

Peter Volkmann

Elektrotechnik + Elektronik

Formeln ■ Tabellen ■ Kennlinien

Für Schüler und Auszubildende in Handwerk und Industrie

6., überarbeitete Auflage

VDE VERLAG GMBH • Berlin • Offenbach

1	Internationales Einheitensystem	11	3.9	Reibungskräfte	42
1.1	Basisgrößen und Basiseinheiten	11	3.10	Federkraft	42
1.2	Wichtige Größen und Einheiten der Technik	14	3.11	Zentripetal- und Zentrifugalkraft	43
1.3	Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten	18	3.12	Drehmoment	43
2	Mathematik	19	3.13	Hebelgesetz	44
2.1	Addition	19	3.14	Auflagerkräfte	44
2.2	Subtraktion	19	3.15	Mechanische Arbeit und Energie	45
2.3	Multiplikation	20	3.16	Mechanische Leistung	46
2.4	Division	20	3.17	Wirkungs- und Arbeitsgrad	46
2.5	Potenzieren	21	3.18	Riementriebe	47
2.6	Radizieren	21	3.19	Zahnradtriebe	48
2.7	Logarithmieren	22	3.20	Schneckentrieb	49
2.8	Flächenberechnungen	23	3.21	Rollen und Flaschenzüge	49
2.9	Körperberechnungen	27	3.22	Schiefe Ebene	50
2.10	Spulenberechnungen	31	3.23	Zug- und Druckbeanspruchung	51
2.11	Lehrsatz des Pythagoras für das rechtwinklige Dreieck	32	4	Mechanik der Flüssigkeiten	53
2.12	Lehrsatz des Pythagoras für das allgemeine Dreieck	32	4.1	Kolbendruck und Kompressibilität	53
2.13	Kathetensatz	33	4.2	Druckwandlung	53
2.14	Höhensatz	33	4.3	Druckausbreitung	53
2.15	Strahlensatz	34	4.4	Hydrostatischer Druck	54
2.16	Winkelmaße	34	4.5	Auftrieb	55
2.17	Festlegung der Winkelfunktionen	35	5	Wärmelehre	57
2.18	Sinus- und Cosinussatz	35	5.1	Temperatur	57
2.19	Lösung von Gleichungen	36	5.2	Längenausdehnung von festen Stoffen bei Erwärmung	57
3	Mechanik fester Körper	37	5.3	Flächenausdehnung von festen Stoffen bei Erwärmung	58
3.1	Dichte	37	5.4	Volumenausdehnung von festen Stoffen und Flüssigkeiten bei Erwärmung	58
3.2	Masse und Gewichtskraft	37	5.5	Volumenausdehnung von Gasen bei Erwärmung und Zustandsgleichung für das ideale Gas	59
3.3	Geschwindigkeit bei gleichförmiger Längsbewegung	38	5.6	Wärmemenge	60
3.4	Gleichmäßig beschleunigte Längsbewegung	38	5.7	Wärmeausgleich	60
3.5	Geschwindigkeit bei gleichförmiger Drehbewegung	39	5.8	Änderung der Aggregatzustände	61
3.6	Dynamisches Grundgesetz	39			
3.7	Zusammensetzen von Kräften	40			
3.8	Zerlegen von Kräften	41			

5.9	Wärmeleitung	61	7.9	Reihenschaltung von Kondensatoren	84
5.10	Luftfeuchtigkeit	61	7.10	Elektrische Energie	85
6	Gleichstromkreise	62	7.11	Auf- und Entladen von Kondensatoren	85
6.1	Spannung, Strom und Widerstand	63	7.12	Kapazität und Temperatur	86
6.2	Widerstand und Abmessungen	63	8	Magnetisches Feld und Spule	87
6.3	Widerstand und Temperatur	64	8.1	Durchflutung und magnetische Feldstärke	87
6.4	Gesetzmäßigkeiten der Reihenschaltung von Widerständen ..	64	8.2	Magnetischer Fluß und magnetische Flußdichte	87
6.5	Grafische Behandlung der Reihenschaltung	65	8.3	Zusammenhang zwischen magnetischer Flußdichte und Feldstärke	88
6.6	Gesetzmäßigkeiten der Parallelschaltung von Widerständen ..	66	8.4	Magnetischer Widerstand und Leitwert	89
6.7	Grafische Behandlung der Parallelschaltung	67	8.5	Durchflutungsgesetz	89
6.8	Erweiterte Reihenschaltung	68	8.6	Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld	90
6.9	Erweiterte Parallelschaltung	69	8.7	Kraft zwischen stromdurchflossenen parallelen Leitern	90
6.10	Knotenpunktregel	70	8.8	Haltekraft von Magneten	91
6.11	Maschenregel	70	8.9	Induktion durch Flußänderung	91
6.12	Dreieck-Stern-Umwandlung	71	8.10	Induktion durch Bewegung	91
6.13	Stern-Dreieck-Umwandlung	71	8.11	Selbstinduktion	92
6.14	Spannungsteiler	72	8.12	Magnetische Energie	92
6.15	Elektrische Leistung	72	8.13	Ein- und Ausschalten von Spulen an Gleichspannung	93
6.16	Elektrische Arbeit	73	9	Elektrochemie	95
6.17	Preis der elektrischen Energie	73	9.1	Spannungsreihe	95
6.18	Wirkungsgrad	74	9.2	Elektrolyse	95
6.19	Wärmearbeitsgrad	74	9.3	Ladungsmengen- und Arbeitsgrad	96
6.20	Reihenschaltung von Spannungsquellen	75	10	Wechselstromtechnik	97
6.21	Parallelschaltung von gleichen Spannungsquellen	75	10.1	Grundgrößen	97
6.22	Spannungsquellen mit Reihen-Innenwiderstand bei Belastung (Ersatzspannungsquelle)	76	10.2	Induktivität	97
6.23	Spannungsquellen mit Parallel-Innenwiderstand bei Belastung (Ersatzstromquelle)	77	10.3	Reihenschaltung von Induktivitäten ohne gegenseitige Kopplung	98
7	Elektrisches Feld und Kondensator	79	10.4	Parallelschaltung von Induktivitäten ohne gegenseitige Kopplung	99
7.1	Elektrische Ladung (Elektrizitätsmenge)	79	10.5	Kapazität	100
7.2	Elektrischer Ladungsbelag	79	10.6	Reihenschaltung von Kapazitäten	101
7.3	Elektrische Ladungsbedeckung (Flächenladungsdichte)	80	10.7	Parallelschaltung von Kapazitäten	102
7.4	Elektrische Raumladungsdichte	80	10.8	Reihenschaltung von Wirkwiderstand und Induktivität	103
7.5	Elektrische Feldstärke	81	10.9	Reihenschaltung von Wirkwiderstand und Kapazität	104
7.6	Kraft zwischen elektrischen Ladungen	81	10.10	Parallelschaltung von Wirkwiderstand und Induktivität	105
7.7	Kapazität und Ladungsmenge	82	10.11	Parallelschaltung von Wirkwiderstand und Kapazität	106
7.8	Parallelschaltung von Kondensatoren	84			

10.12	Reihenschaltung von Wirkwiderstand, Induktivität und Kapazität	107	13	Transformatoren	131
10.13	Parallelschaltung von Wirkwiderstand, Induktivität und Kapazität	108	13.1	Hauptgleichung	131
10.14	Reale Spule	109	13.2	Übersetzungen beim idealen Einphasen-Transformator	131
10.15	Realer Kondensator	110	13.3	Spannungsübersetzung beim idealen Drehstrom-Transformator	132
10.16	Reihenschaltung von zwei realen Spulen	111	13.4	Leistungen	132
10.17	Parallelschaltung von zwei realen Spulen	112	13.5	Idealer Spartransformator	133
10.18	Reihenschwingkreis bei Resonanz	113	13.6	Kurzschlußspannung und Kurzschlußströme	134
10.19	Parallelschwingkreis bei Resonanz	114	13.7	Verluste, Wirkungsgrad und Arbeitsgrad	134
10.20	Blindleistungskompensation	115	13.8	Lastverteilung beim Parallelbetrieb	135
10.21	LR-Tiefpaß und RC-Tiefpaß	116	14	Umlaufende elektrische Maschinen	137
10.22	LC-Tiefpaß	116	14.1	Drehmomentgleichung	137
10.23	RL-Hochpaß und CR-Hochpaß	117	14.2	Spannungsgleichung	137
10.24	CL-Hochpaß	117	14.3	Wicklungstemperatur und Widerstand	138
10.25	Addition von sinusförmigen Wechselgrößen mit Phasenverschiebung	118	14.4	Umwickeln für andere Spannung	138
11	Drehstromtechnik	119	14.5	Synchronmotoren und Synchrongeneratoren	139
11.1	Spannungen und Ströme bei Dreieckschaltung	119	14.6	Asynchronmotoren und Asynchrongeneratoren	140
11.2	Spannungen und Ströme bei Sternschaltung mit Neutralleiteranschluß	120	14.7	Fremderregter Gleichstrommotor und Gleichstrom-Nebenschlußmotor	142
11.3	Spannungen und Ströme bei Sternschaltung ohne Neutralleiteranschluß	121	14.8	Gleichstrom-Reihenschlußmotor	144
11.4	Leistungen	122	14.9	Gleichstrom-Doppelschlußmotor	145
11.5	Blindleistungskompensation	123	14.10	Gleichstrom-Nebenschlußgenerator	146
12	Meßtechnik	125	14.11	Asynchroner Frequenzumformer	147
12.1	Messen mit Mehrbereich-Meßgeräten	125	14.12	Synchroner Frequenzumformer	148
12.2	Anzeigefehler	125	15	Licht- und Beleuchtungstechnik	149
12.3	Kennwiderstand und Eigenverbrauch	125	15.1	Lichtgeschwindigkeit und Wellenlänge	149
12.4	Meßbereichserweiterung von Spannungsmessern	126	15.2	Lichtstärke und Lichtstrom	149
12.5	Meßbereichserweiterung von Strommessern	126	15.3	Lichtstärkeverteilungskurve	150
12.6	Widerstandsbestimmung durch Spannungs- und Strommessung	127	15.4	Reflexions-, Absorptions- und Transmissionsgrad	150
12.7	Widerstandsbestimmung mit Wheatstone-Meßbrücke	127	15.5	Beleuchtungswirkungsgrad	151
12.8	Induktivitätsbestimmung durch Spannungs- und Strommessung	128	15.6	Lichtausbeute	151
12.9	Kapazitätsbestimmung durch Spannungs- und Strommessung	128	15.7	Beleuchtungsstärke	152
12.10	Meßwandler	129	15.8	Leuchtdichte	152
12.11	Messungen mit dem Oszilloskop	130	15.9	Lichtmenge	153
			15.10	Belichtung	153
			15.11	Strahlungsleistung und Lichtgleichwert	153
			15.12	Berechnung von Innenraum-Beleuchtungsanlagen nach dem Wirkungsgradverfahren	154

15.13	Berechnung von Innenraum-Beleuchtungsanlagen nach der Wattregel	154	19	Elektronik	177
15.14	Berechnung von Außenbeleuchtungen nach dem Wirkungsgradverfahren	155	19.1	Kühlung von Halbleiterbauelementen	177
15.15	Berechnung von Außenbeleuchtungen nach dem Lichtpunktverfahren	155	19.2	Kennwerte von Halbleiterdioden	178
16	Bemessung von elektrischen Leitungen	157	19.3	Kennwerte von Thyristor und Triac	178
16.1	Unverzweigte Gleichstromleitung und Einphasen-Wechselstromleitung mit reiner Wirklast	157	19.4	Ungesteuerte Gleichrichterschaltungen	179
16.2	Unverzweigte Einphasen-Wechselstromleitung mit Wirk- und Blindlast	158	19.5	Zwei-paarhalbgesteuerte und einpolig gesteuerte Zweipuls-Brücken-Schaltung	182
16.3	Unverzweigte Drehstromleitung mit symmetrischer Wirk- und Blindlast	159	19.6	Hallgenerator	183
16.4	Verzweigte Gleichstromleitung und Einphasen-Wechselstromleitung mit reiner Wirklast	160	19.7	Kennwerte von bipolaren Transistoren	184
16.5	Verzweigte Einphasen-Wechselstromleitung mit Wirk- und Blindlast	161	19.8	Arbeitspunktstabilisierung beim bipolaren Transistor	186
16.6	Verzweigte Drehstromleitung mit symmetrischer Wirk- und Blindlast	162	19.9	Verstärkerschaltungen mit bipolaren Transistoren	188
16.7	Ringleitung	163	19.10	Kennwerte von Feldeffekttransistoren	190
17	Schutzmaßnahmen vor gefährlichen Körperströmen	165	19.11	Verstärkerschaltungen mit Feldeffekttransistoren	191
17.1	Berührungsspannung und Körperstromstärke	165	19.12	Kennwerte von stabilisierten Netzgeräten	193
17.2	Fehlertspannungs-Schutzeinrichtung	165	19.13	Spannungsstabilisierung mit Begrenzerdiode	194
17.3	Fehlerstrom-Schutzeinrichtung	166	19.14	Spannungsstabilisierung mit Längstransistor	195
17.4	Schutzmaßnahmen im TN-System	167	19.15	Kennwerte von Operationsverstärkern	196
17.5	Schutzmaßnahmen im TT-System	168	19.16	Schaltungen mit Operationsverstärkern	197
17.6	Schutzmaßnahmen im IT-System	169	19.17	Bezeichnung von Impulszeiten	200
17.7	Schutz durch nichtleitende Räume	169	19.18	Transistor als elektronischer Schalter	201
18	Signalübertragung	171	19.19	Astabile Kippschaltung mit Transistoren	202
18.1	Dämpfungsfaktor und Übertragungsfaktor	171	19.20	Astabile Kippschaltung mit Operationsverstärker	203
18.2	Dämpfungsmaße	171	19.21	Monostabile Kippschaltung mit Transistoren	204
18.3	Verstärkungsfaktor und Verstärkungsmaß	172	19.22	Monostabile Kippschaltung mit Operationsverstärker	205
18.4	Pegel	173	19.23	Schmitt-Trigger mit Operationsverstärker	206
18.5	Wellenwiderstand und Ausbreitungsgeschwindigkeit	174	20	Digitaltechnik	207
18.6	Mechanische Beanspruchung von Antennenanlagen	175	20.1	Zahlensysteme	207
			20.2	Binär codierte Dezimalzahlen	208
			20.3	Dezimalzahlen-Dualzahlen-Umwandlungen	209
			20.4	Rechnen mit Dualzahlen	210
			20.5	Regeln der Schaltalgebra	211
			20.6	Gesetze der Schaltalgebra	212
			20.7	Logische Verknüpfungsglieder	213
			20.8	Verwirklichung von logischen Schaltungen mit NAND-Gliedern oder NOR-Gliedern	215
			21	Regelungstechnik	217
			21.1	Kenngrößen von Regelbausteinen	217
			21.2	Stetige Regeleinrichtungen mit Operationsverstärkern	218

Tabellen

1	Abgeleitete Einheiten des Internationalen Einheitensystems mit besonderem Namen. Nach DIN 1301	221	23	Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung und Zuordnung von Überstrom-Schutzorganen für Dauerbetrieb bei 25 °C Umgebungstemperatur. Nach DIN VDE 0298-4, DIN VDE 0636 und DIN VDE 0641	237
2	Wichtige physikalische Konstanten	222	24	Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung bei 30 °C Umgebungstemperatur. Nach DIN VDE 0298-4	238
3	Mathematische Zeichen. Nach DIN 1302	223	25	Strombelastbarkeit von Gummischlauchleitungen H07RN-F und A07RN-F für industrielle Anwendungen bei 30 °C Umgebungstemperatur. Nach DIN VDE 0298-4	239
4	Dichten von festen Stoffen, Flüssigkeiten und Gasen	224	26	Korrekturfaktoren für die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung und Gummischlauchleitungen bei von 30 °C abweichenden Umgebungstemperaturen. Nach DIN VDE 0298-4	240
5	Haft- und Gleitreibungszahlen (Richtwerte)	224	27	Strombelastbarkeit im Erdreich verlegter Kupfer- und Aluminiumkabel mit einer Bemessungsspannung von 0,6/1 kV unter Normalbedingungen. Nach DIN VDE 0276-603	241
6	Fahrwiderstandszahlen (Richtwerte)	224	28	Strombelastbarkeit in Luft verlegter Kupfer- und Aluminiumkabel mit einer Bemessungsspannung von 0,6/1 kV unter Normalbedingungen. Nach DIN VDE 0276-603	242
7	Längenausdehnungskoeffizienten von festen Stoffen zwischen 0 °C und 100 °C (Mittelwerte)	225	29	Schräge Normschrift, Mittelschrift. Nach DIN 6776/ISO 3098	243
8	Volumenausdehnungskoeffizienten von Flüssigkeiten (Mittelwerte)	225	30	Senkrechte Normschrift, Mittelschrift. Nach DIN 6776/ISO 3098	243
9	Spezifische Wärmekapazitäten (Mittelwerte)	226	31	Schräge griechische Schrift, Schriftform A. Nach DIN ISO 3098-2	243
10	Schmelztemperaturen und spezifische Schmelzwärmen bei 1013 mbar (Mittelwerte)	226	32	Namensgeber von Einheiten physikalischer Größen	244
11	Siedetemperaturen und spezifische Verdampfungswärmen bei 1013 mbar (Mittelwerte)	226			
12	Internationale Normreihen für Fertigungswerte (Grundwerte) von Widerständen und Kapazitäten. Nach DIN IEC 63	227			
13	Kennzeichnung von Widerständen und Kapazitäten. Nach DIN EN 60062	228			
14	Spezifische Widerstände, Leitfähigkeiten und Temperaturbeiwerte von festen Stoffen bei 20 °C	229			
15	Allgemeine Tarife eines Elektrizitäts-Versorgungs-Unternehmens (Auszug, vereinfacht)	230			
16	Elektrische Durchbruchfeldstärken bei 20 °C und Verlustfaktoren von Isolierstoffen	231			
17	Relative Permittivitäten von festen, flüssigen und gasförmigen Isolierstoffen bei 20 °C	232			
18	Periodensystem der Elemente	233			
19	Elektrochemische Spannungsreihe	234			
20	Elektrochemische Äquivalente	234			
21	Mindestquerschnitte für Kupferleiter von Leitungen und Kabeln wegen der mechanischen Festigkeit. Nach DIN VDE 0100-520	235			
22	Verlegearten von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung. Nach DIN VDE 0298-4	236			

Kennlinien

1	Magnetisierungskurven	245
2	Anzunehmende Mindestbelastung von 230/400-V-Hauptleitungen in Wohngebäuden ohne Elektroheizung	246
3	Zeit-Strom-Kennlinien von Leitungsschutzschaltern	247
4	Zeit-Strom-Kennlinien von D- und D0-Sicherungen der Betriebsklasse gG bzw. gL	249
5	Wärmewiderstand blanker, quadratischer und senkrecht stehender Kühlbleche	250

6	Silizium-Dioden	251
7	NPN-Silizium-Transistoren	252
8	Kalt- und Heißeiterwiderstände	254
9	Fotowiderstand und Fotoelement	255
10	Fotodiode	256
11	Lumineszenzdiode (LED)	257

Sachwortverzeichnis	259
----------------------------------	-----