

Marlene Marinescu

Elektrische und magnetische Felder

Eine praxisorientierte Einführung

Mit 260 Abbildungen



Springer

Inhaltsverzeichnis

I Elektrostatische Felder

1	Wesen des elektrostatischen Feldes	3
1.1	Elektrische Ladung	3
1.2	Elektrostatisches Feld	4
1.3	Das Coulomb'sche Gesetz	6
1.4	Die elektrische Feldstärke \vec{E}	8
2	Verhalten von Leitern im elektrostatischen Feld	13
3	Elektrische Spannung und Potential	17
3.1	Arbeit und elektrische Spannung	17
3.2	Wegunabhängigkeit der elektrostatischen Spannung	18
3.3	Das elektrische Potential φ	20
4	Die Erregung des elektrostatischen Feldes	25
4.1	Die elektrische Verschiebungsflußdichte \vec{D}	25
4.2	Der Gauß'sche Satz der Elektrostatik	27
4.3	Das Materialgesetz der Elektrostatik	28
5	Feldstärke und Potential spezieller Ladungsverteilungen	29
5.1	Feldstärke und Potential einer Punktladung	29
5.2	Feldstärke und Potential einer gleichmäßig geladenen (Metall-) Kugel	32
5.3	Feldstärke einer unendlich ausgedehnten Metallebene	33
5.4	Feldstärke von zwei parallelen, geladenen Platten	35
5.5	Feldstärke und Potential einer Linienladung	37

6	Zusammenfassung der Grundgesetze der Elektrostatik	39
6.1	Allgemeine Gesetze	39
6.2	Materialgesetze	41
6.3	Bedingungen an Grenzflächen	41
6.3.1	Stetigkeit der Tangentialkomponente von \vec{E}	41
6.3.2	Stetigkeit der Normalkomponente von \vec{D}	43
6.3.3	Brechungsgesetz der Feldlinien an Grenzflächen	44
6.3.4	Verhalten von \vec{E} und \vec{D} bei Quer- und Längsschichtung	44
7	Die Kapazität	47
7.1	Definition der Kapazität, technische Anwendungen	47
7.2	Parallel- und Reihenschaltungen von Kapazitäten	50
7.3	Die Kapazität spezieller Anordnungen	54
7.3.1	Ebener Plattenkondensator	54
7.3.2	Zylinderkondensator (Koaxialkabel)	66
7.3.3	Kugelkondensator	71
7.3.4	Kapazität einer Doppelleitung	73
7.4	Zusammenfassung der meist angewendeten Kapazitäten	75
8	Energie und Kräfte im elektrostatischen Feld	77
8.1	Elektrische Energie und Energiedichte	77
8.2	Kräfte im elektrostatischen Feld	81
8.3	Kräfte auf freie Ladungen; Strahlablenkung in Röhren	83

II Stationäre elektrische Felder

1	Wesen des elektrischen Strömungsfeldes	91
2	Die Grundgesetze des elektrischen Strömungsfeldes	93
2.1	Allgemeine Betrachtungen	93
2.2	Die elektrische Stromdichte \vec{S} , Kontinuität	94
2.3	Wegunabhängigkeit der elektrischen Spannung U	98
2.4	Ohm'sches Gesetz	99
2.5	Das Gesetz über die Energiewandlung in Leitern	101
2.6	Zusammenfassung; Analogie mit der Elektrostatik	102
3	Widerstandsberechnung bei inhomogenen Feldern	103
4	Berechnung elektrischer Strömungsfelder	107
4.1	Homogene Felder	107

4.1.1	Strömungsfeld in dünnen Leitern	107
4.1.2	Ebener Kondensator mit leitendem Dielektrikum . . .	108
4.2	Zylinderfeld	109
4.2.1	Anordnung mit einem Medium	109
4.2.2	Anordnung mit Querschichtung	112
4.2.3	Anordnung mit Längsschichtung	114
4.3	Kugelfeld	116
4.3.1	Kugelkondensator mit leitendem Dielektrikum	116
4.3.2	Anwendung auf ein Erdungsproblem	118
4.4	Zusammenfassung	121

III Stationäre Magnetfelder

1	Wesen des Magnetfeldes	125
1.1	Ursachen: Dauermagnete, Ströme	125
1.2	Grundlegende Beobachtungsbefunde	126
1.2.1	Kraft zwischen zwei parallelen Leitern	126
1.2.2	Das Magnetfeld eines langen Leiters; Flußdichte \vec{B} , Feldstärke \vec{H}	128
1.2.3	Das Magnetfeld einer Paralleldrahtleitung	132
1.2.4	Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld	134
2	Magnetfeld von Leitern in der Luft	143
2.1	Die Experimente von Biot und Savart	143
2.2	Die Formel von Biot und Savart	145
2.3	Gültigkeitsbereich der Biot–Savart’schen Formel	146
2.4	Magnetfelder spezieller Leiteranordnungen	147
2.4.1	Regeln zur Anwendung der Formel von Biot–Savart	147
2.4.2	Magnetfeld eines endlich langen, geraden Leiterstückes	148
2.4.3	Magnetfeld auf der Achse einer kreisförmigen Leiterschleife	152
2.4.4	Magnetfeld auf der Achse einer kurzen Zylinderspule	156
3	Das Durchflutungsgesetz	161
3.1	Das Gesetz; magnetische Spannung, Durchflutung	161
3.2	Anwendungen des Durchflutungsgesetzes	164

3.2.1	Magnetfeld außerhalb und innerhalb eines sehr langen, geraden Leiters	165
3.2.2	Magnetfeld einer langen Zylinderspule (Solenoid) . .	172
3.2.3	Magnetfeld einer Ringspule (Toroid)	173
3.3	Erweitertes Durchflutungsgesetz:	
1.	Maxwell'sche Gleichung	175
4	Der magnetische Fluß; Kontinuität des Magnetflusses	177
5	Das magnetische Verhalten materieller Körper	184
5.1	Das Materialgesetz	184
5.2	Klassifizierung, Magnetisierungskennlinie	185
6	Zusammenfassung der Grundgesetze	189
6.1	Allgemeine Gesetze und Materialgesetz	189
6.2	Bedingungen an Grenzflächen	190
6.2.1	Stetigkeit der Normalkomponente von \vec{B} und der Tangentialkomponente von \vec{H}	190
6.2.2	Verhalten der magnetischen Feldlinien an der Grenze zwischen Luft und Eisen	191
7	Der magnetische Kreis	194
7.1	Definition und Klassifizierung, Beispiele	194
7.2	Berechnungsmethoden für lineare Magnetkreise	199
7.2.1	Allgemeine Näherungsannahmen	199
7.2.2	Berechnung von unverzweigten Kreisen	200
7.2.3	Verzweigte Kreise, Analogie mit elektrischen Stromkreisen	204
7.3	Magnetkreise mit Dauermagneten	208
7.3.1	Magnetisierungsarten, Anwendungen	208
7.3.2	Scherungsgerade, Arbeitspunkt	209
7.4	Nichtlineare Magnetkreise	212
7.5	Kräfte auf hochpermeable Eisenflächen	215
7.6	Ein Beispiel aus der Energietechnik	218
7.6.1	Aufbau des Magnetkreises eines Lasthebemagneten, Kraftberechnung	218
7.6.2	Untersuchung des Einflusses einiger Parameter auf die Kraft	221
7.6.3	Vereinfachte Berechnung der Magnetkraft	226

IV Zeitlich veränderliche magnetische Felder

1 Induktionswirkung und Induktionsgesetz	233
1.1 Die Experimente von Faraday	233
1.2 Lenz'sche Regel	236
1.3 Kraft auf bewegte Ladungen im Magnetfeld	238
1.4 Das Induktionsgesetz in einfacher Form	240
1.4.1 Bewegungsinduktion	240
1.4.2 Ruheinduktion	243
1.5 Andere Formen des Induktionsgesetzes: Die 2. Maxwell'sche Gleichung	244
1.6 Anwendungen des Induktionsgesetzes	246
2 Induktivitäten	257
2.1 Selbstinduktion; Induktivität	257
2.2 Gegeninduktivität zweier magnetisch gekoppelter Spulen . .	267
3 Energie und Kräfte im Magnetfeld	274
3.1 Magnetische Energie und Energiedichte	274
3.2 Berechnung von Kräften über die Magnetenergie	277
3.3 Zusammenfassung aller Kraftwirkungen im Magnetfeld . . .	279
Literaturverzeichnis	281
Stichwortverzeichnis	283