



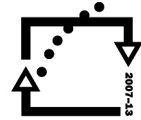
evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Projekt: Inovace oboru Mechatronik pro Zlínský kraj Registrační číslo: CZ.1.07/1.1.08/03.0009

Grundlagen der Elektrotechnik

Physikalische Größen und Einheiten

Unter einer physikalischen Größe versteht man das Produkt aus einem Zahlenwert und einer Einheit, z.B. 230 V für den Zahlenwert der Spannung, die mit der Einheit V beschrieben wird. Die Spannung wird mit dem Formelzeichen U dargestellt.

$$U = 230 \text{ V}$$

Allgemeine Darstellung für eine Größe G:

$$G = Z * E$$

Z: Zahlenwert der Größe G

E: Einheit der Größe G

Bei sehr großen oder sehr kleinen Zahlenwerten werden die Zehnerpotenzen der Einheiten durch Buchstaben ausgedrückt. Große Buchstaben werden verwendet für Zehnerpotenzen >3 , kleine Buchstaben für Zehnerpotenzen <3 .

Name für Multiplizierer	Abkürzung	Multiplikator
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^9
Mega	M	10^6
Kilo	k	10^3
Milli	m	10^{-3}
Mikro	μ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Pico	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}
Atto	a	10^{-18}

Beispiele:

Stromstärke eines Elektroofens: 15A

Spannung einer Überlandleitung: 400kV

Spannung eines Thermoelementes: 15mV

Kapazität eines Kondensators: 100pF

Induktivität einer Spule: 25mH

Wellenlänge (rot): 633nm

Lichtgeschwindigkeit: 3 10⁸ km/s

Taktfrequenz einer CPU: 3 GHz

Sendefrequenz GSM: 1800 MHz

Einheitssystem

Das international genormte Einheitensystem umfasst sieben Grundeinheiten (SI-Einheit; SI: Système International d'Unités)

Größe	Name	Zeichen
Elektrische Stromstärke	Ampere	A
Zeit	Sekunde	s
Länge	Meter	m
Temperatur	Kelvin	K
Masse	Kilogramm	kg
Stoffmenge	Mol	mol
Lichtstärke	Candela	cal

- **Definition Meter:** 1 Meter ist die Länge, die Licht im Vakuum während der Dauer von 1/299.792.458 Sekunden durchläuft
- **Definition Kilogramm:** 1 Kilogramm ist definiert durch Internationalen Kilogramm-Prototyp aus Platin-Iridium, der im internationalem Büro für Maße und Gewichte in Severes bei Paris aufbewahrt wird.
- **Definition Sekunde:** 1 Sekunde ist das 9.192.631.770-fache der Periodendauer der Strahlung, die vom Übergang zwischen den zwei Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustands des 133 Cs Atoms herrührt.

- **Definition Ampere:** 1 Ampere ist die Stärke eines stationären Stromes, der durch 2 unendlich lange, unendlich dünne parallele Leiter fließt, die im Vakuum in einem Abstand von 1 Meter die Kraft von $2 \cdot 10^{-7}$ Newton aufeinander ausüben.
- **MKSA-System**, ein Teilsystem des SI-Systems

Die elektrische SI-Einheit „Ampere“ ist über die Kraftwirkung, die stromdurchflossene Leiter aufeinander ausüben, definiert.

Definition der Stromstärke

Die Stärke eines konstanten Stromes, der in zwei parallelen, unendlich langen in einem Meter Abstand im Vakuum befindlichen Leitern von vernachlässigbarem Querschnitt fließt, beträgt ein Ampere (1 A), wenn zwischen den stromdurchflossenen Leitern eine Kraft von $2 \cdot 10^{-7}$ Newton pro Meter Länge ausgeübt wird.

Definition der Spannung

An einem elektrischen Leiter liegt die Spannung 1 Volt (1 V) an, wenn durch diesen Leiter ein konstanter Strom der Stärke 1 A fließt und in diesem Leiter eine Leistung von 1 W in Wärme umgesetzt wird.

Elektrischer Widerstand

Der elektrische Widerstand R ist über das ohmsche Gesetz

$$R = U/I \quad I = U/R \quad U = I \cdot R$$

definiert. Einheit von R: Ohm (Ω)

Kehrwert des elektrischen Widerstandes: Elektrischer Leitwert G: $G = 1/R$ Einheit von G: Siemens (S)

Elektrische Ladung

Stromfluss entsteht durch eine gerichtete Bewegung elektrischer Ladungen (Elektronen oder geladene Atome (Ionen)). Diese Ladungen rufen (auch in ruhendem Zustand) ein elektrisches Feld hervor, das eine Kraft auf andere elektrische Ladungen bewirkt. Ladungen können entweder positiv oder negativ sein. Ladungen gleichen Typs stoßen sich ab, ungleichen Typs ziehen sich an. Elektrische Ladungen können weder erzeugt, noch vernichtet werden, sondern nur getrennt.

Satz von der Erhaltung der Ladung

In einem abgeschlossenen System ist die Summe der Ladungen konstant. Wenn Summe aus positiven und negativen Ladungen größer bzw. kleiner als Null ist, überwiegen die positiven Ladungen (System ist positiv geladen), bzw. die negativen Ladungen (System ist negativ geladen).

$$Q = I \cdot t$$

Q: Ladung mit der Einheit C (Coulomb)

Die kleinste elektrische Ladung, die Elementarladung, trägt ein Elektron:

$$q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Für alle Ladungen gilt: $Q = n \cdot q$ mit n als ganze Zahl

Bei $Q = 1 \text{ C}$ erhält man $n = 6,25 \cdot 10^{18}$ Elementarladungen.

Für einen zeitlich veränderlichen Strom gilt:

$$i = dQ/dt$$

Elektrisches Potential

In einer elektrischen Spannungsquelle werden die positiven und negativen Ladungen voneinander getrennt. Es entstehen ein Pluspol (positive Ladung überwiegt) und ein Minuspol (negative Ladung überwiegt).

Richtung des elektrischen Stromes

Wenn der elektrische Strom von Elektronen getragen wird (meistens der Fall, z.B. in metallischen Leitern), fließt der Strom von Minus- zum Pluspol. Die technische Stromrichtung ist aber vom Pluspol zum Minuspol definiert.

Potential

Die elektrische Spannung wurde definiert entlang einem Leiter, d.h. zwischen dessen Anfangs- und Endpunkt, also zwischen zwei Punkten. Wenn man nur einem Punkt eine Spannung zuordnet, so wird bei dem zweiten Punkt von einem Punkt mit der Spannung 0 V ausgegangen. In diesem Fall wird die Spannung an diesem Punkt als das Potential dieses Punktes bezeichnet.

Spannung = Potentialdifferenz zweier Punkte

Grundgebriffe - Gleichstromkreis

Stromdichte

$J=I/A$ (Homogene Verteilung des Stromes I über der Querschnittfläche A)

Allgemein gilt:

$J = d*I/d*A$ Einheit von J : A/m^2 (oder A/cm^2)

Energie (Arbeit des Stromes), Leistung

Um einen Stromfluss hervorzurufen, muss Arbeit verrichtet werden, d.h. es muss Energie aufgewendet werden. Der Energieaufwand W ist proportional zu der bewegten Ladung:

$W \sim Q$

Der Energieaufwand ist weiterhin abhängig von der Potentialdifferenz (=Spannung) vom Anfangs- zum Endpunkt der Ladungsbewegung.

$W=U*Q$ $W=U*I*t = P*t$

Das Produkt $U*I$ gibt die Leistung P an.

Allgemein gilt:

$P=W/t$ $P=U*I$ $P=I^2*R$ $P=U^2/R$

Als Einheit für Arbeit und Energie W wird das Joule (J) verwendet: $1 J = 1 Ws$

Die Einheit für die Leistung P ist das Watt (W).

Mit der Definition aus der Mechanik: Arbeit = Kraft x Weg erhält man mit der Krafteinheit Newton (N):

$$1 W = 1 \frac{N \cdot m}{s} \text{ mit } 1 N = 1 \frac{m \cdot kg}{s^2}$$

$$1 W = 1 V \cdot A = 1 \frac{J}{s} = 1 kg \frac{m^2}{s^3}$$

$$\text{mit } U = \frac{W}{Q} \Rightarrow U = \frac{Nm}{As} = \frac{kg m^2}{A s^3}$$

Damit lässt sich die Spannung mit SI-Einheiten darstellen. Mit dem Ohm'schen Gesetz ergibt sich für die Leistung:

$P=U*I = I^2*R=U^2/R$

Strömungsgeschwindigkeit

Die Geschwindigkeit, mit der sich die Ladungsträger bei Stromfluss bewegen, hängt bei gegebenem Strom von ihrer Anzahl ab.

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{n \cdot q}{t}$$

mit n : Anzahl der Ladungsträger im durchströmten Volumen V

Mit der Konzentration n_K der Ladungsträger ergibt sich:

$$n_K = \frac{n}{V} \text{ und } V = l \cdot A$$

l : Länge des Leiters, V : Volumen des Leiters

A : Querschnitt des Leiters

$$I = \frac{q n_K \cdot A \cdot l}{t} = q n_K \cdot A \cdot v$$

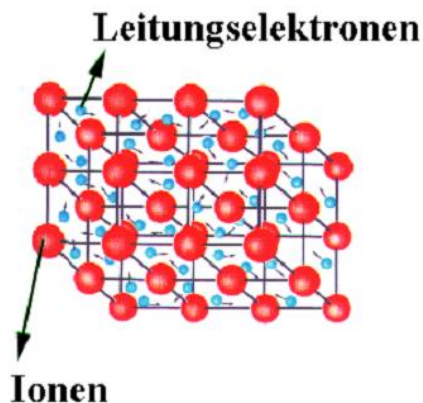
mit v : Strömungsgeschwindigkeit

$$v = \frac{I}{q n \cdot A}$$

$n_K = 8,5 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ bei Kupfer ($T=300\text{K}$)

Elektrischer Widerstand

Fließt ein elektrischer Strom durch einen Leiter, wird dem Strom ein Widerstand entgegengesetzt. Die Elektronen können nicht ungehindert fließen, denn sie müssen zwischen den Atomen des Atomgitters durchströmen. Durch dieses Stoßen der Elektronen am Atomgitter entsteht der elektrische Widerstand R . Die Einheit des Widerstandes ist das Ohm (Ω). Ein Widerstand hat 1Ω , wenn er bei Anschluss an 1V einen Strom von 1A aufnimmt.



Elektrischer Widerstand entsteht durch Elektronenreibung

Der elektrische Widerstand R eines Leiters ist abhängig von dessen Geometrie und den Materialeigenschaften. Nimmt man diese als homogen an, gilt:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{l}{\gamma \cdot A}$$

mit

ρ spezifischer Widerstand in $\Omega mm^2/m$

γ spezifischer Leitwert in Sm^{-1}

l Leiterlänge in m

A Leiterquerschnitt in mm^2

Der Widerstand eines Leiters ist umso größer, je größer der spez. Widerstand des Leiters ist (Materialkonstante), je länger der Leiter ist und je kleiner der Querschnitt des Leiters ist. Der spezifische Widerstand ρ ist der Widerstand eines Leiters von 1m Länge und 1mm² Querschnitt. Die spezifische Leitfähigkeit γ ist der Kehrwert des spezifischen Widerstandes.

Tabelle: Spez. Leitfähigkeit und spez. Widerstand einiger Materialien

Werkstoff	Spez. Leitfähigkeit $\frac{m}{\Omega mm^2}$	Spez. Widerstand $\frac{\Omega mm^2}{m}$
Silber	60	0,0167
Kupfer	56	0,0178
Aluminium	36	0,0278
Wolfram	18	0,065
Nickelin (CuNi30Mn)	2,5	0,4
Konstantan (CuNi44)	2,04	0,49
Kohle	0,015	65
Dest. Wasser	$0,5 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{10}$
Seewasser	$0,3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^5$
Erde	10^{-8}	10^8

Das Bauteil Widerstand

Schaltzeichen



Schichtwiderstand

Bei Schichtwiderständen wird auf zylindrischem Keramik oder Hartglas eine dünne Schicht Kohle, Metall oder Metalloxid aufgesprüht oder aufgedampft(im Vakuum). Der Widerstandswert(Toleranz bis 5%) wird durch Schichtdicke und Aufsprühzeit bestimmt. Widerstandswerte mit geringerer Toleranz wird durch Einschliffe in den Schichten hergestellt. Diese führen aber zu einer höheren Induktivität des Widerstandes. Schichtwiderstände unterscheiden sich zwischen zwei Arten von Bauform und Material.

- Kohleschichtwiderstand
Sie eignen sich vor allem im HF-Bereich.
- Metallfilmwiderstände
Diese Widerstandsart vereint die Eigenschaften des Draht- und Kohleschichtwiderstandes in sich. Die Widerstände haben eine geringe Toleranz.

Drahtwiderstand

Drahtwiderstände bestehen aus einem temperaturbeständigem Keramik- oder Kunststoffkörper, auf dem ein Draht einer Metallegierung aufgewickelt ist. Durch die Drahtwicklung entsteht eine relativ hohe Induktivität. Der Grund liegt in der sehr großen Ähnlichkeit zur Bauweise einer Spule. Um die Induktivität zu reduzieren wird eine bifilare Wicklung verwendet. Dabei wird der Widerstandsträger doppelt bewickelt. Die nebeneinander liegenden Wicklungen werden dann entgegengesetzt vom Strom durchflossen. Die dabei auftretenden Magnetfelder heben sich gegenseitig auf.

Eigenschaften:

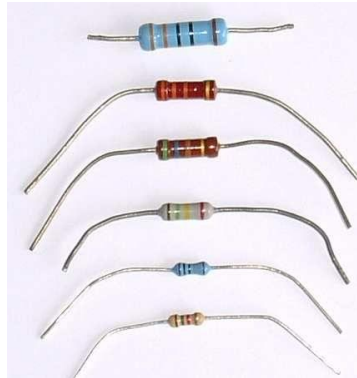
- hohes Alter möglich
- hohe Belastbarkeit
- Einsatz im NF-Bereich bis 200 kHz

Berechnung der Widerstandsreihen

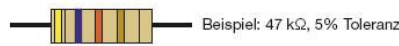
Die Widerstände werden in bestimmten genormten Wertereihen gefertigt (E-Reihen), wobei die Zahl angibt wie viel Werte in einer Dekade vorhanden sind. Wichtiger Bestandteil für die Berechnung der Widerstandsreihen ist der Faktor k. Jede Widerstandsreihe (E3 bis E96) hat einen anderen Faktor k. Für die nun folgenden Berechnungen wird die Widerstandsreihe E3 verwendet. Für den Faktor k gilt folgende Formel: $k = \sqrt[x]{10}$

x ist die Anzahl der Werte in der Widerstandsreihe innerhalb einer Dekade (z. B. von 1 bis 10). Die Widerstandsreihe E3 hat drei Widerstandswerte. Deshalb gilt bei E3, x ist gleich 3 (x = 3).

Widerstandsreihe	Faktor k
E3	2,1544..
E6	1,4677..
E12	1,2215..
E24	1,1006..
E48	1,0491..
E96	1,0242..



Vier Ringe: Werte-Reihen E6, E12, E24



1. Ring 1. Ziffer	2. Ring 2. Ziffer	3. Ring Multiplikator	4. Ring Toleranz (%)
0	0	1	
1	1	10	1
2	2	100	2
3	3	1k	
4	4	10k	
5	5	100k	0,5
6	6	1 M	0,25
7	7	10 M	0,1
8	8		
9	9		
		0,1 Gold	5 Gold
		0,01 Silber	10 Silber

1k = 1000, 1M = 1000000

Temperaturverhalten

Der spezifische Widerstand aller Materialien ist mehr oder weniger stark von der Temperatur T abhängig. Bei metallischen Leitern steigt der spezifische Widerstand bei Temperaturerhöhung parabelförmig an – positiver Temperaturkoeffizient. Man nähert deshalb das Temperaturverhalten mit einer quadratischen Gleichung an:

$$R_T = R_{20}(1 + \alpha_{20}\Delta T + \beta_{20}\Delta T^2)$$

α_{20} Temperaturkoeffizient für linearen Anteil
 β_{20} Temperaturkoeffizient für quad. Anteil
 ΔT Temperatur des Leiters $T-20^\circ\text{C}$

Für kleinere Temperaturveränderungen, $T < 200^\circ \text{C}$, ist eine lineare Änderung des Widerstandes mit der Temperatur eine ausreichend gute Näherung.

$$R_T = R_{20}(1 + \alpha_{20}\Delta T)$$

Als Näherung gilt, dass sich der Widerstand metallischer Leiter um ca. 0,4% ändert bei einer Temperaturvariation von 1K.

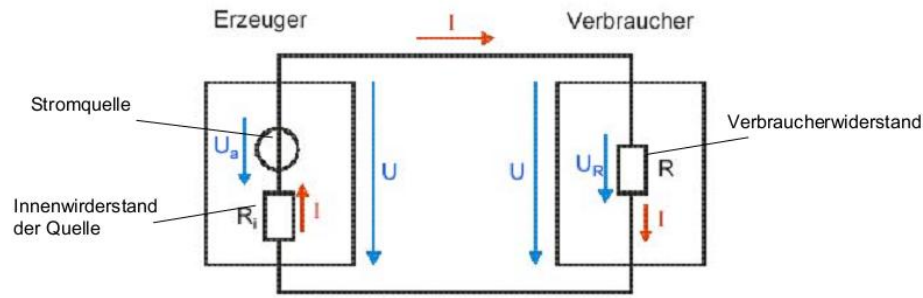
Tabelle: Widerstandstemperaturkoeffizienten verschiedener Materialien

Werkstoff	α_{20} $\left[\frac{10^{-3}}{K} \right]$	β_{20} $\left[\frac{10^{-6}}{K} \right]$
Aluminium	4,5	1,3
Eisen	5	6
Gold	4	0,5
Kupfer	4	0,6
Silber	3,8	0,7
Wolfram	4,1	1
Konstantan	0,01	0

Zählpfeilsysteme

Die Richtungen von Spannungen und Strömen werden mit Pfeilen gekennzeichnet. Bei Spannungen zeigt der Zählpfeil stets vom höheren (+) zum niedrigeren (-) Potential. Die Richtung des Stromes wird als positiv angesehen in Richtung des Spannungspfeils, wenn es sich um einen Verbraucher von elektrischer Leistung handelt. In einem elektrischen Stromkreis treten stets Erzeuger und Verbraucher von elektrischer Leistung auf.

Da die Spannungen gegenüber einem festen Bezugspunkt in die gleiche Richtung zeigen, weisen sie auch bei Erzeuger und Verbraucher in die gleiche Richtung. Im Sinne eines Stromkreises fließt dann der Strom im Verbraucher in Richtung des Spannungspfeils und im Erzeuger entgegengesetzt, d.h. vom Minus- zum Pluspol. Die Zuordnung von Potentialdifferenzen und Pfeilrichtungen ist frei definierbar. Sie muss aber innerhalb eines Stromkreises, der aus einem System mit zahlreichen Erzeugern und Verbrauchern bestehen kann, einheitlich durchgeführt werden. Es ist allgemein üblich, bei Verbrauchern die Zählpfeile für Spannung und Strom in die gleiche Richtung zu wählen, und bei Erzeugern entgegengesetzt.



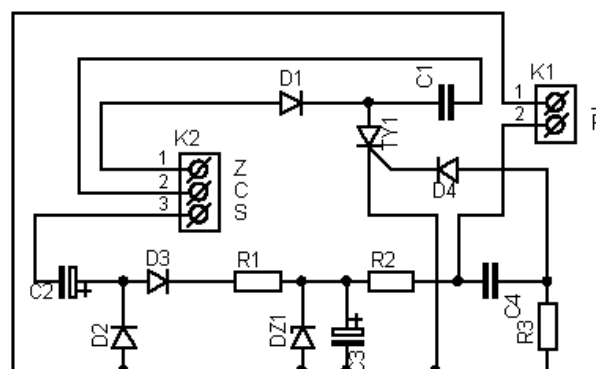
Strom- und Spannungsrichtung bei Erzeuger (Generator) und Verbraucher

Elektrische Netzwerke (Gleichstromnetzwerke)

Elektrische Spannungsquellen wirken meist auf mehrere Verbraucher, die in beliebiger Weise zusammengeschaltet sein können. Man erhält verzweigte Stromkreise, die man als elektrische Netzwerke bezeichnet. In der Abb. Ist das Netzwerk mit Zweipolen aufgebaut, d.h. die Schaltelemente sind mit jeweils zwei Anschlüssen in die Schaltung eingebunden.

An Punkten, an die mehr als zwei Verbindungsleitungen angeschlossen sind, teilen sich die Ströme auf. Man nennt diese Punkte Knotenpunkte oder Knoten. Die Verbindung zweier Knoten wird als Zweig bezeichnet. Diese Verbindung besteht aus der Reihenschaltung von Zweipolen und ihren Anschlussleitungen (die man auch als Zweipole auffassen kann).

Mehrere Zweige, die so hintereinander geschaltet sind, dass man bei einem Umlauf an den Ausgangspunkt zurückkehrt („Kreis“), bezeichnet man als Masche, wenn kein Knoten mehrmals in dem Umlauf enthalten ist.



Beispiel für ein elektrisches Netzwerk mit Widerständen

Sätze von Kirchhoff

Geht man davon aus, dass der Stromfluss entweder vorwiegend von negativ geladenen Ladungsträgern (Elektronen, Ionen) oder positiven Ionen getragen wird, folgt aus dem Satz von der Erhaltung der Ladung, dass die Ladung, die auf einen beliebigen Punkt der

Schaltung während eines beliebig kleinen Zeitintervalls zufließt, während dieses Zeitintervalls von diesem Punkt auch wegfließt. Diese Aussage gilt auch, wenn an einen Punkt des stromführenden Systems drei oder mehr Strompfade führen. Hieraus folgt der

Erster Satz von Kirchhoff (Knotenpunktsatz):

Die Summe der Ströme, die auf einen Knoten der Schaltungen zufließen und von ihm abfließen, ist gleich Null. Die Ströme, die auf den Knoten zufließen, werden vereinbarungsgemäß als positiv angesehen. Abfließende Ströme erhalten ein negatives Vorzeichen. An jedem Knoten gilt dann:

$$\sum_{V=1}^n I_V = 0$$

Zweiter Satz von Kirchhoff (Maschensatz):

Wenn man die Spannungen an den Elementen eines geschlossenen Umlaufs addiert, d.h. zu dem Ausgangspunkt zurückkehrt, muss die resultierende Spannung gleich Null sein.

$$\sum_{V=1}^n U_V = 0$$

$$U_{R4} = U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c$$

$$U_{R6} = U_{cd} = \varphi_c - \varphi_d$$

$$U_{R7} = U_{db} = \varphi_d - \varphi_b$$

$$U_{R5} = U_{ba} = \varphi_b - \varphi_a$$

$$U_{ac} = U_{cd} = U_{db} = U_{ba} = \varphi_a - \varphi_c + \varphi_c - \varphi_d + \varphi_d - \varphi_b + \varphi_b - \varphi_a$$

Da die Potentialdifferenz eines Punktes stets gleich Null ist, muss auch die Summe der Teilspannungen eines Umlaufs Null ergeben.

Teilspannungen eines Umlaufs Null ergeben.

Eine Spannungs- bzw. Stromquelle ist ein Zweipol (aktiver Zweipol), an dessen Klemmen eine Spannung auftritt, die einen Strom durch einen angeschlossenen Verbraucher treibt. Die Zählrichtungen von Spannung und Strom sind entgegengesetzt gerichtet (Erzeugerzählpeilsystem).

Ideale Spannungsquelle

Bei einer idealen Spannungsquelle ist die Klemmenspannung unabhängig von dem Strom, den sie durch einen Verbraucher fließen lässt.

Ideale Stromquelle

Eine ideale Stromquelle liefert einen Strom, der unabhängig von ihrer Klemmenspannung ist. Der Innenwiderstand von idealen Spannungs- und Stromquellen ist gleich Null. Innerhalb des Betriebsbereiches realer Spannungs- und Stromquellen geht man von einem linearen $U = f(I)$ -Verlauf aus.

Die Geradengleichung ergibt:

$$U_0 = U + \frac{U_1 - U_2}{I_1 - I_2} \cdot I$$

Der Faktor: $\frac{U_1 - U_2}{I_1 - I_2}$

entspricht einem Widerstand und wird als Innenwiderstand R_i der Anordnung bezeichnet.

Im Leerlauf gilt wegen $I = 0$: $U = U_0$

Bei Kurzschluss gilt wegen: $U = 0$ und $I = I_k$: $U_0 = R_i \cdot I_k$

Aus einer Messung von Leerlaufspannung U_0 und Kurzschlussstrom I_k lässt sich also der Innenwiderstand R_i bestimmen. Der Kurzschlussstrom ist aber häufig so groß, dass eine Messung technisch schwierig ist (mögliche Zerstörungen durch Stromwärme).

Die $U(I)$ -Kennlinie eines linearen Zweipols lässt sich stets mit Strom-Spannungsmessungen bei zwei unterschiedlichen Betriebsfällen konstruieren. In der Praxis beschränkt sich die Linearität häufig nur auf einen kleineren Arbeitsbereich.

Spannungsquellen Ersatzschaltung

Bei realen Spannungsquellen tritt stets ein Innenwiderstand auf, d.h. die Ausgangsspannung ist eine Funktion des abgegebenen Stromes.

Die einfachste Schaltung besteht also aus einer idealen Spannungsquelle $U_q = U_0$, ihrem Widerstand R_i und einem Lastwiderstand R_a (Kurzschlussfall ausgenommen). Der Strom durch den Lastwiderstand berechnet sich dann über:

$$I = \frac{U_0}{R_i + R_a}$$

Die Klemmenspannung U beträgt:

$$U = U_0 - R_i \cdot I$$

Der Stromfluss I_x durch einen beliebigen Widerstand R_x eines (umfangreichen) linearen Netzwerkes lässt sich berechnen, indem man alle Widerstände - außer R_x - zu einem resultierenden Widerstand R_S zusammenfasst.

$$I_x = \frac{U_0}{R_S + R_x}$$

Stromquellen Ersatzschaltung

Anstelle einer idealen Spannungsquelle U_0 und dem Innenwiderstand R_i lässt auch eine ideale Stromquelle mit dem parallel geschalteten Leitwert

$$G_i = \frac{1}{R_i}$$

verwenden, um das U-I-Verhalten einer realen Spannungsquelle (realen Stromquelle) zu beschreiben. Die Stromquelle liefert den Strom I_0 (oder I_q bzw. Kurzschlussstrom I_K), der an dem Leitwert G_i die Spannung U_0 (Leerlaufspannung) erzeugt.

$$I_k = U_0 \cdot G_i = \frac{U_0}{R_i}$$

Mit einem Lastwiderstand R_a gilt nach dem 1. Kirchhoff'schen Gesetz: $I_k = I_i + I$

Mit:

$$I_i = \frac{U}{R_i} \text{ und } I = \frac{U}{R_a}$$

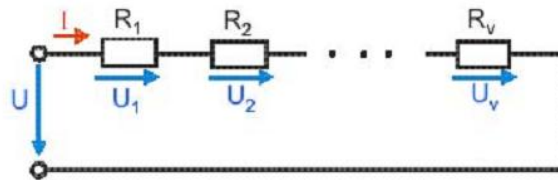
erhält man:

$$\frac{U_0}{R_i} = U \frac{R_i + R_a}{R_i \cdot R_a} \Rightarrow \frac{U_0}{R_i + R_a} = \frac{U}{R_a} = I$$

Diese Gleichung ist identisch mit der Gleichung für Ersatzspannungsquelle, somit sind Ersatzstromquelle und Ersatzspannungsquelle zueinander äquivalent. Genauso wie mit einer Ersatzspannungsquelle lassen sich also auch mit Hilfe einer Ersatzstromquelle lineare Netzwerke, die einen aktiven Zweipol enthalten, beschreiben.

Reihenschaltung von Widerständen

Bei einer Reihen- oder Serienschaltung von Widerständen werden alle Widerstände von dem gleichen Strom durchflossen.



Reihenschaltung von ohmschen Widerständen

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + \dots + R_v = \sum_{i=1}^v R_i$$

mit dem ohm'schen Gesetz folgt:

$$U = I \cdot R_{ges} = I \cdot (R_1 + R_2 + \dots + R_v)$$

Spannungsteilerregel:

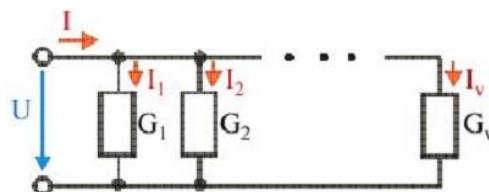
Die Teilspannungen an den Widerständen verhalten sich proportional zu den Widerstandswerten.

$$\frac{U_i}{U_{ges}} = \frac{R_i \cdot I}{R_{ges} \cdot I} = \frac{R_i}{R_{ges}}$$

Der Gesamtwiderstand R_{ges} einer Reihenschaltung errechnet sich indem man die Einzelwiderstände addiert. Da es sich bei der Reihenschaltung um einen unverzweigten Stromkreis handelt fließt überall der gleiche Strom. Die Stromstärke I ist also überall in der Schaltung gleich groß. An jedem Widerstand liegt eine elektrische Spannung an, diese ist umso größer, je größer der jeweilige Widerstand ist.

Parallelschaltung von Widerständen

Bei einer Reihen- oder Serienschaltung von Widerständen werden alle Widerstände von dem gleichen Strom durchflossen.



Parallelschaltung von ohmschen Widerständen

Mit dem Knotensatz (1. Gesetz von Kirchhoff) und dem ohmschen Gesetz erhält man:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_v = G_1 \cdot U + G_2 \cdot U + \dots + G_v \cdot U$$

$$I = U \cdot (G_1 + G_2 + \dots + G_v) = G \cdot U$$

Für die Parallelschaltung von Leitwerten gilt:

$$G = \sum_{v=1}^N G_v$$

Wegen $G = 1/R$ erhält man für Widerstände:

$$\frac{1}{R} = \sum_{v=1}^N \frac{1}{R_v} \Rightarrow R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_v}}$$

Der Gesamtwiderstand aus einer Parallelschaltung von zwei Widerständen wird zu:

$$R = \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right]^{-1} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Stromteilerregel

Somit ergibt sich für das Verhältnis eines Teilstromes zum Gesamtstrom:

$$\frac{I_v}{I} = \frac{G_v}{G} = \frac{R}{R_v}$$

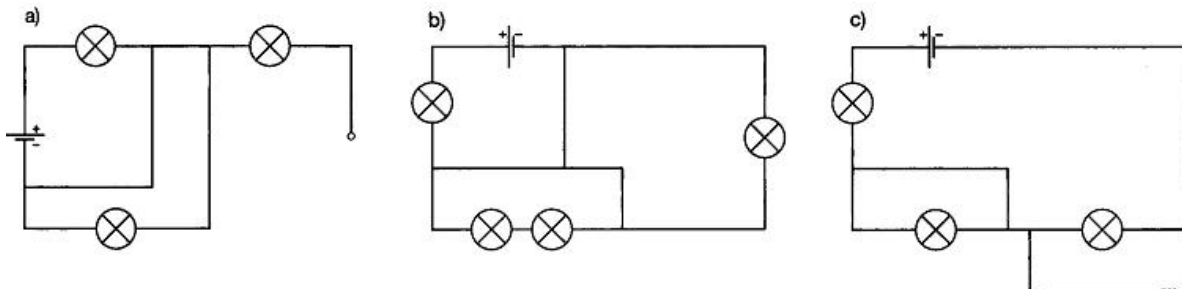
Bei der Parallelschaltung verhalten sich die Widerstände umgekehrt zueinander, wie die dazu gehörenden Ströme. An allen Widerständen liegt die gleiche Spannung U an. Die Spannung U ist überall gleich groß. Der Gesamtwiderstand R_{ges} ist stets kleiner als der kleinste Einzelwiderstand.

Beispiele

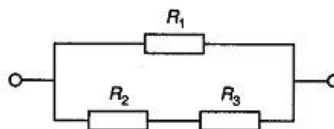
- Umrechnung vom Zahlenwerten: Verwandeln Sie in der folgenden Tabelle die eingetragenen Widerstandswerte unter Benützung der Zehnerpotenz-Darstellung

mΩ	Ω	kΩ	MΩ
320			
	27		
		1,2	
			0,3

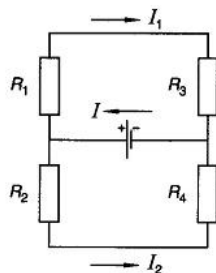
- Welche Glühlampen in den nachfolgenden Schaltungen leuchten? Zeichnen Sie die Stromwege nach.



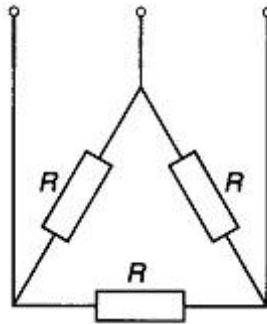
3. Ein Heizofen nimmt beim Anschluss an 230V einen Strom von 4A auf. Wie groß ist der Widerstand der Heizspirale?
4. Wie ändert sich der Strom durch einen Widerstand, wenn die angelegte Spannung verdoppelt wird?
5. Ein Mensch hat einen Körperwiderstand von $2\text{k}\Omega$ (ungünstigster Fall) und gelangt in einem Stromkreis mit der Netzspannung 230V. Welcher Strom fließt durch seinen Körper?
6. Eine Spule aus Cu-Draht hat einen Widerstand von 5Ω . Der Draht hat einen Durchmesser von 0,4mm. Wie lang ist der Draht?
7. Ein Erdkabel hat eine Länge von 1,6km und einen Adernquerschnitt von 50mm^2 Cu. Wie groß ist der Widerstand einer Leitungsader?
8. Eine Reihenschaltung von 3 Widerständen nimmt an 230V einen Strom von 0,5A auf. $R_1=160\Omega$, $R_2=40\Omega$. Wie groß ist R_3 ?
9. Drei gleiche Widerstände in Serienschaltung liegen an 165V. Die Stromstärke beträgt 650mA. Wie groß sind die Widerstände und die entsprechenden Teilspannungen?
10. Die Wolframwendel einer Glühlampe hat im betriebswarmen Zustand etwa den 8 bis 10-fachen Widerstand als im kalten Zustand. Was hat das beim Einschalten zur Folge?
11. Ein Ofen hat eine Stromaufnahme von 7A und ist über eine 8m lange Leitung mit einem Querschnitt von $0,75\text{mm}^2$ angeschlossen. Wie groß ist der Spannungsabfall in der Anschlussleitung?
12. Wie errechnet sich der Gesamtwiderstand der folgenden Schaltung?



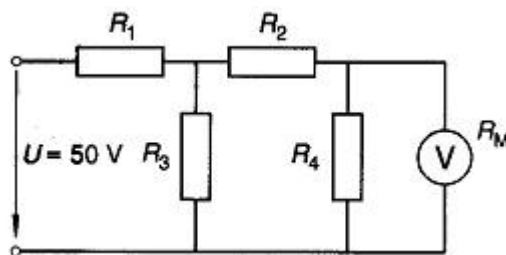
13. Berechnen Sie für die folgende Schaltung die Ströme I_1 und I_2 . Die Batteriespannung beträgt 42V, die Widerstände haben folgende Werte: $R_1=46\Omega$, $R_2=37\Omega$, $R_3=122\Omega$, $R_4=173\Omega$.



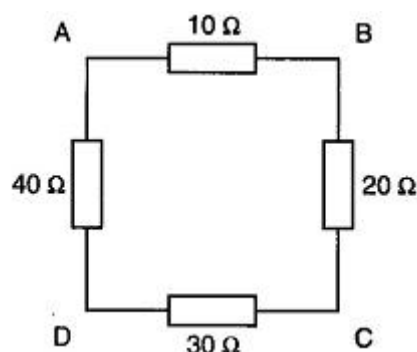
14. Die nachfolgende Dreieckschaltung besteht aus gleichen Widerständen (Motorwicklungen). Zwischen 2 Klemmen wird jeweils ein Widerstand von 40Ω gemessen. Wie groß ist ein Einzelwiderstand (Wicklungswiderstand)?



15. In der nachfolgenden Schaltung haben die Widerstände folgende Werte: $R_1=2,5k\Omega$, $R_2=300\Omega$, $R_3=1,5k\Omega$, $R_4=1,7k\Omega$. Das Voltmeter hat einen Innenwiderstand von $3k\Omega$ und die angelegte Spannung beträgt $50V$. Welche Spannung zeigt das Voltmeter an? Welche Spannung liegt am Widerstand R_4 an, wenn das Voltmeter nicht angeschlossen ist?



16. Wie groß ist der Gesamtwiderstand in der nachfolgenden Schaltung zwischen folgenden Punkten: AB, AC, AD, BC, BD, CD?



17. Ein Generator hat einen Innenwiderstand von $0,5\Omega$. Bei einem Belastungsstrom von $12A$ tritt eine Klemmenspannung von $240V$ auf. Wie groß ist die Leerlaufspannung und wie groß ist der Kurzschlussstrom?
18. Ein Akku hat eine Leerlaufspannung von $26V$ und einen Innenwiderstand von 1Ω . Welche Klemmenspannung ergibt sich für folgende Ströme: $0,4A$ und $12A$?