

Repetitorium 3

Rückblende: In der Vorlesung 2 habt Ihr die drei Grundgrößen der Elektrotechnik Spannung, Strom und Widerstand mit ihren Definitionen, Formelzeichen und Einheiten kennengelernt. Des Weiteren haben wir die beiden Grundgesetze der Elektrotechnik, das Ohmsche Gesetz und die Kirchhoffschen Regeln durchgenommen. Zum Abschluss definierten wir die elektrische Leistung im Gleichstromkreis als Produkt von Spannung und Stromstärke.

Das sind Grundkenntnisse! Das könnt Ihr bis zur bestandenen Vorlesungsprüfung „um drei Uhr früh mit vier Promille“.

Eine weitere für sämtliche technisch – akademischen Disziplinen essentielle Kompetenz ist das logarithmische Rechnen. An dieser Stelle darf ich an die SI – Präfixe erinnern: In allen technischen Disziplinen ist es üblich, die Zehnerpotenzen der Quantitäten durch Vorsilben vor dem Namen des Maßes zu ersetzen. Später werden wir noch andere Versionen für das logarithmische Rechnen kennenlernen.

Name	Yotta	Zetta	Exa	Peta	Tera	Giga	Mega	Kilo	Hekto	Deka
Symbol	Y	Z	E	P	T	G	M	k	h	da
Faktor	10^{24}	10^{21}	10^{18}	10^{15}	10^{12}	10^9	10^6	10^3	10^2	10^1
Name	Dezi	Zenti	Milli	Mikro	Nano	Piko	Femto	Atto	Zepto	Yokto
Symbol	d	c	m	μ	n	p	f	a	z	y
Faktor	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}	10^{-21}	10^{-24}

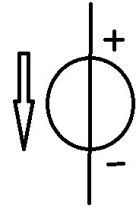
Zumindest die SI – Präfixe von 10^{-12} bis 10^{+12} müsst Ihr wissen und damit rechnen können! Nicht nur, weil ich sie prüfe, sondern vor allem, weil das technisch – akademisches Handwerkszeug ist. Ich weiß aus trauriger Erfahrung, dass sich so manche Hörerin und so mancher Hörer davor drücken. Das Ergebnis ist dann vor allem blamabel. Bitte blamiert Euch nicht und übt das!

In der heutigen Vorlesung wollen wir diese noch recht abstrakten Grundbegriffe ein wenig konkretisieren und uns auf deren Anwendung vorbereiten.

Zuvor muss ich leider auf ein recht allgegenwärtiges Problem hinweisen: Eine essentielle und wesentliche Eigenschaft wissenschaftlicher Arbeit ist die möglichst ausschließliche Verwendung klar definierter Begriffe. Trotzdem niemand, den man ernst zu nehmen braucht, diesen Anspruch in Zweifel ziehen würde, gibt es damit doch in der Praxis einige Probleme. Etwas kabarettistisch formuliere ich: „Normen sind dazu da, dass jeder eine hat!“. Vor allem in der technischen Anwendung stimmt dies leider allzu oft und auch in der „reinen“ Wissenschaft ist nicht alles Gold was glänzt, auch wenn das Bemühen ernst ist und die Klarheit und Eindeutigkeit weitgehend eingehalten werden. Man hilft sich mit der Forderung nach einschlägiger Sachkenntnis, durch die man hofft, die noch immer vorhandenen Grauzonen zu überwinden.

Spannungsquellen

Ganz allgemein ist eine Spannungsquelle ein elektrischer Zweipol (hat zwei Anschlüsse, nicht mehr hinein interpretieren!), der eine elektrische Spannung erzeugt. Das entsprechende Symbol ist



Bitte beachtet, dass dieses Symbol (manchmal auch ohne die Polaritätszeichen, in manchen Schaltungen lässt man auch den Pfeil weg) eine allgemeine Spannungsquelle für Gleichspannung repräsentiert und keinerlei Aussagen zu ihrer technischen Realisierung macht! Die Pfeilrichtung sollte einfach als Teil des Symbols betrachtet werden. Wer möchte, interpretiert sie beispielsweise als Zeichen der Richtung der Elektronenbewegung. Für uns ist dies ohne Bedeutung.

In Protokollen und bei Besprechungen zeichnet Ihr Pfeil und Polaritätszeichen ein.

Ideale Spannungsquellen liefern eine gewählte Spannung genau und konstant, völlig unabhängig von der Belastung. Sie sind technisch lediglich in einem gewissen Bereich realisierbar. Als ideal betrachtet dienen sie zu Lehr – und Simulationszwecken. Die technische Realisierung idealer Spannungsquellen scheitert daran, dass mit geringer werdendem Belastungswiderstand der Strom über alle Grenzen geht.

Für die technische Realisierung unterscheiden wir

- Die eigentlichen Quellen der elektrischen Energie. Das sind derzeit vor allem Generatoren, die mechanische Energie in elektrische umwandeln und Batterien bzw. Brennstoffzellen, die chemische Energie in elektrische umwandeln. Photovoltaische Zellen (Solarzellen) sowie thermoelektrische Generatoren befriedigen zum derzeitigen Stand der Technik aufgrund ihrer schweren ökologischen und ökonomischen Mängel lediglich für spezielle Anwendungen. (Dass Solarzellen auch zur kommunalen Energieversorgung eingesetzt werden, beruht auf politischen und weltanschaulichen Gründen und ist derzeit in dieser Form eigentlich nicht argumentierbar.)
- Referenzspannungsquellen, welche nicht selbst elektrische Energie erzeugen, sondern aus einer Quelle mit nicht genauer oder nicht konstanter Spannung eine genaue und konstante Spannung erzeugen. Deren Belastbarkeit ist gering und liegt im Allgemeinen unter 20mA. Die heutzutage üblichen Realisierungen beruhen auf der Messung des energetischen Abstandes zwischen dem Valenz- und dem Leitungsband des Siliziums (Bandgap – Referenz) oder der Durchbruchspannung einer Halbleiter – Sperrschicht (Zenerdiode). Details dazu entnehmen Interessierte der gut verfügbaren Literatur, für Repetitorium und Übungen sind keine weiteren Informationen erforderlich.
- Reale Konstantspannungsquellen. Diese Einrichtungen sorgen dafür, dass die an den elektrischen Anschlüssen anliegende Spannung einstellbar, dann aber tatsächlich konstant und bis zu einer vorgegebenen Stromgrenze nicht von der Belastung abhängig ist. Meistens verwendet man Einrichtungen, die aus dem Lichtstromnetz mit elektrischer Energie versorgt werden und nennt diese dann „Netzgerät“. Details folgen.

Wichtig: Wenn hier ohne nähere Spezifikation von „Spannungsquelle“ die Rede ist, ist immer die „ideale Konstantspannungsquelle“ gemeint!

Die Batterie

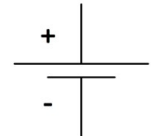
Grundsätzlich gibt es drei Arten von Aufbauten, die chemische Energie in elektrische umwandeln:

Primärbatterien: Irreversible Erzeugung elektrischer Energie durch Umwandlung aus chemischer Energie: Eine chemische Reaktion wird so gestaltet, dass die notwendigen Ladungsträger über eine äußere Verbindung fließen müssen.

Sekundärbatterien = Akkumulatoren: Die reversible Erzeugung elektrischer Energie durch Umwandlung chemischer Energie: Eine chemische Reaktion wird so gestaltet, dass die notwendigen Ladungsträger über eine äußere Verbindung fließen müssen. Zum Unterschied von den nur einmal verwendbaren Primärbatterien sind Sekundärbatterien so gebaut, dass die Umwandlung von chemischer in elektrische Energie reversibel ist. Diesen Vorgang nennt man Aufladung.

Brennstoffzellen sind galvanische Zellen, die die chemische Reaktionsenergie eines kontinuierlich zugeführten Brennstoffes und eines Oxidationsmittels in elektrische Energie umwandelt. Wesentlich ist die kontinuierliche Zuführung der Reaktionsmittel im Gegensatz zu den Batterien, bei denen die Reaktionsmittel fix im Batteriebehälter aufbewahrt sind.

Das übliche Schaltzeichen von Batterien ist



Immer wieder sieht man aber auch, dass der schmale Anschluss der positive Pol ist, man sieht auch mehrere Batterien zusammengeschaltet:



Eigentlich nicht im Sinn der Sache, aber ebenso immer wieder zu sehen ist, das Symbol für die Batterie für die ideale Spannungsquelle zu verwenden. Vermutlich ist das historisch bedingt, da bis ins letzte Drittel des 20. Jahrhunderts große Akkumulatoren als Spannungsversorgung für elektrische Präzisionsmessgeräte verwendet wurden. Inzwischen ist das aber glücklicherweise Geschichte.

Hinweis für Interessierte: Immer wieder tauchen Systeme auf, mit denen (angeblich) auch Primärbatterien regeneriert werden können. Es gibt auch spezielle Batterietypen, die zwischen den Primär- und den Sekundärbatterien angesiedelt sind: Sie können etwa 25 mal aufgeladen werden. Solche Aufbauten sind ein wenig gefährlich, da beim Aufladen immer Explosionsgefahr besteht. Bei der Abschätzung des tatsächlichen Nutzens sind neben dem Spielerischen und Weltanschaulichen Gesamtkosten und Verfügbarkeit zu berücksichtigen.

Stromrichtung

Die Polarität von Spannungen wurde festgelegt, bevor die zugrunde liegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten richtig erkannt wurden. Heute weiß man, dass negative Spannungen dort sind, wo mehr Elektronen sind als an der Masse, positive Spannungen dort, wo weniger Elektronen sind als an der Masse.

Bisher sind wir von der einfachsten Art der Elektrizitätsleitung ausgegangen, der Bewegung von Elektronen in einem Metall. Es gibt aber weitere praxisrelevante Arten:

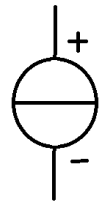
- Bewegung von Elektronen im Vakuum
- Bewegung von Elektronen in (Misch)Kristallen
- Bewegung von Elektronen und Löchern in Halbleitern
- Ionen in Gasen

- Ionen in wässrigen Lösungen
- Ionen in Festkörpern
- Ionen im Plasma
- Ionen in Schmelzen und in ionischen Flüssigkeiten
- Ionenlöcher in Festkörpern

In dieser Reihenfolge werden auch die mit dem Ladungstransport einhergehenden Effekte immer seltsamer und schwieriger zu beschreiben bzw vorherzusagen. Wir werden uns im Rahmen dieser Lehrveranstaltung nur mit der Bewegung von Elektronen in Festkörpern beschäftigen. Für die anderen Leitungsarten wird auf die einschlägigen Vorlesungen verwiesen.

Definition: Die technische Stromrichtung ist immer von Plus nach Minus, ohne jede Rücksicht auf die dem Ladungstransport zugrunde liegenden Mechanismen.

Stromquellen sind per Definition Zweipole, welche einen Strom liefern, der unabhängig von der Belastung ist. Das Ohmsche Gesetz macht sofort klar, warum die technische Realisierung von idealen Stromquellen unmöglich ist: Bei höher werdenden Belastungswiderständen steigt die zum korrekten Betrieb erforderliche Spannung über alle Grenzen. (Bitte selbst nachrechnen!) Das derzeit übliche Symbol ist:



Man beachte, dass im Gegensatz zur Spannungsquelle die innere Linie horizontal ist. Einen Pfeil dazu zu zeichnen, ist nicht üblich.

Nicht normgemäß, aber auch immer wieder zu sehen ist das alte europäische Symbol



sowie das amerikanische Symbol

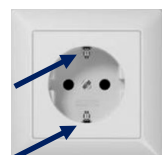


Die technische Realisierung von Stromquellen erfordert weitergehende Kenntnisse. Entweder man macht sich spezielle Eigenheiten von Halbleitern zu Nutze wie den konstanten Kollektorstrom eines Sperrschichttransistors bei konstanter Basisspannung oder man verwendet elektronische Regelkreise, welche heutzutage meist zu geringen Preisen integriert verfügbar sind.

Im Rahmen von Repetitorium und Übung ist die technische Realisierung von Stromquellen kein Thema. Es genügt, wenn Ihr Symbol und Definition kennt.

Präzisierung zum Thema Masse und Erde: Jedes elektrotechnische System mit mehr als zwei Bauelementen hat eine Masse. Auf welchem Potential diese liegt, legt der Konstrukteur fest, wobei man sich an Gepflogenheiten hält, welche durchaus dem Zeitgeist unterliegen: Heute ist es üblich, dass sich das wesentliche Geschehen zwischen der Masse und einer oder mehreren positiven Spannungen abspielt. Negative Spannungen werden eigentlich nur mehr für manche analogen Systeme verwendet. Als ich jung war, war das umgekehrt: Der positivste Pol der Schaltung war Masse.

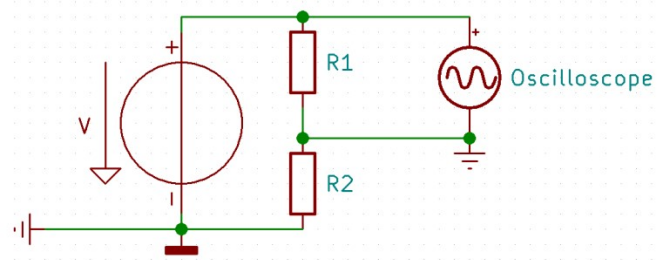
Die Erdleitung dient (wenn vorhanden) als Schutzerde zum Ableiten von im Fehlerfall gefährlichen Fehlerströmen sowie zum Ableiten parasitärer hochfrequenter Ströme bei einigen Arten von getakteten Stromversorgungen. Der Erdanschluss an den üblichen Schuko-Steckdosen ist der doppelseitige Federkontakt, den man mit bloßen Fingern angreifen kann.



Interessierte lesen die einschlägigen Internetseiten zu Fehlerstrom und Fehlerstromschutzschalter. Bei Repetitorium und Übungen kommen diese Themen nicht vor.

Aufpassen: Jedes Gerät hat eine Masse. Netzbetriebene Geräte können einen Erdanschluss haben, müssen aber nicht unbedingt. Denkt beispielsweise an die Steckernetzgeräte, mit denen Ihr Eure Handys aufladet: Die haben normalerweise keinen Erdanschluss. Bei Geräten mit Netzanschluss mit Erdanschluss kann die Masse mit der Erde verbunden sein, muss aber nicht. Für Euch wichtig ist, dass bei netzbetriebenen Oszilloskopen die Masse mit der Erde verbunden ist. In der Konsequenz kann es geschehen, dass der Anschluss von zwei Geräten, bei denen die Masse intern mit der Erde verbunden ist, an einen Aufbau zu einem Kurzschluss führen kann!

Hier ein durchaus praxisnahes Beispiel: An der Spannungsquelle ist der – Pol Masse und Erde, ebenso beim Oszilloskop. Nur ist das Oszilloskop parallel zu R1 geschaltet. Konsequenz: R2 ist kurzgeschlossen.



Bitte denkt diese Gegebenheiten durch und lernt sie! Die interne Verbindung von Masse und Erde bei netzbetriebenen Oszilloskopen ist für ein Übungsbeispiel relevant!

Widerstände

Als Schaltsymbol ist in Europa



und in den USA



gebräuchlich. Wir empfehlen, die europäische Norm zu verwenden, auch weil dabei die Verwechslungsmöglichkeit mit der Spule (kommt später) wegfällt.

Hinweise für Interessierte:

Kenngrößen von Widerständen

- Elektrischer Widerstand (Typische Werte $0,1\Omega$ bis $10M\Omega$, Sonderbauformen $1m\Omega$ - $1T\Omega$)
- Toleranz (Typische Werte 1% bis 5%, Sonderbauformen bis 0,01%)
- Betriebsleistung (Typische Werte 0,1W bis 100W, Sonderbauformen beliebig hoch)
- Temperaturkoeffizient (Typischer Wert 50ppm/K, sonst 0,2ppm/K bis 1000ppm/K)
- Widerstandsmaterial (Typisch Metallschicht, Cermet oder Konstantandraht, selten Kohleschicht; für höchste Qualität Z – Folie)
- Spannungsfestigkeit (Typisch 150V bei SMD – Bauformen, 350V bei den bedrahteten, bis 20kV gibt's Hochspannungsbauformen, darüber wird's exotisch)

Übliche Bauformen von Widerständen



Typischer Metallschichtwiderstand zur Oberflächenmontage 0.125W



Typischer bedrahteter Metallschichtwiderstand 0.6W



Typischer bedrahteter Drahtwiderstand im Keramikgehäuse, 4 bis 17W



Typischer Leistungswiderstand mit Flanschmontage im Aluminiumgehäuse, 10 bis 600W



Typischer Hochspannungswiderstand 15kV

Wertereihen

Natürlich ist es weder technisch und logistisch sinnvoll noch kommerziell möglich, sämtliche technisch möglichen Bauelementewerte zu erzeugen und zu vertreiben. Daher hat sich die Industrie bereits in einem frühen Stadium dazu entschlossen, Normreihen – sogenannte E-Reihen – für Bauelemente einzuführen.

Es gibt sieben E-Reihen: E3, E6, E12, E24, E48, E96 und E192. Die Zahl hinter dem E gibt an, wie viele Werte sie innerhalb einer Dekade enthalten. Diese Reihen sind in der aktuellen Norm DIN IEC 60063 festgelegt. Eine E-Reihe deckt dabei den Wertebereich so ab, dass das Verhältnis aufeinanderfolgender Werte möglichst gleich groß ist. Außerdem sind die Werte so gewählt, dass sich die Ziffernfolgen in jeder Dekade wiederholen.

In den E-Reihen verteilen sich die Werte innerhalb einer Dekade nicht linear, sondern logarithmisch. Die Werte innerhalb einer Reihe werden durch folgende mathematische Folge beschrieben:

$$k = \sqrt[n]{10^m} \quad n = \text{E-Reihe}, m \in \mathbb{N}_0$$

Die Glieder der Folge werden so gerundet, dass sich bei den Reihen E3 bis E24 zwei und bei den Reihen E48 bis E192 drei signifikante Stellen und außerdem zwischen benachbarten Folgengliedern minimale Differenzen ergeben. Die jeweils nächst präzisere Widerstandsreihe ergibt sich durch Verdoppelung der Zahl und Halbierung der Toleranz.

Der Farbcode

An vielen elektronischen Bauelementen werden die Identifikationen aus Gründen der schnellen Lesbarkeit nicht in Klarschrift sondern mit einem umlaufenden Aufdruck von Farbkennringen angebracht.

Es gibt Farbcodes mit 4 Ringen, mit 5 Ringen oder 6 Ringen.

Bei 4 Ringen geben die ersten beiden Ringe die Zahlenwerte an (siehe Tabelle unten), der 3. Ring gibt den Multiplikator ($1 = \cdot 10$, $2 = \cdot 100$, $3 = \cdot 1000$) und der 4. Ring gibt die Toleranzklasse an. Bei dieser Art könnte man bis zu 8640 verschiedene Abstufungen ausdrücken.

Bei 5 Ringen geben die ersten 3 Ringe den Zahlenwert an, der 4. Ring ist der Multiplikator und der 5. Ring die Toleranzklasse.

Bei 6 Ringen ist es genau wie bei 5 Ringen, nur, dass ein 6. Ring dazu kommt, der eine Information über den Temperaturkoeffizienten enthält



Die Richtung der Entschlüsselung erfolgt je nach Ausführung:

Leserichtungsart 1



Leserichtungsart 2

- Der letzte Ring für die Toleranzangabe ist räumlich abgesetzt!
- Prüfung: Eine andere Leserichtung ergibt keinen Wert der zugehörigen E-Reihe

Die Farbkodierung ist in der DIN IEC 62, bzw. für Widerstände mit Angabe des Temperaturkoeffizienten nach DIN 41429 wie folgt festgelegt:

Farbkodierung von Widerständen mit 4 Ringen					
Farbe		Widerstandswert in Ω			Toleranz
		1. Ring (1. Ziffer)	2. Ring (2. Ziffer)	3. Ring (Multiplikator)	
„keine“	×	—	—	—	±20 %
silber		—	—	$10^{-2} = 0,01$	±10 %
gold		—	—	$10^{-1} = 0,1$	±5 %
schwarz		—	0	$10^0 = 1$	—
braun		1	1	$10^1 = 10$	±1 %
rot		2	2	$10^2 = 100$	±2 %
orange		3	3	$10^3 = 1.000$	—
gelb		4	4	$10^4 = 10.000$	—
grün		5	5	$10^5 = 100.000$	±0,5 %
blau		6	6	$10^6 = 1.000.000$	±0,25 %
violett		7	7	$10^7 = 10.000.000$	±0,1 %
grau		8	8	$10^8 = 100.000.000$	±0,05 %
weiß		9	9	$10^9 = 1.000.000.000$	—

Widerstände hoher Genauigkeit haben meistens 5 oder 6 Ringe. Bei 5 Ringen geben die ersten drei die Mantisse an, Ring 4 den Multiplikator und Ring 5 die Toleranz. Ein sechster Ring gibt den Temperaturkoeffizienten an.

Farbkodierung von Widerständen mit 5 oder 6 Ringen						
Farbe	1. Ring (1. Ziffer)	2. Ring (2. Ziffer)	3. Ring (3. Ziffer)	4. Ring (Multiplikator)	5. Ring (Toleranz)	6. Ring (Temp. Koeffizient)
silber				10^{-2}		
gold				10^{-1}		
schwarz		0	0	10^0		$200 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
braun	1	1	1	10^1	$\pm 1 \%$	$100 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
rot	2	2	2	10^2	$\pm 2 \%$	$50 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
orange	3	3	3	10^3		$15 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
gelb	4	4	4	10^4		$25 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
grün	5	5	5	10^5	$\pm 0,5 \%$	
blau	6	6	6	10^6	$\pm 0,25 \%$	$10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
violett	7	7	7		$\pm 0,1 \%$	$5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
grau	8	8	8		$\pm 0,05 \%$	
weiß	9	9	9			

Beispiele:

Die Farbringe *gelb-violett-rot-braun* bedeuten $47 \cdot 10^2$ und eine Toleranz von $\pm 1 \%$. Daraus ergibt sich für den Widerstand mit einem Nennwert von $4,7 \text{ k}\Omega$ ein möglicher Toleranzbereich von $4,653 \text{ k}\Omega$ bis $4,747 \text{ k}\Omega$.

Ein Widerstand mit den fünf Ringen *grün-braun-braun-rot-braun* hat einen Nennwert von $511 \cdot 10^2 \Omega$ und weist eine Toleranz von 1% auf. Damit hat dieser Widerstand einen Wert von $51,1 \text{ k}\Omega \pm 1 \%$.

Soweit die Theorie. In der Praxis sind die Farben vielfach dermaßen schwer ablesbar und unterscheidbar, dass sich eine Messung unbedingt empfiehlt!

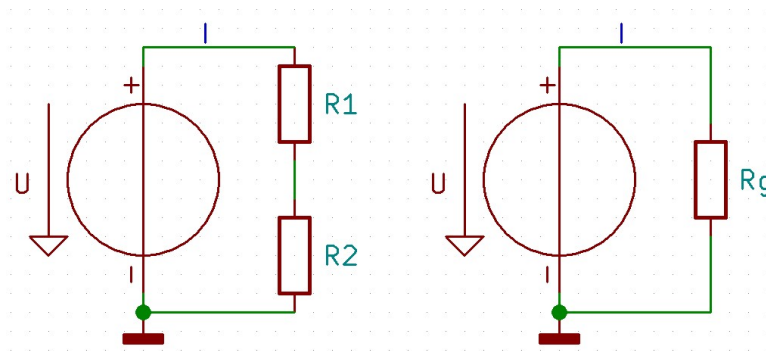
Hinweis für die Besprechung: Die beiden wesentlichen Kenngrößen von Widerständen sind Widerstandswert $[\Omega]$ und maximale Betriebsleistung $[\text{W}]$.

Bisher haben wir uns mit der Zusammenschaltung von 1 Spannungsquelle oder 1 Stromquelle mit 1 Widerstand beschäftigt. In der Praxis sind natürlich Verschaltungen von mehreren Widerständen üblich. Die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten dazu wollen wir als nächstes kennenlernen:

Zusammenschaltung von Widerständen

Die Serienschaltung: Dazu interessiert uns, wie sich die Serienschaltung von zwei oder mehr Widerständen durch einen einzelnen Widerstand ersetzen lässt.

In der Praxis ist die Umkehrung häufiger: Wie kann man einen nicht verfügbaren Widerstand durch die Serienschaltung mehrerer verfügbarer ersetzen?



Wir wollen also die Serienschaltung von R_1 und R_2 im linken Schaltbild durch den Einzelwiderstand R_g im rechten Schaltbild ersetzen, wobei die elektrischen Eigenschaften der Schaltung erhalten bleiben sollen.

Die wesentliche elektrische Eigenschaft der Schaltung ist offenbar der Strom I . Wir wenden Kirchhoff 2 an: Die Summe der Teilspannungen an R_1 (nennen wir sie U_1) und R_2 (nennen wir sie U_2) müssen gleich der Gesamtspannung U sein. Andererseits müssen die beiden Teilspannungen dem Ohmschen Gesetz genügen. Also:

$$U = U_1 + U_2$$

$$U_1 = I \cdot R_1$$

$$U_2 = I \cdot R_2$$

$$U = I \cdot R_g$$

Einsetzen

$$I \cdot R_g = I \cdot R_1 + I \cdot R_2$$

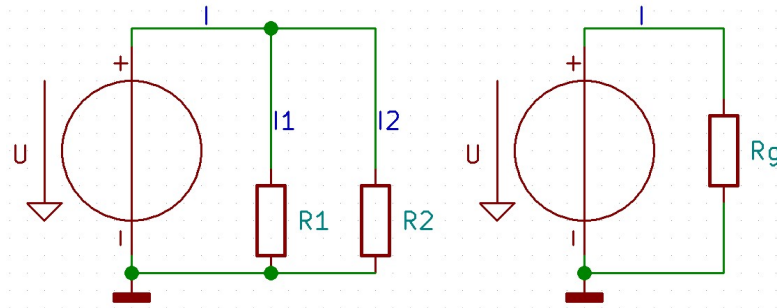
Durch I kürzen

$$R_g = R_1 + R_2$$

Konsequenz: Werden Widerstände in Serie geschaltet, so ist der Gesamtwiderstand gleich der Summe der Einzelwiderstände: $R_{ges} = \sum R_i$

Die Parallelschaltung: Dazu interessiert uns, wie sich die Parallelschaltung von zwei oder mehr Widerständen durch einen einzelnen Widerstand ersetzen lässt.

In der Praxis ist die Umkehrung häufiger: Wie kann man einen nicht verfügbaren Widerstand durch die Parallelschaltung mehrerer verfügbarer ersetzen?



Wir wollen also die Parallelschaltung von R_1 und R_2 im linken Schaltbild durch den Einzelwiderstand R_g im rechten Schaltbild ersetzen, wobei die elektrischen Eigenschaften der Schaltung erhalten bleiben sollen.

Die wesentliche elektrische Eigenschaft der Schaltung ist wiederum der Strom I . Wir wenden Kirchhoff 1 an: Die Summe der Teilströme durch R_1 (nennen wir ihn I_1) und R_2 (nennen wir ihn I_2) müssen gleich dem Gesamtstrom I sein. Andererseits müssen die beiden Teilströme dem Ohmschen Gesetz genügen. Also:

$$I = I_1 + I_2$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2}$$

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

Einsetzen

$$\frac{U}{R_g} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

Durch U kürzen

$$\frac{1}{R_g} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Daraus ergibt sich, dass der Kehrwert des Gesamtwiderstandes gleich der Summe der Kehrwerte der Einzelwiderstände ist:

$$\frac{1}{R_{ges}} = \sum \frac{1}{R_i}$$

Dies lässt sich am Taschenrechner ganz leicht rechnen:

Wert 1 eingeben $\rightarrow 1/x \rightarrow + \rightarrow$ Wert 2 eingeben $\rightarrow 1/x \rightarrow = \rightarrow 1/x$. Fertig.

Hinweis: Vor allem für zwei parallel geschaltete Widerstände kursiert auch die Formel

$$R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Von der Verwendung dieser Formel wird abgeraten, da man

- leicht Zähler- und Nennerfunktion vertauscht, was vor allem in der Prüfungssituation schnell passiert und dann unangenehm ist;
- beide Werte zwei Mal eingeben muss, was die Fehlerwahrscheinlichkeit verdoppelt.

Hinweis für Genaue: In beiden obigen Ableitungen wurde unreflektiert gekürzt. Was ist aber, wenn Spannung bzw. Strom aber Null werden? Daraus ergibt sich eine auch technisch relevante Erkenntnis: Widerstände können ausschließlich gemessen werden, wenn man sie elektrischer Energie aussetzt. Bei uns sind das Gleichspannungen bzw. Gleichströme, technisch bedeutend sich aber auch Wechselfelder. Interessierte schauen unter „Wirbelstromprüfung“ nach.

Übungen

Nenne die SI – Präfixe zu 10^{-6} 10^9 10^{-12} 10^3

Nenne die Zehnerpotenzen zu kilo, piko, nano, giga, mega

Wie viel sind (Ergebnis auch in SI – Präfixen) k/m $n \cdot G$ $k \cdot M$ $p \cdot T$ μ/k

Ändert sich die Ausgangsspannung einer idealen Spannungsquelle unter wechselnder Belastung?

Welches Problem verhindert die technische Realisierung einer idealen Spannungsquelle grundsätzlich?

Ändert sich der Ausgangsstrom einer idealen Stromquelle unter wechselnder Belastung?

Welches Problem verhindert die technische Realisierung einer idealen Stromquelle grundsätzlich?

Nenne und charakterisiere die drei Arten von Aufbauten, die chemische Energie in elektrische umwandeln.

Nenne vier grundlegenden Energieformen, aus denen technisch in einem Schritt elektrische Energie hergestellt wird.

Nenne die technische Stromrichtung. Ist diese von der jeweiligen speziellen Art des Ladungstransportes abhängig?

Auf welches Problem ist zu achten, wenn mehrere Geräte verschaltet werden, bei denen die Masse mit der Erde verbunden ist?

Auf welche Art wird der Widerstandswert eines realen Widerstandes gekennzeichnet?

Nenne die beiden wichtigsten Kennwerte eines realen Widerstandes!

Leite die Gesetze der Serien- und Parallelschaltung zweier Widerstände aus den elektrotechnischen Grundgesetzen ab.

Berechnen den Gesamtwiderstand dieses Netzwerkes:

Alle Widerstände haben den Wert R .

Hinweise: Schließe eine Spannungsquelle an. Zeichne zuerst die Ströme und dann die Teilspannungen ein. Beide Kirchhoffschen Gesetze beachten! Da Du nicht weißt, welche Richtung die Ströme haben, machst Du das willkürlich, das kürzt sich später heraus. Im Endeffekt bekommst Du fünf Gleichungen in fünf Unbekannten. Entweder mit Gauß oder über die inverse Matrix (wie ging das denn gleich... $\vec{x} = A^{-1} \cdot \vec{b}$) lösen. Das korrekte Ergebnis ist übrigens $13 R / 11$.

