

Inhaltsverzeichnis

Teil I Was ist Theoretische Elektrotechnik?

1	Die elektrotechnischen Disziplinen	3
2	Systemtheoretische Grundlagen	9
3	Grundlegende Aspekte physikalischer Systeme	15
3.1	Verteilte physikalische Systeme	15
3.2	Mechanik und Energie-Impuls-Transporte	17

Teil II Theorie elektrischer Netzwerke

4	Grundgleichungen und Analysemethoden elektrischer Netzwerke	23
4.1	Netzwerkmodellierung und Widerstandsnetzwerke	23
4.2	Elektrischen Netzwerke mit dynamischen Elementen	38
4.3	Die Wechselstromrechnung: AC-Kalkül	42
4.4	Darstellungen von Übertragungsfunktionen	55
4.5	Zweitore und Vierpole	63
5	Einfache elektrische Grundschaltungen	74
5.1	Einführende Überlegungen	74
5.2	Einfache Schaltungen aus Spulen und Widerständen	76
5.2.1	Lade- und Entladevorgang eines RC-Gliedes	76
5.2.2	Ein einfacher Wechselstromkreis mit Kondensator	81
5.3	Netzwerke aus Spulen und Widerständen	86
5.3.1	Aufladevorgang eines LR-Gliedes	86
5.3.2	Ein einfacher Wechselstromkreis mit Spule	89
5.4	Dreiphasennetzwerke	94
5.5	Der Gyrorator	101

Teil III Das elektrostatische Feld

6 Die Grundgleichungen des elektrostatischen Feldes	107
7 Elementare Betrachtungen zur Elektrostatik	113
8 Materialgesetze in der Elektrostatik	121
9 Influenzwirkungen	129
10 Einfache Beispiele für elektrostatische Felder	132
10.1 Das elektrische Feld von Punktladungen	133
10.1.1 Die homogen geladene Kugel und die Punktladung	133
10.1.2 Endlich viele Punktladungen	134
10.1.3 Das Potenzial zweier Punktladungen	135
10.1.4 Der elektrische Dipol	137
10.1.5 Das elektrische Feld zweier Kugeln	140
10.1.6 Endlich ausgedehnte Linienladungen	142
10.2 Ebene elektrostatische Felder	144
10.2.1 Unendlich lange Linienleiter	144
10.2.2 Koaxialkabel, Zylinderkondensator	146
10.2.3 Zweidrahtleitung, parallele Zylinder	150
10.2.4 Zylinder und Platte	155
10.2.5 Liniendipol	156
10.2.6 Erdseil	158
11 Lösungsverfahren der Poisson- und Laplace-Gleichung	161
11.1 Grundlagen	161
11.1.1 Poisson- und Laplace-Gleichung und ihre Lösungsmengen	162
11.1.2 Rand- und Grenzbedingungen, Eindeutigkeit des Potenzials	164
11.2 Elementare Methoden	165
11.2.1 Die graphische Methode	165
11.2.2 Eindimensionale Potenzialprobleme	168
11.2.3 Überlagerung von Punktladungen	169
11.3 Das Kirchhoff-Integral	170
11.4 Die Greensche und Neumannsche Funktionen	171
11.5 Die Multipolmethode	172
11.6 Die Spiegelungsmethode	174
11.7 Konforme Abbildungen	176
11.8 Die Separationsmethode	192
11.9 Bemerkungen über numerische Verfahren	193

12 Kapazitätskoeffizienten	195
12.1 Der elementare Kapazitätsbegriff	195
12.2 Graphische Berechnung von Kapazitätskoeffizienten	197
12.3 Kapazität einfacher Anordnungen	198
12.4 Parallel- und Reihenschaltung von Kapazitäten	207
12.5 Kapazitäten in Mehrleitersystemen	208
12.5.1 Maxwellsche Potenzial- und Kapazitätskoeffizienten	208
12.5.2 Berechnung von Teilkapazitäten	221
13 Energie in der Elektrostatik	230
14 Mechanische Kräfte in der Elektrostatik	234
14.1 Kräfte an Leiteroberflächen	234
14.2 Mechanische Spannungen im elektrischen Feld	236
14.3 Kräfte an Grenzflächen zwischen Nichtleitern	238
14.4 Berechnung der Feldkräfte aus der Kapazität	240
14.5 Einwirkung elektrischer Felder auf Elektronenbahnen: Elektronenoptik (Internet)	243
14.6 Einwirkung elektrischer Felder auf Elektronenbahnen: Elektronenoptik (Internet)	244

Teil IV Das elektrische Strömungsfeld

15 Grundgleichungen des elektrischen Strömungsfeldes	247
16 Elementare Betrachtungen zum elektrischen Strömungsfeld 252	
16.1 Experimentelle Betrachtungen	252
16.2 Das stationäre Strömungsfeld und Widerstandsnetzwerke	256
16.3 Zusammenhang zwischen Kapazität und Widerstand	262
17 Beispiele von elektrischen Strömungsfeldern	266
17.1 Punktquelle	266
17.2 Spiegelung	274
17.3 Linienquelle	276

Teil V Das stationäre Magnetfeld

18 Grundgleichungen des stationären Magnetfeldes	285
19 Elementare Betrachtungen zum stationären Magnetfeld 292	
19.1 Magnetische Kraftwirkungen und das B-Feldes	292
19.2 Beispiele für magnetische Kraftwirkungen	297
19.3 Das Durchflutungsgesetz	301
19.4 Der magnetische Dipol	305

20	Materialgesetze im stationären Magnetfeld	307
20.1	Diamagnetismus und Paramagnetismus	307
20.2	Messung der Permeabilität	310
20.3	Ferromagnetismus	311
20.4	Magnetische Werkstoffe	319
20.5	Magnetische Anisotropie	322
21	Lösungsverfahren für die Vektor-Poisson-Gleichung	325
21.1	Ableitung der Vektor-Poisson-Gleichung	325
21.2	Das vektorielle Kirchhoff-Integral	327
21.2.1	Kirchhoff-Integral für Stromdichteverteilungen	327
21.2.2	Kirchhoff-Integral für einen Linienleiter	329
21.3	Das Biot-Savart-Integral	333
21.4	Die Multipolmethode	335
21.5	Das skalare magnetische Potenzial und konforme Abbildungen	337
22	Beispiele für stationäre Magnetfelder	346
22.1	Anwendung der Laplaceschen Formel	346
22.2	Anwendung des magnetischen skalaren Potenzials	348
22.3	Der magnetische Kreis: Elektro- und Dauermagnete	353
22.3.1	Grundgleichungen des magnetischen Kreises	353
22.3.2	Angenäherte Berechnung von Elektromagneten	354
22.3.3	Scherung	359
22.3.4	Berechnung von Dauermagneten	360
22.3.5	Theorie der Kompassnadel	365
23	Induktionskoeffizienten	367
23.1	Der Induktivitätsbegriff	367
23.2	Induktivitäten einfacher Anordnungen	368
23.2.1	Induktivität einer Ringspule	368
23.2.2	Induktivität einer Zylinderspule	370
23.2.3	Induktivität einer Doppelleitung	370
23.2.4	Induktivität eines Drahtringes	371
23.2.5	Induktivität von Drähten beliebiger Form	372
23.2.6	Induktivität in nichtlinearen magnetischen Kreisen	373
23.3	Gegeninduktivität und Koppelkoeffizient	374
24	Energie im stationären Magnetfeld	379
25	Kräfte im stationären Magnetfeld	388
25.1	Kräfte zwischen Stromleitern	388
25.2	Methode der virtuellen Verschiebung zur Kraftberechnung	391
25.3	Kräfte zwischen Stromleitern und magnetischen Stoffen	392
25.4	Kräfte an Grenzflächen	393

Teil VI Das quasistationäre elektromagnetische Feld

26 Grundgleichungen des quasistationären Feldes	401
26.1 Elektrisches und magnetisches Feld	401
26.2 Das Induktionsgesetz	402
26.3 Die Grundgleichungen mit Induktionsgesetz	405
26.4 Das Induktionsgesetz und die Kontinuitätsgleichung	407
26.5 Die Grundgleichungen des quasistationären elektromagnetischen Feldes	409
27 Elementare Betrachtungen zur Induktionswirkung	413
28 Lösungsverfahren für Diffusionsgleichungen	431
29 Anwendungen des quasistationären Feldes	434
29.1 Wirbelströme und Skineffekt	434
29.1.1 Stromverdrängung im zylindrischen Leiter	435
29.1.2 Ebene Wirbelfelder	440
29.1.3 Einseitige Stromverdrängung in Ankerleitern und Spulen	445
29.1.4 Wirbelströme in Eisenblechkernen	449
29.1.5 Abschirmung von Hochfrequenzfeldern	455
29.1.6 Triebströme eines Wechselstromzählers	456
29.2 Ummagnetisierungsverluste bei ferromagnetischen Werkstoffen	457
29.3 Der Transformator	466
29.3.1 Allgemeine Beziehungen	466
29.3.2 Streuungs-Ersatzbild	469
29.3.3 Die Streuung	470
29.3.4 Der lineare Übertrager	473
29.3.5 Kopplungs-Ersatzbilder des linearen Übertragers	477
29.4 Elektrisch-mechanische Energiewandlung	479
29.4.1 Allgemeines	479
29.4.2 Die Grundgleichungen der elektrischen Maschine	480
29.4.3 Die Gleichstrommaschine	481
29.4.4 Die Synchronmaschine	485
29.4.5 Die Induktionsmaschine	491
29.4.6 Lineare elektrisch-mechanische Systeme	497
30 Der Verschiebungsstrom im quasistationären Feld	503
31 Bewegte Leiter und das Induktionsgesetz	508
31.1 Bewegte Leiter	508
31.2 Bewegte nichtleitende Körper	511
31.3 Weitere Bewegungseffekte	512

Teil VII Das instationäre elektromagnetische Feld

32 Die Maxwellsche Theorie des elektromagnetisches Feldes	519
32.1 Die Maxwellsche Ergänzung und Wellen	519
32.2 Die Maxwellschen Gleichungen	521
33 Elementare Betrachtungen zum instationären elektromagnetischen Feld	524
34 Elektromagnetische Wellen	533
34.1 Elementarform der elektromagnetischen Welle	533
34.1.1 Nahfeld der schwingenden Ladung	539
34.1.2 Fernfeld der schwingenden Ladung	539
34.1.3 Energiefluss in der Elementarwelle, Strahlungswiderstand	540
34.2 Energiedichte des elektromagnetischen Feldes	546
34.3 Ebene Welle	549
34.4 Empfangsantennen	559
34.5 Elektromagnetische Schirme	560
35 TEM-Wellen auf Doppel- und Mehrfachleitungen	564
35.1 Vorbemerkungen	564
35.2 Verlustfreie Doppelleitungen	566
35.2.1 Feldtheoretische Beschreibung	566
35.2.2 Leitungsgleichungen	577
35.2.3 Konstruktion von Leitungsmodellen mit Differenzenformeln	591
35.2.4 Ausblick: Mehrfachleitungen	595
35.2.5 Schlußbemerkung	597
35.3 Verlustbehaftete Doppelleitungen	597
35.3.1 Doppelletungen mit verlustbehaftetem Dielektrikum	597
35.3.2 Doppelletungen mit verlustbehaftetem Dielektrikum und verlustbehafteten Leitern	600
35.4 Lösung der Leitungsgleichungen im Zeitbereich	603
35.4.1 Wellenausbreitung auf verlustlosen Doppelletungen	603
35.4.2 Leitungsmodelle zur Netzwerkanalyse im Zeitbereich	616
35.5 Lösung der Leitungsgleichungen im Frequenzbereich	625
35.5.1 Sinusförmig eingeschwungene Lösungen der Leitungsgleichungen	626
35.5.2 Leitungsmodelle für die Netzwerkanalyse im Frequenzbereich	632
35.5.3 Eigenschaften der Lösungen der Leitungsgleichungen im Frequenzbereich	635
36 Hohlleiter und Hohlraumresonatoren	644

Teil VIII Das elektromagnetische Feld in elektronischen Bauelementen

37 Mechanismen der Stromleitung	659
37.1 Stromleitung in Gasen: Grundbegriffe (Internet)	659
37.1.1 Stobionisierung	659
37.1.2 Elektronenauslösung an der Kathode	659
37.1.3 Anlaufspannung. Durchschlag in Gasen	659
37.1.4 Koronaentladung	659
37.1.5 Kurzzeitige Gasentladung	659
37.1.6 Bogenentladung	659
37.1.7 Bogenentladung an Kontakten	659
37.1.8 Die Kapazität bei Feldern mit Raumladungen	659
37.1.9 Der Durchschlag von Isolierstoffen	659
37.2 Stromleitung in festen Körpern und Flüssigkeiten	660
37.2.1 Atomstruktur der Leiter und Leitungsmechanismen	660
37.2.2 Metallische Leiter	661
37.2.3 Ionenleiter	666
37.2.4 Schwankungsscheinungen	667
37.2.5 Das Wesen der Spannungsquellen - Quellenspannung	669
37.3 Stromleitung in Halbleitern	670
37.3.1 Siliziumkristall	670
37.3.2 Bändermodell	672
37.3.3 Eigenleitung	673
37.3.4 Störstellenleitung	675
37.3.5 Feldstrom und Diffusionsstrom	678
37.3.6 Diffusion von Minoritätsträger	681
37.3.7 Diffusion von Löchern aus einer <i>p</i> -Zone in eine <i>n</i> -Zone. Diffusionsspannung	685
37.3.8 Thermoeffekt	689
37.3.9 Photoeffekt	689
38 Elektronenröhren (Internet)	692
38.1 Die Raumladungsgleichung	692
38.2 Elektronenemission	692
38.3 Photoemission	692
38.4 Die Strom-Spannungsrelation für Elektronenröhren	692
38.5 Die Hochvakuumtriode	692
38.6 Die Hochvakuumtriode	692
38.7 Raumladung in leitenden Stoffen	692

39 Halbleiterbauelemente	693
39.1 Der <i>pn</i> -Übergang	693
39.1.1 Der <i>pn</i> -Übergang im stromlosen Zustand	693
39.1.2 <i>pn</i> -Übergang im Durchlassbereich	697
39.1.3 <i>pn</i> -Übergang im Sperrbereich	702
39.1.4 Kapazität des <i>pn</i> -Überganges	702
39.2 Der bipolare <i>npn</i> -Transistor	707
39.2.1 Der Aufbau	710
39.2.2 Die Ersatzschaltung	710
39.3 Der MOSFET	716
40 Schaltungen und Netzwerke	722
40.1 Grundbegriffe der Schaltungstechnik	722
40.2 Der Bipolartransistor und seine Grundschaltungen	725
40.2.1 Die Basisschaltung	725
40.2.2 Die Emitterschaltung	729
40.2.3 Die Kollektorschaltung (Emitterfolger)	732
40.3 Grundaufbau von Operationsverstärkern	734
40.4 Systeme mit Rückkopplung	737
40.4.1 Stabilitätsbedingungen	737
40.4.2 Negativer Widerstand	739
40.4.3 Die beiden Typen von negativen Widerständen	743
40.4.4 Rückkopplung	747
40.4.5 Erzeugung von Schwingungen in Oszillatoren	750
A Mathematische Felder	757
A.1 Differentialoperatoren und Rechenregeln	757
A.2 Das Satz von Helmholtz	763
B Der Laplace-Operator	765
B.1 Skalare Felder	765
B.2 Vektorielle Felder	766
Literatur	769
Index	783