

# Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Übungsbeispiele . . . . .	11
<b>0. Einheiten und Gleichungen . . . . .</b>	<b>13</b>
0.1 Einheitensysteme . . . . .	13
0.1.1 Maßsysteme . . . . .	13
0.1.2 Die Basiseinheiten . . . . .	13
0.1.3 Einige abgeleitete Einheiten . . . . .	14
0.2 Schreibweise von Gleichungen . . . . .	15
0.2.1 Größengleichungen . . . . .	15
0.2.2 Zahlenwertgleichungen . . . . .	15
0.2.3 Zugeschnittene Größengleichungen . . . . .	16
0.2.4 Der Begriff Dimension . . . . .	16
<b>1. Grundlegende Begriffe . . . . .</b>	<b>17</b>
1.1 Die elektrische Ladung . . . . .	17
1.2 Der elektrische Strom . . . . .	17
1.3 Die elektrische Spannung . . . . .	21
1.4 Der elektrische Widerstand . . . . .	22
1.5 Energie und Leistung . . . . .	24
<b>2. Berechnung von Strömen und Spannungen in elektrischen Netzen . . . . .</b>	<b>26</b>
2.1 Die Grundgesetze . . . . .	26
2.1.1 Das Ohmsche Gesetz . . . . .	26
2.1.2 Die Knotengleichung (1. Kirchhoffsche Gleichung) . . . . .	30
2.1.3 Die Umlaufgleichung (2. Kirchhoffsche Gleichung) . . . . .	32
2.2 Parallel- und Reihenschaltung . . . . .	34
2.2.1 Reihenschaltung von Widerständen . . . . .	34
2.2.2 Spannungsteiler . . . . .	35
2.2.3 Parallelschaltung von Widerständen . . . . .	36
2.2.4 Stromteiler . . . . .	38
2.2.5 Gruppenschaltung von Widerständen . . . . .	38
2.2.6 Brückenabgleich . . . . .	40
2.2.7 Schaltungssymmetrie . . . . .	41
2.3 Strom- und Spannungsmessung . . . . .	42
2.3.1 Anforderungen an Strom- und Spannungsmesser . . . . .	42
2.3.2 Eigenschaften des Strompulsmesswerks . . . . .	42
2.3.3 Klassengenauigkeit . . . . .	43
2.3.4 Meßbereichserweiterung . . . . .	44
2.3.4.1 Strom-Meßbereichserweiterung . . . . .	44
2.3.4.2 Spannungs-Meßbereichserweiterung . . . . .	46
2.3.5 Meßwertkorrektur . . . . .	48
2.3.5.1 Spannungsrichtige Messung . . . . .	48
2.3.5.2 Stromrichtige Messung . . . . .	49

2.4	Lineare Zweipole . . . . .	51
2.4.1	Generator- und Verbraucher-Zählpeilsystem . . . . .	52
2.4.2	Spannungsquellen . . . . .	52
2.4.3	Linearität . . . . .	55
2.4.4	Quellen-Ersatzzweipole . . . . .	57
2.4.4.1	Die Ersatzspannungsquelle . . . . .	57
2.4.4.2	Die Ersatzstromquelle . . . . .	59
2.4.4.3	Äquivalenz von Zweipolen . . . . .	62
2.4.5	Leistung an Zweipolen . . . . .	62
2.4.5.1	Wirkungsgrad . . . . .	62
2.4.5.2	Leistungsanpassung. . . . .	66
2.5	Nichtlineare Zweipole . . . . .	68
2.5.1	Kennlinien nichtlinearer Zweipole . . . . .	68
2.5.2	Grafische Bestimmung des Stromes in Netzen mit einem nichtlinearen Zweipol . . . . .	70
2.6	Der Überlagerungssatz (Superpositionsprinzip nach Helmholtz) . . . . .	76
2.7	Stern-Dreieck-Transformation . . . . .	79
2.7.1	Umwandlung eines Dreiecks in einen Stern . . . . .	80
2.7.2	Umwandlung eines Sterns in ein Dreieck . . . . .	81
2.7.3	Vor- und Nachteile der Netzumwandlung . . . . .	82
2.8	Umlauf- und Knotenanalyse linearer Netze . . . . .	84
2.8.1	Die Bestimmungsgleichungen für die Ströme und Spannungen in einem Netz; lineare Abhängigkeit . . . . .	84
2.8.2	Topologische Grundbegriffe beliebiger Netze . . . . .	88
2.8.3	Umlaufanalyse . . . . .	91
2.8.3.1	Unabhängige und abhängige Ströme; Maschenströme . . . . .	91
2.8.3.2	Das Schema zur Aufstellung der Umlaufgleichungen . . . . .	92
2.8.3.3	Die Auswahl des vollständigen Baumes . . . . .	100
2.8.4	Knotenanalyse. . . . .	101
2.8.4.1	Abhängige und unabhängige Spannungen . . . . .	101
2.8.4.2	Das Schema zur Aufstellung der Knotengleichungen . . . . .	101
2.8.5	Vergleich zwischen Umlauf- und Knotenanalyse . . . . .	108
2.8.6	Gesteuerte Quellen (Operationsverstärker und Transistor als gesteuerte Quellen) . . . . .	111
2.9	Operationsverstärkerschaltungen . . . . .	117
2.9.1	Der ideale Operationsverstärker . . . . .	117
2.9.2	Komparatoren . . . . .	119
2.9.3	Rückkopplungsprinzipien . . . . .	120
2.9.3.1	Übersicht . . . . .	120
2.9.3.2	Arbeitsgeraden . . . . .	121
2.9.3.3	Stabile und instabile Arbeitspunkte . . . . .	122
2.9.3.4	Spannungs-Übertragungsfunktionen . . . . .	124
2.9.3.5	Dimensionierung von Schmitt-Triggerern . . . . .	132
2.9.3.6	Anwendungen des Umkehrverstärkers . . . . .	135
2.9.4	Kombination von invertierender mit nichtinvertierender Gegenkopplung . . . . .	137
2.9.5	Kombination von invertierender mit nichtinvertierender Mitkopplung . . . . .	140
2.9.6	Kombination von Gegenkopplung und Mitkopplung . . . . .	144

2.9.6.1	Mit- und Gegenkopplungsfaktor . . . . .	144
2.9.6.2	Spannungsgesteuerte Stromquelle . . . . .	148
2.9.6.3	Negativer Eingangswiderstand (NIC) . . . . .	150
<b>3.</b>	<b>Elektrostatische Felder . . . . .</b>	<b>153</b>
3.1	Skalare und vektorielle Feldgrößen . . . . .	153
3.2	Die elektrische Feldstärke und die Potentialfunktion . . . . .	154
3.2.1	Das Coulombsche Gesetz . . . . .	154
3.2.2	Die elektrische Feldstärke . . . . .	155
3.2.3	Die Potentialfunktion . . . . .	157
3.3	Die Erregung des elektrischen Feldes . . . . .	162
3.3.1	Die elektrische Verschiebungsdichte . . . . .	162
3.3.2	Der Gaußsche Satz der Elektrostatik . . . . .	163
3.4	Die Potentialfunktion spezieller Ladungsverteilungen . . . . .	165
3.4.1	Die Punktladung . . . . .	165
3.4.2	Der Dipol . . . . .	166
3.4.3	Die Linienladung . . . . .	167
3.5	Influenzwirkungen . . . . .	169
3.6	Die Kapazität . . . . .	170
3.6.1	Die Definition der Kapazität . . . . .	170
3.6.2	Parallel- und Reihenschaltung von Kapazitäten . . . . .	171
3.6.3	Die Kapazität spezieller Anordnungen . . . . .	173
3.6.3.1	Der Plattenkondensator . . . . .	173
3.6.3.2	Der Kugelkondensator . . . . .	175
3.6.3.3	Das Koaxialkabel . . . . .	176
3.7	Spezielle Methoden der Feldberechnung . . . . .	178
3.7.1	Das Prinzip der Materialisierung . . . . .	178
3.7.2	Die Kästchenmethode . . . . .	183
3.8	Energie und Kräfte . . . . .	184
3.8.1	Elektrische Energie und Energiedichte . . . . .	184
3.8.2	Kräfte im elektrostatischen Feld . . . . .	186
3.9	Bedingungen an Grenzflächen . . . . .	190
3.10	Kondensatorschaltungen . . . . .	192
3.10.1	Aufladung ungeladener Kondensatorschaltungen . . . . .	192
3.10.2	Ladungsausgleich zwischen Kondensatoren . . . . .	196
<b>4.</b>	<b>Stationäre elektrische Strömungsfelder . . . . .</b>	<b>201</b>
4.1	Die Grundgesetze und ihre Entsprechungen im elektrostatischen Feld . . . . .	201
4.2	Methoden zur Berechnung von Widerständen . . . . .	204

4.3	Anwendung auf Erdungsprobleme . . . . .	206
4.4	Bedingungen an Grenzflächen . . . . .	209
5.	<b>Stationäre Magnetfelder</b> . . . . .	211
5.1	Einführung . . . . .	211
5.2	Kräfte im magnetischen Feld und die magnetische Flußdichte . . . . .	212
5.2.1	Die Kraft zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern . . . . .	212
5.2.2	Die magnetische Flußdichte . . . . .	213
5.2.3	Die Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld . . . . .	214
5.3	Die Erregung des Magnetfeldes . . . . .	217
5.3.1	Die magnetische Feldstärke . . . . .	217
5.3.2	Das Durchflutungsgesetz . . . . .	219
5.3.3	Das Gesetz von Biot-Savart . . . . .	223
5.4	Der magnetische Fluß . . . . .	225
5.5	Bedingungen an Grenzflächen . . . . .	227
5.6	Magnetische Kreise . . . . .	228
5.6.1	Grundlagen und Analogien . . . . .	228
5.6.2	Der magnetische Kreis ohne Verzweigung . . . . .	228
5.6.3	Der magnetische Kreis mit Verzweigung . . . . .	230
5.6.4	Nichtlineare magnetische Kreise . . . . .	231
5.6.4.1	Eine Methode zur Bestimmung der Magnetisierungskennlinie . . . . .	231
5.6.4.2	Das Verfahren der Scherung . . . . .	232
5.6.4.3	Der Dauermagnet . . . . .	233
6.	<b>Zeitlich veränderliche magnetische Felder</b> . . . . .	236
6.1	Induktionswirkungen . . . . .	236
6.1.1	Das Induktionsgesetz in einfacher Form . . . . .	236
6.1.2	Die Lenzsche Regel . . . . .	237
6.1.3	Die zweite Maxwellsche Gleichung . . . . .	238
6.1.4	Weitere Formen des Induktionsgesetzes . . . . .	239
6.1.5	Eine Folgerung aus dem Induktionsgesetz . . . . .	240
6.2	Die magnetische Feldenergie . . . . .	242
6.2.1	Die zum Aufbau des Feldes erforderliche Energie . . . . .	242
6.2.2	Die Hystereseverluste . . . . .	243
6.3	Induktivitäten . . . . .	244
6.3.1	Die Selbstinduktivität . . . . .	244
6.3.2	Die Gegeninduktivität . . . . .	245
6.3.3	Die magnetische Energie eines Systems stromdurchflossener Leiterschleifen . . . . .	247
6.3.4	Methoden zur Berechnung von Selbst- und Gegeninduktivitäten . . . . .	250

6.4	Magnetische Feldkräfte . . . . .	252
6.4.1	Die Berechnung von Kräften über die Energie . . . . .	252
6.4.2	Kräfte bei Elektromagneten . . . . .	254
6.5	Die erste Maxwellsche Gleichung . . . . .	255
	Sachverzeichnis . . . . .	258