buchdruckerei GmbH, Speyer

Vorwort

Die Ausbildung in den Grundgebieten der Elektrotechnik ist meist durch hohen mathematischen Aufwand gekennzeichnet, wenn Übungsaufgaben zu rechnen oder Schaltungen zu analysieren sind. Das Experimentieren an konkreten Schaltungen ist oftmals erst nach Ableistung der "Grundlagen der Elektrotechnik" vorgesehen. Begründet wird dies mit geringer Effektivität und hohem "Rauchanteil" in den Praktika. Bei einer zu berechnenden Schaltung kann die für den Lernprozeß wichtige unmittelbare positive oder negative Rückkopplung durch Lösungsvorschläge sichergestellt werden. Die Kreativität bei der Lösung der Aufgabe beschränkt sich jedoch oftmals auf die Aufgabenstellung. Ein weitergehendes Untersuchen, ein Experimentieren mit der Schaltung, entfällt meistens, weil der mathematische Aufwand oder der Aufwand an Meßmitteln für den Lernenden zu groß erscheint. An dieser Stelle setzt die Aufgabenstellung für dieses Buch an. Das Buch soll in Verbindung mit einem Personalcomputer und einem sehr häufig verwendeten Programm zur Netzwerkanalyse ein frühzeitiges Experimentieren mit Schaltungen ermöglichen. Die Intention des Buches besteht aber auch darin, die notwendige Reflektion zwischen einzelnen Rechenschritten und dem Experiment zu unterstützen.

Als Programm für die Schaltungsanalyse wurde - auch wegen der vielen kostengünstig zu erwerbenden Studentenversionen - das Programm SPICE (Simulation Programm with Integrated Circuit Emphasis) gewählt. SPICE wurde Anfang der siebziger Jahre an der University of California, Berkeley, entwickelt und ist seit mehreren Jahren auch für Personalcomputer verfügbar. Einfachere Versionen von SPICE sind auch auf älteren Rechnern mit kleiner Festplattenkapazität und lediglich 512 kB RAM lauffähig. Für einen ersten Einstieg sind ein Editor, der eine ASCII-Ausgabedatei liefert und das SPICE-Simulationsprogramm erforderlich. Komfortablere Versionen von SPICE gestatten eine grafische Schaltungseingabe mit Mausunterstützung und umfangreichen Bibliotheken von Bauelementen.

In diesen Bibliotheken sind Beschreibungen von Transistoren, Operationsverstärkern etc. vorhanden, die in eine Schaltungsbeschreibung als "Baustein" eingesetzt werden können. Die grafische Analyse der Simulationsergebnisse wird durch komfortable Grafikprogramme unterstützt. Diese Grafikprogramme gestatten eine Betrachtung der Ergebnisse im Zeit- und im Frequenzbereich und sind oftmals mit Rechen- und Skalierfunktionen ausgestattet. Trotz der vielen Erleichterungen, die die Schaltungsanalyse mit SPICE bietet, sollte nicht vergessen werden, daß Modelle von Bauelementen nur Annäherungen an das reale Verhalten sind. Ein Versuchsaufbau der simulierten Schaltung wird daher oftmals nicht zu umgehen sein. Mit der Simulation kann jedoch die Möglichkeit von Fehlschlägen besser abgeschätzt werden.

Obwohl das Buch primär für Studenten an Fachhochschulen und Universitäten vorgesehen ist, können eine Reihe von Schaltungen auch von Weiterbildungswilligen mit geringeren mathematischen Kenntnissen nachvollzogen werden. Hierzu gehören insbesondere die Schaltungen der Kapitel 1, 2 und 4. Für die Analyse von Schaltvorgängen (Kapitel 3) sind höhere mathematische Kenntnisse (z.B. Laplace-Transformation) erforderlich. Aus didaktischen Gründen werden i.allg. Netzwerke mit linearen Zweipolen behandelt.

Einzelne Abschnitte dieses Buches werden bei labororientierten Einführungen in die Grundlagen der Elektrotechnik an der Fachhochschule Gießen eingesetzt.

Mein Dank gilt der Firma HOSCHAR, Karlsruhe, in Verbindung mit der Firma MicroSim (USA), die ein Testpaket von PSpice zur Verfügung stellten. Der Firma Intusoft (USA), vertreten durch die Firma Bausch - Gall, München, danke ich für die Förderung mit einem Programm zur grafischen Aufbereitung von Simulationsergebnissen. Dem Verlag B. G. Teubner, Stuttgart, danke ich für die gute Zusammenarbeit.

Inhaltsverzeichnis

1	Netzwerkanalyse mit SPICE: Grundlagen und Gleichstromnetzwerke	1
1.1	Vereinbarungen	2
1.2	SPICE - Beschreibung von Zweipolen	5
1.3	Untersuchung einfacher Netzwerke	11
1.3.1	Die Kirchhoffschen Regeln	11
1.3.2	Untersuchung von einfachen Netzwerken ohne gesteuerte Quellen	12
1.3.3	Untersuchung von einfachen Netzwerken mit gesteuerten Quellen	21
1.4	Netzwerkanalyse mit Knotenpotential - und Maschenstromverfahren	31
1.4.1	Vorbemerkungen zum Gleichungssystem und zur Struktur von Netzwerken	31
1.4.2	Das Knotenpotentialverfahren	35
1.4.3	Das Maschenstromverfahren	45
1.4.4	Ersatzquellen und Übertragungsfunktionen	58
1.5	Subnetzwerke	65
1.6	Analyse nichtlinearer Netzwerke	74
1.7	Übungsaufgaben	80
2	Zeitabhängige Quellen	100
2.1	Grafische Ausgabe bei SPICE- Programmen	102
2.2	Zeitabhängige deterministische Quellen	102
2.2.1	Quellen mit sinusförmigen Ausgangsgrößen	103

2.2.2	Quellen mit gedämpften Schwingungen	105
2.2.3	Quellen mit rechteckförmigen Ausgangsgrößen	106
2.2.4	Quellen mit sägezahnförmigen Ausgangsgrößen	107
2.2.5	Quellen mit exponentiellem und stückweise definiertem Verlauf	108
2.3	Quellen mit nichtdeterministischen Ausgangsgrößen	111
2.3.1	Erzeugung von Realisationen stationärer stochastischer Prozesse	111
2.3.2	Erzeugung von Realisationen nichtstationärer stochastischer Prozesse	113
3	Analyse von Schalt- und Übergangsvorgängen	115
3.1	Spulen und Kondensatoren	116
3.2	Schaltvorgänge bei einfachen RC- bzw. RL- Netzwerken	119
3.3	Untersuchung von Schaltvorgängen mittels Laplacetransformation	126
3.3.1	Netzwerkelemente im s- Bereich	129
3.3.2	Beispiele zur Analyse von Netzwerken im s- Bereich und SPICE-Simulationen	131
3.4	Analyse von Netzwerken mit Zustandsvariablen	145
3.4.1	Elemente zur Darstellung der Zustandsgleichungen	146
3.4.2	Beispiele zur Analyse von Netzwerken mit Zustandsvariablen	151
4	Analyse von Netzwerken nach Abklingen von Ausgleichsvorgängen	157
4.1	Reaktion eines Netzwerkes auf sinusförmige Erregung	158

VII

4.2	Einfache Beispiele zur Analyse von Netzwerken im stationären Zustand	163
4.3	Frequenzkennlinien (Bodediagramm)	179
4.4	Netzwerke mit gesteuerten Quellen an Wechselspannung	183
4.5	Mehrphasensysteme	189
4.6	Magnetisch gekoppelte Kreise	198
4.6.1	Transformatorgleichungen	200
4.6.2	SPICE- Simulation von magnetisch gekoppelten Kreisen	204
4.7	Netzwerke mit nichtcosinusförmigen Größen	208
4.7.1	Fourierreihen: Synthese von periodischen Größen	208
4.7.2	Fourierreihen: Analyse von periodischen Größen	210
5	Analyse spezieller Netzwerke	220
5.1	Untersuchung eines Instrumentenverstärkers	220
5.2	Untersuchung eines Tiefpaßfilters	227
6	Literaturverzeichnis	234
7	Stichwortverzeichnis	237