



Leseprobe

Georg Flegel, Karl Birnstiel, Wolfgang Nerreter

Elektrotechnik für Maschinenbau und Mechatronik

ISBN (Buch): 978-3-446-44496-6

ISBN (E-Book): 978-3-446-44773-8

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44496-6>

sowie im Buchhandel.

Vorwort zur 10. Auflage

Als Georg Flegel im Jahr 1961 die erste Auflage dieses Lehrbuches verfasste, war er der Ansicht, dass Maschinenbau und Elektrotechnik einander bedingen und nicht ausschließen. Seine sorgfältige Art, die Elektrotechnik dem Maschinenbauer zu erklären, hat diesem Werk viele Auflagen eingebracht.

Georg Flegel hat noch die 6. Auflage seines Werkes erlebt. Von der 3. bis zur 7. Auflage hat Karl Birnstiel das Werk mitbetreut. Zur 7. Auflage kam Wolfgang Nerreter als Autor hinzu.

Leider schied Karl Birnstiel vor Beginn der Bearbeitung zur 8. Auflage aus dem Autorenteam aus. Als neue Co-Autoren haben Holger Borchering das Kapitel Leistungselektronik und Uwe Meier das Kapitel Informationsübertragung bearbeitet.

Zwischen der 1. und der 10. Auflage sind mehr als fünf Jahrzehnte vergangen, in denen sich vor allem in der Technik viele Neuentwicklungen ergeben haben. Konnte 1961 noch das gesamte Fachwissen der Elektrotechnik weitgehend in einem Band untergebracht werden, so ist dies nunmehr unmöglich. Die aktuelle Auflage ist daher lediglich als Einführung in die Elektrotechnik zu verstehen.

Man kann den Umfang des Werkes nicht beliebig anwachsen lassen. Ein Lehrbuch muss nicht nur bezahlbar, sondern auch studierbar bleiben.

Wer in die einzelnen Fachgebiete tiefer eindringen will, sollte dies mithilfe der Fachliteratur tun. Deshalb ist im Anhang ein nach Kapiteln geordnetes Literaturverzeichnis enthalten.

In den Kapiteln 1... 11 sind die Grundlagen dargestellt und in den Kapiteln 12... 18 werden Anwendungen beschrieben. Der Lehrtext wird durch insgesamt 141 Rechenbeispiele mit Lösungen ergänzt, die zeigen sollen, wie der Lehrstoff anzuwenden ist. Auf der Webseite <http://www.emaschtronik.de> lassen sich zusätzliche Informationen sowie zu etlichen Kapiteln Aufgaben mit Lösungen abrufen.

In der 10. Auflage haben wir Fehler korrigiert und mehrere Aktualisierungen eingebracht. In das Kap. 7 wurde ein Abschnitt über Leuchtdioden eingefügt.

Zum zweispaltigen Satz sind wir auf den Rat von Fachleuten übergegangen. Das Auge vermag die Spaltenbreite „mit einem Blick“ zu erfassen, wodurch das Lesen erleichtert wird. Zwar sind viele Leser an einspaltig gesetzte Lehrbücher gewöhnt, aber wir sind sicher, dass sich die meisten vom Vorteil des zweispaltigen Satzes überzeugen lassen.

Da sich die mathematischen Hilfsmittel geändert haben und weiterentwickelt worden sind, können wir auf umständliche Herleitungen verzichten. Wir brauchen nicht mehr zu zeigen, wie algebraische Gleichungen umgeformt oder z.B. die Lösungen eines linearen Gleichungssystems gefunden werden; die Studierenden können dies dem Taschenrechner oder einem Mathematikprogramm überlassen.

Die wichtigsten Fachausdrücke der Elektrotechnik werden beim ersten Erscheinen im Text auch in *englischer Sprache* gebracht; dabei bevorzugen wir die *amerikanische* Schreibweise, da sie in Veröffentlichungen überwiegend verwendet wird. Nicht nur in der Elektrotechnik, sondern auch im Maschinenbau und in der Mechatronik ist die englische Fachsprache zunehmend von Bedeutung.

Wir hoffen, dass unser Buch weiterhin gut aufgenommen wird, und sind dankbar für Nachrichten an den Verlag mit Verbesserungsvorschlägen, Kritik oder Fehlermeldungen.

Dem Carl Hanser Verlag danken wir für die gute und vertrauensvolle Zusammenarbeit. Insbesondere danken wir Frau Franziska Jacob M.A. für die Betreuung des Werkes. Weiterhin sind wir Herrn Dr. Heinrich Kalvelage, Hildesheim, für die Beratung zum Thema Elektrochemie und Herrn Prof. Dr. Werner Frammelsberger, Degendorf, für Hinweise zur Thermospannung zu Dank verpflichtet.

Nun noch ein Wort an Sie, liebe Leserin und lieber Leser: Wir freuen uns, wenn Sie uns Vertrauen entgegenbringen und mit unserem Buch arbeiten. Für Ihr Studium wünschen Ihnen viel Erfolg

im Mai 2016

die Verfasser.

Inhaltsverzeichnis

1 Grundbegriffe	11
1.1 Elektrische Ladung	11
1.1.1 Mit Bernstein fing alles an; 1.1.2 Ausgleich und Trennung von Ladungen	
1.1.3 Leiter und Nichtleiter; 1.1.4 Elektrische Spannung	
1.2 Elektrischer Strom	14
1.2.1 Stromstärke; 1.2.2 Stromkreis; 1.2.3 Richtungssinn und Bezugssinn	
1.3 Leistung und Energie	16
1.3.1 Erzeuger und Verbraucher; 1.3.2 Der Begriff Eintor; 1.3.3 Wirkungsgrad	
1.3.4 Elektrowärme	
1.4 Elektrischer Widerstand	19
1.4.1 Der Begriff Widerstand; 1.4.2 Das Ohmsche Gesetz; 1.4.3 Linearer Leiter	
1.4.4 Widerstand von Isolierstoffen; 1.4.5 Nichtlinearer Widerstand	
1.4.6 Temperaturabhängigkeit; 1.4.7 Supraleitung	
1.5 Quellen	23
1.5.1 Leerlauf und Kurzschluss; 1.5.2 Ideale Quellen; 1.5.3 Lineare Quellen	
2 Gleichstrom-Schaltungen	26
2.1 Bestimmung des Arbeitspunktes	26
2.2 Knotensatz	26
2.2.1 Der Begriff Knoten; 2.2.2 Knotengleichung; 2.2.3 Parallelschaltung von Widerständen	
2.3 Maschensatz	29
2.3.1 Maschengleichung; 2.3.2 Potenzial; 2.3.3 Reihenschaltung von Widerständen	
2.4 Ersatzschaltungen	32
2.4.1 Ersatzwiderstand; 2.4.2 Ersatzquelle	
2.5 Überlagerungssatz	34
2.6 Knotenpotenzialverfahren	35
3 Zeitabhängige Größen	37
3.1 Periodische Größen	37
3.1.1 Periodendauer und Frequenz; 3.1.2 Gleichwert und Gleichrichtwert	
3.1.3 Wirkleistung und Effektivwert	
3.2 Sinusgrößen	39
3.2.1 Kreisfrequenz und Phasenwinkel; 3.2.2 Kenngrößen; 3.2.3 Zeigerdarstellung	
3.2.4 Komplexe Symbole	
4 Elektrisches Feld	42
4.1 Feldlinien und Äquipotenzialflächen	42
4.2 Kondensatoren	43
4.3 Flussdichte und Feldstärke	43
4.4 Energie eines geladenen Kondensators	45
4.5 Kondensator an Sinusspannung	45
4.6 Polarisationsverluste	46
4.7 Schaltvorgang in einer Schaltung mit einem Kondensator	47
5 Magnetisches Feld	48
5.1 Feldlinien von Magneten	48
5.2 Magnetische Flussdichte	49
5.3 Durchflutungsgesetz	50
5.4 Spulen	51

5.5	Materie im Magnetfeld	52
5.6	Magnetische Werkstoffe	54
5.7	Magnetische Kreise	56
5.8	Induktion	58
	5.8.1 Induktionsgesetz; 5.8.2 Induktion bei Drehbewegung; 5.8.3 Induktion bei ruhender Spule	
5.9	Energie des magnetischen Feldes	62
	5.9.1 Energie einer Spule; 5.9.2 Ein- und Ausschalten einer Spule	
5.10	Verluste im magnetischen Feld	64
	5.10.1 Wirbelstromverluste; 5.10.2 Hystereseverluste; 5.10.3 Eisenverluste	
5.11	Kräfte im Magnetfeld	66
	5.11.1 Zugkraft eines Magneten; 5.11.2 Elektromagnete; 5.11.3 Nqtpgv -Kraft und J cm -Effekt	
6	Wechselstrom-Schaltungen	69
6.1	Grundeintore	69
6.2	Widerstand und Leitwert	70
6.3	Leistung und Arbeit	71
	6.3.1 Wirk- und Blindleistung; 6.3.2 Leistungsschwingung; 6.3.3 Leistungsfaktor	
	6.3.4 Wirk- und Blindarbeit; 6.3.5 Leistungsberechnung	
6.4	Verbindung von Grundeintoren	75
	6.4.1 Reihenschaltung; 6.4.2 Reihenresonanz; 6.4.3 Parallelschaltung; 6.4.4 Parallelresonanz	
6.5	Wechselstromnetze	78
	6.5.1 Knoten- und Maschensatz; 6.5.2 Ersatzwiderstand; 6.5.3 Resonanz; 6.5.4 Ortskurve	
6.6	Drehstrom	80
	6.6.1 Ströme und Spannungen; 6.6.2 Symmetrische Belastung; 6.6.3 Unsymmetrische Belastung	
7	Bauelemente	86
7.1	Widerstände	86
	7.1.1 Konstante Widerstände; 7.1.2 Einstellbare Widerstände	
	7.1.3 Temperaturabhängige Widerstände; 7.1.4 Spannungsabhängige Widerstände	
7.2	Kondensatoren	88
	7.2.1 Wickelkondensator; 7.2.2 Spannungsabhängigkeit	
7.3	Thermoelektrische Bauelemente	90
7.4	Dioden	91
	7.4.1 Eigenschaften einer Halbleiterdiode; 7.4.2 Das Halbleiter-Grundmaterial Silizium	
	7.4.3 Dotierung; 7.4.4 pn-Übergang; 7.4.5 pn-Diode; 7.4.6 Uej qwnf -Diode	
	7.4.7 Z-Diode; 7.4.8 Solarzelle; 7.4.9 Lumineszenzdiode	
7.5	Transistoren	98
	7.5.1 Feldeffekttransistor ; 7.5.2 Bipolartransistor	
8	Rechnergestützte Simulation	101
8.1	Netzwerkanalyse	101
8.2	Start mit Schematics	101
8.3	Gleichanalyse	102
8.4	Variation von Bauelement-Werten	102
8.5	Transientanalyse	103
8.8	Sinusanalyse	104
8.7	Großsignalanalyse	104
9	Analoge Schaltungen	105
9.1	Stabilisierungsschaltungen	105
9.2	Transistorschaltungen	106
9.3	Operationsverstärker	107

9.4	Rückkopplungsschaltungen	109
	9.4.1 Der Begriff Rückkopplung; 9.4.2 Invertierender Verstärker	
	9.4.3 Nicht invertierender Verstärker; 9.4.4 Summierer; 9.4.5 Integrierer	
9.5	Filter	112
	9.5.1 Grenzfrequenz; 9.5.2 Tiefpass; 9.5.3 Hochpass; 9.5.4 Bandpass	
10	Digitale Schaltungen	115
10.1	Gatter	115
	10.1.1 Vorteile der Digitaltechnik; 10.1.2 Binärziffer; 10.1.3 Der Begriff Redundanz	
	10.1.4 Logische Verknüpfungen; 10.1.5 CMOS-Inverter; 10.1.6 Realisierung der Grundgatter	
	10.1.7 Schaltalgebra; 10.1.8 Entwurf logischer Schaltungen	
10.2	Schaltwerke	120
	10.2.1 Der Begriff Schaltwerk; 10.2.2 RS-Flipflops; 10.2.3 Master-Slave-Flipflops	
	10.2.4 JK-Flipflops	
10.3	Kippschaltungen	123
	10.3.1 Komparatoren; 10.3.2 Monostabile Kippschaltungen; 10.3.3 Digitale Oszillatoren	
10.4	Frequenzteiler und Zähler	126
	10.4.1 Frequenzteiler; 10.4.2 Zähler	
10.5	Rechenoperationen mit Dualzahlen	128
	10.5.1 Addition; 10.5.2 Subtraktion	
10.6	Verarbeitung von Bitmustern	129
	10.6.1 D-Flipflop; 10.6.2 Register; 10.6.3 Datenübertragung	
	10.6.4 Speicher; 10.6.5 Codierschaltungen	
10.7	Integrierte Schaltungen	133
	10.7.1 Logikfamilien; 10.7.2 TTL-Technik; 10.7.3 Aufbau integrierter Schaltungen	
	10.7.4 CMOS-Technik; 10.7.5 Programmierbare Logik-Bauelemente	
11	Elektrochemie	137
11.1	Elektrischer Strom in Flüssigkeiten	137
	11.1.1 Chemische Wirkung des Stromes; 11.1.2 Dissoziation	
11.2	FARADAYSche Gesetze	138
11.3	Elektrochemische Spannungsreihe	139
11.4	Batterien	140
11.5	Akkumulatoren	141
	11.5.1 Bleiakкумуляtor; 11.5.2 Nickel-Cadmium-Akkumulator	
	11.5.3 Nickel-Metallhydrid-Akkumulator; 11.5.4 Lithium-Ionen-Akkumulator	
11.6	Brennstoffzellen	144
11.7	Elektrolytische Korrosion	145
12	Elektrische Maschinen	146
12.1	Transformator	146
	12.1.1 Idealisierter Transformator; 12.1.2 Realer Transformator; 12.1.3 Leerlauf und Kurzschluss	
	12.1.4 Spannungsänderung; 12.1.5 Wirkungsgrad; 12.1.6 Drehstrom-Transformatoren	
	12.1.7 Parallelbetrieb; 12.1.8 Mechanischer Aufbau; 12.1.9 Sonderbauarten	
12.2	Rotierende elektrische Maschinen	160
	12.2.1 Aufbau und Erregung; 12.2.2 Drehfelddrehzahl; 12.2.3 Leistung	
	12.2.4 Drehmoment und Drehzahl	
12.3	Gleichstrommaschine	163
	12.3.1 Aufbau und Funktionsweise; 12.3.2 Energiefluss und Leistungsbilanz	
	12.3.3 Ankerrückwirkung; 12.3.4 Verbesserung der Kommutierung; 12.3.5 Kompensationswicklung	
	12.3.6 Wicklungsarten; 12.3.7 Gleichstrommotoren; 12.3.8 Einschalten und Anlassen	
	12.3.9 Drehrichtungswechsel; 12.3.10 Bremsbetrieb	

12.4	Drehstrom-Asynchronmaschine	174
	12.4.1 Prinzipielle Funktionsweise; 12.4.2 Ersatzschaltung; 12.4.3 Energiefluss und Leistungsbilanz	
	12.4.4 Drehmoment; 12.4.5 Stromortskurven; 12.4.6 Kennlinien; 12.4.7 Leerlauf- und Kurzschluss	
	12.4.8 Käfigläufer-Motor; 12.4.9 Schleifringläufer-Motor; 12.4.10 Weitere Betriebsarten	
12.5	Einphasen-Asynchronmotor	191
12.6	Synchronmaschine	193
	12.6.1 Aufbau und Anwendungsgebiete; 12.6.2 Vollpolgenerator im Inselbetrieb	
	12.6.3 Vollpolmaschine im Netzbetrieb; 12.6.4 Schenkelpolmaschine	
	12.6.5 Pendelungen der Synchronmaschine; 12.6.6 Synchronisierung	
12.7	Linearmotoren	201
	12.7.1 Asynchron-Linearmotor; 12.7.2 Synchron-Linearmotor	
12.8	Kleinmotoren	204
	12.8.1 Universalmotor; 12.8.2 Permanentmagnet-Motor; 12.8.3 Elektronikmotor	
	12.8.4 Spaltpolmotor; 12.8.5 Wechselstrom-Synchronmotor; 12.8.6 Schrittmotor	
12.9	Erwärmung und Kühlung	210
	12.9.1 Übertemperatur; 12.9.2 Motorschutz	
12.10	Motorparameter	213
	12.10.1 Bauform; 12.10.2 Schutzart; 12.10.3 Explosionsschutz; 12.10.4 Leistungsschild	
13	Elektrische Antriebe	215
13.1	Stationärer Betrieb	215
13.2	Betriebsarten	216
13.3	Trägheitsmoment	218
13.4	Dynamischer Betrieb	219
13.5	Anlauf	219
13.6	Statische Stabilität	221
13.7	Direktantriebe	221
14	Elektrische Messtechnik	223
14.1	Grundbegriffe des Messens	223
14.2	Elektromechanische Messgeräte	225
	14.2.1 Drehpulsmessgerät; 14.2.2 Dreheisenmessgerät	
	14.2.3 Elektrodynamisches Messgerät; 14.2.4 Induktionsmesswerk	
14.3	Oszilloskop	228
	14.3.1 Elektronenstrahlröhre; 14.3.2 Der x-y-Betrieb; 14.3.3 Zeitablenkung	
	14.3.4 Mehrkanal-Funktion; 14.3.5 Ankopplung des Eingangs	
	14.3.6 Abschwächer; 14.3.7 Tastteiler	
14.4	Digitale Messgeräte	232
	14.4.1 Genauigkeit und Auflösung; 14.4.2 Analog-Digital-Wandler; 14.4.3 Digital-Multimeter	
	14.4.4 Digitale Speicher-Oszilloskope; 14.4.5 Digital-Analog-Wandler	
	14.4.6 Elektrizitätszähler; 14.4.7 IEC-Bus	
14.5	Messbrücken	240
14.6	Sensoren	241
	14.6.1 Längensensoren; 14.6.2 Winkelsensoren	
	14.6.3 Kraftsensoren; 14.6.4 Temperatursensoren	
14.7	Messung von Spannung und Strom	244
	14.7.1 Widerstand des Messwerks; 14.7.2 Messung der Ersatzgrößen	
	14.7.3 Strommesszange; 14.7.4 Nicht sinusförmige Spannungen	
14.8	Leistungs- und Energiemessung	247
	14.8.1 Leistungsmessung im Gleichstromnetz; 14.8.2 Leistungsmessung im Wechselstromnetz	
	14.8.3 Leistungsmessung im Drehstromnetz; 14.8.4 Energiemessung im Drehstromnetz	

14.9	Messung von C und L	250
14.10	Zeitmessung	251
	14.10.1 Tageszeit; 14.10.2 Zeitintervall	
14.11	Elektromagnetische Verträglichkeit	252
	14.11.1 Der Begriff EMV; 14.11.2 Normung und Gesetze; 14.11.3 Prüfung und Nachweis	
15	Steuer- und Regelungstechnik	253
15.1	Die Begriffe Steuern und Regeln	253
15.2	Entwicklung der Steuerungstechnik	254
15.3	Komponenten von Steuerungen	255
15.4	Steuerung elektrischer Maschinen	258
15.5	Regelungstechnik	260
16	Leistungselektronik	269
16.1	Entwicklung der Leistungselektronik	269
16.2	Aufgaben der Leistungselektronik	269
16.3	Leistungshalbleiter	270
16.4	Ungesteuerte Gleichrichter	274
16.5	Netzgeführte Stromrichter	277
16.6	Selbstgeführte Stromrichter	282
16.7	Frequenzumrichter	286
16.8	Wechsel- und Drehstromsteller	293
16.9	EMV von Stromrichtern	294
17	Informationsübertragung	296
17.1	Grundbegriffe	296
17.2	Leitungen und Kabel	298
17.3	Lichtwellenleiter	303
17.4	Funkkanäle	307
17.5	LAN, Ethernet	312
17.6	TCP/IP, OSI-Modell	314
17.7	Feldbusse	316
17.8	USB	317
18	Energieübertragung	319
18.1	Energieumwandlung	319
18.2	Betriebsmittel und -verfahren	321
18.3	Überstromschutz	327
18.4	Erder und Erdung	328
18.5	Schutzmaßnahmen	329
18.6	USV	334
	Verwendete Formelzeichen	335
	Einheiten	336
	Komplexe Rechnung	338
	Literatur	339
	Wichtige Konstanten	342
	Namenverzeichnis	342
	Sachwortverzeichnis	343
	Und zum Schluss: Bloß nicht	352

2 Gleichstrom-Schaltungen

2.1 Bestimmung des Arbeitspunktes

Beim einfachen Stromkreis (Bild 1.8) ist die Klemmenspannung U der Quelle gleich der Spannung des Verbrauchers. Ist diese Spannung bekannt, so kann der Strom I mit der I - U -Kennlinie des Verbrauchers bestimmt werden.

Handelt es sich jedoch z. B. um eine lineare Quelle, so ist ihre Klemmenspannung U nicht von vornherein bekannt. Zur Bestimmung der Klemmenspannung U und des Stromes I müssen in diesem Fall *zwei* Gleichungen gelöst werden; dies kann entweder grafisch oder rechnerisch geschehen.

Das Bild 2.1 zeigt die grafische Lösung für den Fall, dass der Verbraucher ein OHMScher Widerstand ist; seine I - U -Kennlinie ist eine Gerade (s. Abschnitt 1.4.2). Diese schneidet die I - U -Kennlinie der linearen Spannungsquelle in einem Punkt, der **Arbeitspunkt** (*bias point*) genannt wird. In diesem Punkt stimmen die Spannungen der beiden Eintore überein und der Strom I der Quelle ist gleich dem Strom des OHMSchen Widerstandes.

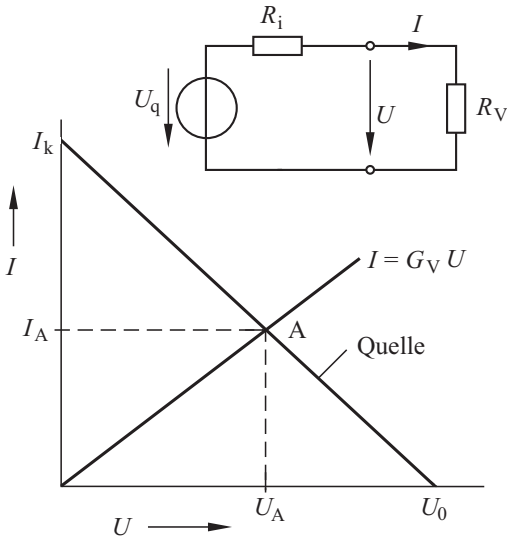


Bild 2.1 Einfacher Stromkreis und grafische Bestimmung des Arbeitspunktes A im I - U -Kennlinienfeld

Zur *Berechnung* der Spannung U_A und des Stromes I_A für den Arbeitspunkt der Schaltung 2.1 setzen wir in die Gln. (1.21 und 1.33) die Bedingungen $U = U_A$ und $I = I_A$ für den Arbeitspunkt ein:

$$U_A = U_q - R_i I_A \tag{2.1}$$

$$U_A = R_V I_A \tag{2.2}$$

Wir lösen nach I_A auf und erhalten:

$$I_A = \frac{U_q}{R_i + R_V} \tag{2.3}$$

Ist der Strom I_A bekannt, so lässt sich die Spannung U_A entweder mit der Gl. (2.1) oder mit der Gl. (2.2) berechnen.

Beispiel 2.1

Die Quellenspannung eines Stromkreises nach Bild 2.1 ist $U_q = 12$ V. Beim Strom $I = 1,5$ A wird die Klemmenspannung $U = 11,7$ V gemessen. Wie groß sind der Innenwiderstand R_i und der Verbraucherwiderstand R_V ?

$$I_A = 1,5 \text{ A}; \quad U_A = 11,7 \text{ V}; \quad R_V = \frac{U_A}{I_A} = 7,8 \Omega$$

$$R_i = \frac{U_q - U_A}{I_A} = 0,2 \Omega$$

2.2 Knotensatz

2.2.1 Der Begriff Knoten

Beim einfachen Stromkreis fließt an jeder Stelle derselbe Strom I ; in dieser Hinsicht handelt es sich dabei um einen Sonderfall. In einer beliebigen Schaltung kann sich der Strom *verzweigen*: In einem Teil der Leitungen strömen Ladungen zum **Verzweigungspunkt** (*branch point*) hin, in den übrigen Leitungen vom Verzweigungspunkt weg.

Da die Ladungen im Verzweigungspunkt nicht gespeichert werden können, ist die gesamte zuströmende Ladung gleich der gesamten wegströmenden Ladung. Wegen $I = Q/t$ gilt entsprechend für die Ströme: Die Summe der zufließenden Ströme I_{zu} ist gleich der Summe der abfließenden Ströme I_{ab} :

$$\sum I_{ab} = \sum I_{zu} \quad (2.4)$$

Dieser Zusammenhang gilt auch dann, wenn sich die stromführenden Leiter nicht in einem Punkt treffen, sondern beliebig angeordnet sind; so gilt z. B. sowohl für das Bild 2.2a als auch für das Bild 2.2b: $I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$.

Es ist also unerheblich, wie die stromführenden Leiter miteinander verbunden sind. Entscheidend ist lediglich, dass sämtliche Ströme erfasst werden, die eine (geschlossene) Hüllfläche um den Verzweigungspunkt „durchstoßen“.

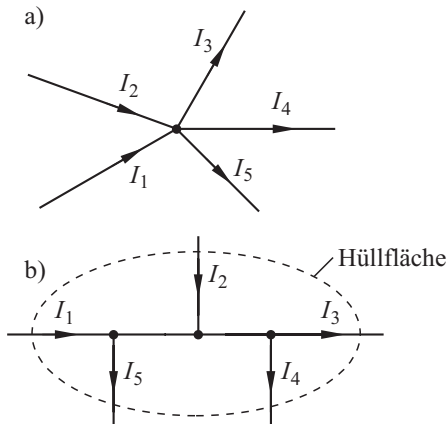


Bild 2.2 Verbindung der stromführenden Leiter in einem Punkt (a) und beliebig (b)

Da man das Gebiet, innerhalb dessen die Leiter miteinander verbunden sind, als **Knoten** (*node*) bezeichnet, wird der durch Gl. (2.4) beschriebene Zusammenhang **Knotensatz** genannt. Vielfach ist hierfür auch die Bezeichnung **1. KIRCHHOFFSCHER SATZ** gebräuchlich.

In der Mechanik gibt es zwei Bedingungen für den Gleichgewichtszustand eines Körpers: das Gleichgewicht der Kräfte und das der Drehmomente. Entsprechend besitzt auch die Elektrotechnik zwei Bedingungen für die stationäre elektrische Strömung. Der Knotensatz ist eine dieser Gleichgewichtsbedingungen; er verlangt, dass sich die Ströme an jedem Knoten »im Gleichgewicht« befinden.

2.2.2 Knotengleichung

Wir sortieren zunächst die Gl. (2.4) so, dass sämtliche Ströme auf *einer* Seite der Gleichung stehen:

$$\sum I_{zu} - \sum I_{ab} = 0 \quad (2.5)$$

Eine einfache mathematische Formulierung des Knotensatzes ergibt sich dann, wenn man z. B. sämtliche Bezugs Pfeile so einzeichnet, dass sie zum Knoten hinweisen. Wegen $\sum I_{ab} = 0$ erhält man damit die Knotengleichung in der Form:

$$\sum I = 0 \quad (2.6)$$

In der Praxis ist die beschriebene einheitliche Zuordnung der Strombezugspfeile „zum Knoten hin“ im Allg. nicht gegeben. Die Gl. (2.6) kann jedoch stets angewendet werden, wenn man vereinbart, dass die *abfließenden* Ströme mit *geändertem* Vorzeichen in die Summe eingesetzt werden.

Beispiel 2.2

Für die Schaltung 2.2 sind folgende Ströme gegeben: $I_1 = 1,5 \text{ A}$; $I_2 = 0,4 \text{ A}$; $I_3 = 1,8 \text{ A}$; $I_4 = 0,6 \text{ A}$. Welcher Strom I_5 fließt und welchen Richtungssinn hat dieser Strom?

Wir tragen in die Knotengleichung (2.6) die dem Knoten zufließenden Ströme positiv und die abfließenden Ströme mit geändertem Vorzeichen, also negativ, ein:

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

Der gesuchte Strom I_5 ist:

$$I_5 = I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = -0,5 \text{ A}$$

Der Richtungssinn dieses Stromes ist entgegengesetzt zu dem im Bild 2.2 eingetragenen Bezugspfeil für I_5 ; der Strom fließt also zum Knoten hin.

Wie schon beschrieben, ergibt der Bezugspfeil eines Stromes nur im Zusammenhang mit dem Vorzeichen des Zahlenwertes eine Aussage über den Richtungssinn (s. Abschnitt 1.2.3).

2.2.3 Parallelschaltung von Widerständen

Derjenige Teil einer Schaltung, in dem ein und derselbe Strom fließt, wird als **Zweig** (*branch*) bezeichnet. Der einfache Stromkreis besteht also aus einem einzigen Zweig. Sind dagegen in einer Schaltung Verzweigungspunkte vorhanden, so besteht die Schaltung aus mehreren Zweigen.

Eine **Parallelschaltung** (*parallel connection*) von Zweigen liegt dann vor, wenn die betreffenden Zweige an *derselben* Zweigspannung liegen. Das Bild 2.3a zeigt als Beispiel die Parallelschaltung der drei Widerstände R_1 , R_2 und R_3 . Für die Ströme in diesen Widerständen gilt:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; I_2 = \frac{U}{R_2}; I_3 = \frac{U}{R_3} \tag{2.7}$$

Die Summe dieser Ströme ist nach dem Knotensatz gleich dem Gesamtstrom I :

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \tag{2.8}$$

Die drei Widerstände lassen sich rein rechnerisch zu einem einzigen Widerstand R_e zusammenfassen, der an derselben Zweigspannung U liegt und den Gesamtstrom

$$I = \frac{U}{R_e} \tag{2.9}$$

aufnimmt; dieser Widerstand wird als **Ersatzwiderstand** (*equivalent resistance*) bezeichnet.

Durch einen Vergleich der Gln. (2.8 und 2.9) erhalten wir den Kehrwert des Ersatzwiderstandes:

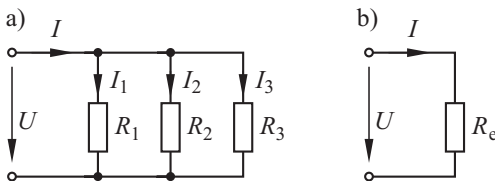


Bild 2.3 Parallelschaltung von drei Widerständen (a) und Ersatzwiderstand (b)

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \tag{2.10}$$

Der Kehrwert des Ersatzwiderstandes einer Parallelschaltung ist gleich der Summe der Kehrwerte sämtlicher Teilwiderstände.

Die Gl. (2.10) ergibt mit der Gl. (1.20) den **Ersatzleitwert** G_e :

$$G_e = G_1 + G_2 + G_3 \tag{2.11}$$

Der Ersatzleitwert einer Parallelschaltung ist gleich der Summe sämtlicher Teilleitwerte.

Beispiel 2.3

Drei Widerstände $R_1 = 50 \Omega$, $R_2 = 75 \Omega$ und $R_3 = 150 \Omega$ liegen parallel an der Spannung $U = 150 \text{ V}$. Wie groß sind der Ersatzwiderstand R_e und der Gesamtstrom I ? Welche Teilströme I_1 , I_2 und I_3 fließen dabei?

Wir setzen die Leitwerte $G_1 = 1/R_1 = 20 \text{ mS}$, $G_2 = 13,33 \text{ mS}$ und $G_3 = 6,67 \text{ mS}$ in die Gl. (2.11) ein und erhalten:

$$G_e = 40 \text{ mS}$$

Der Ersatzwiderstand ist:

$$R_e = \frac{1}{G_e} = 25 \Omega$$

Den Gesamtstrom I und die Teilströme berechnen wir mit der Gl. (1.20):

$$I = G_e U = 40 \text{ mS} \cdot 150 \text{ V} = 6 \text{ A}$$

$$I_1 = G_1 U = 3 \text{ A}; I_2 = 2 \text{ A}; I_3 = 1 \text{ A}$$

Wie das Beispiel zeigt, ist der Ersatzwiderstand einer Parallelschaltung stets kleiner als der kleinste Teilwiderstand.

Schreibt man eine der Gln. (2.7) oder die Gl. (2.9) mithilfe des Leitwerts und dividiert zwei dieser Gleichungen durcheinander, so erhält man den Quotienten zweier Ströme; so gilt zum Beispiel:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{G_1}{G_2} \quad (2.12)$$

Die Ströme einer Parallelschaltung verhalten sich wie die Leitwerte, durch die sie fließen. Diese Aussage, die als **Stromteilerregel** bezeichnet wird, gilt wegen $I = G_e U$ auch für den Ersatzleitwert G_e einer Parallelschaltung:

$$\frac{I_1}{I} = \frac{G_1}{G_e} \quad (2.13)$$

Jeder Zweigstrom verhält sich zum Gesamtstrom einer Parallelschaltung wie der Zweigleitwert zum Ersatzleitwert.

Beispiel 2.4

Durch den Teilwiderstand $R_1 = 100 \Omega$ einer Parallelschaltung von mehreren Widerständen, die den Gesamtstrom $I = 1,2 \text{ A}$ aufnimmt, fließt der Teilstrom $I_1 = 0,5 \text{ A}$. Welchen Gesamtleitwert G_e hat die Schaltung?

Wir setzen $G_1 = 10 \text{ mS}$ und die Ströme in die Gl. (2.13) ein und erhalten: $G_e = 24 \text{ mS}$

Beispiel 2.5

Durch zwei parallel geschaltete Widerstände R_1 und R_2 soll der Gesamtstrom $I = 0,1 \text{ A}$ fließen. Dabei soll in $R_1 = 100 \Omega$ die Leistung $P_1 = 0,36 \text{ W}$ entstehen. Welchen Wert muss der Widerstand R_2 erhalten?

Wir berechnen zunächst den Teilstrom I_1 :

$$P_1 = R_1 I_1^2; \quad I_1 = 0,06 \text{ A} = 60 \text{ mA}$$

Den Teilstrom I_2 berechnen wir mit der Knotengleichung:

$$I_2 = I - I_1 = 0,04 \text{ A}$$

Mit der Gl. (2.12) ergibt sich:

$$G_2 = \frac{I_2}{I_1} G_1 = \frac{I_2}{I_1 R_1} = 6,67 \text{ mS}$$

Der gesuchte Widerstand ist $R_2 = 150 \Omega$.

2.3 Maschensatz

2.3.1 Maschengleichung

Eine **Masche** (*mesh*) ist ein beliebiger, in sich geschlossener Weg, der sowohl über Leiter als auch über Spannungspfeile geführt sein kann. In einer elektrischen Schaltung lassen sich im Allgemeinen mehrere Maschen bilden; dies gilt auch für den einfachen Stromkreis (Bild 2.1).

Als **Maschengleichung** bezeichnet man die Summe aller Spannungen, die zu einer Masche gehören. So ist z. B. die Gl. (2.1) eine Maschengleichung des einfachen Stromkreises (Bild 2.1). Wir stellen sie so um, dass sämtliche Größen auf einer Seite stehen, und erhalten für $U = U_A$ und $I = I_A$:

$$R_i I + U - U_q = 0 \quad (2.14)$$

Die stromabhängige Spannung (z. B. $R_i I$) an einem Widerstand wird **Spannungsfall** genannt.

Für die Spannungen einer Masche setzt man an:

$$\sum U = 0 \quad (2.15)$$

Damit diese Gleichung mit der Gl. (2.14) übereinstimmt, ordnet man der Masche einen **Umlaufsinn** zu und vereinbart, dass diejenigen Spannungen, deren Bezugssinn *nicht* mit dem Umlaufsinn übereinstimmt, mit *geändertem* Vorzeichen in die Gl. (2.15) einzusetzen sind.

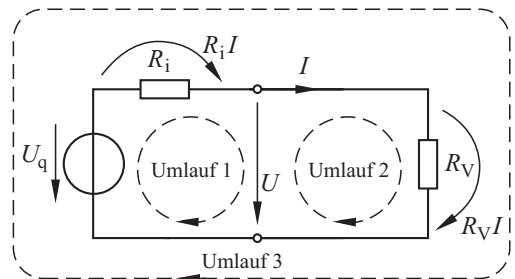


Bild 2.4 Schaltung 2.1 mit möglichen Maschen

Beispiel 2.6

Wir wollen sämtliche Maschengleichungen für die im Bild 2.4 dargestellte Schaltung ermitteln.

Beim Umlauf 1 werden der Spannungsfall $R_1 I$ und die Klemmenspannung U im Bezugssinn durchlaufen, sie werden daher positiv in die Gl. (2.15) eingesetzt.

Die Quellenspannung U_q wird beim Umlauf 1 entgegen dem Bezugssinn durchlaufen, sie wird daher negativ in die Gl. (2.15) eingesetzt:

$$R_1 I + U - U_q = 0$$

Beim Umlauf 2 wird der Spannungsfall $R_V I$ im Bezugssinn und die Klemmenspannung U entgegen dem Bezugssinn durchlaufen:

$$R_V I - U = 0$$

Beim Umlauf 3 werden die Spannungsfälle $R_1 I$ und $R_V I$ im Bezugssinn und die Quellenspannung U_q entgegen dem Bezugssinn durchlaufen:

$$R_1 I + R_V I - U_q = 0$$

Der durch die Gl. (2.15) beschriebene Zusammenhang wird **Maschensatz** genannt. Vielfach ist hierfür auch die Bezeichnung **2. KIRCHHOFFScher Satz** gebräuchlich. Dieser Satz ist die zweite Gleichgewichtsbedingung der Elektrotechnik; er verlangt, dass sämtliche Spannungen auf einem geschlossenen Weg »im Gleichgewicht« sind.

Der einfache, unverzweigte Stromkreis ist der Sonderfall einer Masche, weil dabei überall auf dem Umlaufweg derselbe Strom fließt. Im Allgemeinen trifft man jedoch auf einem Umlauf unterschiedliche Ströme an.

Beispiel 2.7

In den Zweigen der Masche (Bild 2.5), die Teil einer größeren Schaltung ist, fließen die Ströme $I_1 = 0,14$ A und $I_2 = 0,08$ A. Wir wollen die Spannung U_{AB} berechnen.

Zunächst setzen wir die Maschengleichung an:

$$R_1 I_1 + U_{AB} - R_2 I_2 - U_q = 0$$

Damit berechnen wir: $U_{AB} = 17,4$ V

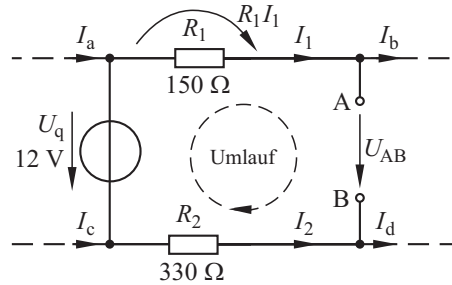


Bild 2.5 Schaltung zum Beispiel 2.7

2.3.2 Potenzial

Da eine Spannung U stets zwischen zwei Punkten wirkt, kann bei Kenntnis sämtlicher Spannungen in einer Schaltung bezüglich eines einzelnen Punktes dieser Schaltung nichts ausgesagt werden. Ein ähnliches Problem tritt z.B. bei der Höhenbestimmung im Gelände auf, bei der lediglich Höhendifferenzen gemessen werden. Um die absolute Höhe angeben zu können, muss ein Nullpunkt willkürlich festgelegt werden (z. B. $NHN=0$ am Pegel Amsterdam).

Jedem einzelnen Punkt einer Schaltung kann eine Größe zugeordnet werden, die als **Potenzial** (*potential*) φ (griech. Buchstabe phi) bezeichnet wird. Eine Spannung U ist eine Potenzialdifferenz. So gilt z. B. für die Spannung U_{AB} im Bild 2.5:

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B \tag{2.16}$$

In einer Schaltung bzw. einem Gerät kann *einem* beliebigen Punkt, der **Bezugspunkt** genannt wird,

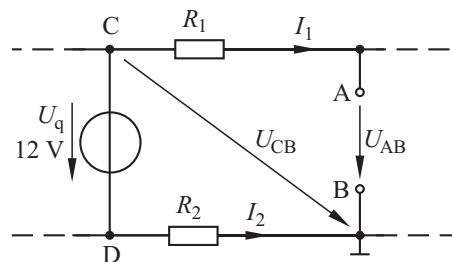


Bild 2.6 Schaltung vom Beispiel 2.7 mit Bezugspotenzial im Punkt B

das **Bezugspotenzial** $\varphi = 0$ V zugeordnet werden. Dieser Punkt wird auch **Masse** genannt; er wird vielfach mit dem Gehäuse des Geräts leitend verbunden, welches mit Erde leitend verbunden („geerdet“) wird. Dadurch wird verhindert, dass zwischen Gehäuse und Umgebung eine gefährliche Spannung auftreten kann (s. Kap. 18).

Der Punkt mit dem Potenzial $\varphi = 0$ wird in einer Schaltung durch das Zeichen \perp gekennzeichnet. Die Spannung zwischen einem Punkt der Schaltung und dem Bezugspunkt ist gleich dem Potenzial dieses Punktes.

Beispiel 2.8

In der Schaltung 2.6 ist der Punkt B geerdet. Welche Potenziale haben die übrigen Punkte?

Zunächst setzen wir $\varphi_B = 0$ in die Gl. (2.16) ein und erhalten:

$$\varphi_A = U_{AB} = 17,4 \text{ V}$$

Dann setzen wir an:

$$U_{DB} = \varphi_D - \varphi_B = R_2 I_2 = 26,4 \text{ V}$$

Mit $\varphi_B = 0$ ergibt sich: $\varphi_D = 26,4 \text{ V}$

Schließlich setzen wir an:

$$U_{CD} = U_q = \varphi_C - \varphi_D = 12 \text{ V}$$

Mit $\varphi_D = 26,4 \text{ V}$ ergibt sich: $\varphi_C = 38,4 \text{ V}$

2.3.3 Reihenschaltung von Widerständen

Bei einer **Reihenschaltung** (*series connection*) von Eintoren wird jedes Eintor vom gleichen Strom I durchflossen. Das Bild 2.7 zeigt als Beispiel die Reihenschaltung von drei Widerständen.

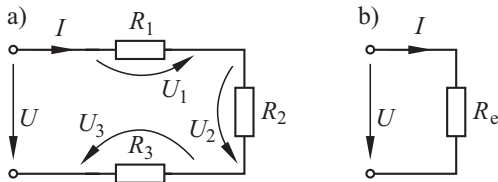


Bild 2.7 Reihenschaltung von drei Widerständen (a) und Ersatzwiderstand (b)

Die drei Widerstände lassen sich rein rechnerisch zu einem **Ersatzwiderstand** R_e zusammenfassen, der vom Strom I durchflossen wird und an der Spannung U liegt:

$$U = R_e I \quad (2.17)$$

Wir lösen die Maschengleichung

$$R_1 I + R_2 I + R_3 I - U = 0 \quad (2.18)$$

nach U auf und erhalten durch einen Koeffizientenvergleich mit der Gl. (2.17):

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 \quad (2.19)$$

Der Ersatzwiderstand einer Reihenschaltung von Widerständen ist gleich der Summe sämtlicher Teilwiderstände.

Die Teilspannungen der Schaltung 2.7 lassen sich als Produkte mit dem Faktor I angeben:

$$U_1 = R_1 I; \quad U_2 = R_2 I; \quad U_3 = R_3 I \quad (2.20)$$

Bei der Division von je zwei dieser Gleichungen kürzt sich der Strom heraus. Man erhält z. B. für die Teilspannungen U_1 und U_2 :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (2.21)$$

Die Spannungen einer Reihenschaltung verhalten sich wie die Widerstände, an denen sie abfallen. Diese Aussage, die als **Spannungsteilerregel** bezeichnet wird, gilt auch für den Ersatzwiderstand R_e der Reihenschaltung:

$$\frac{U_1}{U} = \frac{R_1}{R_e} \quad (2.22)$$

Beispiel 2.9

Zwei in Reihe geschaltete Widerstände $R_1 = 130 \Omega$ und R_2 liegen an der Gesamtspannung $U = 35 \text{ V}$. Welchen Wert muss R_2 für $U_1 = 12,3 \text{ V}$ erhalten?

Wir setzen $U_2 = U - U_1 = 22,7 \text{ V}$ in die Gl. (2.21) ein und berechnen: $R_2 = 239,9 \Omega$

2.4 Ersatzschaltungen

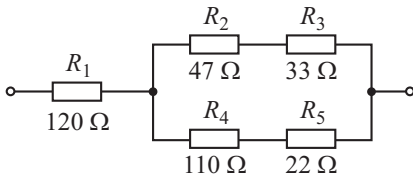
2.4.1 Ersatzwiderstand

Befinden sich in einer Schaltung zwischen zwei Klemmen ausschließlich Widerstände, so können sie durch ihren **Ersatzwiderstand** ersetzt werden.

Der Ersatzwiderstand lässt sich problemlos ermitteln, wenn sich die parallel geschalteten Widerstände einerseits und die in Reihe geschalteten Widerstände andererseits Schritt für Schritt zusammenfassen lassen.

Beispiel 2.10

Wir wollen den Ersatzwiderstand der Schaltung ermitteln.



Zunächst fassen wir die in Reihe geschalteten Widerstände R_2 und R_3 zum Ersatzwiderstand $R_{e23} = 80 \Omega$ sowie R_4 und R_5 zum Ersatzwiderstand $R_{e45} = 132 \Omega$ zusammen.

Dann addieren wir deren Leitwerte und erhalten den Leitwert G_{eP} der Parallelschaltung:

$$G_{eP} = G_{e23} + G_{e45} = 12,5 \text{ mS} + 7,58 \text{ mS} = 20,08 \text{ mS}$$

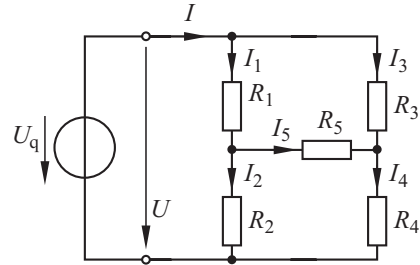
Der gesuchte Ersatzwiderstand ist die Summe von R_1 und $R_{eP} = 1/G_{eP}$:

$$R_e = R_1 + R_{eP} = 120 \Omega + 49,81 \Omega = 169,81 \Omega$$

Wenn das beschriebene Vorgehen nicht zum Ziel führt, schaltet man zweckmäßig eine Quelle an die Schaltung und berechnet mit Maschen- und Knotengleichungen den Gesamtstrom I als Funktion der Gesamtspannung U , womit sich der Ersatzwiderstand $R_e = U/I$ bestimmen lässt.

Beispiel 2.11

Wir wollen den Ersatzwiderstand $R_e = U/I$ der Brückenschaltung berechnen.



Wir lösen die Knotengleichungen

$$I - I_1 - I_3 = 0; \quad I_1 - I_2 - I_5 = 0; \quad I_3 + I_5 - I_4 = 0$$

und die Maschengleichungen

$$R_1 I_1 + R_2 I_2 - U = 0$$

$$R_3 I_3 + R_4 I_4 - U = 0$$

$$R_1 I_1 + R_5 I_5 - R_3 I_3 = 0$$

nach dem Strom I auf und berechnen mit den Abkürzungen

$$R_{12} = R_1 + R_2; \quad R_{34} = R_3 + R_4$$

den Ersatzwiderstand $R_e = U/I$:

$$R_e = \frac{U}{I} = \frac{R_{12} \cdot (R_3 R_4 + R_{34} R_5) + R_1 R_2 R_{34}}{(R_{12} + R_{34}) R_5 + (R_1 + R_3) \cdot (R_2 + R_4)}$$

2.4.2 Ersatzquelle

Enthält eine Schaltung zwischen zwei Klemmen außer Widerständen auch eine oder mehrere Quellen, so kann diese Schaltung durch eine **Ersatzquelle** ersetzt werden. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten:

- die Schaltung wird durch eine lineare Spannungsquelle mit der Quellenspannung U_{qe} und dem Innenwiderstand R_{ie} ersetzt (Bild 2.8a); man bezeichnet dies auch als **THÉVENIN-Theorem**.
- die Schaltung wird durch eine lineare Stromquelle mit dem Quellenstrom I_{qe} und dem Innenleitwert G_{ie} ersetzt (Bild 2.8b); man spricht dabei auch vom **NORTON-Theorem**.

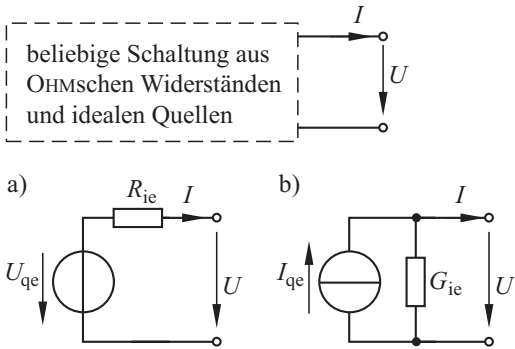


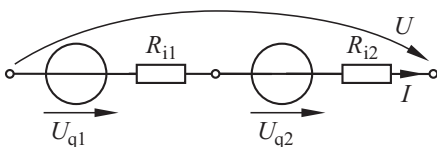
Bild 2.8 Teil einer linearen Schaltung zwischen zwei Knoten und Ersatzquellen:
 (a) lineare Spannungsquelle, (b) lineare Stromquelle

Die Quellenspannung U_{qe} der Ersatzquelle ist die Leerlaufspannung U_0 des zu ersetzenden Schaltungsteils. Entsprechend ist der Quellenstrom I_{qe} der Ersatzquelle gleich dem Kurzschlussstrom I_k des zu ersetzenden Schaltungsteils. Da nur *eine* der beiden Größen benötigt wird, bestimmt man zweckmäßig diejenige, die sich einfacher ermitteln lässt.

Der Innenwiderstand R_{ie} bzw. der Innenleitwert G_{ie} der Ersatzquelle kann dadurch bestimmt werden, dass man sich die zu ersetzende Schaltung *quellenfrei* denkt: Jede ideale Spannungsquelle wird durch einen Kurzschluss und jede ideale Stromquelle durch eine Unterbrechung des Leiterweges ersetzt. Der Widerstand zwischen den Klemmen der quellenfreien Schaltung ist der Innenwiderstand R_{ie} ; entsprechend ist der Leitwert zwischen den Klemmen der quellenfreien Schaltung gleich dem Innenleitwert G_{ie} .

Beispiel 2.12

Zwei Batterien $U_{q1} = 1,5 \text{ V}$; $R_{i1} = 0,02 \text{ } \Omega$ und $U_{q2} = 1,2 \text{ V}$; $R_{i2} = 0,03 \text{ } \Omega$ sind in Reihe geschaltet. Wir wollen die Kenngrößen der Ersatzquellen berechnen.



Für Leerlauf ($I = 0$) ergibt die Maschengleichung $U_{q1} + U_{q2} - U = 0$ die Leerlaufspannung $U = U_0$ der Reihenschaltung. Diese Leerlaufspannung ist die Quellenspannung der Ersatzquelle:

$$U_{qe} = U_0 = U_{q1} + U_{q2} = 2,7 \text{ V}$$

Nun denken wir uns die Reihenschaltung quellenfrei und ersetzen jede ideale Spannungsquelle durch eine Kurzschlussverbindung. Dabei bleibt die Reihenschaltung der Innenwiderstände übrig:

$$R_{ie} = R_{i1} + R_{i2} = 0,05 \text{ } \Omega$$

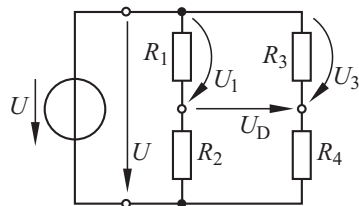
Der Innenleitwert ist $G_{ie} = 1/R_{ie} = 20 \text{ S}$. Der Quellenstrom der Ersatzquelle ist:

$$I_{qe} = G_{ie} U_{qe} = 54 \text{ A}$$

Wie schon im Abschnitt 1.5.3 erläutert, sind die Ersatzspannungsquelle und die Ersatzstromquelle gleichwertig. Deshalb ist es im Allgemeinen nicht erforderlich, beide Ersatzquellen zu bestimmen, und man begnügt sich mit derjenigen Quelle, deren Größen sich einfacher ermitteln lassen.

Beispiel 2.13

Wir wollen die Ersatzquelle der von einer idealen Spannungsquelle gespeisten Brückenschaltung ermitteln.



Zunächst berechnen wir die Spannungen U_1 und U_3 mit der Spannungsteilerregel:

$$U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}; \quad U_3 = U \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

Die Ersatzquellenspannung U_{qe} ist die Diagonalspannung U_D der unbelasteten Brücke.

Sachwortverzeichnis

- Ableich 240
- Abhitzekegel 320
- Abschnürbereich 99
- Abschnürspannung 98
- Abschwächer 230
- Abspannmast 325
- Abtastrate 236
- Abtasttheorem 236
- Abweichung, relative 223
- , systematische 223
- AC 230
- AC-Servomotor 207
- ADC 232
- AD-Wandler, paralleler 234
- Addition von Dualzahlen 128
- Äquipotenzialfläche 42
- AGND 102
- Akkumulator 142
- Aktor 256
- Akzeptor 95
- Alkali-Mangan-Zelle 141
- ALT 230
- Ampere 14
- Amperemeter 16
- Amplitude 39
- Amplitudenspektrum 246
- Amplitudentastung 297
- Analog-Digital-Wandler 232
- Anfangsbedingung 47, 64
- Anfangswert 63
- Anionen 137
- Anker 66, 160, 193
- Ankerquerfeld 167
- Ankerrückwirkung 168, 195
- Ankerverluste 166
- Anlasser 17, 172
- Anlasstransformator 184
- Anlauf 219
- Anlaufbereich 99
- Anlaufkondensator 192
- Anlaufstrom 183
- Anode 91, 137
- Anreicherungs-MOSFET 99
- Anstiegsgeschwindigkeit 109
- Antenne, isotrope 309
- Antennengewinn 309
- Antrieb, elektrischer 215
- Anzeige 223
- Anzeigebereich 232
- APD 303
- aperiodischer Fall 262
- aperiodischer Grenzfall 262
- Approximation, sukzessive 234
- Arbeitspunkt 26, 215
- Arbeitstabelle 133
- Arbitrierungsverfahren 317
- Aron-Schaltung 248
- ASCII-Code 296
- ASI-Bus 256
- ASIC 135
- Asynchronmaschine 174, 191
- , synchronisierte 190
- ATN 2340
- Atomuhr 251
- Auflösung 224, 232
- Ausbreitungsgeschwindigkeit 303
- Ausbreitungswiderstand 324
- Ausgleich 263
- Außenleiterspannung 81
- Aussetzbetrieb 217

- B2C 278
- B2HZ 278
- Bändermodell 92
- Bandabstand 93
- Bandabstand-Referenz 234
- Bandbreite 114
- Bandmittenfrequenz 114
- Bandpass 114
- Bariumtitanat 87
- Barkhausen-Schaltung 205
- Basis 100
- Basiseinheit 223, 336
- Basisisolierung 331
- Batterie 140
- Baud 297
- Bauform 213
- BCD-Code 132
- Beharrungstemperatur 211
- Belastung, symmetrische 82
- Beleuchtungsstärke 96
- Bemessungsleistung 88
- Bemessungsspannung 88
- Bereich, verbotener 133
- Bernstein 11
- Berührungsspannung 328
- Beschleunigungsmoment 219
- Betrieb, dynamischer 219
- , stationärer 215
- Betriebserdung 328
- Betriebsfall, ungünstigster 133
- Betriebskondensator 192

- Bezugserde 328
- Bezugsknoten 35
- Bezugspfeil 13
- Bezugspotenzial 31
- Bezugspunkt 30
- Bezugssinn 13, 16
- Bezugstemperatur 22
- Binärteiler 126
- Binärzeichen 296
- Binärziffer 115
- bit 115, 293
- Bipolartransistor 100
- BITBUS 317
- Bitrate 297
- Bitraten-Längen-Produkt 298
- BJT 100
- Bleiakkumulator 142
- Blindarbeit 73
- Blindleistung 72
- Blindleitwert 70
- Blindstromkompensation 323
- Blindwiderstand 70
- Blocksteuerung 287
- Bode-Diagramm 113
- Boolesche Algebra 117
- Braunsche Röhre 228
- Bremsbetrieb 173, 179, 190
- Brems-Chopper 292
- Bremsversuch 162
- Bremswächter 190
- Brennstoffzelle 144
- Brückenschaltung 32, 34, 240, 275
- , halbgesteuerte 281
- , spannungsgespeiste 240
- , stromgespeiste 240
- , vollgesteuerte 280
- Buchholz-Relais 156
- Bündelleiter 326
- Bürde 157
- Bürstenfeuer 164
- Bürstenhalter 164
- Bürstenstern 165
- Bürstenverluste 166
- Bulk 99
- Bus 238, 298
- Bussystem 136
- Bus-Topologie 312
- Buszugriff 298
- Buszugriffsverfahren 257
- Byte 296

- CAN-Bus 257, 317
 Candela 96, 336
 CE-Konformitätserklärung 252
 Celsius-Temperatur 22
 CENELEC 252
 chip 135
 CHOP 230
 CIS-Zelle 95
 CMOS-Inverter 116
 CMRR 109
 Codierer 132
 COM-Port 299
 Controller 238
 Coulomb 11
 CPLD 135
 CPU 254, 255
 CRC-Verfahren 308
 CRT 228
 CSMA/CD 313
 Curie-Temperatur 54

 DAB 296
 d-Achse 199
 Dämpferkäfig 193
 Dämpfung 297
 Dämpfungsgrad 262
 Dämpfungskoeffizient 298
 Dahlander-Schaltung 186
 Daniell-Element 140
 Datenbus 237
 Datenprotokoll 299
 Datenrate 297
 Datentelegramm 299
 Dauerbetrieb 216
 Dauerkurzschlussstrom 149, 196
 Dauermagnet 48
 dB 108
 DC 230
 Dehnung 243
 Dehnungsmessstreifen 243
 Dekodierer 132
 De Morgan, Gesetz von 118
 Dezibel 108
 D-Flipflop 129
 Diagonalspannung 240
 diamagnetisch 53
 Diaphragma 140
 Dielektrikum 43
 Differenz-Eingangsspannung 107
 Diffusion 93
 Diffusionsspannung 93

 Digital-Analog-Wandler 237
 Digital-Multimeter 235
 Dimmer 293
 Diode 91, 94, 268
 Dipol 46, 308
 Direkt-Methanol-FC 145
 Disjunktion 115
 Dissoziation 137
 div 228
 DMFC 145
 DMS 243
 Donator 93
 don't-care-position 119
 Doppelschlussmotor 172
 Doppelstabläufer 185
 Doppelwandler 334
 Dotierung 13, 93
 download 136
 Drahtantenne 308
 drahtlos 307
 Drain 98
 DRAM 131
 D-Regler 263
 Dreheisenmesswerk 226
 Drehfeld, gegenläufiges 191
 - , mitläufiges 191
 Drehfelddrehzahl 161
 Drehfeldmaschine 160
 Drehmoment, inneres 167, 176
 - , synchronisierendes 200
 Drehrichtungswechsel 173
 Drehspulmesswerk 225
 Drehstrom 80
 Drehstrombank 152
 Drehstromsteller 289
 Drehstrom-Transformator 146, 152
 Drehtransformator 189
 Drehzahlstellung 259
 Dreieckschaltung 83
 Dreiecksspannung 83
 Dreieckstrom 83
 Dreileiternetz 83, 248
 Dreiphasensystem 80
 Drift 241
 Drossel 76
 D-Strecke 261
 Dualzahl 127
 duplex 295
 Durchbruchbereich 92

 Durchflutung 51
 Durchflutungsgesetz 51
 Durchgangsleistung 156
 Durchkontaktierung 134
 Durchlassbereich 91, 112
 Durchlassstrom 91
 DVB 296

 Echt-Effektivwert 235
 Echtzeit-Ethernet 317
 EEPROM 131
 Effektivwert 38
 Effektivwertzeiger 41
 Eigenfrequenz 200, 262
 Eigenkühlung 210
 Eigenleitfähigkeit 93, 271
 Eigenwelle 304
 Eindrahtnachricht 240
 Einflussgröße 224
 Eingangs-Offsetspannung 109
 Eingangs-Offsetstrom 109
 Eingangs-Ruhestrom 109
 Einheiten 223, 336
 Einphasen-Asynchronmotor 191
 Einphasen-Transformator 146
 Einpuls-Schaltung 274
 Einschaltverhältnis 283
 Eintor 17
 Eintorgleichung 25
 Einzelkompensation 324
 Eisenfüllfaktor 65
 Eisenkern 154
 Eisenlinie 179
 Eisenverluste 66, 147, 148, 166
 Eisenverlustwiderstand 147
 elektrisch 11
 Elektrizitätszähler 237
 Elektrolech 54, 65
 Elektrode 43, 137
 Elektrolyse 139
 Elektrolyt 137
 Elektrolytkondensator 89
 Elektrolytkupfer 139
 Elektromagnet 48, 66
 Elektrometer 236
 Elektronengas 12
 Elektronikmotor 206
 Elementarladung 11, 342
 embedded controller 255
 EMC 252
 Emitter 100

- Emitterschaltung 106
 Empfänger 300
 Empfindlichkeit 232, 243
 EMV 252, 294
 EMV-Gesetz 252
 Endwert 47, 63
 Energie des Kondensators 45
 Energie, magnetische 62
 - , thermische 19
 Energie-Ausnutzungsfaktor 143
 Energiemessung 249
 Entladung, elektrostatische 135
 EOI 240
 EPROM 131
 Erder 328
 Erdseil 326
 Erregerstrom 163
 Erregung 160
 Ersatzgrößen 245
 Ersatzzeitwert 28, 79
 Ersatzquelle 32, 33
 Ersatz-Reihenwiderstand 89
 Ersatzwiderstand 28, 31, 32, 79
 Erwärmung 210
 Erzeuger 16
 ESD 135
 ESR 89
 Ethernet 312
 - , drahtloses 314
 eV 93
 Exklusiv-ODER 128
 Explosionsschutz 214

 FAN 316
 Farad 43
 Faraday-Konstante 138
 Faradaysche Gesetze 138
 Farbcode 86
 Fast Ethernet 311
 FC 144
 Fehler 224, 228
 Fehlerstrom-Schutzschalter 331
 Feld, elektrisches 42
 - , homogenes 42, 49
 - , inhomogenes 43
 - , magnetisches 48
 Feldbus 256, 316
 Feldebene 256
 Feldeffekttransistor 96
 Feldkonstante, elektrische 44, 342
 - , magnetische 50, 342

 Feldlinien 42, 48
 Feldstärke, elektrische 20, 42
 - , magnetische 50
 Feldverluste 166
 Feldwicklung 163
 Fenster, optisches 305
 ferromagnetisch 53
 Festwertregelung 260
 FET 98
 FFT 246
 Filter 112
 - , aktive 112
 FI-Schutzschalter 331
 Flash-Converter 234
 Flipflop 120
 - , getaktetes 121
 - , taktflankengesteuertes 122
 - , taktzustandgesteuertes 122
 Flüssigkristallelement 132
 Fluss, magnetischer 50
 Flussdichte, elektrische 44
 - , magnetische 50
 Flussteuerung 259
 Folgeregelung 260
 Formfaktor 40
 Fourier-Reihe 246
 FPGA 136
 Freilaufdiode 271, 283
 Freilaufzweig 281
 Freileitung 325
 Freiraumausbreitung 310
 Fremdinduktion 61
 Fremdkühlung 210
 Frequenz 37
 frequenzkompensiert 230
 Frequenzteiler 126
 - , asynchroner 127
 - , synchroner 127
 Frequenzumrichter 269, 270, 286
 Frequenzumtastung 297
 Frequenzwandler 190
 FTP 316
 Führungsgröße 260
 fullcustom IC 135
 Fundamenterder 328
 Funkkanal 307
 Funktion 258
 Funktionsbaustein 258
 Funkuhr 251

 Gage-Faktor 243
 Galvanisches Bad 138
 Galvanisches Element 139, 140
 Galvanoplastik 138
 Galvanostegie 138
 Galvanotechnik 138
 GaN 269
 Garantiefehlergrenze 224
 Gate 98, 271
 Gatter 115
 Gegenkopplung 109
 Gegenstrombremsung 173, 190
 Genauigkeit 224
 Genauigkeitsklasse 223
 Generation 93
 Generator 160
 Generatorbetrieb 190
 gesättigt 53
 Gesetz, assoziatives 118
 - , distributives 118
 - , kommutatives 118
 - von De Morgan 118
 gesteuert 275
 Getriebemotor 221
 Gießharztransformator 156
 Gigabit Ethernet 311
 Glättung 276
 Glättungsrossel 277
 Gleichanalyse 102
 Gleichfeldmaschine 160
 Gleichpolmotor 209
 Gleichrichten 270
 Gleichrichtung 37
 Gleichrichtwert 38
 Gleichspannung 13
 Gleichspannungsverstärker 108
 Gleichspannungs-Zwischenkr. 282
 Gleichstrom 14
 Gleichstrombremsung 190
 Gleichstrommagnet 66
 Gleichstrommaschine 163
 Gleichstromsteller 282
 Gleichstromumrichten 270
 Gleichtaktunterdrückung 109
 Gleichwert 37
 GND 230
 GPIB 238
 Gradientenprofil 304
 Grenzfrequenz 112
 Großsignalanalyse 104
 Grundeintore 69

- Grundgatter 116
 Grundlast 321
 Grundschiwingung 246
 Grundverknüpfung 115
 Gruppenkompensation 324
 GuD 320

 Halbaddierer 128
 Halbbrücke 241
 Halbelement 140
 Halbleiter 13, 92
 Halbleiter-Temperatursensor 244
 Halbschrittbetrieb 208
 Hall-Effekt 68
 Hall-Generator 68
 Hall-Spannung 68
 Halteglied 258
 Handshakebus 239
 Hauptfeld 167
 Hauptfeldspannung 148
 Hauptfluss 147
 Hauptpol 163
 Hauptpotenzialausgleich 331
 Hauptreaktanztanz 147
 HCS 305
 Henry 56, 61
 Hertz 37
 Heterodiode 97
 Heylandkreis 178
 HGÜ 326
 HIGH 133
 Hochpass 113
 Hochsetzsteller 282
 Hochspannung 322
 Hochstab 185
 Hochtemperatur-Supraleiter 23
 Hornstrahler 308
 Host-Controller 314
 HP-IB 238
 HTS 23
 HTTP 316
 hub 313
 Hysteresemotor 208
 Hystereseschleife 54
 Hystereseverluste 65

 IC 47, 64, 103, 107, 132
 IEC 238, 252
 IEC-Bus 238
 IEEE 238, 309
 IFC 240

 IGBT 269, 273
 IGFET 98
 Impedanz 70
 Induktion 58
 Induktion bei Drehbewegung 60
 Induktion bei ruhender Spule 60
 Induktionsgesetz 58
 Induktionsmesswerk 227
 Induktionsschleife 255
 Induktivität 61
 Induktor 160
 Industrial-Ethernet 314
 Industrie-PC 254
 Innenleitwert 24
 Innenwiderstand 24
 Inselbetrieb 196
 Integrierer 111
 Intensitätsmodulation 306
 INTERBUS 257, 317
 Internet-Protokoll 314
 Ion 12, 137
 ionisiert 12
 IP 214, 314
 IPC 254
 I-Regler 263
 i-Schicht 271
 ISDN-Anschluss 301
 Isolator 12, 92
 Isolierschicht-FET 99
 Isolierstoffklasse 210
 Isthmus 207
 I-Strecke 261
 Ist-Zustand 253

 JFET 98
 JK-Flipflop 122

 Kabel 295, 326
 Käfigläufer 183
 Kalander 215
 Kaltleiter 22
 Kanal 98
 Kanalcodierung 296
 Kapazität 43, 143
 Kappsches Dreieck 150
 Kathode 93, 137
 Kationen 137
 Keilstab 185
 Kern 304

 Kernkräfte 11
 Kerntyp 154
 Kippmoment 178, 198
 Kippschaltung, monostabile 124
 Kippschlupf 178
 Kirchhoffscher Satz 27, 30
 Kleinmotor 204
 Kleinsignalanalyse 104
 Kleintransformator 146, 158
 Klirrfaktor 246
 Knopfzelle 141
 Knoten 27
 Knotenpotenzialverfahren 35
 Knotensatz 27, 78
 Knotenspannung 35
 Körper 330
 Körperschluss 330
 Koerzitivfeldstärke 54
 Kohlebürsten 164
 Kollektor 100
 Kollision 312
 Kommutator 163
 Kommutierung 166, 278
 Kommutierungsdrossel 277
 Kommutierungsspannung 278
 Komparator 123
 Kompensation 109, 323
 Kompensationswicklung 169
 Komplement 129
 Kondensator 43
 Konformitätserklärung 252
 konjugiert komplexer Strom 75
 Konjunktion 115
 Korrosion 145
 Kraft auf eine Ladung 68
 Kraft auf Leiter 68
 Kraftmessdose 243
 Kraftsensor 243
 Kraft-Wärme-Kopplung 321
 Kraftwerk 319
 Kreisfrequenz 39
 Kreisringspule 52
 Kreiszahl 342
 Kryolith 139
 Kühler, thermoelektrischer 92
 Kühlung 210
 Kupferverluste 147, 150, 175, 175
 Kurzschluss 23
 Kurzschlussläufer-Motor 183
 Kurzschlussreaktanztanz 149

- Kurzschlussspannung 149
 Kurzschlussstrom 23
 Kurzschlussverluste 150
 Kurzschlussversuch 181
 Kurzstatormotor 202
 Kurzzeitbetrieb 217
 Kusa-Schaltung 294
- Ladung 11
 Läufer 160
 Läufereschiene 202
 Läuferstillstandspannung 175
 Lagerschild 165
 Lamelle 163
 LAN 296, 304, 312
 Langstabilisator 325
 Langstatormotor 203
 LASER-Betrieb 306
 LASER-Diode 303
 Last, symmetrische 248
 Laufzeitverzögerung 126, 133
 Lawinen-Photodiode 306
 LCD 132
 LED 96, 132, 303
 Leerlaufspannung 23
 Leerlaufstrom 148
 Leerlaufverluste 148
 Leerlaufversuch 180
 Leistung, innere 166, 175
 -, natürliche 326
 -, mechanische 176
 Leistungselektronik 269
 Leistungsfaktor 73
 Leistungshalbleiter 270
 Leistungsmessung 247
 Leistungsschild 214
 Leistungsschwingung 72
 Leistungstransformator 146
 Leiter 12
 -, linearer 20
 Leiterbahnenflechtung 134
 Leiterplatte 134
 Leitfähigkeit 20
 Leitung 295
 Leitungsband 94
 Leitungsschutzschalter 328
 Leitungsschutzsicherung 327
 Leitwert, elektrischer 20
 -, komplexer 70
 -, magnetischer 56
 Lenzsches Gesetz 59
- Lesen 129
 Leuchtdiode 96, 132, 303
 Lichtausbeute 97
 Lichtgeschwindigkeit 342
 Lichtmaschine 18, 273
 Lichtstärke 96
 Lichtstrom 96
 Lichtwellenleiter 303
 Linearmotor 202
 Linkslauf 163
 Listener 238
 Lithium-Iod-Batterie 141
 Lithium-Ionen-Akku 144
 Loch 93
 Lötauge 134
 Logikfamilie 133
 Logikpegel 133
 Lokalelement 145
 Lorentzkraft 68
 Losbrechmoment 215
 LOW 133
 Luftspalt 57, 160
 Luftspaltleistung 175
 Luftspaltlinie 178
 Lumen 96
 Lumineszenzdiode 96, 132
 Lux 96
- M3C 278
 MAC-Adresse 312
 Magnet 48
 magnetisch hart 54
 magnetisch weich 54
 Magnetisierungskurve 54
 Magnetisierungsstrom 147
 Magnetläufermotor 208
 Magnetostriktion 54
 Magnetventil 256
 Mantel 304
 Manteltyp 154
 Masche 29
 Maschengleichung 29
 Maschensatz 30, 78
 Maschinentransformator 152
 Masse 31
 -, molare 138
 Master 257
 Master-Slave-Flipflop 122
 Master-Slave-Prinzip 317, 318
 Maxwell-Wien-Brücke 250
- memory-Effekt 144
 Messbrücke 240
 Messgerät, elektrodynamisches 227
 Messverfahren 223
 Messwandler 157
 Messwert 223
 Methan 320
 Mikanit 164
 Mikroprozessor 254
 Millmotor 169
 Minterm 119
 Mischspannung 37
 Mischstrom 37
 Mitkopplung 109
 Mittellast 321
 Mittelspannung 152, 321
 Mittelpunktsschaltung 275, 280
 MK-Kondensator 89
 Modell 12
 MODEM 130, 301
 Monoflop 124, 125
 Monomode-LWL 304
 Monopol 308
 MOSFET 98, 272
 Motor 160
 -, fremderregter 171
 Motorvollschutz 213
 MP-Kondensator 88
 MPP 96
 Multi-Master-System 257
 Multimeter 226
 Multimode-LWL 304
 Multitasking 257
 Multivibrator, astabiler 125
- naheilen 39
 Näherungssensor 255
 NAND-Gatter 117
 Nebenschlusskennlinie 170
 Nebenschlussmotor 169
 Nebenwiderstand 225
 Negation 115
 Negativlogik 134
 Nennleistung 150
 Nennspannung 148
 Nennwirkungsgrad 151
 Netz 35
 -, lokales 299, 307, 312
 Netzdiode 271
 Netzwerk 35
 Netzwerkanalyse 35, 101

- Neukurve 53
 Neutralleiter 81
 Neutralleiterstrom 82
 Nichtleiter 12
 NICHT-Verknüpfung 115
 Nickel-Cadmium-Akku 143
 Nickel-MH-Akku 144
 Niederspannung 152, 321
 NIGFET 98
 n-Leiter 93
 NMOS-Transistor 99
 Nordpol 48
 Normalform, disjunktive 119
 Normalzuordnung 134
 Norton-Theorem 32
 NTC-Widerstand 88
 Nullphasenwinkel 39
 Nullzustand 284, 287
 Nur-Lese-Speicher 131
 Nutzbremmung 173

 Oberflächenerder 328
 oberflächenmontiert 134
 Oberschwingung 246
 Oberspannungswicklung 146
 ODER-Verknüpfung 113
 Öffner 254
 Offshore-Windpark 320
 Ohm 19
 Ohmscher Widerstand 20, 86
 Ohmsches Gesetz 20
 Operationsverstärker 107
 -, kompensierter 109
 -, realer 109
 Optokoppler 256
 Ortskurve 79
 OSI-Modell 312
 Oszillator, digitaler 125
 Oszilloskop 228
 Oxidation 139

 PAFC 145
 PAL 136
 PAM 289
 PAN 318
 Parallelbetrieb 153
 Parallelregister 129
 Parallelresonanz 78
 Parallelschaltung 28, 77
 Parallel-Serien-Wandlung 130
 Parallelwicklung 156
 paramagnetisch 53

 PARAM 103
 Parameter 102
 Paritätsbit 299
 PCB 134
 PCS 305
 PE 332
 Peltier-Effekt 90
 PEM-FC 144
 PEN-Leiter 332
 Pendelmoment 208
 Pendelungen 201
 Periodendauer 37
 periodisch 37
 periodischer Fall 262
 Permeabilität 52
 Permeabilitätszahl 52
 Permittivität 44
 Permittivitätszahl 44
 P-Form 41
 Phasenanschnittsteuerung 277
 Phasenspektrum 246
 Phasenverschiebungswinkel 39
 phasenverschoben 39
 Phasenwinkel 39
 Photodiode 303
 PID-Regler 263, 267
 piezoelektrischer Effekt 125
 Piezowandler 256
 pin-Diode 271
 pin-Photodiode 306
 Planartechnik 135
 Plattenkondensator 43
 PLD 135
 p-Leiter 93
 PM-DC-Motor 205
 -, bürstenloser 206
 PM-Motor 209
 PMOS-Transistor 99
 P-NET 256
 pn-Übergang 93
 POF 305
 Pol 17, 48
 Polarisierung 309
 Polarisationsverluste 48
 Polkern 165
 Polpaarzahl 160
 Polrad 193
 Polradspannung 195
 Polradwinkel 197
 Polschuh 165
 Positivlogik 134

 Potenziometer 87
 Potenzial 30
 Präambel 311
 P-Regler 263
 Primärelement 140
 Primärenergie 319
 Primärspannung 146
 Primärwicklung 146
 Probe 101
 PROFIBUS 256, 317
 programmierbare Logik 135
 PROM 131
 Proportionalstrecke 261
 Prozess 253
 PSpice 101
 P-Strecke 261
 P-T₁-Strecke 261
 P-T₂-Strecke 262
 PTB 237, 251
 PTC-Widerstand 87
 Puls-Amplituden-Modulation 289
 Pulsmuster 289
 Pulsstromrichter 289
 Pulsweite 283
 Puls-Weiten-Modulation 282, 289
 Pulszahl 275
 Punkt maximaler Leistung 96
 Punkt-zu-Punkt-Verbindung 298
 PWM 282, 289

 q-Achse 199
 Quantisierungsfehler 232
 Quarz 125
 Quelle 15, 23
 -, lineare 24
 Quellenspannung 24
 Quellenstrom 24

 RAM 131
 Raumwinkel 96
 Raumzeiger 290
 Raumzeiger-Modulation 289
 Reaktionsmoment 193, 199
 Reaktanz 70
 -, synchrone 195
 Rechtslauf 163
 Redoxreaktion 139
 Reduktion 139
 Redundanz 115
 Referenz-Spannungsquelle 234

- Reflektorantenne 308
 Regeldifferenz 260
 Regeleinrichtung 260
 Regelgröße 260
 Regelkreis 260
 Regelstrecke 260
 Regelung 253
 Register 129
 Regler 260
 - , differenzierender 263
 - , integrierender 263
 - , proportional wirkender 263
 - , stetiger 263
 Reibungselektrizität 135
 Reibungsverluste 166
 Reihenresonanz 76
 Reihenschaltung 31, 75
 Reihenschlussmotor 171
 Reihenschaltung 156
 Rekombination 95
 Relais 254
 Reluktanzmotor 200, 208
 Remanenzflussdichte 53
 REN 240
 Resolver 242
 Resonanzfrequenz 76, 78
 Resonanzüberhöhung 76, 78
 R-Form 41
 Richtdiagramm 308
 Richtungssinn 13, 15
 Ringzähler 130
 RMS 38
 ROM 131
 - , programmierbares 131
 Rost 145
 Rotor 160
 RS-232-Schnittstelle 131, 299
 RS-422-Schnittstelle 301
 RS-485-Schnittstelle 131, 302
 RS-Flipflop 120
 Rückkopplung 109
 Rückstellmoment 200
 Rundfeuer 168
 Rundstab 185

 Sättigung 53
 Sattelmoment 219
 Schaltalgebra 117
 Schaltgruppe 152
 Schalthysterese 124
 Schaltnetz 120
 Schaltperiode 283
 Schaltung, analoge 105
 - , integrierte 107, 132, 134
 - , zweiwertige 115
 Schaltwerk 120
 Scheibenläufer-Motor 206
 Scheinleistung 72
 Scheinleitwert 70
 Scheinwiderstand 70
 Scheitelwert 37
 Schematics 101
 Schenkelpolmaschine 193
 Schicht 315
 Schieberegister 130
 Schleifringläufer-Motor 187
 Schließer 254
 Schlupf 174
 Schmitt-Trigger 124
 Schnittstelle 295
 Schottky-Diode 95
 Schreiben 129
 Schrittmotor 208
 Schrittspannung 328
 Schrittwinkel 208
 Schütz 254
 Schutz
 - , bei indirektem Berühren 329
 - , gegen direktes Berühren 329
 Schutzart 214
 Schutzisolation 333
 Schutzkleinspannung 330
 Schutzleiter 332
 Schutzschicht 304
 Schutztrennung 333
 Schweißtransformator 158
 Schwellenspannung 99
 Schwingung 37
 - , nullphasige 39
 Schwingungsbreite 37
 Schwingungszustand 80
 Schwungmoment 218
 Seebeck-Effekt 90
 Seebeck-Koeffizient 90
 Sekundärelement 142
 Sekundärspannung 146
 Sekundärwicklung 146
 Selbsthaltung 213
 Selbstinduktion 61
 Selbstinduktivität 61
 Selbstkühlung 210
 Selektivität 328
 SE-Magnete 202
 semicustom IC 135
 Sender 300
 Sensor 223, 241 ff.
 - , induktiver 242
 - , kapazitiver 242
 - , potenziometrischer 241
 Servomotor 207, 256
 SHE 140
 shunt 225
 SI 223
 SiC 269
 Sicherung 327
 Siemens 20
 Signal 106, 297
 Signalverzerrung 297
 Silberoxid-Zink-Batterie 141
 Silikatglas 305
 Silizium 92
 simplex 295
 Simulation, rechnergestützte 101
 Sinusanalyse 104
 Sinusgröße 39
 Sinusspannung 39
 Sinusstrom 39
 Six-Pack 274
 Skalar 13
 Slave 257
 slew rate 109
 SMD 134
 SMTP 316
 Solarmodul 95
 Solarzelle 94
 Soll-Zustand 253
 Source 96
 Spaltpolmotor 207
 Spannung, elektrische 13
 - , magnetische 56
 - , wiederkehrende 89
 Spannungsänderung 150
 Spannungsebene 322
 Spannungseisen 228
 Spannungsfall 29
 Spannungsfolger 111
 Spannungs-Frequenz-Betrieb 288
 Spannungspfad 227
 Spannungsquelle 24
 - , spannungsgesteuerte 266
 Spannungsreihe, elektrochemische 140

- Spannungsstabilisierung 105
 Spannungssteuerung 259
 Spannungsteiler 87
 Spannungsteilerregel 31
 Spannungs-Übertragungsfaktor 108
 Spannungswandler 157
 Spannungszustand 284
 Spartransformator 156
 Speicher mit beliebig. Zugriff 131
 speicherprogrammierbar 254
 Spektrum 246
 Spektrumanalysator 246
 Sperrbereich 91, 112
 Sperrschicht 93
 Sperrschicht-FET 98
 Sperrstrom 91
 Sperrverzugszeit 271
 SPICE 101
 Spitzenlast 321
 Spitze-Spitze-Wert 37
 Sprungantwort 261
 Sprungtemperatur 23
 SPS 254
 Spule 51
 SR 109
 SRAM 131
 SRQ 240
 Stabilisierungsschaltung 105
 Stabilität 268
 -, statische 221
 Ständer 160
 Ständeranlasser 184
 Standard-Wasserstoffelektrode 140
 Standby-USV 334
 Startbit 299
 Startwort 311
 Stator 160
 Stauchung 243
 Steg 163
 Stegspannung 168
 Stellen 270
 Stellgröße 260
 Stelltransformator 157, 322
 Step-lap-Schichtung 154
 Steradian 96
 Stern-Baum-Topologie 313
 Stern-Dreieck-Schalter 184
 Sternschaltung 81
 Sternspannung 81
 Sternstrom 82
 Steuerbus 240
 Steuerkennlinie 280, 293
 Steuerung 253
 Steuerwinkel 277
 Störabstand 133
 Störquelle 252
 Störsenke 252
 Stoffmenge 138
 Stoppbit 299
 Stoßkurzschlussstrom 149, 196
 Strang 81
 Strangspannung 81
 Streufaktor 58
 Streufluss 58, 147
 Streureaktanz 147
 Strom 14
 Stromdichte 20
 Stromeisen 228
 Stromkreis 15
 Strommesszange 245
 Strompfad 227
 Stromquelle 24
 Stromrichter 269
 -, maschinengeführter 268
 -, netzgeführter 268, 275
 -, selbstgeführter 268, 280
 Stromrippel 284
 Strom-Spannung-Wandler 110
 Stromstabilisierung 106
 Stromstärke 14
 Stromteilerregel 29
 Stromverdrängung 185
 Stromwärmeverluste 147
 Stromwandler 157
 Stromwender 163
 Stromwendung 165
 Stufenprofil 304
 Subtraktion von Dualzahlen 129
 Südpol 48
 Sulfatisierung 142
 Summenrahmen 317
 Summierer 111
 Supraleiter 23
 Supraleitung 23
 Switch 313
 Symbol 296
 -, komplexes 41
 symmetrisch 80
 Synchrondrehzahl 161
 Synchronisierung 201
 Synchronmaschine 193
 System-Multimeter 236
 Tagesbelastungskurve 321
 Takt 121
 Talker 238
 Task 257
 Tastkopf 231
 Tauchkernsensor 242
 TCP/IP-Protokoll 314
 TEC 92
 Teile, aktive 330
 TelNet 316
 Temperaturkoeffizient 22
 Temperatursensor 244
 Tesla 50
 Textur 56
 T-Flipflop 126
 Thermistor 87
 Thermoelement 90
 Thermospannung 90
 Thévenin-Theorem 32
 Thyristor 271
 Tiefenerder 329
 Tiefnutläufer 185
 Tiefpass 112
 Tiefsetzsteller 282
 TN-Netz 332
 Toggle 123
 Tonerde 139
 Tor 17
 Totzeit 261
 Trägheitsmoment 218
 Trägheitsradius 218
 Tragmast 325
 Transformator 146
 -, idealisierter 146
 -, realer 147
 Transientanalyse 103
 Transistor 98
 Transitfrequenz 108
 Transrapid 203
 Transversalflussmotor 222
 Treiberstufe 132
 triggern 122
 TTL-Technik 134
 TT-Netz 333
 Trockenelement 141
 Turbogenerator 194
 Twisted-Pair-Kabel 301
 Typenleistung 156

- UART 300
 übererregt 199
 Übergabebus 239
 Übergangsvorgang 63
 Überlagerungssatz 34
 Überlastbarkeit 178, 198
 Überlastrelais 212
 Überschwingsweite 263
 Übersetzungsverhältnis 146, 256
 übersteuert 108
 Übertemperatur 211
 Übertrag 128
 Übertragung, asynchrone 300
 -, synchrone 301
 Übertragungsfunktion 260
 U/f -Betrieb 288
 Ultra-Kondensator 89
 Umlaufsinn 29
 Umrichter 270
 UND-Verknüpfung 113
 ungünstigster Betriebsfall 133
 Universalmotor 204
 Unsicherheit 224
 untererregt 199
 Unterspannungswicklung 146
 USB 296, 317
 USV 334
- V-24-Schnittstelle 131
 Valenzband 92
 Valenzelektronen 12
 Variable, logische 115
 Varistor 88
 VDR 88
 Vektor 13
 Verarmungs-MOSFET 99
 verbindungsprogrammiert 254
 verbotener Bereich 133
 Verbraucher 16
 Verbundseil 325
 Verkettungsfluss 59
 Verknüpfung, logische 115
 Verlustfaktor 77
 Verlustlinie 178
 Verschiebungsdichte 44
 Versorzeichen 41
 Verstärker 106
 -, invertierender 110
 -, nicht invertierender 110
 Verträglichkeit, elektromagnet. 252
 Verzögerungs-Flipflop 129
 Verzögerungsstrecke 261
 Verzögerungszeit 124
 Verzweigungspunkt 26
 Vielfachmessgerät 226
 Vier-Leitermessung 236
 Vierleiternetz 85, 248
 Vierquadrantenbetrieb 163, 279, 289
 Vier-Quadranten-Steller 283
 Viertelbrücke 241
 Volladdierer 128
 Vollaussteuerung 280
 Vollbrücke 241
 Vollpolmaschine 193
 Vollschriftbetrieb 208
 Volt 13
 Voltmeter 14
 voreilen 39
 Vorwärtsspannung 272
 Vorwiderstand 226
 VR-Motor 208
- Wärmeenergie 19
 Wärmekapazität 19
 wafer 135
 Wahrheitstabelle 115
 Wanderfeld 202
 Watt 17
 Weber 50
 Wechselfeldmaschine 160
 Wechselgröße 37
 Wechselelektromotor 209
 Wechselrichten 270
 Wechselrichter 280
 Wechselspannung 37
 Wechselstrom 37
 Wechselstrommagnet 67
 Wechselstromsteller 290
 Wechselstromumrichten 270
 Weißsche Bezirke 53
 Wellenlänge 303
 Wellenlängenmultiplex 307
 Wellenwiderstand 302
 Welligkeit 275
 Wendepol 168
 Wendeschutzschaltung 258
 Wert, abgelesener 224
 Wertigkeit 138
 Wickelkondensator 89
 Wicklung 155
 Widerstand 19, 86
 -, einstellbarer 86
 -, komplexer 70
 -, magnetischer 56
 -, nichtlinearer 21
 -, ohmscher 20
 -, spannungsabhängiger 88
 -, spezifischer 21
 -, temperaturabhängiger 22
 Widerstandsbremung 173
 Widerstandsmoment 215
 Widerstandsthermometer 244
 Wien-Brücke 250
 Wirbelströme 64
 Wirbelstrombremse 65
 Wirkarbeit 73
 Wirkleistung 38
 Wirkleitwert 70
 Wirkwiderstand 70
 Wirkungen des Stromes 14
 Wirkungsgrad 18
 worst case 133
 Wort 130
- x-y-Betrieb 229
- Yagi-Antenne 309
- Z-Diode 95
 Zähler 127
 Zeiger 40
 Zeitablenkung 229
 Zeitbereich 103
 zeitinvariant 260
 Zeitkonstante 47, 63
 Zeitmessung 251
 Zeitzeichensender 251
 Zickzackschaltung 152
 Zink-Braunstein-Batterie 141
 Zone, indifferente 48
 -, neutrale 165
 Zündimpuls 271
 Zündschutzart 214
 Zündzeitpunkt, natürlicher 277
 Zustand 258
 Zweig 28
 Zwei-Leitermessung 236
 Zweipol 17
 Zweirampenumsetzer 232
 Zweispeicherflipflop 122
 Zweiter 87
 Zylinderspule 51