

Reiner Thiele

Optische Netzwerke

Ein feldtheoretischer Zugang

Mit 29 Abbildungen und 12 Tabellen
sowie 904 Formeln und 29 Aufgaben
mit Lösungen



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1 Einleitung	1
1.1 Überblick	1
1.2 Ziel	1
1.3 Literatur	1
2 Grundlagen	2
2.1 Maxwell-Gleichungen	2
2.1.1 Integralform	2
2.1.2 Differenzialform	4
2.2 Grenzflächenbedingungen	5
2.2.1 Grenzflächen	5
2.2.2 Normalkomponenten [2.3]	5
2.2.3 Tangentialkomponenten [2.3]	6
2.2.4 Stetigkeitsbedingungen in Differenzenform	7
2.2.5 Feldgleichungen an Grenzflächen	8
2.2.5.1 Grundzusammenhänge	8
2.2.5.2 Photonenstromdichte	11
2.2.5.3 Relaxationszeit	12
2.2.5.4 Energiebilanz	12
2.2.6 Ebene Wellen an Grenzflächen	15
2.2.6.1 Übergang isotrop \rightarrow anisotrop	15
2.2.6.2 Übergang anisotrop \rightarrow isotrop	28
2.3 Feldverteilung in anisotropen optischen Bauelementen	37
2.3.1 Gleichungssysteme für die E_m - und H_m -Moden	37
2.3.2 E_m -Moden	39
2.3.2.1 Lösungsansatz	39
2.3.2.2 Stetigkeitsbedingungen an den Längs-Grenzflächen	40
2.3.2.3 Eigenwertgleichung für die E_m -Moden	41
2.3.2.4 Feldverteilung für den E_0 -Mode	42
2.3.2.5 Anregung des E_0 -Modes	44
2.3.3 H_m -Moden	47
2.3.3.1 Lösungsansatz	47
2.3.3.2 Stetigkeitsbedingungen an den Längs-Grenzflächen	48
2.3.3.3 Eigenwertgleichung für die H_m -Moden	49
2.3.3.4 Feldverteilung für den H_0 -Mode	50
2.3.3.5 Anregung des H_0 -Modes	51
2.4 Aufgaben	53
2.5 Lösungen	54
2.6 Literatur	59

3 Erweiterter Jones-Kalkül	60
3.1 Erweiterte Jones-Matrix bei diagonalem Dielektrizitätstensor	60
3.1.1 Lösungsansätze.....	60
3.1.2 Differenzialgleichungen für die Jones-Matrix-Elemente.....	61
3.1.3 Lösung der Jones-DGL.....	62
3.1.3.1 Allgemeine Lösung	62
3.1.3.2 Anfangswerte	63
3.2 Diagonale Jones-Matrizen.....	64
3.2.1 Lichtwellenleiter.....	64
3.2.2 Polarisatoren.....	64
3.2.3 Retarder	67
3.2.4 Faseroptischer Verstärker	69
3.2.5 Zusammenfassung	72
3.2.5.1 Modenanregungsbedingungen.....	72
3.2.5.2 Jones-Matrizen	74
3.3 z-Komponenten-Übertragungsfunktion bei diagonalem Dielektrizitätstensor.....	81
3.3.1 Ableitung der z-Komponenten-Übertragungsfunktion	81
3.3.2 z-Komponenten-Übertragungsfunktionen	82
3.4 Erweiterte Jones-Matrix bei symmetrischem oder hermiteschem Dielektrizitätstensor.....	83
3.4.1 Dielektrizitätstensoren.....	83
3.4.1.1 Symmetrischer Dielektrizitätstensor.....	83
3.4.1.2 Hermitescher Dielektrizitätstensor	86
3.4.2 Ableitung der erweiterten Jones-Matrix	88
3.4.2.1 Erweiterte Jones-Matrix bei symmetrischem Dielektrizitätstensor	88
3.4.2.2 Erweiterte Jones-Matrix bei hermiteschem Dielektrizitätstensor	89
3.5 Jones-Matrizen und z-Komponenten-Übertragungsfunktion mit z-Achse als Drehachse.....	89
3.5.1 Absorbierende Medien mit komplexem Dielektrizitätstensor	89
3.5.2 Nichtdiagonale Jones-Matrizen und zugehörige z-Komponenten-übertragungsfunktion	90
3.5.2.1 Voraussetzungen	90
3.5.2.2 Nichtdiagonale Jones-Matrix.....	91
3.5.2.3 z-Komponenten-Übertragungsfunktion.....	93
3.5.2.4 Polarisationsübertragungsgleichung.....	95
3.5.2.5 Diskussion	97
3.5.3 Beispiele	99
3.5.3.1 Lichtwellenleiter.....	99
3.5.3.2 Polarisatoren.....	103
3.5.3.3 Rotatoren	105
3.5.3.4 Optische Isolatoren.....	108
3.6 Realisierung orthogonaler und unitärer Transformationen	110
3.6.1 Orthogonale Transformationsmatrix	110
3.6.1.1 Orthogonale RT-Zerlegung	110
3.6.1.2 Beispiel zur orthogonalen RT-Zerlegung.....	116
3.6.2 Unitäre Transformationsmatrix	121
3.6.2.1 Unitäre RT-Zerlegung.....	121
3.6.2.2 Beispiel zur unitären RT-Zerlegung.....	122

3.7	Erweiterte Fourier-Matrizen	124
3.7.1	Ableitung der erweiterten Fourier-Matrix	124
3.7.2	Beispiele	125
3.7.2.1	Amplitudenmodulator	125
3.7.2.2	Phasenmodulator	127
3.8	z -Komponenten-Fourier-Koeffizienten.....	128
3.8.1	Ableitung der z -Komponenten-Fourier-Koeffizienten	128
3.8.1.1	Diagonale periodische Matrizenfunktion	128
3.8.1.2	Nichtdiagonale periodische Matrizenfunktion	129
3.8.2	Beispiele	130
3.8.2.1	Amplitudenmodulator	130
3.8.2.2	Phasenmodulator	131
3.9	Aufgaben	132
3.10	Lösungen zu den Aufgaben	133
3.11	Literatur	142
4	Erweiterter Kohärenzmatrizen-Kalkül	143
4.1	Definition der erweiterten Kohärenzmatrix	143
4.2	Erwartungswert der Intensität	144
4.3	Leistungsspektrum und Intensität	145
4.4	Erwartungswert der Ausgangsintensität eines linearen zeitinvarianten optischen Systems	146
4.5	z -Komponenten-Kohärenzfunktion.....	147
4.5.1	Diagonale erweiterte Kohärenzmatrix	147
4.5.2	Nichtdiagonale erweiterte Kohärenzmatrix	150
4.6	Transformation der erweiterten Kohärenzmatrix	153
4.6.1	Transformation auf Diagonalform.....	153
4.6.1.1	Erweiterte Kohärenzmatrix bei Laserphasenrauschen	153
4.6.1.2	Diagonalisierung der erweiterten Kohärenzmatrix.....	156
4.6.1.3	Realisierung der Transformation auf Diagonalform	160
4.6.2	Transformation auf die Jones-Matrix-äquivalente Form	163
4.6.2.1	Spezialfall der erweiterten Kohärenzmatrix bei Laserphasenrauschen.....	163
4.6.2.2	Ableitung der Transformationsmatrix	165
4.6.2.3	Realisierung der Jones-Matrix-äquivalenten Transformation	167
4.7	Aufgaben.....	171
4.8	Lösungen zu den Aufgaben	174
4.9	Literatur	182
5	Übertragung der z-Komponente der elektrischen Verschiebungsflussdichte über lineare optische Systeme	183
5.1	Determinierte Beschreibung	183
5.1.1	Zusammenschaltungsregeln	183
5.1.2	Erzeugung der z -Komponente der elektrischen Verschiebungsflussdichte am Eingang.....	185
5.1.3	Elimination der z -Komponente der elektrischen Verschiebungsflussdichte am Ausgang.....	185
5.1.3.1	Grundprinzip	185
5.1.3.2	z -Komponenten-Analysator	186
5.2	Stochastische Beschreibung.....	192

5.3	Aufgaben.....	194
5.4	Lösungen zu den Aufgaben.....	196
5.5	Literatur	200
6	Klassifizierung optischer Netzwerke.....	201
6.1	Streumatrix.....	201
6.2	Verlustlosigkeit, Passivität, Aktivität.....	202
6.3	Reziprozität [6.1].....	203
6.4	Reflexionsfreiheit.....	204
6.5	Symmetrie.....	204
6.6	Aufgaben.....	205
6.7	Lösungen zu den Aufgaben.....	206
6.8	Literatur	209
7	z-Komponenten-Eigenanalyse	210
7.1	Verfahren der z -Komponenten-Eigenanalyse	210
7.1.1	Änderung des Dielektrizitätstensors.....	210
7.1.2	Eigenwertänderung in der diagonalen erweiterten Jones-Matrix.....	211
7.1.3	z -Komponenten-Eigenanalyse	212
7.2	Schlussfolgerungen aus Anwendersicht.....	215
7.3	Aufgaben.....	215
7.4	Lösungen zu den Aufgaben.....	216
7.5	Literatur	219
8	Anwendungsbeispiel: Faseroptischer Stromsensor	220
9	Zusammenfassung	221
10	Anhänge.....	222
A1	Ableitung der komplexen Dielektrizitätskonstanten	222
A2	Ableitung der x -Komponenten-Übertragungsfunktion.....	223
A3	Ableitung der y -Komponenten-Übertragungsfunktion.....	225
A4	Statistik des Laserrauschens.....	227
A4.1	Phasenrauschdifferenz	227
A4.2	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion des Intensitätsrauschens	230
A4.3	Kohärenzfunktion des Laserrauschens	232
A5	Mc Cumber-Theorie des faseroptischen Verstärkers	233
A5.1	Ansätze	233
A5.2	Lorentz-Näherung für den Verstärkungskoeffizienten	234
A5.3	Effektiver Verstärkungskoeffizient.....	234
A5.4	z -Komponenten-Übertragungsfunktion	235
A6	Erfindung: Faseroptischer Stromsensor	236
A7	Signalverarbeitung in faseroptischen Stromsensoren.....	257
A7.1	Beschreibung der Erfindung	257
A7.2	Erläuterung der Erfindung	258
	Bildverzeichnis	262
	Tabellenverzeichnis.....	263
	Abkürzungsverzeichnis	263
	Formelzeichen	264
	Sachwortverzeichnis.....	271