

Inhaltsverzeichnis

1	Elektromagnetische Feldtheorie	1
1.1	Grundlagen der Feldberechnung	1
1.2	Ladungen, Ströme	4
1.3	Kapazität, Energie	6
1.4	Elektrische Feldstärke	7
1.5	Elektrische Verschiebungsdichte	8
1.6	Gaußscher Satz der Elektrostatik	10
1.7	Elektrisches Strömungsfeld	10
1.8	Coulombsches Gesetz	10
1.9	Divergenz und Rotation	11
1.10	Maxwell-Gleichungen	13
1.11	Klassifizierung der Felder	18
1.12	Skalares Potential	18
1.13	Laplace-Gleichung	20
1.14	Poisson-Gleichung	22
1.15	Lösungen der Laplace-Gleichung	24
2	Eigenschaften von Isolierstoffen	25
2.1	Permittivität	26
2.2	Leitfähigkeit	27
2.3	Elektrische Festigkeit	27
2.4	Dielektrische Grenzflächen	29
2.5	Einfluss von Raumladungen	40
2.6	Gleichspannungsbelastung	41
3	Mathematische Methoden der Feldberechnung	45
3.1	Ausnutzungsfaktor nach Schwaiger	46
3.2	Konforme Abbildung	51
3.3	Koordinatentransformation	63
3.4	Ersatzladungen	73
3.5	Graphische Verfahren	76
4	Numerische Berechnung von Hochspannungsfeldern	79
4.1	Differenzenverfahren	82
4.1.1	Prinzip	82

4.1.2	Zweidimensionale Felder	83
4.1.3	Lösungsverfahren	88
4.1.4	Dielektrische Grenzschichten	95
4.1.5	3D-Felder mit Rotationssymmetrie	96
4.2	Finite-Elemente-Verfahren	100
4.2.1	Prinzip	100
4.2.2	Zweidimensionale Felder	105
4.2.3	3D-Felder mit Rotationssymmetrie	117
4.2.4	3D-Felder ohne Symmetrie	118
4.2.5	Anwendungsprogramme	120
4.3	Ersatzladungsverfahren	121
4.3.1	Prinzip	122
4.3.2	Zweidimensionale Felder	128
4.3.3	3D-Felder mit Rotationssymmetrie	129
4.3.4	3D-Felder ohne Symmetrie	135
4.3.5	Berücksichtigung von Raumladungen	141
4.3.6	Anordnungen mit mehreren Dielektrika	142
4.3.7	Bereichsorientiertes Ersatzladungsverfahren	144
4.3.8	Überprüfung der Genauigkeit	152
4.3.9	Anwendungsprogramme	155
4.4	Flächenladungsverfahren	156
4.4.1	Prinzip	156
4.4.2	Teilflächenmethode	157
4.4.3	Bestimmung des Potentials von Flächenladungen mit Hilfe numerischer Integration	160
4.5	Boundary-Elemente-Verfahren	164
4.5.1	Prinzip	164
4.5.2	Numerische Integration über ein Boundary-Element	168
4.5.3	Ladungsdichteverteilung und Formfunktion	169
4.5.4	Berücksichtigung von Volumen- und Oberflächenleitfähigkeit bei Isolierstoffen	171
4.5.5	Anwendungsprogramme	174
4.6	Finite-Integrations-Theorie	175
4.6.1	Prinzip	175
4.6.2	Anwendungsprogramm	178
4.7	Monte-Carlo-Verfahren	179
4.7.1	Prinzip	179
4.7.2	Fixed-Random-Walk Methode	180
4.7.3	Floating-Random-Walk Methode	182
4.7.4	Bessere Effizienz mit Hilfe der Greenschen Funktion	183
4.7.5	Berechnung von Randfeldstärken	185

4.7.6	Berücksichtigung geschichteter Dielektrika	185
4.7.7	Anwendungsbeispiel	186
4.8	Vergleich der Verfahren	187
5	Optimierung von Hochspannungsanlagen	191
5.1	Aufgabenstellung	191
5.2	Mathematische Optimierung	193
5.2.1	Koaxiales Zylinderfeld	193
5.2.2	Formeln von Spielrein	194
5.2.3	Rogowski-Profil	195
5.2.4	Borda-Profil	195
5.3	Rechnergestützte Optimierung	197
5.3.1	Verfahren nach Singer und Grafoner	197
5.3.2	Weitere Untersuchungen	199
5.4	Automatische Optimierung von 3D-Anordnungen	200
5.4.1	Parametrisches Modell	201
5.4.2	Mathematische Optimieralgorithmen	202
5.4.3	Anwendungsbeispiele	205
6	Moderne Rechnerarchitektur für die Feldberechnung	211
6.1	Modularer Feldberechnungsprozess	211
6.2	Strategien zur Beschleunigung der Feldberechnung	214
6.2.1	Einsatz von effizienten Matrixsolvern	214
6.2.2	Vermeidung redundanter Berechnungen	215
6.2.3	Parallelisierung der Lösungsverfahren	216
6.3	Gridsystem für die Feldberechnung	222
	Ausnutzungsfaktor nach Schwaiger	229
	Analytische Berechnungsbeispiele	239
	Koordinatensysteme	243