

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Allgemeines Rechnen	17
1.1 Rechnen mit Zahlen und Buchstaben	17
1.1.1 Begriffe, Zahlenarten	17
1.1.2 Zahlen mit Vorzeichen	17
1.1.3 Rechenstufen	18
1.1.4 Mehrfachklammern	20
1.2 Grundrechenarten	20
1.2.1 Addieren (Zusammenzählen) und Subtrahieren (Abziehen)	20
1.2.2 Multiplizieren (Malnehmen)	21
1.2.3 Dividieren (Teilen)	22
1.2.4 Bruchrechnen	23
Addieren und Subtrahieren von Brüchen	24
Multiplizieren von Brüchen	25
Dividieren von Brüchen	25
1.2.5 Dezimalbrüche und gemeine Brüche	26
1.2.6 Auf- und Abrunden von Ergebnissen	26
1.3 Dreisatzrechnung – Prozentrechnung	27
1.3.1 Dreisatzrechnung (Schlussrechnung)	27
Proportionaler Dreisatz	27
Umgekehrt proportionaler Dreisatz	28
Doppelter Dreisatz	29
1.3.2 Prozentrechnung	29
1.4 Rechnen mit Klammern	31
1.4.1 Klammern ausmultiplizieren (Klammern auflösen)	31
1.4.2 Ausklammern (Klammer setzen)	34
1.5 Potenzen – Wurzeln	35
1.5.1 Potenzen	35
Sonderfälle der Potenzrechnung	35
Potenzieren von Potenzen	37
Zehnerpotenzen	38
1.5.2 Wurzeln	39
Sonderfälle beim Rechnen mit Wurzeln	40
1.6 Anwendung aller Rechenstufen in Formeln aus der Elektrotechnik	42
1.7 Gleichungen	46
1.7.1 Gleichungen, die nur eine Rechenstufe enthalten	46
1.7.2 Gleichungen, die mehrere Rechenstufen enthalten	48
1.7.3 Gleichungen, die die unbekannte Größe mehr als einmal enthalten	51
1.7.4 Gleichungen mit mehreren Unbekannten	52
1.8 Rechtwinkliges Dreieck	56

1.8.1	Satz des PYTHAGORAS	56
1.8.2	Winkelfunktionen (trigonometrische Funktionen)	58
	<i>Darstellung der Sinusfunktion in einem Liniendiagramm</i>	61
2	Darstellungen im Koordinatensystem	63
2.1	Koordinatensysteme	63
2.1.1	Rechtwinkliges Koordinatensystem	63
2.1.2	Polarkoordinatensystem	65
2.2	Lineares Verhalten	65
2.3	Umgekehrtes (reziprokes) Verhalten	68
2.4	Quadratisches Verhalten	69
2.5	Logarithmische Darstellung	71
2.5.1	Teilung einer logarithmischen Skala	71
2.5.2	Logarithmische Koordinaten	71
3	Technisches Rechnen	77
3.1	Vorsätze von Einheiten	77
3.1.1	Umrechnungen zwischen Einheiten mit verschiedenen Vorsätzen	77
3.2	Flächen- und Körperberechnungen	79
3.2.1	Flächenberechnungen	79
3.2.2	Körperberechnungen (Rauminhalt – Volumen)	81
3.3	Berechnung von Spulen	82
3.3.1	Berechnung der Drahtlänge	84
3.4	Geschwindigkeit und Beschleunigung	85
3.4.1	Geschwindigkeit	85
3.4.2	Beschleunigung	86
3.4.3	Umfangsgeschwindigkeit	87
3.4.4	Winkelangabe in Grad oder Bogenmaß	88
3.4.5	Winkelgeschwindigkeit	89
3.5	Riemen- und Zahnradübersetzungen	91
3.5.1	Riementrieb	91
3.5.2	Zahnradtrieb	92
3.5.3	Schneckentrieb	94
3.6	Masse, Gewichtskraft, Kraft	95
3.6.1	Masse – Dichte; Gewichtskraft – Wichte	97
3.7	Kraft, Kräftediagramm	99
3.8	Drehmoment; Hebelgesetz	104
4	Grundbegriffe der Physik und Chemie	109
4.1	Arbeitsmethoden der Physik – Maßsysteme	109
4.2	Arbeitsmethoden der Chemie	112
4.3	Aufbau der Materie	113
4.3.1	Atom und Molekül	113
4.3.2	Zustandsformen der Materie	114
4.3.3	Kohäsion und Adhäsion	115
4.3.4	Atommodell	116
4.3.5	Periodisches System der chemischen Elemente	118

4.3.6	Chemische Bindungsarten	120
	<i>Ionenbindung</i>	120
	<i>Atombindung</i>	122
	<i>Metallbindung</i>	124
4.4	Grundlagen der Elektrizitätslehre	125
4.4.1	Einige Daten aus der Geschichte der Elektrizitätslehre	125
4.4.2	Elektrische Ladung	126
4.4.3	Elektrische Spannung und Potential	126
4.4.4	Elektrischer Strom und Ladung	129
4.4.5	Stromrichtung im elektrischen Stromkreis	131
4.4.6	Arten der Leitung des elektrischen Stromes	132
4.4.7	Stromdichte	132
4.4.8	Physikalische Wirkungen des elektrischen Stromes	133
	<i>Wärmewirkung des elektrischen Stromes</i>	133
	<i>Lichtwirkung des elektrischen Stromes – Elektrolumineszenz</i>	134
	<i>Magnetische Wirkung des elektrischen Stromes</i>	134
4.4.9	Erzeugung elektrischer Spannungen	134
	<i>Elektromagnetische Induktion</i>	135
	<i>Galvanische Spannungserzeugung</i>	135
	<i>Thermoelektrische Spannungserzeugung</i>	135
	<i>Piezoelektrizität</i>	137
	<i>Fotoelektrizität</i>	138
	<i>Berührungs- oder Reibungselektrizität</i>	140
5	Elektrochemie	141
5.1	Grundlagen der Elektrolyse	141
5.1.1	Elektrolyte	141
5.1.2	Elektrolytische Dissoziation	143
5.1.3	Elektrolyse	144
5.1.4	Elektrochemisches Äquivalent	146
5.2	Anwendung der Elektrolyse	149
5.2.1	Galvanostegie	149
5.2.2	Galvanoplastik	150
5.2.3	Metallreinigung durch Elektrolyse	150
5.2.4	Metallgewinnung durch Schmelzflusselektrolyse	151
5.2.5	Eloxieren	152
5.3	Grundlagen der galvanischen Spannungserzeugung	153
5.3.1	Chemischer Lösungsdruk	153
5.3.2	Elektrochemische Spannungsreihe	154
5.3.3	Volta-Element	155
5.4	Bauformen und Eigenschaften galvanischer Elemente	156
5.4.1	Abmessungen von Primärelementen	156
5.4.2	Kapazität und Lebensdauer von Primärelementen	157
5.4.3	Braunsteinelement (Leclanché-Element)	157
5.4.4	Alkali-Mangan-Zelle	158
5.4.5	Quecksilberoxidzelle	159
5.4.6	Silberoxidzelle	160

5.4.7	Lithiumzelle	160
5.4.8	Zink-Luft-Zelle	161
5.4.9	Füllelement	161
5.5	Brennstoffzellen	161
5.6	Akkumulatoren	163
5.6.1	Kapazität und Wirkungsgrad eines Akkumulators	163
5.6.2	Bleiakkumulatoren	165
	<i>Vorgänge bei der Entladung</i>	165
	<i>Vorgänge bei der Ladung</i>	166
	<i>Bauformen</i>	167
	<i>Wartung</i>	170
	<i>Wartungsfreie Bleiakkumulatoren</i>	171
	<i>Ladung von Bleiakkumulatoren</i>	172
5.6.3	Nickel-Cadmium- Akkumulatoren	173
	<i>Wartung von Stahlakkumulatoren</i>	174
	<i>Ladung von Ni-Cd-Akkumulatoren</i>	175
5.6.4	Nickel-Metallhydrid-Akkumulator	177
5.6.5	Wieder aufladbare Alkali-Mangan-Zelle	178
5.6.6	Lithium-Ionen-Akkumulator	179
5.6.7	Batterieverordnung	179
5.6.8	Kennlinien der Ladegeräte	180
5.7	Korrosion und Korrosionsschutz	180
5.7.1	Chemische Korrosion	180
5.7.2	Elektrochemische Korrosion	181
	<i>Elektrochemische Korrosion durch Elementbildung</i>	181
	<i>Streustromkorrosion</i>	182
5.7.3	Korrosionsschutz	182
	<i>Oberflächenschutz</i>	182
	<i>Konstruktive Maßnahmen gegen Kontaktkorrosion</i>	183
	<i>Konstruktive Maßnahmen gegen Streustromkorrosion</i>	184
	<i>Schutzströme gegen Korrosion im Erdreich oder Wasser</i>	184
6	Elektrischer Widerstand und Schaltungen mit Widerständen	187
6.1	Elektrischer Widerstand	187
6.1.1	Ohm'sches Gesetz	187
6.1.2	Elektrischer Leitwert	188
6.1.3	Widerstandskennlinie.	190
6.1.4	Nichtlineare Widerstände	192
6.2	Widerstand und Material	195
6.2.1	Spezifischer Widerstand und Leitfähigkeit	195
6.2.2	Widerstands- und Leiterwerkstoffe	198
6.2.3	Belastbarkeit elektrischer Leiter	199
6.3	Veränderlichkeit des elektrischen Widerstandes	200
6.3.1	Zug- und Druckabhängigkeit des Widerstandes	201
6.3.2	Temperaturabhängigkeit des Widerstandes	201
6.3.3	Lichtabhängigkeit des Widerstandes	202
6.3.4	Magnetfeldabhängigkeit des Widerstandes	202

6.3.5	Spannungsabhängigkeit des Widerstandes	202
6.3.6	Temperaturbeiwert	202
6.3.7	Supraleitung	205
6.4	Grundschaltungen von Widerständen	205
6.4.1	Kirchhoff'sche Gesetze	205
6.4.2	Reihenschaltung von Widerständen	210
	<i>Regeln der Reihenschaltung</i>	210
	<i>Unbelasteter Spannungsteiler</i>	214
	<i>Reihenschaltung mit einem nichtlinearen Widerstand</i>	217
6.4.3	Parallelschaltung von Widerständen	218
	<i>Regeln der Parallelschaltung</i>	218
	<i>Beispiele mit Parallelschaltungen</i>	221
6.4.4	Gemischte Schaltungen aus linearen Widerständen	223
6.5	Spannungsquellen	226
6.5.1	Ersatzschaltbild einer Spannungsquelle	226
6.5.2	Spannungsquellen mit nichtlinearem Verhalten	230
6.5.3	Reihenschaltung von Spannungsquellen	231
6.5.4	Parallelschaltung von Spannungsquellen	232
6.5.5	Reihen- und Parallelschaltung von Spannungsquellen	234
6.6	Belasteter Spannungsteiler	235
6.6.1	Einbeziehung des Lastwiderstandes in den Spannungsteiler	236
6.6.2	Belasteter Spannungsteiler als Spannungsquelle	238
6.6.3	Einstellbarer Spannungsteiler	241
6.7	Wheatstone-Brückenschaltung	244
6.7.1	Die abgeglichene Wheatstone-Brückenschaltung	244
6.7.2	Die unabgeglichene Wheatstone-Brückenschaltung	247
6.7.3	Unabgeglichene Brückenschaltung mit belastetem Diagonalzweig	249
6.7.4	Ersatzwiderstand einer Brückenschaltung	250
6.8	Widerstandsbauelemente	253
6.8.1	Lineare Festwiderstände	253
	<i>Staffelung der Nennwerte</i>	253
	<i>Kennzeichnung von Festwiderständen</i>	254
	<i>Belastbarkeit von Widerständen</i>	255
	<i>Bauformen von Festwiderständen</i>	256
6.8.2	Verstellbare Widerstände	259
	<i>Widerstandskurven von Potentiometern</i>	259
	<i>Drahtpotentiometer</i>	260
	<i>Schichtpotentiometer</i>	262
6.9	Temperaturabhängige Widerstände	262
6.9.1	Heißleiter oder NTC-Widerstände	262
	<i>Aufbau und Eigenschaften von Heißleitern</i>	262
	<i>Anwendung von NTC-Widerständen</i>	265
6.9.2	Kaltleiter oder PTC-Widerstände	267
	<i>Aufbau und Eigenschaften von PTC-Widerständen</i>	267
	<i>Anwendung von PTC-Widerständen</i>	269
6.10	Spannungsabhängige Widerstände oder Varistoren	269

7 Arbeit, Leistung, Energie	271
7.1 Begriff der Arbeit in der Mechanik	271
7.2 Energie und Energieformen	276
7.2.1 Mechanische Energie	273
<i>Potentielle Energie</i>	273
<i>Kinetische Energie</i>	273
7.2.2 Elektrische Energie	275
7.2.3 Wärmeenergie	278
7.2.4 Chemische Energie	278
7.2.5 Atomenergie	279
7.2.6 Umrechnung von Energieeinheiten	280
7.3 Leistung	282
7.3.1 Mechanische Leistung	282
7.3.2 Elektrische Leistung	284
7.3.3 Leistung und Widerstand	286
7.3.4 Umrechnung von Leistungseinheiten	289
7.3.5 Messung der elektrischen Leistung	291
7.3.6 Leistungsminderung durch Vorwiderstand	292
7.3.7 Leistung an einer pulsierenden Gleichspannung	293
7.3.8 Wirkungsgrad	295
7.3.9 Elektrische Anpassung	298
7.3.10 Pegelrechnung	301
7.4 Wärmelehre	305
7.4.1 Temperatur	305
7.4.2 Temperaturmessung	306
7.4.3 Wärmemenge	307
7.4.4 Mischungsregel	310
7.4.5 Umwandlung in anderen Aggregatzustand	313
7.4.6 Ausbreitung der Wärme	315
<i>Wärmeleitung</i>	315
<i>Wärmeströmung oder -konvektion</i>	316
<i>Wärmestrahlung</i>	317
8 Elektrisches Feld und Kondensator	319
8.1 Gesetze des elektrischen Feldes	319
8.2 Durchschlagsfestigkeit	322
8.3 Elektrostatische Influenz und Polarisation	324
8.3.1 Influenz	324
8.3.2 Polarisation	325
8.4 Kondensator	327
8.4.1 Kapazität des Kondensators	327
8.4.2 Energie eines geladenen Kondensators	330
8.4.3 Schaltungen von Kondensatoren	331
8.5 Kondensator im Gleichstromkreis	333
8.5.1 Ladung und Entladung eines Kondensators mit konstantem Strom	334
8.5.2 Ladung und Entladung eines Kondensators an konstanter Spannung	336
8.5.3 Kapazitätsbestimmung durch Zeitmessung	340

8.5.4	Aufladung eines Kondensators mit parallel geschaltetem Widerstand	341
8.6	Widerstand und Kondensator als Integrier- und Differenzierglied	342
8.6.1	RC-Glied als Integrierglied	343
8.6.2	CR-Glied als Differenzierglied	344
8.7	Bauformen und Eigenschaften von Kondensatoren	346
8.7.1	Einteilung von Kondensatoren	346
8.7.2	Eigenschaften von Festkondensatoren	346
8.7.3	Kennzeichnung von Kondensatoren	348
8.7.4	Aufbau von Kondensatoren	349
	<i>Wickelkondensatoren</i>	349
	<i>Vielschichtkondensatoren</i>	352
	<i>Keramikmassekondensatoren</i>	353
8.7.5	Elektrolytkondensatoren (Elkos)	354
	<i>Aluminium-Elektrolytkondensatoren</i>	354
	<i>Tantal-Elektrolytkondensatoren</i>	355
8.7.6	Verstellbare Kondensatoren	356
	<i>Drehkondensator</i>	356
	<i>Trimmerkondensatoren</i>	356
8.7.7	Gold-Cap-Kondensatoren	357
9	Magnetisches Feld	359
9.1	Grundbegriffe	359
9.1.1	Historisches	359
9.1.2	Entstehung der magnetischen Wirkung	359
9.1.3	Magnetische Abschirmung	362
9.1.4	Wirkung magnetischer Pole	362
9.2	Magnetischer Kreis	363
9.2.1	Magnetischer Fluss	364
9.2.2	Flussdichte – Induktion	364
9.2.3	Durchflutung	365
9.2.4	Magnetischer/Elektrischer Spannungsfall	366
9.2.5	Magnetischer/Elektrischer Widerstand	367
9.2.6	Magnetischer/Elektrischer Leitwert	369
9.2.7	Magnetische/Elektrische Feldstärke	370
9.3	Ferromagnetische Materialien	375
9.3.1	Größen der Magnetisierungskennlinien	375
	<i>Remanenz</i>	375
	<i>Hysteresisverluste</i>	376
	<i>Entmagnetisierung</i>	378
9.3.2	Hartmagnetische Werkstoffe	379
	<i>Hartferrit-Magneten</i>	379
	<i>Seltenerd-Magneten</i>	380
	<i>Metallische Dauermagnete</i>	381
	<i>Magnetisierungsarten</i>	381
	<i>Aufmagnetisierung von Dauermagneten</i>	382
9.3.3	Weichmagnetische Bauelemente	383
	<i>Kerne aus einzelnen Blechen</i>	383

<i>Bandkerne</i>	384
<i>Schnittbandkerne</i>	384
<i>Pulverkerne</i>	384
<i>Ferritkerne</i>	385
9.4 Elektromagnete	385
9.4.1 Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters	385
9.4.2 Magnetfeld in einer Spule	386
9.4.3 Eisen im Magnetkreis	387
9.4.4 Anwendungen von Elektromagneten	387
9.4.5 Kraftwirkung zweier Magnetpole	388
9.4.6 Kraftwirkung zwischen zwei stromführenden Leitern	389
9.4.7 Kraftwirkung auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld	391
9.4.8 Kraftwirkung auf eine stromdurchflossene Spule im Magnetfeld	393
9.5 Elektromagnetische Induktion	394
9.5.1 Lenz'sches Gesetz	399
9.5.2 Selbstinduktion und Induktivität	399
9.5.3 Induktivität von Spulen	401
9.5.4 Schaltzeichen und Ersatzschaltbild einer Spule	402
9.5.5 Spule im Gleichstromkreis	402
<i>Einschaltvorgang an einer Spule</i>	403
<i>Abschaltvorgang an einer Spule</i>	404
9.6 Wirbelströme	405
9.6.1 Stromverdrängung – Skineffekt	406
10 Wechselstromtechnik	407
10.1 Begriffe	407
10.1.1 Warum ist die Wechselspannung sinusförmig?	407
10.1.2 Periode – Periodendauer	410
10.1.3 Frequenz – Polpaarzahl – Drehzahl	411
10.1.4 Winkelgeschwindigkeit oder Kreisfrequenz	412
10.1.5 Winkel – Bogenmaß – Zeit im Liniendiagramm	413
<i>Angabe des Winkels α</i>	413
<i>Angabe des Bogenmaßes $\omega \cdot t$</i>	414
<i>Angabe der Zeit bei vorgegebener Frequenz</i>	414
10.1.6 Zeiger- und Liniendiagramm	415
10.1.7 Phasenverschiebung im Zeiger- und Liniendiagramm	416
10.1.8 Scheitelwert – Mittelwert – Effektivwert	418
10.1.9 Leistung im Wechselstromkreis	421
<i>Leistung (Wirkleistung)</i>	422
<i>Blindleistung</i>	422
<i>Scheinleistung</i>	423
<i>Leistungsdreieck</i>	424
10.2 Ohm'scher Widerstand (Wirkwiderstand) im Wechselstromkreis	425
10.3 Induktiver Widerstand	427
10.3.1 Phasenverschiebung und Berechnung des Blindwiderstandes	427
10.3.2 Schaltungen mit induktiven Widerständen	430
10.3.3 Reihenschaltung aus R und X_L (Spule)	430

10.3.4	Parallelschaltung von R und X_L	437
10.3.5	Verluste in Spulen bei Wechselstrom	443
	<i>Verlustfaktor und Gütefaktor</i>	443
10.4	Kapazitiver Widerstand	445
10.4.1	Phasenverschiebung und Berechnung des Blindwiderstandes	445
10.4.2	Reihenschaltung R und X_C	448
10.4.3	Parallelschaltung aus R und X_C	453
10.4.4	Verluste im Kondensator	455
	<i>Verlustfaktor und Gütefaktor</i>	456
10.5	Kombinierte Wechselstromschaltungen	458
10.5.1	Schaltungen mit nur induktiven bzw. nur kapazitiven Widerständen	458
10.5.2	Reihenschaltung induktiv-Ohm'scher Verbraucher	461
10.5.3	Reihenschaltung von mehreren R und C	466
10.5.4	Parallelschaltung induktiv-Ohm'scher Verbraucher	467
10.5.5	Parallelschaltung mehrerer kapazitiver und Ohm'scher Verbraucher	473
10.5.6	Schwingkreise	475
	<i>Reihenschwingkreis</i>	475
	<i>Parallelschwingkreis</i>	482
	<i>Vergleich zwischen einem mechanischen Schwingkreis und einem elektrischen Schwingkreis</i>	488
	<i>Widerstandsverlauf eines Schwingkreises in Abhängigkeit von der Frequenz</i>	492
	<i>Bandbreite und Güte</i>	493
10.5.7	Blindleistungskompensation	497
10.6	Passive Vierpole	501
10.6.1	Phasenschieber	501
10.6.2	Filterschaltungen	504
10.6.3	Siebglieder	511
10.6.4	Frequenzkompensierter Spannungsteiler	512
11	Dreiphasenwechselstrom – Drehstrom	515
11.1	Phasenlage und Verkettung	515
11.1.1	Generator in Sternschaltung (Y -Schaltung)	515
11.1.2	Generator in Dreieckschaltung (Δ -Schaltung)	519
11.2	Drehstromverbraucherschaltungen (unsymmetrisch)	520
11.2.1	Sternschaltung (unsymmetrisch)	520
11.2.2	Dreieckschaltung (unsymmetrisch)	524
11.2.3	Leistungen im Drehstromsystem bei unsymmetrischer Last	526
11.3	Symmetrische Drehstromverbraucherschaltungen	527
11.3.1	Symmetrische Sternschaltung	527
11.3.2	Symmetrische Dreieckschaltung	531
11.3.3	Stern-Dreieck-Schaltung	533
11.3.4	Störungen bei symmetrischen Schaltungen	538
	<i>Störungen bei symmetrischen Sternschaltungen</i>	538
	<i>Störungen bei symmetrischen Dreieckschaltungen</i>	540
	<i>Zusammenfassung</i>	542
11.3.5	Unterbrechung des N-Leiters bei unsymmetrischer Belastung	543

11.4	Blindleistungskompensation im Drehstromnetz	543
11.4.1	Berechnungsverfahren	550
11.4.2	Kompensationsarten	550
12	Grundlagen der Leitungsberechnung	551
12.1	Kriterien der Leitungsberechnung	551
12.2	Leitungsauswahl nach mechanischer Festigkeit	551
12.3	Strombelastbarkeit von Leitungen	552
12.4	Spannungsfall auf elektrischen Leitungen	553
12.4.1	Bestimmungen über die Höhe des zulässigen Spannungsfalls	553
12.4.2	Berechnung des Spannungsfalls auf Leitungen	554
	<i>Spannungsfall bei Gleichstrom</i>	554
	<i>Spannungsfall bei Wechselstrom</i>	556
	<i>Spannungsfall bei Drehstrom</i>	559
12.4.3	Leitungen mit Abzweigen	560
	<i>Leitungen mit Abzweigen bei Wechselstrom</i>	561
	<i>Leitungen mit Abzweigen bei Drehstrom</i>	565
12.4.4	Ringleitung	567
12.4.5	Zusammenfassung der Formeln für die Leitungsberechnung nach Spannungsfall	570
12.5	Leistungsverlust auf elektrischen Leitungen	571
13	Vierpole	573
13.1	Übertragungsverhalten von Vierpolen	573
Verzeichnis der Tabellen	574	
Stichwortverzeichnis	575	