

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	1
2 Verbindungsleitungen in nachrichtentechnischen Systemen	5
2.1 Leitungseinflüsse und Notwendigkeit der nichtquasistationären Betrachtungsweise	6
2.2 Vergleich mit Streifenleitungen in der HF-Technik	13
3 Theorie der Leitbahnen	17
3.1 Ausbreitung elektromagnetischer Wellen auf Einzelleitungen	18
3.1.1 Die verlustlose Leitung	18
Lösung der Wellengleichungen	19
Schnellveränderlich quasistationäre Betrachtungsweise	23
3.1.2 Die verlustbehaftete Leitung	34
Differentialgleichungen und spezielle Lösungen	36
Berücksichtigung innerer Induktivitätsbeläge	44
Berücksichtigung des Skin-Effekts im Leiter	49
3.2 Einflüsse des Substrats auf Wellenausbreitung und Leitungskopplung	55
3.2.1 Qualitative Betrachtungen	55
3.2.2 Quantitative Betrachtungen	58
Wellenausbreitung beim Parallelplattenmodell	58
Fundamentale Ausbreitungsmoden	61
Diskussion der Ausbreitungsmoden	63

3.3	Netzwerkmodelle	67
3.4	Wellenausbreitung auf Mehrfachleitungen	78
3.4.1	Magnetische und elektrische Feldenergie	79
3.4.2	Hamiltonsches Prinzip und Lagrangedichte für Leitungssysteme	83
3.4.3	Dissipative Energie und Differentialgleichungssysteme	86
3.4.4	Lösung der Differentialgleichungssysteme für den verlustfreien Fall	88
	Integrale Größen als Elemente eines endlichdimensionalen Vektorraums	89
	Darstellbarkeit des Endomorphismus $\hat{\varphi}$ durch eine Diagonalmatrix	89
	Lösung durch Hauptachsentransformation	91
4	Simulation des Signalverhaltens	104
4.1	Simulation bei quasistationärer Betrachtung mit Hilfe eines Netzwerkanalyseprogramms	108
4.2	Simulation im Frequenzbereich	112
4.2.1	Allgemeines Vorgehen zur Simulation	113
4.2.2	Simulationsresultate	118
4.3	Simulation im Zeitbereich	121
4.3.1	Lösung der Differentialgleichungssysteme für den verlustbehafteten Fall	122
	Bestimmung der unbekannten Matrizen f_1 und g_1	122
	Berücksichtigung der Leitungsverluste	130
4.3.2	Allgemeines Vorgehen zur Simulation	133
	Ein Algorithmus	133
	Implementierung als Computerprogramm	137
	Fehlerabschätzung	144
4.3.3	Simulationsresultate	145
4.4	Weitere Simulationsverfahren	148
4.5	Berücksichtigung der Schaltungsumgebung	155
4.5.1	Verbindung zwischen Leitungen und konzentrierten Elementen	155
4.5.2	Partitionierung von Netzwerken durch Leitungen (PPL)	157
4.5.3	Simulationsresultate	160
4.6	Simulation großer Schaltungen	163

Inhaltsverzeichnis

4.6.1	Näherungsweise Berechnung des Signalverhaltens	164
4.6.2	Abschätzung des Signalverhaltens	165
4.6.3	Allgemeines Vorgehen zur Simulation	167
5	Berücksichtigung spezieller Geometrien	170
5.1	Knicke, Verzweigungen, Weitenänderungen, Kurzschlüsse, Leerläufe und Durchkontaktierungen	170
5.2	Verkreuzte Leitungssysteme	175
5.3	Weitere Inhomogenitäten	178
6	Simulation von Skin- und Proximity-Effekten	184
6.1	Simulation im Frequenzbereich	184
6.2	Simulation im Zeitbereich	186
6.2.1	Simulation von Einzelleitungen	187
6.2.2	Simulation von Leitungssystemen	189
7	Literatur	204
8	Anhang	209
9	Sachverzeichnis	245