

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	13
Abkürzungen	19
1. Übersicht und Einordnung	21
1.1. Lichtwellenleiter und elektromagnetisches Spektrum	21
1.2. Historischer Abriß	22
1.3. Baugruppen	23
1.4. Bewertung der optischen Wellen	23
2. Theoretische Grundlagen	27
2.1. Die Maxwellschen Gleichungen	27
2.2. Wellenoptische Grundlagen	29
2.2.1. Ebene und zylindrische optische Strukturen	29
2.2.1.1. Wellengleichungen in der Ebene	29
2.2.1.2. Wellengleichungen für zylindrische Lichtwellenleiter	31
2.2.2. Reflexion und Brechung optischer Wellen	32
2.2.2.1. Die optische Grenzfläche	32
2.2.2.2. Die optischen TE-Moden an der Grenzfläche	33
2.2.2.3. Die optischen TM-Moden an der Grenzfläche	35
2.2.2.4. Phasenverschiebung der Wellenkomponenten bei Reflexion	36
2.3. Strahlenoptische Grundlagen	37
2.3.1. Zum Strahlencharakter des Lichtes	37
2.3.2. Grundlagen der strahlenoptischen Betrachtung	38
2.3.3. Gleichungen im inhomogenen Medium	40
2.3.4. Strahlenoptische Ableitung des Brechungsgesetzes	42
2.3.5. Strahlenoptische Grundgleichungen für zylindrische Lichtwellenleiter	43
2.3.6. Berechnung der Trajektorie eines Lichtstrahls in einem Gradientenindex-LWL	44
2.4. Der zylindrische Stufenindex-LWL	46
2.4.1. Aufbau	46
2.4.2. Gleichungen	46
2.4.3. Modenausbildung im Stufenindex-LWL	48
2.5. Lichtausbreitung im zylindrischen Gradienten-LWL	51
2.5.1. Besonderheiten	51
2.5.2. Modenausbildung im Gradienten-LWL	52

3.	Sender und Senderschaltungen	56
3.1.	Einleitung	56
3.2.	Laserdioden	57
3.2.1.	Aufbau	57
3.2.2.	Strom-Spannungs-Kennlinien	58
3.2.3.	Parameter und Eigenschaften der DH-Laser	59
3.2.3.1.	Verstärkung und Steilheit	59
3.2.3.2.	Externer differentieller Quantenwirkungsgrad	60
3.2.3.3.	Strahlungscharakteristik	62
3.2.3.4.	Nichtlinearitäten bei Laserdioden	63
3.3.	Lichtemittierende Dioden (LED)	64
3.3.1.	Aufbau	64
3.3.2.	Die Leistungs-Strom-Kennlinien	65
3.3.3.	Weitere Parameter und Eigenschaften	65
3.3.3.1.	Strahlungscharakteristik	66
3.3.3.2.	Temperaturabhängigkeit	66
3.3.3.3.	Ausgewählte Parameter	67
3.4.	Zuverlässigkeit von LED und Laserdioden	68
3.4.1.	Zur Physik der Diodenzuverlässigkeit	68
3.4.1.1.	Interne Degradation	68
3.4.1.2.	Ohmsche Kontakt-Degradation	68
3.4.1.3.	Facettenschaden bei Lasern	69
3.4.2.	Methoden zur Bestimmung der Zuverlässigkeit	69
3.5.	Parametervergleich von LED und Lasern	71
3.6.	Senderschaltungen	71
3.6.1.	Aufgabenstellung	71
3.6.2.	LED-Senderschaltungen	72
3.6.3.	Lichtleistungsregelung bei Senderschaltungen	74
3.6.4.	Senderschaltungen mit Laserdioden (ILD)	75
4.	Fotodetektoren und Empfängerschaltungen	77
4.1.	Arten von Fotodetektoren	77
4.1.1.	Fotozelle	77
4.1.2.	Fotowiderstand	78
4.1.3.	Fotodetektoren mit Sperrschiicht	79
4.2.	Spezielle Fotodetektor-Halbleiterbauelemente für die LWL-Technik	80
4.2.1.	Anforderungen an Detektoren	80
4.2.2.	PIN-Fotodiode	81
4.2.3.	Lawinenfotodiode (APD)	82
4.2.4.	Vergleich von PIN- und Lawinenfotodioden	84
4.3.	Rauschen	85
4.3.1.	Allgemeines zum Rauschen in optischen Systemen	85
4.3.2.	Rauscherscheinungen in Fotodetektoren	85
4.3.2.1.	Rauschen der PIN-Diode	85
4.3.2.2.	Rauschvorgänge in Lawinenfotodioden	88
4.3.3.	Elektronisches Rauschen	90
4.3.3.1.	Rauschanalyse elektronischer Vierpole	90
4.3.3.2.	Rauschverhalten von Bipolar- und Feldeffekttransistor	92

4.4.	Grundlagen des Entwurfs von Empfängern für die LWL-Technik	93
4.4.1.	Aufgabenstellung	93
4.4.2.	Blockschaltbild	94
4.4.3.	Rauschanalyse optischer Empfänger	95
4.4.3.1.	Berechnung des Analogempfängers	95
4.4.3.1.1.	Signal-Rausch-Verhältnis	95
4.4.3.1.2.	Minimale optische Leistung bei optimaler Lawinenverstärkung	97
4.4.3.2.	Berechnung des Digitalempfängers	99
4.4.3.2.1.	Abschätzung der Detektorschwelle bei vorgegebener Bitfehler- rate	99
4.4.3.2.2.	Konvertierung der Bitfehlerrate in das Signal-Rausch-Verhältnis	101
4.4.3.2.3.	Signalübertragung im Digitalempfänger	102
4.4.3.2.4.	Rauschverhalten des Digitalempfängers	103
4.4.3.2.5.	Minimale Lichtimpulsenergie bei optimaler Lawinenverstärkung	105
5.	Modulation	108
5.1.	Besonderheiten der Modulation optischer Signale	108
5.1.1.	Analoge Modulation	109
5.1.2.	Pulsmodulation	110
5.1.3.	Digitale Modulation	110
5.2.	Direkte Modulation	111
5.2.1.	Zur Modulation von LED	111
5.2.2.	Modulation von Halbleiterlaserdioden	113
5.3.	Optische Modulatoren zur indirekten Modulation	115
5.3.1.	Modulationsmethoden	115
5.3.2.	Elektrooptische Modulatoren	115
6.	Lichtwellenleiter, Eigenschaften und Aufbau	118
6.1.	Dämpfung und Dispersion	118
6.1.1.	Dämpfung	118
6.1.1.1.	Absorption	118
6.1.1.2.	Streuverluste	119
6.1.1.3.	Strahlungsverluste	120
6.1.1.4.	Kern- und Mantelverluste	121
6.1.2.	Dispersion	122
6.1.2.1.	Materialdispersion	122
6.1.2.2.	Wellenleiterdispersion	123
6.1.2.3.	Modenkopplungsdispersion	123
6.1.2.4.	Profildispersion	124
6.2.	Anwendungsorientierte Parameterberechnung	124
6.2.1.	Optische Übertragungseigenschaften	124
6.2.1.1.	Dämpfung durch Mikrokrümmung	125
6.2.1.2.	Dämpfung bei sehr kurzen Lichtwellenleitern	125
6.2.2.	Mechanische Eigenschaften	126
6.2.2.1.	Zugbelastung von Lichtwellenleitern	126
6.2.2.2.	Beanspruchungen durch Verkabelung	127
6.2.3.	Weitere Eigenschaften optischer Kabel	127
6.3.	Impulsverhalten von Lichtwellenleitern	128
6.4.	Bauformen von LWL-Kabeln	130

7.	Optische Verbindungen, Verzweigungen, Schalter	131
7.1.	Goniometrische Grundgleichungen	131
7.2.	Goniometrische Kenngrößen der optischen Quellen	132
7.3.	Kopplung der optischen Quelle mit dem Lichtwellenleiter	133
7.3.1.	Einfluß der numerischen Apertur	133
7.3.2.	Wirkungsgrad der Kopplung	134
7.3.2.1.	Direkte Kopplung zwischen optischer Quelle und Stufenindex-LWL	134
7.3.2.2.	Direkte Kopplung zwischen optischer Quelle und Gradientenindex-LWL	135
7.3.2.3.	Indirekte Kopplung mit Linsenanordnungen	137
7.3.3.	Weitere Konstruktionsformen der Lichtein- und Lichtauskopplung	139
7.4.	Verbindungen zwischen Lichtwellenleitern	141
7.4.1.	Verlustquellen	141
7.4.2.	Lösbare Verbindungen von Einfach-LWL	143
7.4.3.	Nichtlösbare Verbindungen von Einfach-LWL	144
7.4.3.1.	Fusionstechnologie	144
7.4.3.2.	Klebetchnologie	145
7.4.4.	Verbindungen von Mehrfach-LWL	145
7.5.	Verzweigungstechnik	146
7.6.	Optische Schalter	148
8.	Systementwurf mit Lichtwellenleitern	150
8.1.	Parameterauswahl	150
8.1.1.	Wellenlänge	150
8.1.2.	Sendedioden	150
8.1.3.	LWL-Typen	151
8.1.4.	Empfänger	152
8.1.5.	Systemauswahl	152
8.2.	Klassifizierung der LWL-Systeme	152
8.3.	Auswahlprinzipien für Senderschaltungen, Empfängerschaltungen und Lichtwellenleiter	153
8.3.1.	Problemstellung	153
8.3.2.	Auswahl der Lichtwellenleiter	155
8.3.3.	Auswahl der Empfängerschaltungen	155
8.3.4.	Auswahl der Senderschaltungen	157
8.4.	Datenübertragungsnetzwerke für die Prozeßautomatisierung	157
8.4.1.	Modulare Übertragungsbaugruppen	157
8.4.2.	Entwurf von Datenübertragungsnetzwerken	159
8.4.3.	LWL-Datenbus	160
8.4.3.1.	Dynamikbereich	160
8.4.3.2.	Leistungsverhältnis	161
8.4.3.3.	Gesamte Systemverluste	162
8.4.3.4.	Größenordnungen der Parameter	162
8.4.3.5.	Das modifizierte Duplex-Datenbus-System	163
8.4.3.6.	Vergleichende Bewertung der LWL-Bus-Systeme	163

8.5.	Signalübertragungsverfahren in der Meß- und Automatisierungstechnik...	164
8.6.	Beeinflussung von LWL-Übertragungsstrecken	165
8.6.1.	Systematisierung der Einflußfaktoren	165
8.6.2.	Elektromagnetische Beeinflussung	165
8.6.3.	Mechanische Beeinflussung	165
8.6.4.	Klimatische Beeinflussung	165
8.6.5.	Radioaktive Beeinflussung	166
8.7.	Näherungsverfahren zum Entwurf von LWL-Systemen	166
8.7.1.	Zielstellung	166
8.7.2.	Die optische Leistungsbilanz	166
8.7.3.	Bandbreite des LWL-Systems	168
8.7.4.	Grafisches Verfahren zur Abschätzung der Systemparameter...	169
8.8.	Sicherheit bei der Arbeit mit LWL-Systemen.....	170
9.	Messungen in der LWL-Technik	172
9.1.	Übersicht	172
9.2.	Messung der LWL-Parameter	173
9.2.1.	Grundlegende Meßverfahren	173
9.2.2.	Messung der Übertragungsverluste	174
9.2.3.	Messung der Streuverluste	176
9.2.4.	Messung der Absorptionsverluste	176
9.2.5.	Messung der Verzerrungen und der Bandbreite	177
9.2.5.1.	Messungen im Zeitbereich	178
9.2.5.2.	Messungen im Frequenzbereich	179
9.2.6.	Messung der Brechzahlen des Lichtwellenleiters.....	179
9.2.6.1.	Methode der Interferenz	180
9.2.6.2.	Methode des gebrochenen Nahfeldes	181
9.3.	LWL-Kabelprüfung	181
9.4.	Fehlerratenmessung in LWL-Systemen.....	182
10.	Anwendungsbeispiele der Meß- und Automatisierungstechnik	184
10.1.	Meßwerterfassung, LWL-Sensoren	184
10.1.1.	Übersicht	184
10.1.2.	Mach-Zehnder-LWL-Interferometer	185
10.1.3.	LWL-Gradientenfeld-Magnetometer	186
10.1.4.	Dualkern-Monomoden-LWL-Sensor	187
10.1.5.	LWL-Interferometer-Sensor mit passiver quadratischer Demodulation	187
10.1.6.	LWL-Sensor auf der Basis der Krümmungsverluste	189
10.1.7.	LWL-Magnetfeld-Sensor mit metallischen Gläsern	189
10.1.8.	LWL-Sensor für magnetooptische Strommessungen in Hochspannungsanlagen	189
10.1.9.	LWL-gekoppelter Wismut-Silizium-Oxid-Sensor	190
10.1.10.	Hilfsenergiefreie optoelektronische Strom- und Spannungsmessung auf Hochspannungspotential	191
10.1.11.	Potentialfreie Messung hoher zeitveränderlicher elektrischer Felder mit Lichtwellenleitern	191

10.1.12.	Schwingungs- und Beschleunigungssensor mit Lichtwellenleitern	192
10.1.13.	Drucksensor mit Lichtwellenleitern	192
10.2.	Kopplung der Elektroenergieübertragung mit der Nachrichten- und Prozeß- datenübertragung	193
10.2.1.	Freileitungsseile mit Lichtwellenleitern	193
10.2.2.	LWL-System für Instandhaltungsinformationen von Hoch- spannungsfreileitungen	195
10.2.3.	Komplexes überregionales LWL-Informationssystem	196
10.3.	Beispiele zur LWL-Signalübertragung in der Automatisierungstechnik....	197
10.3.1.	Lichtwellenleiter für Automatisierungsnetze mit Computern....	197
10.3.2.	Integrierte digitale Energieanlagenautomatisierung mit Licht- wellenleitern	199
10.4.	Direkte Bildübertragung mit Lichtwellenleitern	199
10.5.	Mikroprozessor-Bus-Systeme mit planarem Lichtwellenleiter	199
10.6.	LWL-Energieübertragung für Schweißroboter	201
11.	Ausblick	202
11.1.	Langwellen-LWL-Technik	202
11.2.	Integrierte Funktionseinheiten	203
11.3.	Sensoren	204
11.4.	Lichtwellenleiter zur optischen Energieübertragung für technologische Prozesse	205
Anhang	206
A 1.	Optische und elektrische Leistung und Bandbreite in LWL-Systemen	206
A 2.	Mathematisches Modell des Rauschprozesses in Fotodetektoren	208
A 3.	Zugbelastung von Lichtwellenleitern	210
A 4.	Beispiel zur Berechnung von LWL-Übertragungstrecken	212
Literaturverzeichnis	215
Sachwörterverzeichnis	236