

Sebastian Kroll, Volker Lankes, Stephan Plichta, Ulrich Simon

# **Elektrotechnik Formelsammlung**

Elektrotechnische Mathematik

1. Auflage

Diesem Buch wurden die bei Manuskriptabschluss vorliegenden neuesten Ausgaben der DIN-Normen, VDI-Richtlinien und sonstigen Bestimmungen zu Grunde gelegt. Verbindlich sind jedoch nur die neuesten Ausgaben der DIN-Normen und VDI-Richtlinien und sonstigen Bestimmungen selbst.

Die DIN-Normen wurden wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Maßgebend für das Anwenden der Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth-Verlag GmbH, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin, erhältlich ist.

Die in diesem Werk aufgeführten Internetadressen sind auf dem Stand zum Zeitpunkt der Drucklegung. Die ständige Aktualität der Adressen kann vonseiten des Verlages nicht gewährleistet werden. Darüber hinaus übernimmt der Verlag keine Verantwortung für die Inhalte dieser Seiten.

**service@westermann.de**  
**www.westermann.de**

Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH, Postfach 33 20,  
38023 Braunschweig

ISBN 978-3-14-**221315-6**

**westermann** GRUPPE

© Copyright 2020: Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH, Braunschweig

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages.

Die abstrakte Beschreibung von elektrotechnischen Größen und Zusammenhängen mithilfe mathematischer Gleichungen und deren Lösungen bereitet vielen Auszubildenden oft große Probleme. Deren Kenntnis ist jedoch für die Lösung naturwissenschaftlicher Sachverhalte unabdingbar, auch im Rahmen eines lernfeldorientierten Fachunterrichts, bei dem fachliche Inhalte durch Berechnungen vertieft werden. Diese Formelsammlung stellt ein Hilfsmittel dar, welches nach den folgenden Gesichtspunkten konzipiert wurde:

- Inhaltlich ist die Formelsammlung an den Lerninhalten der Elektroniker der Fachrichtungen Betriebstechnik und Energie- und Gebäudetechnik angelehnt. Sie eignet sich aber grundsätzlich für alle elektrotechnischen Ausbildungsberufe sowie für Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen.
- Insbesondere in Prüfungssituationen bietet die kompakte und strukturierte Zusammenfassung einen schnellen Zugriff auf elektrotechnische Gleichungen.
- Die Formelsammlung ist so angelegt, dass auch komplexe Aufgabenstellungen ohne weitere Hilfsmittel gelöst werden können. Sie ist allerdings nicht als Ersatz für Tabellenbücher gedacht, sondern soll diese ergänzen.
- Alle Formeln wurden auf die sinnvollen Varianten umgestellt, wobei sich auf jeder Seite eine tabellarische Zuordnung von elektrischer Größe, Formelbuchstabe und Einheit befindet.
- Die Inhalte der Seiten wurden auf das Wesentliche reduziert und eine einheitliche, seitenübergreifende Struktur erleichtert das Auffinden und das Arbeiten mit den Gleichungen.
- Nach Bedarf wurden erläuternde Skizzen und Grafiken hinzugefügt, die zum Teil durch farbliche Kennzeichnungen eine Zuordnung zu den Formeln erleichtern.
- Das Inhaltsverzeichnis und das Sachwortverzeichnis dienen zum gezielten und schnellen Nachschlagen von gesuchten Formeln.
- Die Auswahl der Formelbuchstaben und deren Indizes basieren auf dem Schulbuch „Mathematik Elektrotechnik Gesamtband Grund- und Fachstufe“.

Für Hinweise und Verbesserungsvorschläge sind die Autoren und der Verlag jederzeit aufgeschlossen und dankbar.

Autoren und Verlag  
Braunschweig 2020

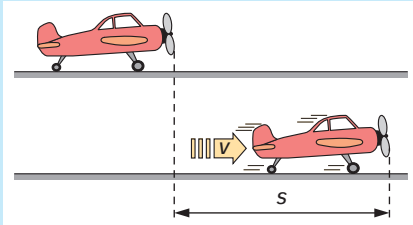
<b>Vorwort</b>	3
<b>1 Grundlagen</b>	8
1.1 Flächen- und Umfangsberechnung	8
1.2 Volumenberechnung	9
1.3 Winkelfunktionen, rechtwinkliges Dreieck	10
1.3.1 Rechtwinkliges Dreieck	10
1.3.2 Winkelfunktionen	10
1.4 Winkelmaße	11
1.5 Bewegung	11
1.5.1 Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit	11
1.5.2 Gleichmäßig beschleunigte Bewegung	12
1.5.3 Kreisförmige Bewegung	12
1.6 Kräfte, mechanische Arbeit	13
1.6.1 Kraft und Arbeit	13
1.6.2 Hubarbeit	13
1.6.3 Federkraft	13
1.6.4 Reibungskraft	14
1.6.5 Drehmoment und Hebel	14
1.7 Masse und Dichte	14
1.8 Wärmemenge	15
<b>2 Elektrotechnische Grundlagen</b>	16
2.1 Ladung, Spannung, Stromstärke, Stromdichte	16
2.1.1 Elektrische Ladung	16
2.1.2 Elektrische Spannung	16
2.1.3 Elektrische Stromstärke	16
2.1.4 Stromdichte	16
2.2 Elektrischer Widerstand, Leitwert, Leiterwiderstand	17
2.2.1 Ohmsches Gesetz	17
2.2.2 Leitwert	17
2.2.3 Leiterwiderstand	17
2.3 Temperaturabhängigkeit von Widerständen	17
2.4 Kirchhoffsche Sätze	18
2.4.1 Knotenpunktsatz (Erster Kirchhoffscher Satz)	18
2.4.2 Maschensatz (Zweiter Kirchhoffscher Satz)	18
2.5 Grundsaltungen von Widerständen	19
2.5.1 Reihenschaltungen von Widerständen	19
2.5.2 Parallelschaltungen von Widerständen	19
2.6 Spannungsteiler	20
2.6.1 Unbelasteter Spannungsteiler	20
2.6.2 Belasteter Spannungsteiler	20
2.7 Brückenschaltung	21
2.8 Stern-Dreieck-Transformation	21
2.9 Elektrische Leistung und Arbeit bei Gleichstrom	22
2.9.1 Elektrische Leistung bei Gleichstrom	22
2.9.2 Elektrische Arbeit bei Gleichstrom	22
2.10 Wirkungsgrad	22
<b>3 Spannungs- und Stromquellen</b>	23
3.1 Belastete Spannungsquelle	23
3.2 Reihenschaltung von baugleichen Spannungsquellen	24
3.3 Parallelschaltung von baugleichen Spannungsquellen	24
3.4 Anpassung von Spannungsquellen und Last	25
3.4.1 Stromanpassung $R_L \ll R_i$	25

3.4.2	Spannungsanpassung $R_L \gg R_i$ .....	25
3.4.3	Leistungsanpassung $R_L = R_i$ .....	26
3.5	Kapazität einer Batterie oder eines Akkumulators .....	26
3.6	Photovoltaik .....	27
3.6.1	Solarzelle .....	27
3.6.2	Solarmodul .....	27
3.6.3	PV-Anlage .....	28
<b>4</b>	<b>Elektrisches und Magnetisches Feld</b> .....	<b>29</b>
4.1	Elektrisches Feld / Kondensator .....	29
4.1.1	Elektrische Feldstärke und Ladung .....	29
4.1.2	Plattenkondensator .....	29
4.1.3	Zeitverhalten von Kondensatoren .....	30
4.1.4	Reihenschaltung von Kondensatoren .....	31
4.1.5	Parallelschaltung von Kondensatoren .....	31
4.2	Magnetisches Feld .....	32
4.2.1	Magnetische Feldgrößen .....	32
4.2.2	Kraftwirkungen im Magnetfeld .....	33
4.2.3	Magnetische Induktion .....	34
4.2.4	Induktivität .....	35
4.2.5	Schaltungen von Induktivitäten .....	35
4.2.6	Schaltvorgänge bei Induktivitäten .....	36
<b>5</b>	<b>Informationstechnik</b> .....	<b>37</b>
5.1	Zahlensysteme .....	37
5.2	Logikschaltungen .....	38
5.3	Boolsche Rechenregeln (Schaltalgebra) .....	39
5.4	Disjunktive und konjunktive Normalformen .....	40
<b>6</b>	<b>Grundlagen der Wechselstromtechnik</b> .....	<b>41</b>
6.1	Kennwerte sinusförmiger Wechselgrößen .....	41
6.2	Kreisfrequenz und Momentanwerte sinusförmiger Wechselgrößen .....	41
6.2.1	Kreisfrequenz .....	41
6.2.2	Momentanwerte .....	42
6.3	Ideale Wechselstromwiderstände .....	43
6.3.1	Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis .....	43
6.3.2	Kapazität im Wechselstromkreis .....	43
6.3.3	Induktivität im Wechselstromkreis .....	44
6.4	Leistungen im Wechselstromkreis .....	44
6.5	Reihenschaltung ungleichartiger Lasten .....	45
6.5.1	Widerstand und induktiver Blindwiderstand in Reihe („reale Spule“) .....	45
6.5.2	Wirkwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand in Reihe .....	46
6.5.3	Wirkwiderstand, kapazitiver und induktiver Blindwiderstand in Reihe .....	47
6.6	Parallelschaltung ungleichartiger Lasten .....	48
6.6.1	Wirkwiderstand und Induktivität in Parallelschaltung .....	48
6.6.2	Wirkwiderstand und Kapazität in Parallelschaltung .....	49
6.6.3	Wirkwiderstand, Kapazität und Induktivität in Parallelschaltung .....	50
6.7	Drehstromtechnik .....	51
6.7.1	Sternschaltung .....	51
6.7.2	Dreieckschaltung .....	52
6.8	Blindleistungskompensation .....	53
<b>7</b>	<b>Elektrische Messtechnik</b> .....	<b>54</b>
7.1	Strom- und spannungsrichtige Schaltung .....	54

7.1.1	Stromrichtige Schaltung .....	54
7.1.2	Spannungsrichtige Schaltung .....	54
7.2	Fehler bei der Analogmessung .....	55
7.3	Fehler bei der Digitalmessung .....	55
7.4	Messbereichserweiterung .....	56
7.4.1	Spannungsmesser .....	56
7.4.2	Strommesser .....	56
7.5	Widerstandsmessbrücken .....	57
7.5.1	Wheatstone-Messbrücke .....	57
7.5.2	Thomson-Messbrücke .....	57
7.6	Arbeitszähler und Kostenermittlung .....	58
7.7	Messwandler .....	58
<b>8</b>	<b>Elektronik .....</b>	<b>59</b>
8.1	Diode im Gleichstromkreis .....	59
8.2	Ungesteuerte Gleichrichterschaltungen .....	60
8.3	Spannungsstabilisierung .....	61
8.3.1	Stabilisierung mit Z-Diode .....	61
8.3.2	Spannungsstabilisierung mit Längstransistor .....	62
8.3.3	Glättung mit Ladekondensator (Gegenspannung) .....	63
8.4	Bipolarer Transistor .....	64
8.4.1	Gleichstromgrößen .....	64
8.4.2	Transistor als Schalter .....	65
8.4.3	Arbeitspunkteinstellung .....	66
8.4.4	Arbeitspunktstabilisierung (Gleichstrom-Gegenkopplung) .....	67
8.5	Feldeffekttransistoren (JFET und MOSFET) .....	67
8.6	Operationsverstärker (OP) .....	68
8.6.1	Invertierender OP .....	68
8.6.2	Nichtinvertierender OP .....	68
8.6.3	Summierverstärker (Addierer) .....	69
8.6.4	Differenzverstärker (Subtrahierer) .....	69
8.6.5	Integrierer .....	70
8.6.6	Differenzierer .....	70
8.7	Steuerungen mit Leistungsventilen .....	71
8.7.1	Phasenanschnittsteuerung .....	71
8.7.2	Schwingungspaket-Steuerung (Periodengruppen-Steuerung) .....	71
8.7.3	Gleichstromsteller .....	72
<b>9</b>	<b>Regelungstechnik .....</b>	<b>73</b>
9.1	Regelstrecken .....	73
9.1.1	Regelstrecken mit Ausgleich (P-Strecken) .....	73
9.1.2	Regelstrecken ohne Ausgleich (I-Strecken) .....	73
9.2	Stetige Regler .....	73
9.2.1	Proportionalregler (P-Regler) .....	73
9.2.2	Integralregler (I-Regler) .....	74
9.2.3	PID-Regler .....	74
<b>10</b>	<b>Anlagen- und Gebäudetechnik .....</b>	<b>75</b>
10.1	Leitungsberechnung .....	75
10.1.1	Spannungsfall und Verlustleistung bei Gleich- und Wechselspannungsleitungen .....	75
10.1.2	Spannungsfall und Verlustleistung bei symmetrisch belasteten Drehstromleitungen .....	76
10.1.3	Spannungsfall bei verzweigten Leitungen .....	77
10.2	Schutzmaßnahmen .....	78
10.2.1	Schutzmaßnahmen im TN-System .....	78

10.2.2	Schutzmaßnahmen im TT-System .....	78
10.3	Beleuchtungstechnik .....	79
10.3.1	Beleuchtungsstärke und Leuchten-Betriebswirkungsgrad .....	79
10.3.2	Leuchten-Betriebswirkungsgrad .....	79
10.3.3	Lichtausbeute .....	79
10.3.4	Lichtstärke .....	79
10.3.5	Leuchtdichte .....	79
10.3.6	Ermittlung der Leuchtenzahl nach dem Wirkungsgradverfahren .....	80
10.4	Trennungsabstand bei Blitzschutzanlagen .....	81
10.5	Antennentechnik .....	81
10.5.1	Dämpfungs- und Verstärkungsfaktoren .....	81
10.5.2	Dämpfungs- und Verstärkungsmaße .....	82
10.5.3	Spannungspegel .....	83
10.5.4	Leistungspegel .....	83
10.5.5	Mindestverstärkungsmaß einer Antennenanlage .....	83
10.5.6	Elektromagnetische Wellenlänge .....	83
10.5.7	Biegemoment einer Antennenanlage .....	84
<b>11</b>	<b>Elektrische Maschinen .....</b>	<b>85</b>
11.1	Transformator .....	85
11.1.1	Übersetzungsverhältnisse .....	85
11.1.2	Transformatorenhauptgleichung .....	86
11.1.3	Kurzschlussspannung und Kurzschlussstrom .....	86
11.1.4	Spartransformator .....	87
11.1.5	Leistung und Wirkungsgrad .....	88
11.1.6	Jahreswirkungsgrad von Transformatoren .....	89
11.1.7	Parallelschaltung von zwei Transformatoren .....	89
11.1.8	Schaltgruppen von Drehstromtransformatoren .....	90
11.2	Antriebstechnik .....	91
11.2.1	Drehmoment und Mechanische Leistung .....	91
11.2.2	Riementrieb .....	92
11.2.3	Zahnradtrieb und Schneckenrieb .....	92
11.3	Drehstrommaschinen .....	93
11.3.1	Drehstromasynchronmotor .....	93
11.3.2	Drehstrom-Asynchronmotor an AC (Steinmetzschtaltung) .....	93
11.3.3	Drehstromsynchronmotor .....	94
11.3.4	Drehstromsynchrongenerator .....	95
11.4	Gleichstrommaschinen .....	95
11.4.1	Leistung und Wirkungsgrad bei Gleichstrommotoren .....	95
11.4.2	Fremderregter Gleichstrommotor .....	96
11.4.3	Gleichstrom-Reihenschlussmotor .....	97
11.4.4	Gleichstrom-Nebenschlussmotor .....	98
11.4.5	Leistung und Wirkungsgrad bei Gleichstromgeneratoren .....	99
11.4.6	Gleichstromgeneratoren .....	99
11.5	Einphasen-Wechselstrommotoren .....	101
11.5.1	Leistung und Wirkungsgrad .....	101
11.5.2	Kondensatormotor .....	101
11.5.3	Universalmotor .....	102
11.6	Schrittmotor .....	102
11.7	Linearmotor .....	103
	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>104</b>

## 1.5.2 Gleichmäßig beschleunigte Bewegung



$a$ : Beschleunigung	$[a] = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
$\Delta v$ : Geschwindigkeitsänderung	$[\Delta v] = \frac{\text{m}}{\text{s}}$
$\Delta t$ : Zeitdifferenz	$[\Delta t] = \text{s}$
$s$ : Strecke	$[s] = \text{m}$
$t$ : Zeitdauer	$[t] = \text{s}$
$F_a$ : Beschleunigungskraft	$[F_a] = \text{N}$
$m$ : Masse	$[m] = \text{kg}$

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$1 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 0,278 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Beschleunigung:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\Delta v = a \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{\Delta v}{a}$$

Zurückgelegte Strecke:

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$a = \frac{2 \cdot s}{t^2}$$

$$t = \sqrt{\left( \frac{2 \cdot s}{a} \right)}$$

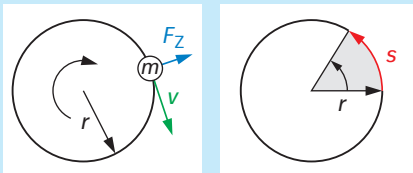
Beschleunigende Kraft:

$$F_a = m \cdot a$$

$$m = \frac{F_a}{a}$$

$$a = \frac{F_a}{m}$$

## 1.5.3 Kreisförmige Bewegung



$\omega$ : Winkelgeschwindigkeit	$[\omega] = \frac{1}{\text{s}}$
$T$ : Zeit pro Umdrehung	$[T] = \text{s}$
$n$ : Drehfrequenz (Drehzahl)	$[n] = \frac{1}{\text{s}}$
$v$ : Umfangsgeschwindigkeit	$[v] = \frac{\text{m}}{\text{s}}$
$s$ : Strecke	$[s] = \text{m}$
$t$ : Zeitdauer	$[t] = \text{s}$
$r$ : Radius	$[r] = \text{m}$
$F_z$ : Fliehkraft	$[F_z] = \text{N}$
$m$ : Masse	$[m] = \text{kg}$

Winkelgeschwindigkeit:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

$$t = \frac{2 \cdot \pi}{\omega}$$

$$n = \frac{\omega}{2 \cdot \pi}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$$

Umfangsgeschwindigkeit:

$$v = \frac{s}{t}$$

$$s = v \cdot t$$

$$t = \frac{s}{v}$$

$$v = \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot r$$

$$r = \frac{v \cdot T}{2 \cdot \pi}$$

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{v}$$

$$r = \frac{v}{2 \cdot \pi \cdot n}$$

$$n = \frac{v}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

$$v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n$$

Fliehkraft:

$$F_z = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

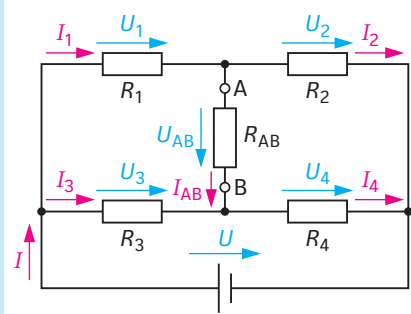
$$m = \frac{F_z \cdot r}{v^2}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_z \cdot r}{m}}$$

$$r = \frac{m \cdot v^2}{F_z}$$



## 2.7 Brückenschaltung



$U$ : Gesamtspannung  $[U] = \text{V}$   
 $U_1, U_2, U_3, U_4$ : Teilspannungen  $[U_n] = \text{V}$   
 $U_{AB}$ : Spannung über dem Brückenweig  $[U_{AB}] = \text{V}$   
 $I_{AB}$ : Brückenstrom  $[I_{AB}] = \text{A}$   
 $I_1, I_2, I_3, I_4$ : Zweigströme  $[I_n] = \text{A}$   
 $R_{AB}$ : Brückenwiderstand  $[R_{AB}] = \Omega$   
 $R_1, R_2, R_3, R_4$ :  
 Zweigwiderstände  $[R_n] = \Omega$

Brückenwiderstand:

$$R_{AB} = \frac{U_{AB}}{I_{AB}}$$

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{R_{AB}}$$

$$U_{AB} = R_{AB} \cdot I_{AB}$$

Spannungen:

$$U = U_1 \pm U_{AB} + U_4 \quad \pm U_{AB} = U - U_1 - U_4$$

$$U = U_2 \pm U_{AB} + U_3 \quad \pm U_{AB} = U - U_2 - U_3$$

Das Vorzeichen für  $U_{AB}$  wird durch die Richtung des Brückenstromes  $I_{AB}$  bestimmt.

Ströme:

$$I_1 = I_2 \pm I_{AB}$$

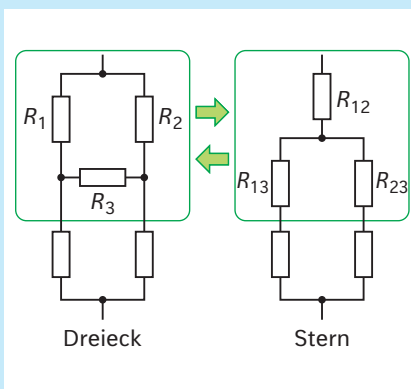
$$I_2 = I_1 \pm I_{AB}$$

$$I_3 = I_4 \pm I_{AB}$$

$$I_4 = I_3 \pm I_{AB}$$

Das Vorzeichen für  $I_{AB}$  wird durch die Richtung der Brückenspannung  $U_{AB}$  bestimmt.

## 2.8 Stern-Dreieck-Transformation



$R_1, R_2, R_3$ : Dreieckswiderstände  
 $R_{12}, R_{23}, R_{13}$ : Sternwiderstände

Dreieck  $\rightarrow$  Stern:

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_{13} = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Stern  $\rightarrow$  Dreieck:

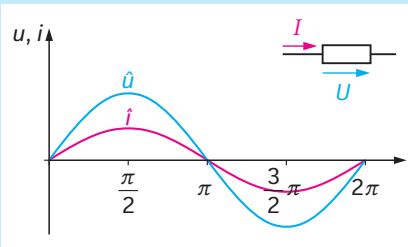
$$R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{23} + R_{23} \cdot R_{13} + R_{12} \cdot R_{13}}{R_{23}}$$

$$R_2 = \frac{R_{12} \cdot R_{23} + R_{23} \cdot R_{13} + R_{12} \cdot R_{13}}{R_{13}}$$

$$R_3 = \frac{R_{12} \cdot R_{23} + R_{23} \cdot R_{13} + R_{12} \cdot R_{13}}{R_{12}}$$

### 6.3 Ideale Wechselstromwiderstände

#### 6.3.1 Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis



$I$ : Effektivwert der Stromstärke [ $I$ ] = A  
 $U$ : Effektivwert der Spannung [ $U$ ] = V  
 $R$ : Wirkwiderstand [ $R$ ] =  $\Omega$   
 $\hat{I}$ : Spitzenwert der Stromstärke [ $\hat{I}$ ] = A  
 $\hat{U}$ : Spitzenwert der Spannung [ $\hat{U}$ ] = V  
 $P$ : Wirkleistung [ $P$ ] = W

Effektivwerte:

$$I = \frac{U}{R}$$

$$U = R \cdot I \quad R = \frac{U}{I}$$

Spitzenwerte:

$$\hat{I} = \frac{\hat{U}}{R}$$

$$\hat{U} = R \cdot \hat{I} \quad R = \frac{\hat{U}}{\hat{I}}$$

Wirkleistung:

$$P = U \cdot I$$

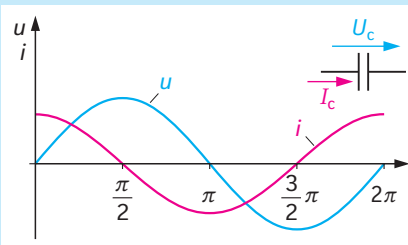
$$U = \frac{P}{I} \quad I = \frac{P}{U}$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \hat{U} \cdot \hat{I}$$

$$\hat{U} = \frac{2 \cdot P}{\hat{I}} \quad \hat{I} = \frac{2 \cdot P}{\hat{U}}$$

Am rein ohmschen Widerstand gilt:  $\cos \varphi = 1$

#### 6.3.2 Kapazität im Wechselstromkreis



$X_C$ : kapazitiver Blindwiderstand [ $X_C$ ] =  $\Omega$   
 $C$ : Kapazität [ $C$ ] = F  
 $f$ : Frequenz [ $f$ ] = Hz  
 $\omega$ : Kreisfrequenz (omega) [ $\omega$ ] =  $\frac{1}{s}$   
 $I_C$ : Stromstärke [ $I_C$ ] = A  
 $U_C$ : Spannung [ $U_C$ ] = V  
 $Q_C$ : kapazitive Blindleistung [ $Q_C$ ] = var

Kapazitiver Blindwiderstand:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C}$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot X_C \cdot C}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C}$$

$$\omega = \frac{1}{C \cdot X_C}$$

Stromstärke:

$$I_C = \frac{U_C}{X_C}$$

$$U_C = X_C \cdot I_C \quad X_C = \frac{U_C}{I_C}$$

$$I_C = U_C \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

$$U_C = \frac{I_C}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

$$C = \frac{I_C}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_C}$$

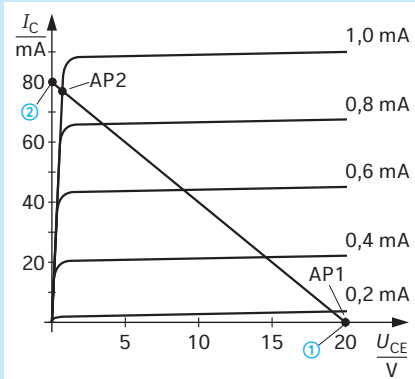
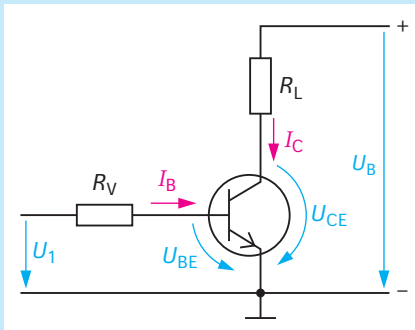
$$f = \frac{I_C}{2 \cdot \pi \cdot U_C \cdot C}$$

Kapazitive Blindleistung:

$$Q_C = U_C \cdot I_C$$

$$U_C = \frac{Q_C}{I_C} \quad I_C = \frac{Q_C}{U_C}$$

## 8.4.2 Transistor als Schalter



$U_B$ :	Betriebsspannung	$[U_B] = V$
$U_1$ :	Eingangsspannung, Steuerspannung	$[U_1] = V$
$U_{CEsat}$ :	Sättigungsspannung zwischen C und E	$[U_{CEsat}] = V$
$U_{BEsat}$ :	Sättigungsspannung zwischen B und E	$[U_{BEsat}] = V$
$I_C$ :	Kollektor-, Laststrom	$[I_C] = A$
$I_B$ :	Basis-, Steuerstrom	$[I_B] = A$
$I_{Bmin}$ :	kleinster notwendiger Basisstrom	$[I_{Bmin}] = A$
$R_L$ :	Lastwiderstand	$[R_L] = \Omega$
$R_V$ :	Basisvorwiderstand	$[R_V] = \Omega$
$B_{min}$ :	kleinste notwendige Stromverstärkung	
$\ddot{u}$ :	Übersteuerungsfaktor	

$\ddot{u}$ : 2 ... 5

Arbeitsgerade und Arbeitspunkt:

$$U = U_b$$

- ① Schnittpunkt mit der Spannungsachse

$$I = \frac{U_b}{R_L}$$

- ② Schnittpunkt mit der Stromachse ((hier bei 80 mA))

(AP1) „Schalter Aus“

Schnittpunkt mit der Spannungsachse, hier bei 20 V.

(AP2) „Schalter Ein“

Schnittpunkt mit der Kennlinie, hier bei  $I_B = 1,0 A$ .

Laststrom und Lastwiderstand:

$$I_C = \frac{U_B - U_{CEsat}}{R_L}$$

$$U_B = R_L \cdot I_C + U_{CEsat}$$

$$U_{CEsat} = U_B - (R_L \cdot I_C)$$

$$R_L = \frac{U_B - U_{CEsat}}{I_C}$$

Vorwiderstand:

$$R_V = \frac{U_1 - U_{BEsat}}{I_B}$$

$$U_1 = R_V \cdot I_B + U_{BEsat}$$

$$U_{BEsat} = U_1 - (R_V \cdot I_B)$$

$$I_B = \frac{U_1 - U_{BEsat}}{R_V}$$

Übersteuerungsfaktor:

$$\ddot{u} = \frac{I_B}{I_{Bmin}}$$

$$I_B = \ddot{u} \cdot I_{Bmin}$$

$$I_{Bmin} = \frac{I_B}{\ddot{u}}$$

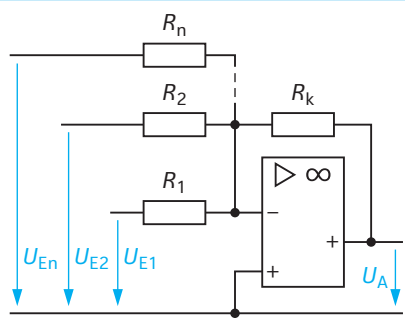
Stromverstärkung:

$$B_{min} = \frac{I_C}{I_{Bmin}}$$

$$I_C = B_{min} \cdot I_{Bmin}$$

$$I_{Bmin} = \frac{I_C}{B_{min}}$$

## 8.6.3 Summierverstärker (Addierer)



$U_{En}$ : Eingangsspannung  $[U_{En}] = V$   
 $U_A$ : Ausgangsspannung  $[U_A] = V$   
 $R_n$ : Eingangswiderstand  $[R_n] = \Omega$   
 $R_k$ : Rückkopplungswiderstand  $[R_k] = \Omega$   
 $v_{Un}$ : Spannungsverstärkungsfaktor

Spannungsverstärkungsfaktor:

$$v_{Un} = -\frac{R_k}{R_n}$$

$$R_n = -\frac{R_k}{v_{Un}}$$

$$R_k = -v_{Un} \cdot R_n$$

$$v_{U1} = -\frac{R_k}{R_1}$$

$$v_{U2} = -\frac{R_k}{R_2}$$

Spannungsverstärkung:

$$U_A = v_{U1} \cdot U_{E1} + v_{U2} \cdot U_{E2} + \dots + v_{Un} \cdot U_{En}$$

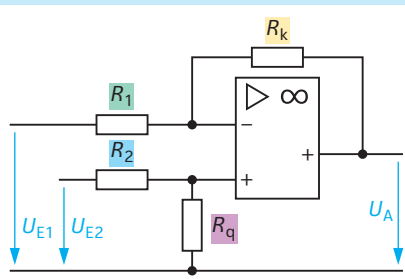
Für drei Eingangswiderstände gilt:

$$U_{E1} = \frac{U_A - v_{U2} \cdot U_{E2} - v_{U3} \cdot U_{E3}}{v_{U1}}$$

$$U_{E2} = \frac{U_A - v_{U1} \cdot U_{E1} - v_{U3} \cdot U_{E3}}{v_{U2}}$$

$$U_{E3} = \frac{U_A - v_{U1} \cdot U_{E1} - v_{U2} \cdot U_{E2}}{v_{U3}}$$

## 8.6.4 Differenzverstärker (Subtrahierer)



$U_{E1}$ : Spannung am invertierenden Eingang  $[U_{E1}] = V$   
 $U_{E2}$ : Spannung am nicht-invertierenden Eingang  $[U_{E2}] = V$   
 $U_A$ : Ausgangsspannung  $[U_A] = V$   
 $R_1, R_2$ : Eingangswiderstände  $[R_1, R_2] = \Omega$   
 $R_k$ : Rückkopplungswiderstand  $[R_k] = \Omega$   
 $R_q$ : Querwiderstand  $[R_q] = \Omega$

Spannungsverstärkung je Eingang:

für  $U_{E2} = 0 V$ : 
$$U_{A1} = -U_{E1} \cdot \frac{R_k}{R_1}$$

$$U_{E1} = -\frac{U_{A1}}{\frac{R_k}{R_1}} \quad R_k = -\frac{U_{A1}}{U_{E1}} \cdot R_1 \quad R_1 = -\frac{R_k}{\frac{U_{A1}}{U_{E1}}}$$

für  $U_{E1} = 0 V$ : 
$$U_{A2} = U_{E2} \cdot \frac{R_q}{R_2 + R_q} \cdot \frac{R_1 + R_k}{R_1}$$

Gesamte Spannungsverstärkung:

$$U_A = U_{E2} \cdot \frac{R_q}{R_2 + R_q} \cdot \frac{R_1 + R_k}{R_1} - U_{E1} \cdot \frac{R_k}{R_1}$$

Wenn  $R_1 = R_2$   
und  $R_k = R_q$ ,  
dann gilt:

$$U_A = (U_{E2} - U_{E1}) \cdot \frac{R_k}{R_1}$$

$$U_{E2} = U_A \cdot \frac{R_1}{R_k} + U_{E1}$$

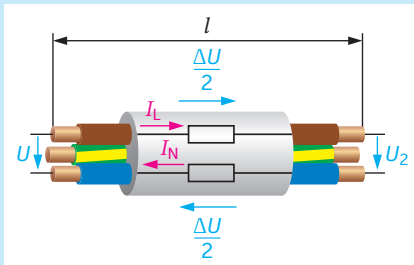
$$R_k = \frac{U_A}{(U_{E2} - U_{E1})} \cdot R_1$$

$$U_{E1} = U_{E2} - U_A \cdot \frac{R_1}{R_k}$$

$$R_1 = (U_{E2} - U_{E1}) \cdot \frac{R_k}{U_A}$$

## 10.1 Leitungsberechnung

### 10.1.1 Spannungsfall und Verlustleistung bei Gleich- und Wechselspannungsleitungen



$\Delta U$ : absoluter Spannungsfall	$[\Delta U] = V$
$l$ : Leitungslänge	$[l] = m$
$I$ : Stromstärke	$[I] = A$
$\kappa$ : elektr. Leitfähigkeit (Kappa)	$[\kappa] = 1 \frac{MS}{m}$ $= 1 \frac{m}{mm^2 \cdot \Omega}$
$\rho$ : spezifischer Widerstand (rho)	$[\rho] = \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$
$q$ : Leiterquerschnitt	$[q] = mm^2$
$\cos \varphi$ : Wirkleistungsfaktor	
$\Delta u$ : prozentualer Spannungsfall	
$U$ : Versorgungsspannung	$[U] = V$
$U_2$ : Spannung am Ende der Leitung	$[U_2] = V$
$P_v$ : Verlustleistung	$[P_v] = W$
$P$ : Anschlussleistung	$[P] = W$

für Kupferleiter gilt:

$$\kappa = 56 \frac{m}{mm^2 \cdot \Omega}$$

$$\rho = 0,01786 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

für Aluminiumleiter gilt:

$$\kappa = 36 \frac{m}{mm^2 \cdot \Omega}$$

$$\rho = 0,02778 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

Absoluter Spannungsfall:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{\kappa \cdot q}$$

$$l = \frac{\Delta U \cdot \kappa \cdot q}{2 \cdot I \cdot \cos \varphi}$$

$$I = \frac{\Delta U \cdot \kappa \cdot q}{2 \cdot l \cdot \cos \varphi}$$

$$q = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{\Delta U \cdot \kappa}$$

$$\Delta U = U - U_2$$

$$U = \Delta U + U_2$$

$$U_2 = U - \Delta U$$

$$\kappa = \frac{1}{\rho}$$

$$\rho = \frac{1}{\kappa}$$

Prozentualer Spannungsfall:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 \%$$

$$\Delta U = \frac{\Delta u \cdot U}{100 \%$$

$$U = \frac{\Delta U}{\Delta u} \cdot 100 \%$$

Absoluter Wirkleistungsverlust:

$$P_v = \frac{2 \cdot l \cdot I^2}{\kappa \cdot q}$$

$$l = \frac{P_v \cdot \kappa \cdot q}{2 \cdot I^2}$$

$$I = \sqrt{\frac{P_v \cdot \kappa \cdot q}{2 \cdot l}}$$

$$q = \frac{2 \cdot l \cdot I^2}{P_v \cdot \kappa}$$

Prozentualer Wirkleistungsverlust:

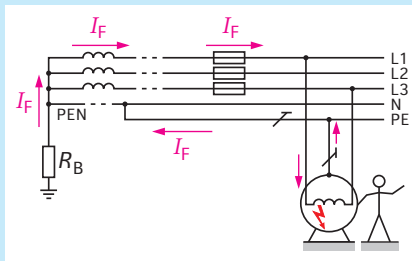
$$P_{v\%} = \frac{P_v}{P} \cdot 100 \%$$

$$P_v = \frac{P_{v\%} \cdot P}{100 \%$$

$$P = \frac{P_v}{P_{v\%}} \cdot 100 \%$$

## 10.2 Schutzmaßnahmen

### 10.2.1 Schutzmaßnahmen im TN-System



$I_F$ : Fehlerstromstärke	$[I_F] = \text{A}$
$U_0$ : Nennspannung	$[U_0] = \text{V}$
$Z_S$ : Schleifenimpedanz	$[Z_S] = \Omega$
$I_a$ : Abschaltstromstärke des Schutzorgans	$[I_a] = \text{A}$
$I_n$ : Bemessungsstromstärke des Schutzorgans	$[I_n] = \text{A}$
$k$ : Auslösefaktor des LS-Schalters	

Fehlerstromstärke:

$$I_F = \frac{U_0}{Z_S}$$

$$U_0 = I_F \cdot Z_S \quad Z_S = \frac{U_0}{I_F}$$

Schleifenimpedanz:

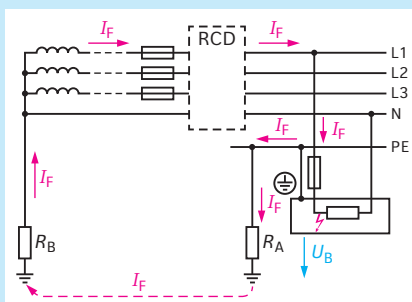
$$Z_S \leq \frac{U_0}{I_a}$$

$$I_a \leq \frac{U_0}{Z_S}$$

Abschaltstrom des Schutzorgans:

$$I_a \geq k \cdot I_n$$

### 10.2.2 Schutzmaßnahmen im TT-System



$R_A$ : Widerstand des Anlagen- erders	$[R_A] = \Omega$
$I_{\Delta N}$ : Bemessungsdifferenz- strom des RCDs	$[I_{\Delta N}] = \text{A}$
$U_0$ : Nennspannung	$[U_0] = \text{V}$
$Z_S$ : Schleifenimpedanz	$[Z_S] = \Omega$
$I_a$ : Abschaltstromstärke des Schutzorgans	$[I_a] = \text{A}$
$I_n$ : Bemessungsstromstärke des Schutzorgans	$[I_n] = \text{A}$
$k$ : Auslösefaktor des LS-Schalters	
$I_F$ : Fehlerstromstärke	$[I_F] = \text{A}$

Abschaltbedingung mit RCD (VDE 0100-410: 2018-10):

$$R_A \leq \frac{50 \text{ V}}{I_{\Delta N}}$$

$$I_{\Delta N} \leq \frac{50 \text{ V}}{R_A}$$

Abschaltbedingung bei Verwendung von Überstrom-  
schutzorganen (VDE 0100-410: 2018-10):

$$Z_S \leq \frac{U_0}{I_a}$$

$$I_a \leq \frac{U_0}{Z_S}$$

Fehlerstrom:

$$I_F = \frac{U_0}{R_i + R_A + R_B}$$

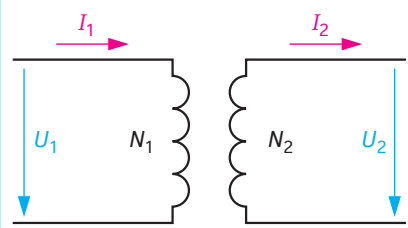
$$R_i = \frac{U_0}{I_F} - R_A - R_B$$

$$R_A = \frac{U_0}{I_F} - R_i - R_B$$

$$R_B = \frac{U_0}{I_F} - R_A - R_i$$

## 11.1 Transformator

### 11.1.1 Übersetzungsverhältnisse



$\ddot{u}$ : Übersetzungsverhältnis

$U_1$ : Primärspannung  $[U_1] = \text{V}$

$U_2$ : Sekundärspannung  $[U_2] = \text{V}$

$N_1$ : Windungszahl

Primärwicklung

$N_2$ : Windungszahl

Sekundärwicklung

$I_1$ : Primärstromstärke  $[I_1] = \text{A}$

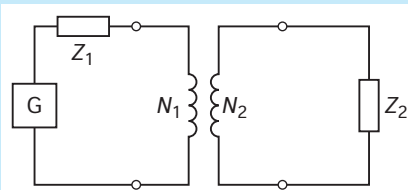
$I_2$ : Sekundärstromstärke  $[I_2] = \text{A}$

$Z_1$ : Scheinwiderstand

Primärseite  $[Z_1] = \Omega$

$Z_2$ : Scheinwiderstand

Sekundärseite  $[Z_2] = \Omega$



Übersetzungsverhältnis:

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

$$N_1 = \ddot{u} \cdot N_2 \quad U_1 = \ddot{u} \cdot U_2$$

$$N_2 = \frac{N_1}{\ddot{u}} \quad U_2 = \frac{U_1}{\ddot{u}}$$

Spannungsübersetzung:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

$$N_1 = N_2 \cdot \frac{U_1}{U_2} \quad U_1 = U_2 \cdot \frac{N_1}{N_2}$$

$$N_2 = N_1 \cdot \frac{U_2}{U_1} \quad U_2 = U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

Stromübersetzung:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$N_1 = N_2 \cdot \frac{I_2}{I_1} \quad I_2 = I_1 \cdot \frac{N_1}{N_2}$$

$$N_2 = N_1 \cdot \frac{I_1}{I_2} \quad I_1 = I_2 \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

Spannung-Strom-Übersetzung:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$U_1 = U_2 \cdot \frac{I_2}{I_1} \quad I_2 = I_1 \cdot \frac{U_1}{U_2}$$

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{I_1}{I_2} \quad I_1 = I_2 \cdot \frac{U_2}{U_1}$$

Widerstandsübersetzung:

$$\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = \frac{Z_1}{Z_2}$$

$$N_1 = N_2 \cdot \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} \quad Z_1 = Z_2 \cdot \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

$$N_2 = N_1 \cdot \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}} \quad Z_2 = Z_1 \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2$$

Diese Formeln gelten für einen idealen Transformator.

**A**

Abgleichbedingung 57  
 Abschaltbedingung 78  
 Abschaltstromstärke 78  
 absoluter Fehler 55  
 Absorptionsgesetz 39  
 Addierer 69  
 Akkumulator 26  
 Amplitude 41  
 Analogmessung 55  
 angezeigter Messwert 55  
 Ankerstromstärke 96, 97, 98  
 Ankerwicklung 96, 97, 98  
 Anlasswiderstand 96, 97, 98  
 Anlaufkondensator 93, 101  
 Anschlussleistung 76  
 Arbeit 13, 22  
 Arbeitsgerade 65  
 Arbeitspunkt 65  
 Arbeitspunkteinstellung 66  
 Arbeitspunktstabilisierung 67  
 Arbeitszähler 58  
 arccos 10  
 arcsin 10  
 arctan 10  
 Arkusfunktionen 10  
 Assoziatives Gesetz 39  
 Aufhebungsregel 39  
 Ausbreitungsgeschwindigkeit 83  
 Auslösefaktor 78  
 Ausschalvorgang 36

**B**

Basis-Spannungsteiler 66  
 Batterie 26  
 Bauleistung 87  
 BCD 37  
 Belasteter Spannungsteiler 20  
 Belastete Spannungsquelle 23  
 Beleuchtungsstärke 79  
 Beleuchtungswirkungsgrad 80  
 Bemessungsstromstärke 78  
 Beschleunigung 12  
 Bestrahlungsstärke 27

Betriebskondensator 93, 101  
 Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit 11  
 Bewegungsenergie 11  
 Biegemoment 84  
 Bipolarer Transistor 64  
 Blindleistung 44  
 Blindleistungsfaktor 44  
 Blindleistungskompensation 53  
 Bogenmaß 11  
 Boolesche Rechenregeln 39  
 Brückenschaltung 21  
 Brückenspannung 21  
 Brückenstrom 21  
 Brückenwiderstand 21  
 Brückenweig 21, 57  
 Brummspannung 63  
 Brummspannungsanteil 63  
 Bürstenspannung 96, 97, 98

**C**

Cosinus 10

**D**

Dämpfungsfaktor 81, 82  
 Dämpfungsmaß 82, 83  
 Dauerkurzschlussstrom 86  
 deg 11  
 De Morgansches Gesetz 39  
 dezimal 37  
 Dichte 15  
 Differenzierer 70  
 Differenzverstärker 69  
 Digits 55  
 Diode 59  
 Diodenbelastung 60  
 Diodenkennlinie 59  
 Dioden-Sperrstrom 61  
 Disjunktive Normalform 40  
 Distributives Gesetz 39  
 Drain-Source-Spannung 67  
 Drehmoment 14, 91  
 Drehstromasynchronmotor 93  
 Drehstrom-Asynchronmotor an AC 93

Drehstromsynchrongenerator 95  
 Drehstromsynchronmotor 94  
 Drehstromtechnik 51  
 Drehstrom-Transformator 88  
 Dreieckfläche 8  
 Dreieckhöhe 9  
 Dreieckprisma 9  
 Dreieckschaltung 52  
 Dreieckumfang 8  
 dual 37  
 Durchflutung 32  
 Durchflutungsgesetz 32  
 Durchgangsleistung 87  
 Durchlassspannung 59  
 Durchlassstrom 59  
 Durchmesser 8

**E**

Effektiver Gleichstrom 60  
 Effektivwert 41  
 Einphasen-Transformator 88  
 Einphasen-Wechselstrommotoren 101  
 Einschaltstromstärke 96, 97, 98  
 Einschaltvorgang 36  
 Eisenfüllfaktor 86  
 Eisenverluste 88  
 Elektrische Arbeit 58  
 Elektrische Arbeit bei Gleichstrom 22  
 Elektrische Feldstärke 29  
 Elektrische Ladung 29  
 Elektrische Leistung 22, 58  
 Elektrischer Leitwert 17  
 Elektrischer Widerstand 17  
 Elementarladung 16  
 Erregerstromstärke 98  
 Erregerwicklung 97, 98  
 Erster Kirchhoffscher Satz 18

**F**

Federkraft 14  
 Fehler 55  
 Fehlerstromstärke 78  
 Feldeffekttransistoren 67



Flächen- und Umfangsberechnung 8  
 Fliehkraft 12  
 Fremderregter Gleichstrommotor 96  
 Frequenz 41

## G

Gate-Drain-Widerstand 67  
 Gate-Source-Reststrom 67  
 Gate-Source-Spannung 67  
 Gate-Source-Widerstand 67  
 Gegenkopplungs-Verhältnis 67  
 Gegenspannung 63  
 Genauigkeitsklasse 55  
 Generatorprinzip 34  
 Gesamtwirkungsgrad 22  
 Geschwindigkeit 11  
 Gewichtskraft 13  
 Glättung 63  
 Gleichmäßig beschleunigte Bewegung 12  
 Gleichstrom-Gegenkopplung 67  
 Gleichstromgeneratoren 99  
 Gleichstromgenerator mit Fremderregung 99  
 Gleichstromgenerator mit Nebenschlusserregung 100  
 Gleichstromgenerator mit Reihenschlusserregung 100  
 Gleichstrommaschinen 95  
 Gleichstrom-Nebenschlussmotor 98  
 Gleichstrom-Reihenschlussmotor 97  
 Gleichstromsteller 72  
 Gleichstromverhältnis 64  
 Gleichstromverstärkung 64  
 Gradmaß 11  
 Gravitation 13

## H

Halbmesser 8  
 Halbschrittbetrieb 102  
 Hebel 14  
 Hexadezimal 37  
 Höhe 8, 9

Hubarbeit 13  
 Hypotenuse 10

## I

ideale Ausgangsspannung 60  
 Induktion der Ruhe 34  
 Induktionsspannung 36  
 Induktionsstrom 36  
 Induktive Blindleistung 44  
 Induktive Blindspannung 45  
 Induktive Blindstromstärke 48  
 Induktiver Blindwiderstand 44, 45, 48  
 Induktivität 35, 36  
 Induktivität im Wechselstromkreis 44  
 Induktivität (konstruktive Eigenschaften) 35  
 induzierte Gegenspannung 96, 97, 98  
 Innenwiderstand 23, 24, 25, 26  
 Innenwiderstand des Messwerkes 56  
 Integralregler 74  
 Integrierer 70  
 Invertierender OP 68  
 I-Regler 74  
 I-Strecken 73

## J

Jahreswirkungsgrad 89  
 JFET 67

## K

Kapazität 26, 29  
 Kapazität im Wechselstromkreis 43  
 Kapazitive Blindleistung 43  
 Kapazitive Blindspannung 46  
 Kapazitive Blindstromstärke 49  
 Kapazitiver Blindwiderstand 43, 46, 49  
 Kathete 10  
 Kinetische Energie 11  
 kleinster Messbereich 56  
 Klemmenspannung 23, 25, 26

Knotenpunkt 18  
 Knotenpunktsatz 18  
 Kommutatives Gesetz 39  
 Kompensation 53  
 Kompensationsblindleistung 53  
 Kompensationswicklung 96, 97, 98  
 Kondensator 29  
 Kondensator an Wechselspannung 43  
 Kondensatormotor 101  
 Konjunktive Normalform 40  
 Kostenermittlung 58  
 Kraft 13  
 Kraftkonstante 103  
 Kraftwirkungen 33  
 Kreisbewegung 12  
 Kreisbogen 11  
 Kreisfläche 8  
 Kreisfrequenz 41  
 Kreisumfang 8  
 Kreiszahl 8, 9  
 Kupferverluste 88  
 Kurzschlussspannung 86  
 Kurzschlussstrom 86

## L

Ladekondensator 63  
 Lade- oder Entladestromstärke 26  
 Lade- oder Entladezeit 26  
 Ladung 16, 29  
 Längstransistor 62  
 Lastspannung 20  
 Laststrom 20  
 Lastwiderstand 65  
 Leerlaufspannung 23, 24, 25, 26  
 Leistung 22  
 Leistungen im Wechselstromkreis 44  
 Leistungsanpassung 26  
 Leistungsdreieck 44  
 Leistungspegel 83  
 Leistungsventile 71  
 Leiterlänge 17  
 Leiterquerschnitt 16, 75

Leiterwiderstand 17  
 Leitungsberechnung 75  
 Leitwert 17  
 Leuchtdichte 79  
 Leuchten-Betriebswirkungsgrad 79, 80  
 Lichtausbeute 79  
 Lichtstärke 79  
 Lichtstrom 79  
 Linearmotor 103  
 Logikschaltungen 38  
 LS-Schalter 78

## M

Magnetfeld 33  
 Magnetische Feldgrößen 32  
 Magnetische Feldstärke 32  
 Magnetische Flussdichte 32  
 Magnetische Induktion 34  
 Magnetischer Fluss 32, 86  
 Magnetischer Leitwert 32, 35  
 Magnetischer Widerstand 32, 35  
 Magnetisches Feld 32  
 Maschensatz 18  
 Masse 15  
 maximale Verlustleistung 59  
 Mechanische Leistung 91  
 Mechanischer Lastwinkel 94  
 Messbereich 55  
 Messbereichsendwert 55  
 Messbereichserweiterung 56  
 Messwerksspannung 56  
 Mikroschrittbetrieb 102  
 Mindestinspannlänge 84  
 Mindestverstärkungsmaß 83  
 Mittlere Beleuchtungsstärke 80  
 Momentanwert 42  
 MOSFET 67  
 Motorprinzip 33  
 MPP 27

## N

Neutralleiter 51  
 Nichtinvertierender OP 68  
 notwendige Dioden-Sperrspannung 63

NPN-Transistor 64  
 Nullphasenwinkel 42

## O

Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis 43  
 Ohmsches Gesetz 17  
 Operationsverstärker 68

## P

Parallelschaltung 24  
 Parallelschaltungen von Widerständen 19  
 Parallelschaltung von Kondensatoren 31  
 Parallelschaltung von zwei Transformatoren 89  
 Parallelwiderstand 56  
 Periodendauer 41  
 Periodengruppen-Steuerung 71  
 Permeabilität 32  
 Permeanz 32  
 Phasenanschnittsteuerung 71  
 Phasenwinkel 42  
 Photovoltaik 27  
 PID-Regler 74  
 Planungsfaktor 80  
 Plattenkondensator 29  
 PNP-Transistor 64  
 Polpaarzahl 93, 94  
 Polradwinkel 94  
 Polteilung 103  
 Potenzial 16  
 Potenzialunterschied 16  
 Potenzielle Energie 13  
 P-Regler 73  
 Proportionalregler 73  
 P-Strecken 73  
 Pulsbreitensteuerung 72  
 PV-Anlage 28  
 Pythagoras 10

## Q

Quader 9  
 Querstromfaktor 20  
 Querstromverhältnis 66

## R

Rad 11  
 Radius 8  
 Raumindex 80  
 Raumwinkel 79  
 Raumwirkungsgrad 80  
 R-C-L-Parallelschaltung 50  
 R-C-L-Reihenschaltung 47  
 R-C-Parallelschaltung 49  
 R-C-Reihenschaltung 46  
 Reale Spule 45  
 Rechteckfläche 8  
 Rechteckumfang 8  
 Rechtwinkliges Dreieck 10  
 Regelstrecken 73  
 Regelstrecken mit Ausgleich 73  
 Regelstrecken ohne Ausgleich 73  
 Reibungskraft 14  
 Reihenschaltung 24  
 Reihenschaltungen von Widerständen 19  
 Reihenschaltung von Kondensatoren 31  
 Relative Kurzschlussspannung 86  
 Relativer Fehler 55  
 Reluktanz 32  
 Resultierende Blindspannung 47  
 Resultierende Blindstromstärke 50  
 Resultierender Blindleitwert 50  
 Resultierender Blindwiderstand 47, 50  
 Riementrieb 92  
 R-L-Parallelschaltung 8  
 R-L-Reihenschaltung 45

## S

Schaltgruppen von Drehstromtransformatoren 90  
 Schaltungen von Induktivitäten 35  
 Schaltvorgänge 36  
 Scheinleistung 44  
 Scheitelwert 41

Schleifdraht-Messbrücke 57  
 Schleifenimpedanz 78  
 Schleusenspannung 59  
 Schlupf 93  
 Schneckentrieb 92  
 Schrittmotor 102  
 Schrittwinkel 102  
 Schutzmaßnahmen 78  
 Schwellenspannung 59  
 Schwingungspaket-Steuerung 71  
 Schwingungszahl 71  
 Shunt 56  
 Sinus 10  
 sinusförmige Wechselgröße 41  
 Solarkonstante 28  
 Solarmodul 27  
 Solarzelle 27  
 Spannung 16  
 Spannungsanpassung 25  
 Spannungsfall 75, 76, 77  
 Spannungsmesser 56  
 Spannungspegel 83  
 Spannungsrichtige Schaltung 54  
 Spannungsstabilisierung 61, 62  
 Spannungsteiler 20  
 Spannungsübersetzung 85  
 Spannungswandler 58  
 Spartransformator 87  
 Sperrspannung 59, 60  
 Spezifischer Leitwert 17  
 Spezifischer Widerstand 17  
 Spitze-Spitze-Wert 41  
 Stabilisierung mit Z-Diode 61  
 STC 27  
 Steinmetzschaltung 93  
 Stellgröße 73  
 Stern-Dreieck-Transformation 21  
 Sternschaltung 51  
 Stetige Regler 73  
 Steuerperiode 71  
 Stoßkurzschlussstrom 86  
 Strahlungsintensität 28  
 Stromanpassung 25  
 Stromdichte 16

Strommesser 56  
 Stromrichtige Schaltung 54  
 Stromstärke 16  
 Stromübersetzung 85  
 Stromverstärkung 65  
 Stromwandler 58  
 Subtrahierer 69  
 Summierverstärker 69

## T

Tangens 10  
 $\tan \alpha$  10  
 Tarifkosten 58  
 Temperaturabhängigkeit von Widerständen 17  
 Thomson-Messbrücke 57  
 TN-System 78  
 Transformator 85  
 Transformatorenhauptgleichung 86  
 Transformatorprinzip 34  
 Transistor als Schalter 65  
 Trennungsabstand 81  
 TT-System 78

## U

Übersetzungsverhältnis 85, 92  
 Übersteuerungsfaktor 65  
 Umfangsgeschwindigkeit 12, 91  
 Unbelasteter Spannungsteiler 20  
 Ungesteuerte Gleichrichterschaltungen 60  
 Universalmotor 102

## V

Verbindungsregel 39  
 Verlustleistung 75, 76, 77  
 Verstärkungsfaktor 81, 82  
 Verstärkungsmaß 82  
 Vertauschungsregel 39  
 Verteilungsregel 39  
 Vollschrittbetrieb 102  
 Volumen 9, 15  
 Volumenberechnung 9  
 Vorwiderstand 56, 61

## W

Wahrer Wert 55  
 Wanderfeldgeschwindigkeit 103  
 Wärmekapazität 15  
 Wärmemenge 15  
 Wartungsfaktor 80  
 Wechselstrom 41  
 Wellenlänge 83  
 Wendepolwicklung 96, 97, 98  
 Wheatstone-Messbrücke 57  
 Widerstand 17  
 Widerstandsmessbrücken 57  
 Widerstandsübersetzung 85  
 Windlast 84  
 Windungszahl 85  
 Winkelfunktion 10  
 Winkelgeschwindigkeit 12, 41, 91  
 Winkelmaße 11  
 Wirkleistung 43, 44  
 Wirkleistungsfaktor 44  
 Wirkungsgrad 22, 88  
 Wirkungsgradverfahren 80  
 Wirkwiderstand 43  
 Würfel 9

## Z

Zahlensysteme 37  
 Zählerkonstante 58  
 Zahnradtrieb 92  
 Zeigerbild 90  
 Zeitkonstante 36  
 Zeitverhalten 36  
 Zweipuls-Brückenschaltung 60  
 Zweiter Kirchhoffscher Satz 18  
 Zylinder 9

Lithos, Wolfenbüttel: 8 - 21, 23 - 27, 29 - 36, 38 - 78, 81 - 82, 84 - 88, 90 - 94, 96 - 103. |Shutterstock.com, New York: Caetano, Carlos Titel.

Wir arbeiten sehr sorgfältig daran, für alle verwendeten Abbildungen die Rechteinhaberinnen und Rechteinhaber zu ermitteln. Sollte uns dies im Einzelfall nicht vollständig gelungen sein, werden berechnete Ansprüche selbstverständlich im Rahmen der üblichen Vereinbarungen abgegolten.