

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
1.1.2	Magnetisches Feld H	9
1.1.3	Strömungsfeld J	11
1.2	Materialgleichungen - Grenzflächenbedingungen	12
2	Arten von Vektorfeldern	17
2.1	Elektrische Quellenfelder	17
2.2	Elektrische und magnetische Wirbelfelder	21
2.3	Allgemeine Vektorfelder	22
3	Feldtheorie-Gleichungen	25
3.1	Maxwellsche Gleichungen in Integralform	26
3.1.1	Induktionsgesetz in Integralform (Faradaysches Gesetz) <i>Wirbelstärke</i> elektrischer Wirbelfelder	27
3.1.2	Durchflutungsgesetz in Integralform (Ampèresches Gesetz) <i>Wirbelstärke</i> magnetischer Wirbelfelder	29
3.1.3	Gaußsches Gesetz des elektrischen Felds <i>Quellenstärke</i> elektrischer Felder	35
3.1.4	Gaußsches Gesetz des magnetischen Felds <i>Quellenstärke</i> magnetischer Felder	36
3.2	Kontinuitätsgesetz in Integralform <i>Quellenstärke</i> elektrischer Strömung	37
3.3	Maxwellsche Gleichungen in Differentialform	42
3.3.1	Induktionsgesetz in Differentialform <i>Wirbeldichte</i> elektrischer Wirbelfelder	43

3.3.2	Durchflutungsgesetz in Differentialform <i>Wirbeldichte</i> magnetischer Wirbelfelder	46
3.3.3	Divergenz des elektrischen Felds <i>Quellendichte</i> elektrischer Felder	48
3.3.4	Divergenz des magnetischen Felds <i>Quellendichte</i> magnetischer Felder	50
3.4	Kontinuitätsgesetz in Differentialform <i>Quellendichte</i> elektrischer Strömung	51
3.5	Analyse von Vektorfeldern bezüglich ihrer Wirbel- und Quellennatur	54
3.6	Die Maxwell'schen Gleichungen in komplexer Schreibweise	58
3.7	Integralsätze von Stokes und Gauß	59
3.8	Netzwerkmodell des Induktionsvorgangs	60
4	Potentialfunktion, Gradient, Potentialgleichung	65
4.1	Potentialfunktion und Potential eines elektrostatischen Felds	68
4.2	Ermittlung der Potentialfunktion ausgewählter Ladungsverteilungen	73
4.2.1	Potentialfunktion einer Punktladung außerhalb des Ursprungs	73
4.2.2	Potentialfunktion einer Linienladung	75
4.2.3	Potentialfunktion einer allgemeinen Ladungskonfiguration	77
4.3	Gradient eines Potentialfelds	79
4.4	Potentialgleichungen	84
4.4.1	Potentialgleichungen für raumladungsfreie Felder	84
4.4.2	Potentialgleichung für raumladungsbehaftete Felder	87
4.4.3	Integraloperator Δ^{-1}	90
4.5	Elektrisches Vektorpotential	96
4.6	Vektorpotential des Strömungsfelds	98
5	Potential und Potentialfunktion magnetischer Felder	101
5.1	Magnetisches Skalarpotential	101
5.2	Potentialgleichung des magnetischen Skalarpotentials	106
5.3	Magnetisches Vektorpotential	107
5.4	Potentialgleichung des magnetischen Vektorpotentials	113
6	Einteilung elektrischer und magnetischer Felder	117
6.1	Stationäre Felder	121
6.1.1	Elektrostatische Felder	121

6.1.2	Magnetostatische Felder	122
6.1.3	Statisches Strömungsfeld (Gleichstrom-Strömungsfeld) ...	123
6.2	Quasistationäre Felder	127
6.2.1	Quasistatische elektrische Felder	127
6.2.2	Quasistatische magnetische Felder	129
6.2.3	Quasistatische Strömungsfelder	131
6.2.4	Strömungsfelder mit Stromverdrängung	131
6.3	Nichtstationäre Felder – Elektromagnetische Wellen	137
6.3.1	Wellengleichung	137
6.3.2	Retardierte Potentiale	142
6.3.3	Hertzsche Potentiale	149
6.3.4	<i>Energiedichte</i> elektrischer und magnetischer Felder <i>Energieflußdichte</i> elektromagnetischer Wellen	151
7	Integraloperatoren div^{-1}, rot^{-1}, grad^{-1}	153
7.1	Integraloperator div^{-1}	154
7.2	Integraloperator rot^{-1}	157
7.3	Integraloperator grad^{-1}	159
7.4	Berechnung eines allgemeinen Vektorfelds $\mathbf{E}(\mathbf{r})$	159
8	Spannungs- und Stromgleichungen langer Leitungen	161
9	Typische Differentialgleichungen der Elektrodynamik bzw. der mathematischen Physik	173
9.1	Verallgemeinerte Telegraphengleichung	173
9.2	Telegraphengleichung mit $a, b > 0$; $c = 0$	174
9.3	Telegraphengleichung mit $a > 0$; $b = 0$; $c = 0$	175
9.4	Telegraphengleichung mit $b > 0$; $a = 0$; $c = 0$	177
9.5	Helmholtz-Gleichung	178
9.6	Schrödinger-Gleichung	182
9.7	Lorentz-Invarianz der Maxwellschen Gleichungen	184
10	Numerische Feldberechnung	193
10.1	Finite-Elemente-Methode	194
10.2	Differenzenverfahren	209
10.3	Ersatzladungsverfahren	214
10.4	Boundary-Element-Methode	217
10.5	Momenten-Methode	219
10.6	Monte-Carlo-Methode	224
10.7	Allgem. Bemerkungen zur numerischen Feldberechnung	226

Anhang	229
A1 Einheiten der verwendeten Größen	229
A2 Skalar- und Vektorintegrale	231
A3 Vektoroperationen in speziellen Koordinatensystemen	232
A4 Die inversen Operatoren rot^{-1} , div^{-1} und grad^{-1}	237
A5 Komplexe Darstellung sinusförmiger Größen	244
A6 Lorentz-Eichung und Coulomb-Eichung	246
A6.1 Stromdichten einer Dipolantenne im nichtstationären Fall	247
A6.2 Wellengleichung des magnetischen Vektorpotentials in der Coulomb-Eichung	249
A6.3 Abschließende Bemerkungen	253
Aufgabenteil	257
1 Elementare Begriffe elektrischer und magnetischer Felder	259
1.1 Skalarfelder	259
1.2 Vektorfelder	260
1.3 Fluß als Oberbegriff	262
1.4 Geschichtete Dielektrika	265
2 Arten von Vektorfeldern	271
2.1 Gradienten-, Quellen- und Wirbelfelder	271
3 Feldtheorie-Gleichungen	273
3.1 Induktionsgesetz	273
3.2 Induktionsspannung	275
3.3 Wirbelfelder	277
3.4 Durchflutungsgesetz; Induktivität	278
3.5 Durchflutungsgesetz; Feldstärkeverlauf	281
3.6 Magnetische Umlaufspannung	283
3.7 Magnetischer Fluß	284
3.8 Magnetischer Kreis	286
3.9 Satz vom Hüllenfluß: Kapazität	288
3.10 Satz vom Hüllenfluß: Feldstärke und Potential	289
3.11 Induktionsgesetz in Differentialform	291
3.12 Integral- und Differentialform des Gaußschen Satzes	292
3.13 Wirbeldichte des magnetischen Feldes	293
3.14 Integralsatz von Gauß	295
4 Gradient, Potential, Potentialfunktion	297

4.1 Potentialverteilung im Dielektrikum einer Koaxialleitung	297
4.2 Elektrisches Potential und elektrische Feldstärke	302
5 Potential und Potentialfunktion magnetostatischer Felder	307
5.1 Magnetfeld eines gleichstromdurchflossenen Leiters	307
5.2 Magnetfeld einer Zweidrahtleitung	312
5.3 Feldgrößen einer Koaxialleitung	313
6 Berechnung von Feldern aus ihren Quellen- und Wirbeldichten	321
6.1 Quellenfeld	321
6.2 Wirbelfeld	323
7 Einteilung elektrischer und magnetischer Felder	325
7.1 Stationäre Felder: Gleichstromfeld	325
7.2 Quasistationäre Felder: Stromverdrängung	327
7.3 Stromverdrängung im Rundleiter	332
7.4 Die schirmende Wirkung von Wirbelströmen	333
7.5 Elektromagnetische Wellenfelder	339
7.6 Helmholtz-Gleichung	340
Literaturverzeichnis	347
Sachverzeichnis	353