

Inhaltsverzeichnis

1	Elementare Begriffe elektrischer und magnetischer Felder	1
1.1	Feldstärke, Fluss und Flussdichte von Vektorfeldern	4
1.1.1	Elektrisches Vektorfeld E	4
1.1.1.1	Elektrische Feldstärke, elektrischer Fluss	4
1.1.1.2	Elektrische Flussdichte, Verschiebungsdichte	7
1.1.2	Magnetisches Vektorfeld H	11
1.1.3	Elektrisches Strömungsfeld J	13
1.2	Materialgleichungen	14
1.3	Grenzflächenverhalten von Vektorfeldern	14
2	Arten von Vektorfeldern	21
2.1	Elektrische Quellenfelder	21
2.2	Elektrische und magnetische Wirbelfelder	25
2.3	Allgemeine Vektorfelder	26
3	Feldtheorie-Gleichungen	29
3.1	Maxwell-Gleichungen in Integralform	30
3.1.1	Induktionsgesetz in Integralform (Faradaysches Gesetz) <i>Wirbelstärke</i> elektrischer Wirbelfelder	31
3.1.2	Durchflutungsgesetz in Integralform (Ampèresches Gesetz) <i>Wirbelstärke</i> magnetischer Wirbelfelder	34
3.1.3	Gaußsches Gesetz des elektrischen Felds <i>Quellenstärke</i> elektrischer Felder	40
3.1.4	Gaußsches Gesetz des magnetischen Felds <i>Quellenstärke</i> magnetischer Felder	41
3.2	Kontinuitätsgesetz in Integralform <i>Quellenstärke</i> elektrischer Strömung	42

3.3	Maxwell-Gleichungen in Differentialform	47
3.3.1	Induktionsgesetz in Differentialform <i>Wirbeldichte</i> elektrischer Wirbelfelder	48
3.3.2	Durchflutungsgesetz in Differentialform <i>Wirbeldichte</i> magnetischer Wirbelfelder	51
3.3.3	Divergenz des elektrischen Felds <i>Quellendichte</i> elektrischer Felder	53
3.3.4	Divergenz des magnetischen Felds <i>Quellendichte</i> magnetischer Felder	55
3.4	Kontinuitätsgesetz in Differentialform <i>Quellendichte</i> elektrischer Strömung	56
3.5	Analyse von Vektorfeldern bezüglich ihrer Wirbel- und Quellennatur	54
3.6	Die Maxwell-Gleichungen in komplexer Schreibweise	58
3.7	Integralsätze von Stokes und Gauß	59
3.8	Ergänzende Betrachtungen zum Induktionsgesetz	65
3.8.1	Bewegungsinduktion	67
3.8.2	Beispiel zur Umlaufspannung	67
3.8.3	Netzwerkmodell des Induktionsvorgangs	68
4	Potentialfunktion, Gradient, Potentialgleichung	73
4.1	Potentialfunktion und Potential eines elektrostatischen Felds	76
4.2	Ermittlung der Potentialfunktion ausgewählter Ladungsverteilungen	81
4.2.1	Potentialfunktion einer Punktladung außerhalb des Ursprungs	81
4.2.2	Potentialfunktion einer Linienladung	83
4.2.3	Potentialfunktion einer allgemeinen Ladungskonfiguration	85
4.3	Gradient eines Potentialfelds	87
4.4	Potentialgleichungen	92
4.4.1	Potentialgleichungen für raumladungsfreie Felder	92
4.4.2	Potentialgleichung für raumladungsbehaftete Felder.....	95
4.4.3	Integraloperator Δ^{-1}	98
4.5	Elektrisches Vektorpotential	104
4.6	Vektorpotential des Strömungsfelds	106
5	Potential und Potentialfunktion magnetischer Felder	109
5.1	Magnetisches Skalarpotential	109

5.2	Potentialgleichung des magnetischen Skalarpotentials	114
5.3	Magnetisches Vektorpotential	115
5.4	Potentialgleichung des magnetischen Vektorpotentials	121
6	Einteilung elektrischer und magnetischer Felder	125
6.1	Stationäre Felder	129
6.1.1	Elektrostatische Felder	129
6.1.2	Magnetostatische Felder	130
6.1.3	Statisches Strömungsfeld (Gleichstrom-Strömungsfeld)	131
6.2	Quasistationäre Felder	135
6.2.1	Quasistatische elektrische Felder	135
6.2.2	Quasistatische magnetische Felder	137
6.2.3	Quasistatische Strömungsfelder	139
6.2.4	Strömungsfelder mit Stromverdrängung	139
6.3	Nichtstationäre Felder – Elektromagnetische Wellen	145
6.3.1	Natur der Wellenausbreitung	137
6.3.2	Wellengleichung im Fernfeld	149
6.3.3	Wellengleichung für vorgegebene Anregungen $J(\mathbf{r},t)$ und $\rho(\mathbf{r},t)$	152
6.3.3.1	Retardierte Potentiale	152
6.3.3.2	Wellengleichungen für die retardierten Potentiale in der Lorentz-Eichung	153
6.3.3.3	Wellengleichungen für die retardierten Potentiale ohne Lorentz-Eichung	159
6.3.3.4	Herleitung der Potentialgleichung mit Hilfe des inversen Operators $\text{rot}^{-1} = -\text{rot } \Delta^{-1}$	163
6.3.3.5	Abschließende Bemerkungen	165
6.3.4	Hertzsche Potentiale	168
6.3.5	<i>Energiedichte</i> elektrischer und magnetischer Felder <i>Energieflußdichte</i> elektromagnetischer Wellen	170
7	Integraloperatoren div^{-1}, rot^{-1}, grad^{-1}	173
7.1	Integraloperator div^{-1}	175
7.2	Integraloperator rot^{-1}	178
7.3	Integraloperator grad^{-1}	180
7.4	Berechnung eines allgemeinen Vektorfelds $E(\mathbf{r})$	180
8	Spannungs- und Stromgleichungen langer Leitungen	183

9 Typische Differentialgleichungen der Elektrodynamik bzw. der mathematischen Physik	195
9.1 Verallgemeinerte Telegraphengleichung	195
9.2 Telegraphengleichung mit $a, b > 0$; $c = 0$	196
9.3 Telegraphengleichung mit $a > 0$; $b = 0$; $c = 0$	197
9.4 Telegraphengleichung mit $b > 0$; $a = 0$; $c = 0$	199
9.5 Helmholtz-Gleichung	200
9.6 Schrödinger-Gleichung	204
9.7 Lorentz-Invarianz der Maxwell-Gleichungen	206
10 Numerische Feldberechnung	215
10.1 Finite-Elemente-Methode	216
10.2 Differenzenverfahren	231
10.3 Ersatzladungsverfahren	236
10.4 Boundary-Element-Methode	239
10.5 Momenten-Methode	241
10.6 Monte-Carlo-Methode	246
10.7 Allgemeine Bemerkungen zur numerischen Feldberechnung.....	248
Anhang	251
A1 Einheiten der verwendeten Größen	251
A2 Skalar- und Vektorintegrale	253
A3 Vektoroperationen in speziellen Koordinatensystemen	254
A4 Die inversen Operatoren rot^{-1} , div^{-1} und grad^{-1}	259
A5 Komplexe Darstellung sinusförmiger Größen	266
Aufgabenteil	269
1 Elementare Begriffe elektrischer und magnetischer Felder	271
1.1 Skalarfelder	271
1.2 Vektorfelder	272
1.3 Fluss als Oberbegriff	274
1.4 Geschichtete Dielektrika	277
2 Arten von Vektorfeldern	283
2.1 Gradienten-, Quellen- und Wirbelfelder	283
3 Feldtheorie-Gleichungen	285
3.1 Induktionsgesetz	285
3.2 Induktionsspannung	287

3.3	Wirbelfelder	289
3.4	Durchflutungsgesetz; Induktivität	290
3.5	Durchflutungsgesetz; Feldstärkeverlauf	293
3.6	Magnetische Umlaufspannung	295
3.7	Magnetischer Fluss	296
3.8	Magnetischer Kreis	298
3.9	Satz vom Hüllenfluss: Kapazität	300
3.10	Satz vom Hüllenfluss: Feldstärke und Potential	301
3.11	Induktionsgesetz in Differentialform Divergenz des elektrischen Felds	303
3.12	Integral- und Differentialform des Gaußschen Gesetzes	304
3.13	Wirbeldichte des magnetischen Felds	305
3.14	Integralsatz von Gauß	307
4	Gradient, Potential, Potentialfunktion	309
4.1	Potentialverteilung im Dielektrikum einer Koaxialleitung	309
4.2	Elektrisches Potential und elektrische Feldstärke	314
5	Potential und Potentialfunktion magnetostatischer Felder	319
5.1	Magnetfeld eines gleichstromdurchflossenen Leiters	319
5.2	Magnetfeld einer Zweidrahtleitung	324
5.3	Feldgrößen einer Koaxialleitung	325
6	Berechnung von Feldern aus ihren Quellen- und Wirbeldichten	333
6.1	Quellenfeld	333
6.2	Wirbelfeld	335
7	Einteilung elektrischer und magnetischer Felder	337
7.1	Stationäre Felder: Gleichstromfeld	337
7.2	Quasistationäre Felder: Stromverdrängung	339
7.3	Stromverdrängung im Rundleiter	344
7.4	Die schirmende Wirkung von Wirbelströmen	345
7.5	Elektromagnetische Wellenfelder	351
7.6	Helmholtz-Gleichung	352
	Literaturverzeichnis	359
	Sachverzeichnis	365