

INHALT

Vorwort	III
1 VEKTORANALYTISCHE HILFSMITTEL.....	1
1.1 Skalare und vektorielle Felder	1
1.1.1 Veranschaulichung durch Niveauflächen und Feldlinien.....	2
1.1.2 Beispiele.....	3
1.2 Gradient eines skalaren Feldes	5
1.2.1 Definition des Gradienten und eine Folgerung.....	5
1.2.2 Darstellung des Gradienten in kartesischen Koordinaten.....	6
1.2.3 Beispiel	7
1.3 Quellen eines Vektorfeldes	8
1.3.1 Fluß.....	8
1.3.2 Beispiel	9
1.3.3 Ergiebigkeit.....	11
1.3.4 Divergenz.....	12
1.3.5 Darstellung der Divergenz in kartesischen Koordinaten.....	13
1.3.6 Beispiele.....	14
1.4 Satz von Gauß	17
1.4.1 Eine Anwendung.....	19
1.4.2 Anmerkung.....	20
1.5 Sätze von Green.....	21
1.5.1 Satz von Gauß für den Gradienten.....	22
1.6 Wirbel eines Vektorfeldes.....	22
1.6.1 Zirkulation.....	23
1.6.2 Rotation.....	25
1.6.3 Darstellung der Rotation in kartesischen Koordinaten.....	26
1.6.4 Beispiele.....	28
1.7 Satz von Stokes.....	31
1.8 Verschiedenes.....	33
1.8.1 Formeln.....	33
1.8.2 Gradientenfelder sind wirbelfrei.....	34
1.8.3 Rotorfelder sind quellenfrei.....	35
1.8.4 Satz von Gauß für die Rotation.....	36
1.9 Skalares Potential	37
1.9.1 Notwendige Bedingungen.....	37
1.9.2 Hinreichende Bedingungen.....	37
1.9.3 Beispiele.....	39
1.10 Divergenz und Rotation als wesentliche Bestimmungsstücke eines Vektorfeldes.....	41
1.10.1 Poissonsche Differentialgleichung.....	42
1.11 Zylinder- und Kugelkoordinaten	42
1.11.1 Kurven-, Flächen- und Volumenelement.....	44

1.11.2	Vektoranalytische Operationen.....	46
1.11.3	Beispiele.....	49
1.11.4	Nützliche Formeln.....	49
2	LADUNG, STROM UND ELEKTROMAGNETISCHES FELD.....	52
2.1	Elektrische Ladung.....	52
2.1.1	Coulombsches Gesetz und elektrische Feldkonstante.....	53
2.1.2	Ladungsdichten.....	55
2.1.3	Beispiel.....	57
2.2	Elektrischer Strom.....	58
2.2.1	Stromdichten.....	60
2.2.2	Beispiel.....	62
2.2.3	Ampèresches Gesetz und magnetische Feldkonstante.....	64
2.3	Kontinuitätsgleichung.....	66
2.3.1	Beispiele.....	67
2.4	Physikalisches Feldkonzept.....	69
2.4.1	Elektrische Feldstärke und magnetische Induktion.....	71
2.5	Elektromagnetisches Feld gleichförmig bewegter Punktladungen.....	72
2.5.1	Elektromagnetische Wechselwirkung zweier gleichförmig bewegter Punktladungen.....	75
2.5.2	Beispiel.....	76
2.6	Zeitliche Entwicklung der Felder.....	78
2.7	Abhängigkeit der Feldgrößen vom Bezugssystem.....	80
3	MAXWELLSCHE GLEICHUNGEN.....	82
3.1	Die Quellen von E.....	83
3.2	Die Wirbel von B.....	85
3.2.1	Gesetz von Biot-Savart.....	85
3.2.2	Beispiel.....	87
3.2.3	Folgerungen.....	88
3.2.4	Durchflutungsgesetz.....	91
3.2.5	Verschiebungsstrom.....	95
3.3	Die Quellen von B.....	97
3.4	Die Wirbel von E.....	97
3.4.1	Magnetischer Fluß und seine zeitliche Änderung.....	97
3.4.2	Beispiele.....	99
3.4.3	Induktionsgesetz.....	101
3.5	Vorläufiges zur Interpretation der Maxwell-Gleichungen.....	104
3.6	Integrale Form der Maxwell-Gleichungen.....	105
3.6.1	Beispiele.....	107
3.7	Grenzbedingungen für E und B.....	112
3.7.1	Flächendivergenz.....	113
3.7.2	Flächenrotation.....	115

3.7.3	Zusammenfassung	117
3.7.4	Beispiele.....	118
4	ELEKTROSTATIK.....	124
4.1	Elektrostatistisches Potential.....	125
4.1.1	Beispiele.....	125
4.1.2	Elektrische Spannung und Verschiebungsarbeit	127
4.2	Elektrischer Dipol	128
4.2.1	Kraft und Drehmoment auf elektrische Dipole im äußeren Feld	131
4.2.2	Beispiel	133
4.2.3	Liniendipol.....	134
4.3	Multipolentwicklung des Potentials.....	135
4.4	Poissonsche Differentialgleichung.....	136
4.4.1	Beispiel	137
4.4.2	Lösung für eine im Endlichen liegende Ladungsverteilung.....	138
4.4.3	Eindeutigkeit der Lösung bei allgemeinen Potentialproblemen.....	141
4.4.4	Beispiel	142
4.5	Zwei Verfahren zur Lösung der Laplace-Gleichung.....	143
4.5.1	Separation der Variablen bei kartesischen Koordinaten	143
4.5.2	Beispiel	145
4.5.3	Methode der finiten Differenzen, Relaxationsverfahren	148
4.6	Energie des E-Feldes.....	151
4.6.1	Energie einer statischen Ladungsanordnung.....	151
4.6.2	Beispiel	153
4.6.3	Räumliche Energiedichte des E-Feldes.....	154
5	METALLISCHE LEITER.....	156
5.1	Ohmsches Gesetz	156
5.2	Hall-Effekt	158
5.3	Joulesche Wärme	161
5.4	Allgemeines Problem stationärer Stromverteilungen	161
5.4.1	Grenzflächen zwischen Bereichen verschiedener Leitfähigkeit	163
5.4.2	Eindeutigkeit	166
5.4.3	Ohmscher Widerstand	167
5.4.4	Beispiele.....	168
5.5	Stromlose ruhende Metallkörper.....	171
5.5.1	Grenzbedingung an Metalloberflächen	172
5.5.2	Beispiele.....	173
5.6	Mehrleitersysteme	178
5.6.1	Potential- und Kapazitätskoeffizienten.....	180
5.6.2	Reziprozität.....	182
5.6.3	Beispiel	183
5.6.4	Weitere Eigenschaften der Kapazitätskoeffizienten	184
5.6.5	Energie eines Mehrleitersystems	186

5.6.6	Kondensatoren.....	187
5.6.7	Beispiele.....	189
5.6.8	Teilkapazitäten eines Mehrleitersystems	192
6	MAGNETOSTATIK.....	194
6.1	Vektorpotential.....	194
6.1.1	Beispiel	195
6.2	Differentialgleichung für das Vektorpotential.....	196
6.2.1	Lösung für eine im Endlichen liegende Stromverteilung.....	197
6.3	Magnetischer Dipol	200
6.3.1	Kraft auf magnetische Dipole im äußeren Feld.....	203
6.3.2	Feldparallel liegende magnetische Dipole.....	205
6.4	Induktivitätskoeffizienten	207
6.4.1	Selbstinduktivität	207
6.4.2	Beispiel	209
6.4.3	Wechselseitige Induktivitäten	211
6.4.4	Beispiele.....	213
6.5	Quasistatische Elektrodynamik.....	216
6.5.1	Quasistationäre Näherung	218
6.6	Mathematische Ergänzung (Satz von Helmholtz)	219
7	INDUZIERTER QUASISTATIONÄRE STRÖME.....	221
7.1	Induzierte Schleifenströme.....	223
7.2	Selbstinduktion und wechselseitige Induktion bei zwei Stromschleifen	225
7.3	Energie des B-Feldes.....	227
7.3.1	Bei einer Stromschleife.....	228
7.3.2	Bei mehreren Stromschleifen.....	229
7.3.3	Räumliche Energiedichte des B-Feldes.....	231
7.3.4	Beispiel	233
7.4	Strom-Spannungs-Beziehung bei Spule und Transformator.....	234
7.4.1	Bei Spulen.....	234
7.4.2	Bei Transformatoren	238
7.5	Induktion in bewegten Leitern.....	239
7.5.1	Beispiele.....	240
7.5.2	Bewegte Leiterschleifen	243
7.5.3	Beispiele.....	244
7.5.4	Anmerkungen.....	247
8	ELEKTRISCH POLARISIERBARE STOFFE.....	248
8.1	Elektrische Polarisation.....	248
8.2	Polarisationsladungen.....	249
8.2.1	Beispiele.....	253
8.3	Polarisationsstrom.....	255

<i>Inhalt</i>	IX
8.4 Freie Ladungen und elektrische Verschiebungsdichte.....	256
8.4.1 Beispiel	258
8.5 Elektrische Materialgrößen	259
8.5.1 Grenzflächen zwischen verschiedenen Dielektrika	260
8.5.2 Beispiele	262
8.5.3 Kapazität von Kondensatoren mit dielektrischen Stoffen.....	268
9 MAGNETISCH POLARISIERBARE STOFFE.....	270
9.1 Ampèresche Kreisströme.....	270
9.1.1 Paramagnetismus.....	271
9.1.2 Diamagnetismus	272
9.1.3 Ferromagnetismus	274
9.2 Magnetisierung (Magnetische Polarisation)	275
9.3 Magnetisierungsströme.....	275
9.3.1 Beispiele	278
9.4 Freie Ströme und magnetische Feldstärke.....	280
9.4.1 Beispiele	282
9.5 Magnetische Materialgrößen	285
9.5.1 Grenzflächen zwischen verschieden permeablen Bereichen	286
9.6 Ferromagnetische Materialien	287
9.6.1 Grundsätzliches zur Meßmethode	287
9.6.2 Magnetisierungskurve	290
9.6.3 Beispiel	293
9.6.4 Induktivität von Spulen mit hochpermeablen Stoffen.....	294
9.6.5 Anmerkungen	295
9.7 Zusammenfassung der Maxwell-Gleichungen mit D und H.....	296
10 ELEKTROMAGNETISCHE ENERGIEBILANZ	298
10.1 Elektrische Leistungsdichte.....	299
10.1.1 Gespeicherte elektrische Energie im Fall linearer Dielektrika.....	301
10.2 Magnetische Leistungsdichte.....	303
10.2.1 Hystereseverlust.....	305
10.2.2 Gespeicherte Energie im Fall weichmagnetischer Stoffe	307
10.2.3 Beispiel	308
10.3 Elektromagnetische Energiestromdichte (Poynting-Vektor)	309
10.3.1 Beispiele	312
10.3.2 Anmerkung	317
11 RETARDIERTE LÖSUNGEN DER MAXWELL-GLEICHUNGEN	318
11.1 Wellengleichungen.....	318
11.2 Inhomogene Wellengleichungen für E und B.....	319
11.3 Inhomogene Wellengleichungen für dynamische Potentiale.....	321
11.4 Retardierte Potentiale	322

11.4.1	Zum Rechnen mit retardierten Funktionen.....	324
11.4.2	Beweise.....	327
11.4.3	Zusammenfassung und Interpretation.....	329
11.4.4	Lösung der Maxwell-Gleichungen ohne Potentialansätze.....	331
11.4.5	Anmerkungen.....	332
11.4.6	Beispiele.....	333
11.5	Zeitveränderlicher elektrischer Dipol (Hertzscher Dipol)	341
11.5.1	Beispiel.....	344
11.5.2	Zeitharmonisches Dipolmoment.....	347
11.5.3	Skalares retardiertes Potential.....	349
11.6	Zeitveränderlicher magnetischer Dipol (Fitzgeraidischer Dipol)	351
11.6.1	Beispiel.....	354
11.6.2	Zeitharmonisches Dipolmoment.....	355
11.7	Zur Berücksichtigung von Materialeigenschaften unter dynamischen Bedingungen	357
Aufgaben	.....	359
Lösungen	.....	383
Literatur	.....	408
Symbole	.....	409
Sachregister	.....	411