

Einführung in die Elektrotechnik

[Grundlage und Übung im Gleichstromkreis]

Erik Börner

06.11.2011

(Edit 05.07.2016)

1. GEFAHREN DES ELEKTRISCHEN STROMS	4
2. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN	5
2.1 ELEKTRISCHER STROM / STROMSTÄRKE	5
2.2 ELEKTRISCHE SPANNUNG	6
2.3 ELEKTRISCHER WIDERSTAND	7
2.4 ELEKTRISCHER LEITWERT	8
2.5 ELEKTRISCHE FELDSTÄRKE.....	8
2.6 INDUKTION	9
3. KENNGRÖßEN IM STROMKREIS	10
3.1 WAS IST EIN STROMKREIS?	10
3.2 STROM-SPANNUNGS-KENNLINIE.....	10
3.3 OHMSCHES GESETZ.....	10
3.4 ELEKTRISCHE LEISTUNG	11
3.5 ELEKTRISCHE ARBEIT/ENERGIE	11
4. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN IM STROMKREIS.....	12
4.1 PARALLELSCHALTUNG.....	12
4.2 REIHENSCHALTUNG.....	13
4.3 ERSTES KIRCHHOFFSCHE REGEL – KNOTENREGEL.....	13
4.4 ZWEITE KIRCHHOFFSCHE REGEL – MASCHENREGEL	14
5. MESSEN ELEKTRISCHER GRÖßEN	15
5.1 SPANNUNGS- UND STROMARTEN	15
5.2 STROMRICHTIGES MESSEN	15
5.3 SPANNUNGSRICHTIGES MESSEN.....	16
5.4 WIDERSTANDSMESSUNG.....	17
6. GRUNDLEGENDE BAUELEMENTE IM GLEICHSPANNUNGSSTROMKREIS (IDEAL)	18
6.1 SPANNUNGSQUELLE.....	18
6.1.1 PARALLELSCHALTUNG VON SPANNUNGSQUELLEN	18
6.1.2 REIHENSCHALTUNG VON SPANNUNGSQUELLEN	18
6.2 OHMSCHER WIDERSTAND	19
6.2.1 PARALLELSCHALTUNG VON WIDERSTÄNDEN.....	19
6.2.2 REIHENSCHALTUNG VON WIDERSTÄNDEN	19
6.3 KONDENSATOR.....	20

6.3.1	PARALLELSCHALTUNG VON KONDENSATOREN	20
6.3.2	REIHENSCHALTUNG VON KONDENSATOREN.....	20
6.4	SPULE.....	21
6.4.1	PARALLELSCHALTUNG VON SPULEN.....	21
6.4.2	REIHENSCHALTUNG VON SPULEN	21
7.	<u>ÜBUNGEN.....</u>	22
8.	<u>LÖSUNGEN</u>	29

1. Gefahren des elektrischen Stroms

Durch den elektrischen Strom kommt es zu Störungen bei der Übertragung elektrischer Steuerimpulse zwischen den Nervenenden (Synapsen). Daraus resultierend ergeben sich die folgenden Stromwirkungen auf den Menschen:

- Herzschädigungen: Arhythmien, reversibler Herzstillstand und Herzkammerflimmern
- Atemstörungen: Verkrampfung der Atemmuskulatur.
- Verbrennungen: Große Stromstärken können lebensgefährliche Verbrennungen verursachen.
- Nierenschäden: Ein Nierenversagen ist noch nach Stunden möglich.
- Nervenschäden: Bewusstlosigkeit, Dauerschäden.
- Muskulaturverkrampfung: Die Stromquelle kann auf Grund der Muskelverkrampfung nicht mehr losgelassen werden. Dadurch wirkt der Strom länger ein und die anderen genannten Schädigungen werden dadurch entsprechend schlimmer.
- Schock: Ein Stromschlag kann einen Schock hervorrufen.

Gefährlichkeit von Wechselstrom von 50–60 Hz nach IEC 60479-1 wieder:

Stromstärke	Dauer	physiologische Auswirkungen
unter 0,5 mA	beliebig lange	Wahrnehmbarkeitsschwelle: Unterhalb dieses Werts sind elektrische Wechselströme für den Menschen nicht wahrnehmbar.
unter 10 mA	über 2 s	Es ist ein Kribbeln zu spüren. Schäden sind nicht zu befürchten.
unter 200 mA	unter 10 ms	
unter 100 mA	über 500 ms	Starke unwillkürliche Muskelreaktionen, welche zu dauerhaften Schäden führen können. Die Stromquelle kann auf Grund der Muskelverkrampfung nicht mehr losgelassen werden.
unter 1 A	unter 200 ms	
über 100 mA	über 500 ms	Zusätzlich zu den Muskelkontraktionen kann Herzkammerflimmern auftreten. Schwere Schäden bzw. tödliche Stromwirkung sind wahrscheinlich.
über 1 A	unter 200 ms	

2. Physikalische Grundlagen

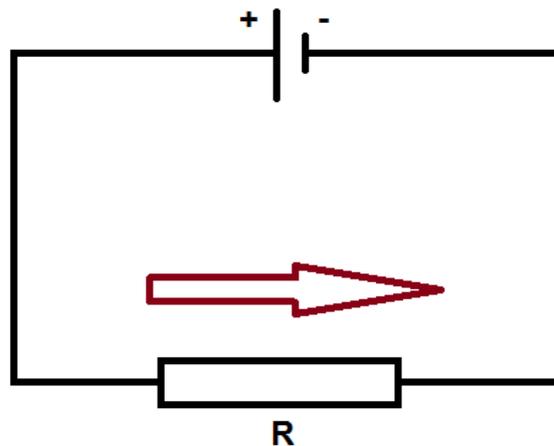
2.1 Elektrischer Strom / Stromstärke

Der elektrische Strom ist die gezielt und gerichtete Bewegung freier Ladungsträger. Ladungsträger können dabei Elektronen oder Ionen sein. Strom kann nur fließen wenn genügend freibewegliche Ladungsträger vorhanden sind. Dies ist vor allem der Fall bei leitfähigen Materialien wie Metallen (Kupfer, Aluminium). Aber auch Gasen, Flüssigkeiten oder ein Vakuum kann ein Leiter sein. Zusätzlich muss ein geschlossener Stromkreis vorliegen.

Formelzeichen	Maßeinheit	Beschreibung
I	A	Der elektrische Strom I wird in (A)mpere angegeben und gibt an wie viele Elektronen in einer Sekunde durch einen Leiter fließen

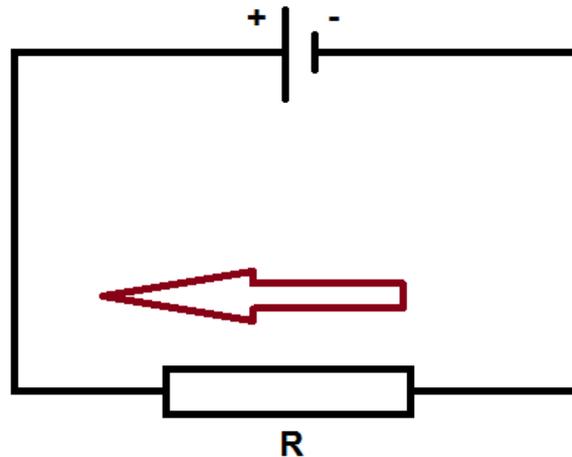
Es gibt aufgrund unterschiedlicher wissenschaftlicher Meinungen (historisch) zwei Arten den Stromfluss in einem Schaltplan anzugeben.

Technische Stromrichtung:



Die technische Stromrichtung beruht auf der Annahme, dass in Metallen positive Ladungsträger für den Stromfluss verantwortlich sind. Demnach fließt der Strom vom positiven Pol der Spannungsquelle zum negativen Pol. Dies ist zwar mittlerweile widerlegt, dennoch wird die Stromrichtung auch heute noch von Plus nach Minus definiert.

Physikalische Stromrichtung:



Real fließt der elektrische Strom vom negativen Pol zum positiven Pol der Spannungsquelle. Grundlage ist das freie Ladungsträger (Elektronen, negative Ladung) vom negativen Pol abgestoßen und vom positiven Pol angezogen werden.

Formeln zur Berechnung:

$$\text{Elektrischer Strom } I = \frac{\text{Elektrische Spannung } U}{\text{Elektrischer Widerstand } R}$$

$$\text{Elektrischer Strom } I = \frac{\text{Elektrische Leistung } P}{\text{Elektrische Spannung } U}$$

$$\text{Elektrischer Strom } I = \frac{\text{Elektrische Ladung } Q}{\text{Zeit } t}$$

2.2 Elektrische Spannung

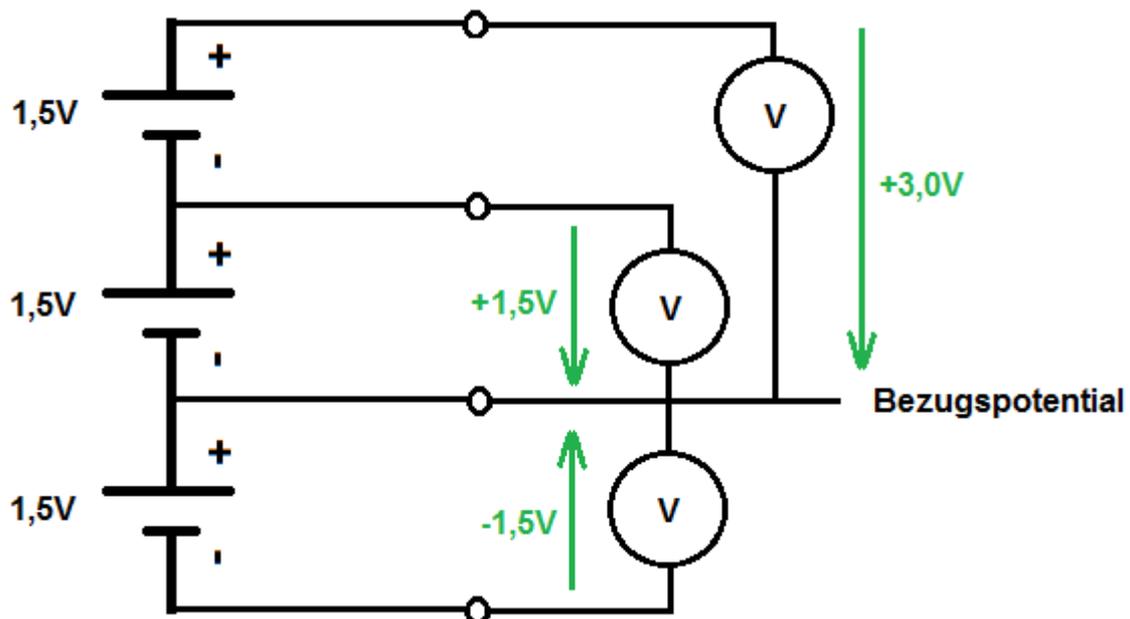
Die elektrische Spannung gibt den Ladungsunterschied zwischen zwei Polen an. Sie bestimmt wie viel Arbeit oder Energie nötig ist um eine bestimmte elektrische Ladung in einem elektrischen Feld zu bewegen.

Praktisch gesehen:

In der Regel besitzt eine Spannungsquelle zwei Pole. Einen Pluspol mit einem Mangel an Elektronen und einen Minuspol mit Überschuss an Elektronen. Diesen Unterschied an Elektronen nennt man elektrische Spannung. Werden die beiden Pole verbunden fließt ein Ladungsausgleich, also ein elektrischer Strom. Eine elektrische Spannung ist somit die Ursache eines Stromflusses.

Formelzeichen	Maßeinheit	Beschreibung
U	V	Die elektrische Spannung U wird in (V)olt angegeben.

Eine Spannung wird immer relativ zu einem Bezugspunkt (0V, Masse) angegeben. Man spricht hier auch vom Potential. Der Potentialunterschied der über einen Widerstand gemessen werden kann wird Spannungsabfall und die Spannung an den Anschlüssen einer Spannungsquelle Quellspannung genannt. Ist an einem Pol der Spannungsquelle ein Ladungsüberschuss bezüglich des Bezugspunktes zu verzeichnen kann ein positives Potential/Spannung gemessen werden. Ist ein Ladungsmangel zu verzeichnen ergibt sich eine negative Spannung. Die Wirkrichtung der Spannung wird in Schaltungen mit Pfeilen vom positiven zum negativen Potential angegeben. Folgendes Bild soll die Zusammenhänge näher erläutern:



2.3 Elektrischer Widerstand

Bewegen sich freie Ladungsträger durch einen elektrischen Leiter, so stoßen sie zwangsläufig mit den Atomen des Leiters zusammen. Diesen Effekt nennt man elektrischer Widerstand. Der Widerstand eines Leiters begrenzt den Stromfluss.

Formelzeichen	Maßeinheit	Beschreibung
R	Ω	Der elektrische Widerstand R wird in (Ω) Ohm angegeben.

Formeln zur Berechnung:

$$\text{Elektrische Spannung } U = \text{Elektrischer Strom } I * \text{Elektrischer Widerstand } R$$

$$\text{Elektrische Spannung } U = \frac{\text{Elektrische Leistung } P}{\text{Elektrischer Strom } I}$$

Bemerkung:

Im Ohmschen Widerstand bewegen sich die Atome bei Temperaturzunahme stärker. Dies hat zur Folge, dass der Widerstand bei höheren Temperaturen steigt und bei niedrigeren Temperaturen sinkt. Mit Hilfe der Materialkonstanten des spezifischen elektrischen Widerstands kann dieser Effekt weiterführend betrachtet werden.

2.4 Elektrischer Leitwert

Der ist der Kehrwert des elektrischen Widerstandes. Er gibt an wie gut ein Bauelement den elektrischen Strom leitet.

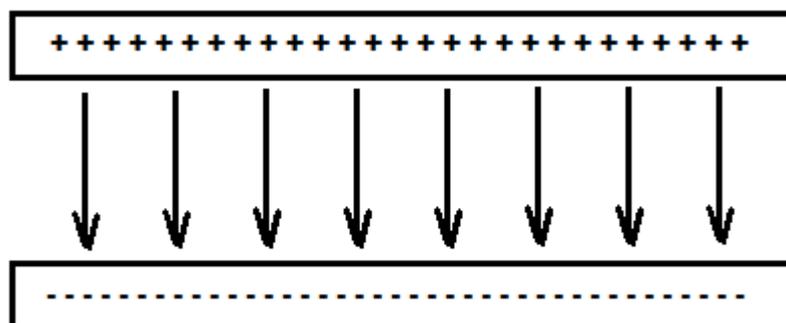
Formelzeichen	Maßeinheit	Beschreibung
G	S	Der elektrische Leitwert G wird in (S)iemens angegeben.

Formel zur Berechnung:

$$\text{Elektrischer Leitwert } G = \frac{1}{\text{Elektrischer Widerstand } R}$$

2.5 Elektrische Feldstärke

Der Raum zwischen zwei ungleich elektrisch geladenen Objekten wird elektrisches Feld genannt. Prinzipiell ist jeder stromdurchflossene Leiter von einem elektrischen Feld umgeben. Die Stärke und Richtung des Fels wird mit Feldlinien von plus nach minus angegeben.



In einem solchen Feld kann Energie gespeichert werden (siehe dazu 6.3). In einem homogenen elektrischen Feld ist die Feldstärke an jedem Punkt gleichgroß. Die Feldstärke ist vom Ladungsunterschied und dem Abstand der geladenen Objekte abhängig.

Es gilt:

- Die Feldstärke ist umso größer je größer der Ladungsunterschied ist
- Die Feldstärke verringert sich mit zunehmenden Abstand der geladenen Objekte zueinander

Formelzeichen	Maßeinheit	Beschreibung
E	V/m	Die elektrische Feldstärke E wird in Volt/Meter angegeben.

Formel zur Berechnung:

$$\text{Elektrische Feldstärke } E = \frac{\text{Elektrische Spannung } U}{\text{Abstand } l}$$

Bemerkung:

Ist die elektrische Ladung zu groß oder der Abstand der geladenen Objekte zueinander zu gering, so findet ein Ladungsaustausch z.B. als Lichtbogen statt. Dieser Durchschlag kann verhindert werden indem verschiedene nichtleitende Stoffe in den Zwischenraum eingebracht werden. Ein Maß dafür welche Stoffe welche Feldstärken aushalten ist die Durchschlagsfestigkeit.

Stoffe	Mittlere Durchschlagsfestigkeit (in kV/mm)
Papier	10
PVC	50
Luft	3,3
Polystyrol	100

2.6 Induktion

Erzwungene Induktion:

Wird ein Leiter in einem Magnetfeld bewegt wird eine Spannung im Leiter induziert. Das Magnetfeld kann durch einen Dauermagneten oder Elektromagneten erzeugt werden. Die Grundlage dieser Induktion ist die Lorenzkraft. Aufgrund der Magnetfeldänderung findet im Leiter ein Ladungstransport statt. Die Ladungen werden getrennt und an den Enden des Leiters kann eine Spannung gemessen werden. Dieses Prinzip findet bei Generatoren bzw. Transformatoren Anwendung.

Selbstinduktion:

Wird eine Leiter von Strom durchflossen umgibt ihn ein spezifisches elektromagnetisches Feld. Ändert sich die Stromfluss z.B. durch abschalten der Quellspannung oder Wechselstrombetrieb wird die Energie aus dem umgebenden elektromagnetischen Feld zurück in den Leiter induziert. Die induzierte Spannung wirkt dem magnetischen Fluss entgegen (siehe „Lenzsche Regel“). Eine Abnahme des Stroms führt somit zu einer Erhöhung der Spannung, die der Abnahme des Stroms entgegenwirkt. (siehe 6.4 Spule)

Die Induktivität eines Leiters wird vom Stromfluss, Magnetfeld und der Windungszahl beeinflusst.

3. Kenngrößen im Stromkreis

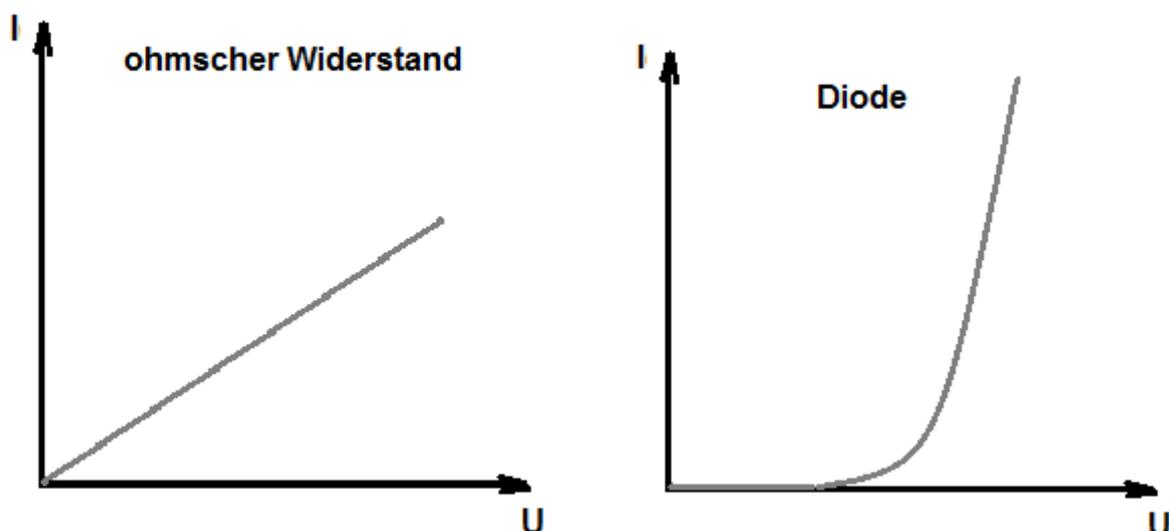
3.1 Was ist ein Stromkreis?

Ein Stromkreis besteht aus einer oder mehreren Spannungs-/Stromquellen und verschiedenen aktiven / passiven Verbrauchern die über Leitungen miteinander verbunden sind. In einem geschlossenen Stromkreis findet ein Ladungstransport statt.

3.2 Strom-Spannungs-Kennlinie

Die Strom-Spannungs-Kennlinie beschreibt bei zweipoligen elektrischen Bauelementen den Zusammenhang zwischen elektrischem Strom und Spannung.

Beispiel:



3.3 Ohmsches Gesetz

Das Ohmsche Gesetz beschreibt einen proportionalen Zusammenhang zwischen elektrischem Strom, Spannung und Widerstand bei konstanter Temperatur.

Formel zur Berechnung:

$$\text{Elektrischer Widerstand } R = \frac{\text{Elektrische Spannung } U}{\text{Elektrischer Strom } I}$$

$$\text{Elektrische Spannung } U = \text{Elektrischer Widerstand } R * \text{Elektrischer Strom } I$$

$$\text{Elektrischer Strom } I = \frac{\text{Elektrische Spannung } U}{\text{Elektrischer Widerstand } R}$$

3.4 Elektrische Leistung

Die elektrische Leistung bestimmt wie viel elektrische Energie pro Zeit geliefert bzw. bezogen wurde. Die elektrische Leistung in einem Bauelement ergibt sich im Gleichstromkreis aus dem Produkt der Spannung und des Stroms.

Formelzeichen	Maßeinheit	Beschreibung
P	W	Die elektrische Leistung P wird in (W)att angegeben.

Formel zur Berechnung:

$$\text{Elektrische Leistung } P = \text{Elektrische Spannung } U * \text{Elektrischer Strom } I$$

Im Wechselstromkreis ist dieser Zusammenhang zeitabhängig.

3.5 Elektrische Arbeit/Energie

Der Begriff elektrische Arbeit W wird bei der Übertragung von elektrischer Energie verwendet. Von elektrischer Energie E bezeichnet die Energie, die mittels der Elektrizität übertragen oder in elektrischen Feldern gespeichert wird.

Formelzeichen	Maßeinheit	Beschreibung
W	Wh	Die elektrische Arbeit W wird in (W)att Stunden angegeben. Die elektrische Energie E wird dagegen in (J)oule angegeben.

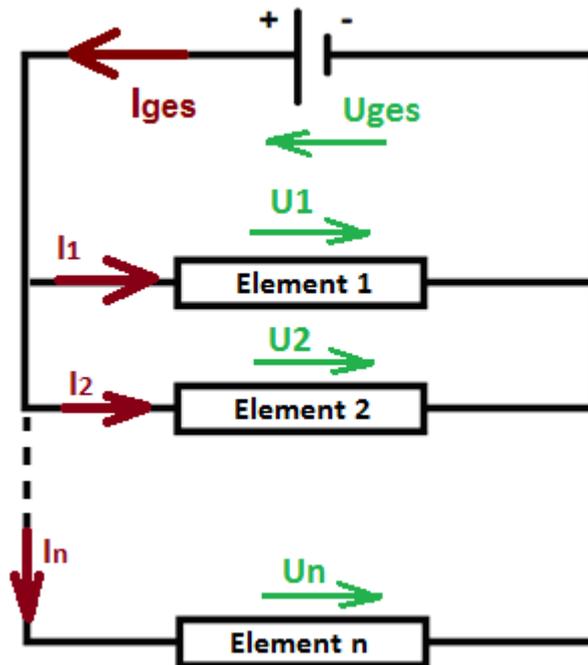
Formel zur Berechnung:

$$\text{Elektrische Arbeit } W = \text{Elektrische Leistung } P * \text{Zeit } t$$

4. Berechnungsgrundlagen im Stromkreis

4.1 Parallelschaltung

Eine Parallelschaltung ist ein Schaltung (Teilschaltung) deren zweipolige Elemente (Bauteile) parallel zueinander geschaltet sind, d.h. alle gleichnamigen Pole sind jeweils in einem Punkt miteinander verbunden.



Eigenschaften der Parallelschaltung:

- An allen Verbrauchern liegt die gleiche elektrische Spannung, auch wenn deren Stromaufnahme unterschiedlich ist.

$$U_{\text{ges}} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

- der Gesamtstrombedarf ergibt sich aus der Summe der Einzelströme der parallelen Zweige

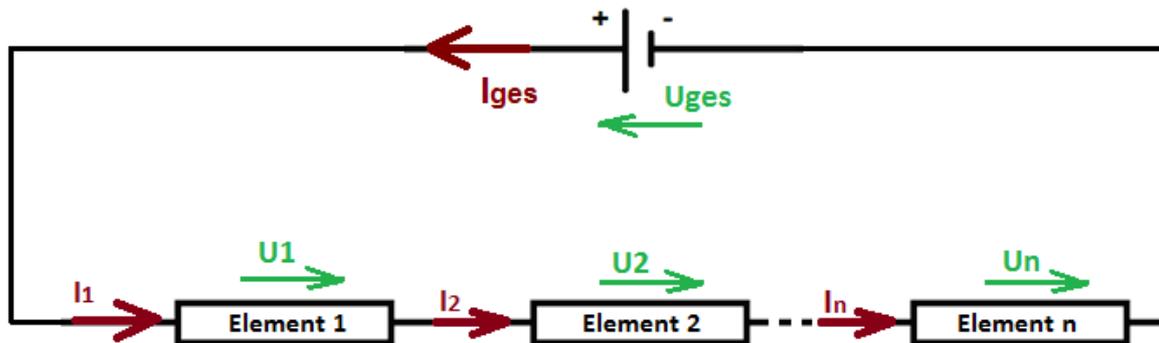
$$I_{\text{ges}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

- analog zum Strombedarf ist die Gesamtleistung der Parallelschaltung die Summe der Einzelleistungen

$$P_{\text{ges}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

4.2 Reihenschaltung

Eine Reihenschaltung ist in der Elektronik eine Schaltung (Teilschaltung) deren zweipolige Elemente (Bauteile) hintereinander geschaltet sind. Bauelemente sind in Reihe geschaltet, wenn zwischen ihren Verbindungen keine zusätzlichen Abzweige vorhanden sind.



Eigenschaften der Reihenschaltung:

- Die Teilspannungen der einzelnen Verbraucher teilen sich bei der Reihenschaltung nach der Kirchhoffschen Maschenregel auf. Die Summe der Teilspannungsabfälle ist bei Gleichspannung bzw. bei ohmschen Verbrauchern gleich der Gesamtspannung U_{ges} .

$$U_{ges} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

- da der Strom gleichermaßen durch alle Bauelemente fließen muss, ist er in der Reihenschaltung an allen Stellen identisch.

$$I_{ges} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

- Gesamtleistung der Reihenschaltung ist die Summe der Einzelleistungen

$$P_{ges} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

4.3 Erstes Kirchhoffsche Regel – Knotenregel

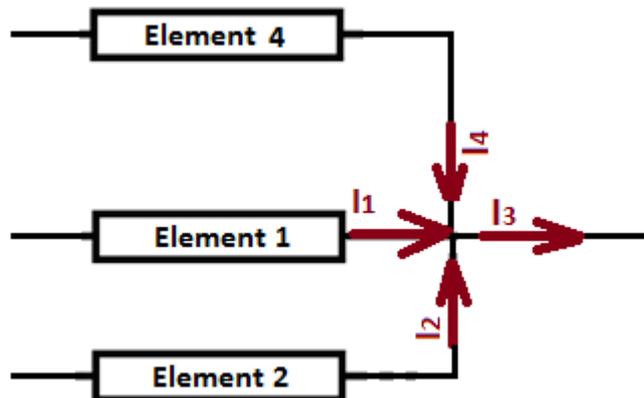
Definition: In einem Knotenpunkt eines elektrischen Netzwerkes ist die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden Ströme.

Bepfeilt man in der Schaltung alle anliegenden Zweigströme so, dass alle zum Knoten fließenden Ströme zugehörigen Pfeile zum Knoten hin oder alle weg fließenden Ströme zugehörigen Pfeile vom Knoten weg zeigen, so kann man den Knotenpunktsatz für einen Knoten mit n Zweigströmen folgendermaßen aufstellen:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

Diese Regel gilt zunächst für Gleichstromnetzwerke.

Beispiel:



Wie auf dem Bild zu erkennen ist, fließen die Ströme I_1 , I_2 und I_4 in den Knoten hinein und der Strom I_3 aus dem Knoten heraus. Bei der Aufstellung des Knotenpunktsatzes ist darauf zu achten das zum Knoten fließende Ströme ein positives Vorzeichen und weg fließende Ströme ein negatives Vorzeichen erhalten. Nach der Knotenregel ergibt sich nun folgende Formel:

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

umgeformt:

$$I_4 = I_1 + I_2 + I_3$$

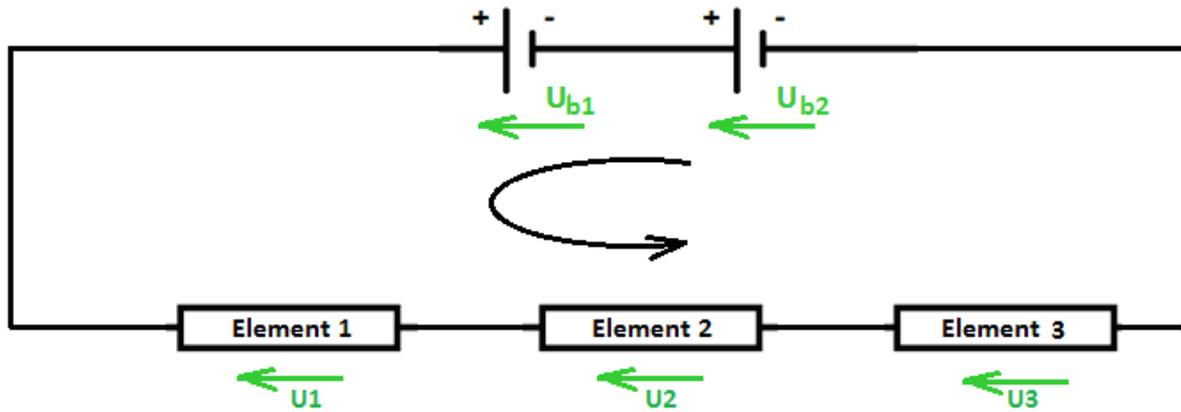
4.4 Zweite Kirchhoffsche Regel – Maschenregel

Teilt man eine Schaltung in gedachte Maschen auf, so addieren sich alle Teilspannung zu Null. Hintergrund ist die Erhaltung der elektrischen Energie. Sie sagt aus, dass eine Ladung Q bei einem einmaligen Umlauf des Stromkreises insgesamt keine Arbeit am elektrischen Feld verrichtet. Es gilt somit folgende Formel:

$$\sum_{k=1}^n U_k = 0$$

Praktisch wird in einer Masche eine Drehrichtung beliebig festgelegt und die Summe der Spannungsabfälle und Quellspannungen aufgestellt. Spannungsabfälle werden im Schaltplan entgegen der techn. Stromrichtung und Quellspannungen in Richtung der techn. Stromrichtung befeilt. Dazu erhalten alle der Drehrichtung entgegengesetzten Spannungen ein negatives und alle mitdrehenden Spannungen ein positives Vorzeichen.

Beispiel:



$$U_{b1} + U_{b2} - U_1 - U_2 - U_3 = 0$$

umgeformt:

$$U_{b1} + U_{b2} = U_1 + U_2 + U_3$$

5. Messen elektrischer Größen

5.1 Spannungs- und Stromarten

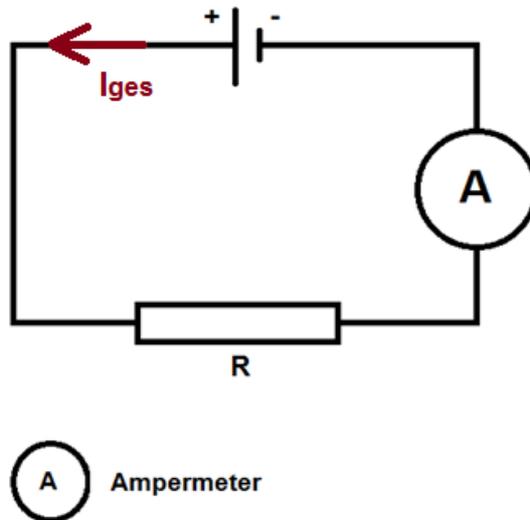
Gleichstrom / Gleichspannung Definition: Gleichstrom ist ein Strom der dauerhaft mit gleicher Stärke in die gleicher Polarität fließt.

Wechselstrom / Wechselspannung Definition: Wechselstrom ist ein Strom, der ständig seine Größe und Polarität wechselt.

Mischstrom / Mischspannung Definition: Mischstrom ist ein Gleichstrom der von einem Wechselstromanteil überlagert wird. Die Mischspannung setzt sich aus einem Gleich- und einem Wechselspannungsanteil zusammen.

5.2 Stromrichtiges Messen

Das Strommessgerät muss immer in Reihe zum Verbraucher geschaltet werden. Dazu ist es nötig den Stromkreis aufzutrennen. Ist die Schaltung schwer zugänglich oder kann der Stromkreis nicht aufgetrennt werden, so ist die Spannung an einen bekannten Widerstand zu messen und die Stromstärke mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes zu berechnen. Um den Messwert nicht zu verfälschen, sollte der Innenwiderstand des Messgerätes möglichst klein sein.

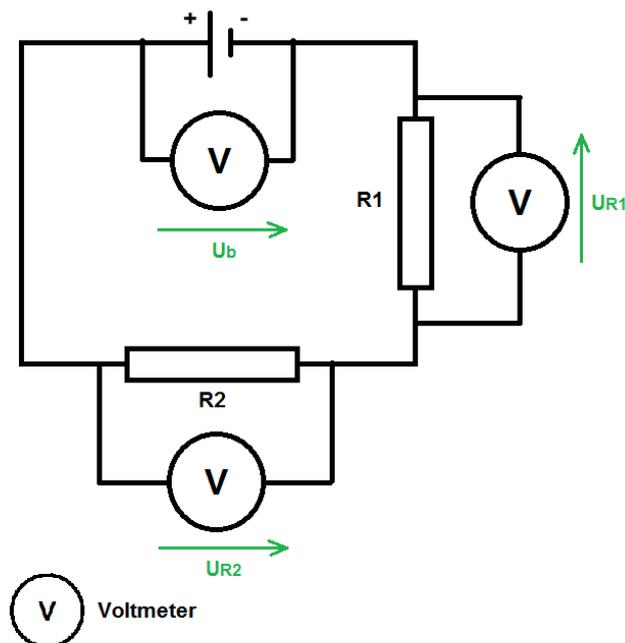


Achtung:

- Wahl der Stromart AC (Wechselstrom) oder DC (Gleichstrom)
- Kann die Höhe die zu erwartende Stromstärke nicht abgeschätzt werden, sollte anfangs ein möglichst großer Messbereich gewählt werden der dann sukzessive verringert wird.

5.3 Spannungsrichtiges Messen

Das Spannungsmessgerät (auch Voltmeter genannt) wird immer parallel zum Verbraucher oder der Spannungsquelle geschaltet. Über einen Verbraucher wird sein Spannungsabfall bzw. über eine Spannungsquelle ihr momentaner Ausgangswert gemessen. Das Messgerät sollte möglichst hochohmig sein.

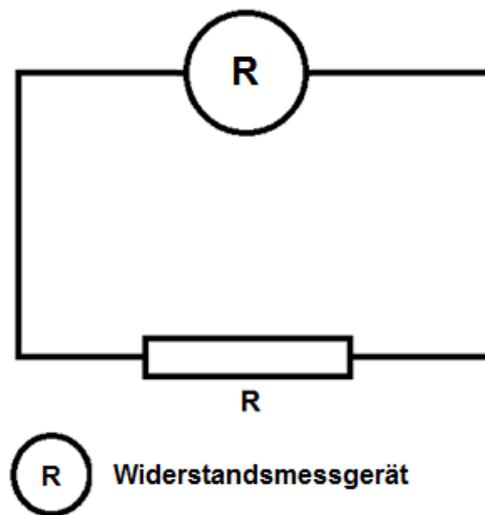


Achtung:

- Wahl der Spannungsart AC (Wechselstrom) oder DC (Gleichstrom)
- Kann die Höhe die zu erwartende Spannung nicht abgeschätzt werden, sollte anfangs ein möglichst großer Messbereich gewählt werden der dann sukzessive verringert wird.
- Bei Gleichspannung ist auf die Polarität zu achten

5.4 Widerstandsmessung

Der Widerstand eines ohmschen Bauteils wird entweder über die Messung des Stroms, der Spannung und der Anwendung des Ohmschen Gesetzes oder mit Hilfe eines Vielfachmessgeräts (auch Multimeter genannt) ermittelt.



Achtung:

- der Widerstand muss im spannungsfreien Zustand gemessen werden
- um die Einflüsse aus Parallelschaltung zu verhindern ist mindestens ein Anschluss des Bauteils von der Schaltung zu lösen

6. Grundlegende Bauelemente im Gleichspannungsstromkreis (ideal)

6.1 Spannungsquelle

6.1.1 Parallelschaltung von Spannungsquellen

Die Parallelschaltung von Spannungsquellen erhöht den maximalen verfügbaren Strom. Alle parallelgeschalteten Spannungsquellen müssen:

- die gleiche Spannung liefern
- mit gleichnamigen Polen zusammengeschaltet werden
- erd- bzw. potenzialfrei sein oder am gleichen Pol geerdet sein
- Wechselspannungsquellen müssen gleichphasig zusammengeschaltet werden

Werden diese Punkte nicht beachtet, führt dieses zu Ausgleichsströmen zwischen den Quellen, die (zum Beispiel bei Falschpolung) einem Kurzschluss gleichkommen.

Schaltzeichen:

Batterie, Akku



Ideale Spannungsquelle



6.1.2 Reihenschaltung von Spannungsquellen

Die bei der Reihenschaltung von galvanisch getrennten Spannungsquellen (z. B. Batterien) sich bildende Gesamtspannung ist die Summe der Teilspannungen, deren Vorzeichen nach der Maschenregel zu beachten ist.

$$U_{\text{ges}} = \sum_{n=1}^N U_n = U_1 + U_2 + \dots + U_N$$

Werden ungleichnamige Pole miteinander verbunden, entsteht eine höhere Gesamtspannung, beim Verbinden gleichnamiger Pole entsteht die Differenzspannung.

Die Innenwiderstände der Spannungsquellen summieren sich.

6.2 ohmscher Widerstand

Ein Widerstand ist ein zweipoliges elektronisches Bauelement. Es unterliegt dem ohmschen Gesetz.

Die Stromstärke durch ohmsche Widerstände ist bei konstanter Temperatur proportional zur Spannung. In der Regel nimmt bei Temperaturanstieg der Widerstand aufgrund der erhöhten Bewegung der Teilchen im Leiter zu.

Schaltzeichen:



6.2.1 Parallelschaltung von Widerständen

Der resultierende Gesamtwiderstand R_{ges} einer parallelen Anordnung von N Einzelwiderständen R_n ist **immer** kleiner als der kleinste Einzelwiderstand und ergibt sich zu

$$R_{\text{ges}} = \frac{1}{\sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}}$$

Eine alternative, einfache Schreibweise erlaubt der Parallelitätsoperator:

$$R_{\text{ges}} = R_1 \parallel R_2 \parallel \dots \parallel R_N$$

Für den Sonderfall von zwei Widerstände gilt:

$$R_{\text{ges}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

6.2.2 Reihenschaltung von Widerständen

Der Gesamtwiderstand einer Reihenschaltung von Widerständen ist die Summe aus den Einzelwiderständen.

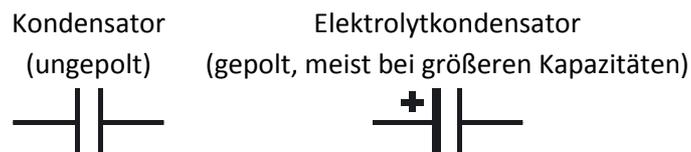
Allgemein geschrieben ergibt sich somit folgende Gleichung:

$$R_{\text{ges}} = \sum_{n=1}^N R_n = R_1 + R_2 + \dots + R_N$$

6.3 Kondensator

Ein Kondensator ist ein passives elektrisches Bauelement mit der Fähigkeit, elektrische Ladung und damit zusammenhängend Energie zu speichern. Die Fähigkeit, Ladung zu speichern, wird als elektrische Kapazität bezeichnet und in der Einheit Farad gemessen. Kondensatoren wirken Spannungsänderungen aufgrund ihrer Ladungsspeicherfähigkeit entgegen, während eine Spule Stromänderungen entgegenwirkt.

Schaltzeichen:



6.3.1 Parallelschaltung von Kondensatoren

Bei der Parallelschaltung von Kondensatoren ist die Gesamtkapazität gleich der Summe der Einzelkapazitäten:

$$C_{\text{ges}} = \sum_{n=1}^N C_n = C_1 + C_2 + \dots + C_N$$

Dieses kann etwas komplexer mit dem Parallelitätsoperator als dargestellt werden:

$$\frac{1}{C_{\text{ges}}} = \frac{1}{C_1} \parallel \frac{1}{C_2} \parallel \dots \parallel \frac{1}{C_N}$$

6.3.2 Reihenschaltung von Kondensatoren

Bei der Reihenschaltung von Kondensatoren ist die Gesamtkapazität gleich dem Kehrwert der Summe der Kehrwerte der Einzelkapazitäten:

$$C_{\text{ges}} = \frac{1}{\sum_{n=1}^N \frac{1}{C_n}}$$

Bringt man die Gleichung auf einen gemeinsamen Nenner, erhält man folgende Gleichung für N in Reihe geschaltete Kondensatoren ohne Doppelbruch (da in dem Produkt im Nenner mit C_j gekürzt wird):

$$C_{\text{ges}} = \frac{\prod_{i=1}^N C_i}{\sum_{j=1}^N \left(\frac{\prod_{k=1}^N C_k}{C_j} \right)}$$

6.4 Spule

Spulen besitzen eine bestimmte Induktivität, diese Induktivität kann ihr eigentlicher Zweck (z. B. Drosselspulen, Filterspulen) oder nur sekundäre Eigenschaft sein (z. B. Transformatoren, Zugmagnete, Relaispulen).

Schaltzeichen:



6.4.1 Parallelschaltung von Spulen

Bei der Parallelschaltung von Spulen ist die Gesamtinduktivität gleich dem Kehrwert der Summe der Kehrwerte der Einzelinduktivitäten:

$$L_{\text{ges}} = \frac{1}{\sum_{n=1}^N \frac{1}{L_n}} = L_1 \parallel L_2 \parallel \dots \parallel L_N = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_N}}$$

6.4.2 Reihenschaltung von Spulen

Bei der Reihenschaltung von Spulen ist die Gesamtinduktivität die Summe der einzelnen Induktivitäten:

$$L_{\text{ges}} = \sum_{n=1}^N L_n = L_1 + L_2 + \dots + L_N$$

7. Übungen

Übungsaufgaben Reihenschaltung von Widerständen

Hinweis: es können eine, mehrere oder alle Antworten richtig sein.

1.) Welche Aussagen bezüglich der Spannung in einer Reihenschaltung sind richtig?

	Richtig	Falsch	
a.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Die Spannung ist grundsätzlich an jedem Widerstand gleich groß. ($U_{R1} = U_{R2}$ usw.)
b.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Die Summe der Einzelspannungen ist gleich die Gesamtspannung.
c.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Besteht die Reihenschaltung aus gleich großen Widerständen, so sind auch die einzelnen Spannungen gleich groß.
d.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Je größer ein Widerstand desto geringer ist die an ihm abfallende Spannung.

2.) Welche Aussagen bezüglich des Stromes in einer Reihenschaltung sind richtig?

	Richtig	Falsch	
a.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In einer Reihenschaltung fließt überall der gleiche Strom.
b.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Die Gesamtstromstärke ist gleich der Summe der Einzelstromstärken.
c.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Die angelegte Spannung hat keinen Einfluß auf die Stromstärke.
d.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Je größer die Widerstände, umso geringer die Stromstärke.

3.) Reihenschaltung aus 3 Widerständen

Reihenschaltung: $R_1=100 \Omega$, $R_2=200 \Omega$, $R_3=1500 \Omega$, angelegte Spannung $U=24V$

Berechne:

$$R_{\text{ges}} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

$$I_{\text{ges}} = \underline{\hspace{2cm}} A$$

$$I_1 = \underline{\hspace{2cm}} A$$

$$I_2 = \underline{\hspace{2cm}} A$$

$$I_3 = \underline{\hspace{2cm}} A$$

$$U_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} V$$

$$U_{R2} = \underline{\hspace{2cm}} V$$

$$U_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} V$$

Übungsaufgaben Maßeinheiten und Formelzeichen

Geben Sie zu den folgenden Meßgrößen der Elektrotechnik jeweils das Formelzeichen und die Maßeinheit an!

	Formelzeichen	Maßeinheit
Spannung		
Strom		
Widerstand		
el. Leistung		
el. Arbeit		
Kapazität		
Leitwert		
Induktivität		

Übungsaufgaben ohmschen Gesetz

Berechnen Sie die jeweils fehlende Größe:

1.) $U = 130 \text{ V}$, $I = 0,45 \text{ A}$, $R =$ _____ Ω

2.) $I = 0,6 \text{ A}$, $R = 1500\Omega$, $U =$ _____ V

3.) $U = 12 \text{ V}$, $R = 200\Omega$, $I =$ _____ mA

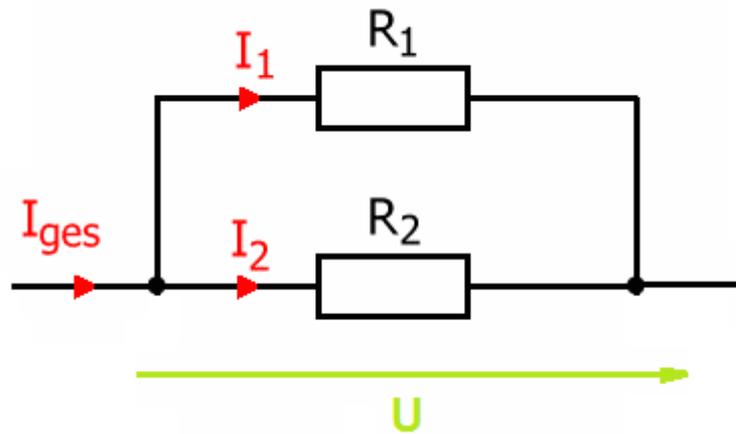
4.) $U = 10 \text{ V}$, $I = 0,1 \text{ A}$, $R =$ _____ Ω

Kreuzen Sie an ob die folgenden Aussagen richtig oder falsch sind!

- | | Richtig | Falsch | |
|-----|--------------------------|--------------------------|--|
| 5.) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Je größer die Spannung, umso größer die Stromstärke. |
| 6.) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Je kleiner der Widerstand, umso kleiner die Stromstärke. |
| 7.) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Soll die Stromstärke konstant bleiben, so muss bei einer Spannungserhöhung der Widerstand ebenfalls erhöht werden. |

Übungsaufgaben Parallelschaltung

1.)



Gegeben:

$$R_1 = 1\text{k}\Omega, R_2 = 2\text{k}\Omega$$

$$U = 24\text{ V}$$

Es sind die folgenden Größen zu berechnen:

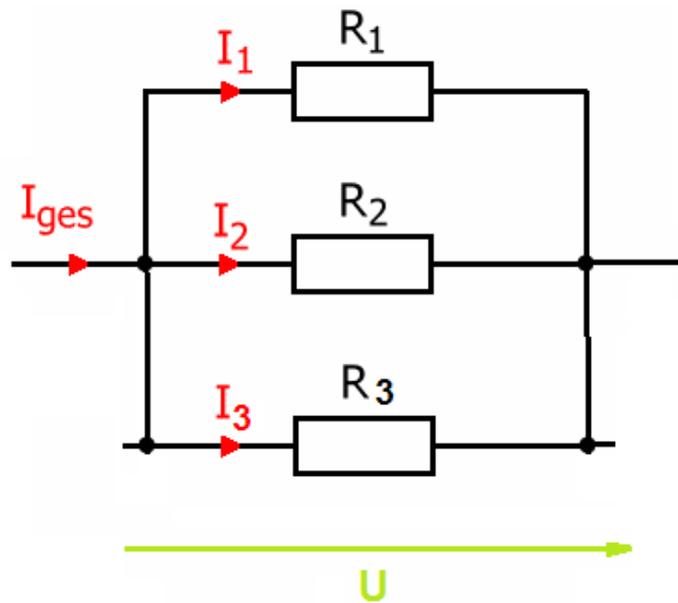
1.) $R_{ges} =$ _____ $\text{k}\Omega$

2.) $I_1 =$ _____ mA

3.) $I_2 =$ _____ mA

4.) $I_{ges} =$ _____ mA

2.)



Gegeben:

$R_1 = 1\text{ k}\Omega$, $R_2 = 2\text{ k}\Omega$

$U = 12\text{ V}$

$I_3 = 50\text{ mA}$

Es sind die folgenden Größen zu berechnen:

1.) $R_3 =$ _____ $\text{k}\Omega$

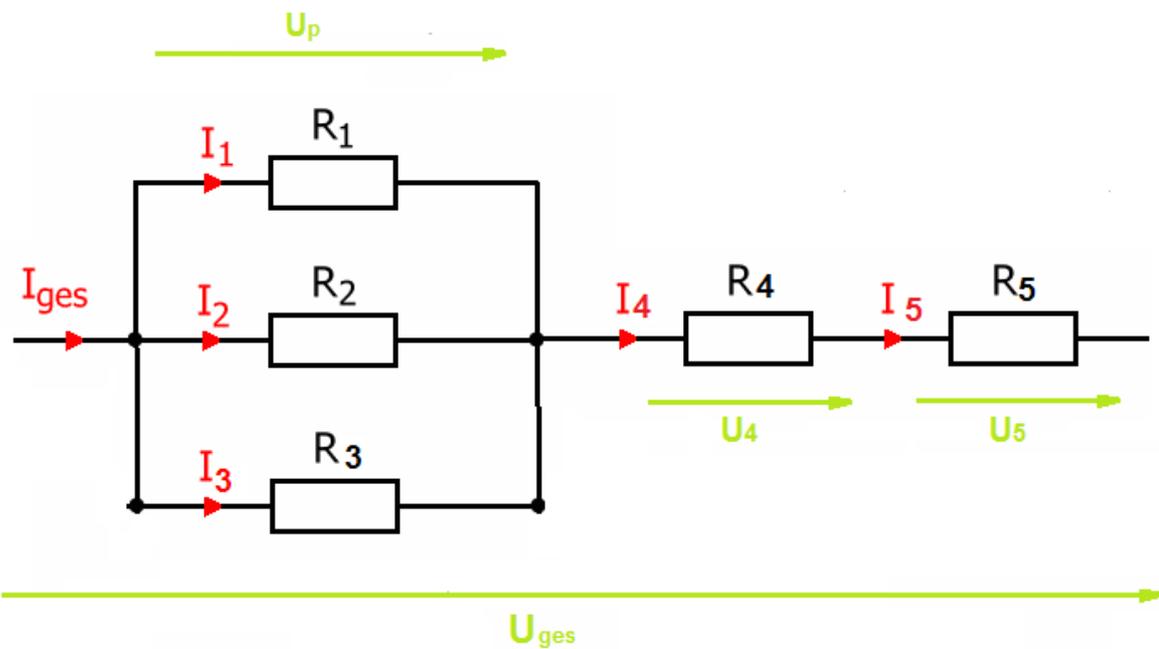
2.) $R_{\text{ges}} =$ _____ $\text{k}\Omega$

3.) $I_1 =$ _____ mA

4.) $I_2 =$ _____ mA

5.) $I_{\text{ges}} =$ _____ mA

Übungsaufgaben Mischschaltung



Gegeben:

$$R_1 = 1,5 \text{ k}\Omega, R_3 = 3000\Omega, R_4 = 600\Omega$$

$$U_{ges} = 120 \text{ V}, U_5 = 2,5 \text{ V}$$

$$I_{ges} = 12,5 \text{ mA}$$

Es sind die folgenden Größen zu berechnen:

- 1.) $I_4 =$ _____ mA
- 2.) $I_5 =$ _____ mA
- 3.) $R_5 =$ _____ Ω
- 4.) $U_4 =$ _____ V
- 5.) $U_p =$ _____ V
- 6.) $I_1 =$ _____ mA
- 7.) $I_3 =$ _____ mA
- 8.) $I_2 =$ _____ mA
- 9.) $R_2 =$ _____ Ω
- 10.) $R_{ges} =$ _____ Ω

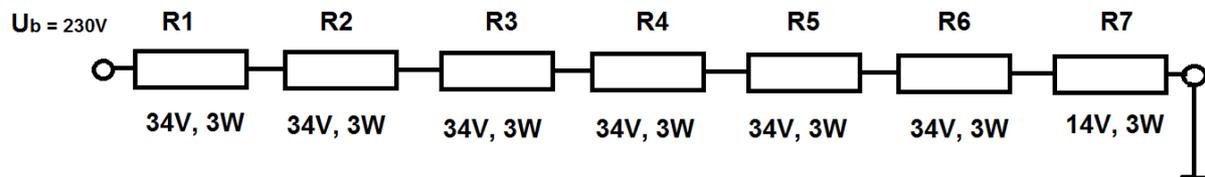
Übungsaufgaben Schwibbogen

Zur Weihnachtszeit wird ein Schwibbogen aufgestellt. Es fällt auf das ein Lämpchen dunkler leuchtet als die Anderen. Bei näherer Betrachtung stellen wir fest, dass das dunklere Lämpchen andere Kennwerte aufweist. Warum berennt ein Lämpchen dunkler?

Gegeben:

- Lichterkette mit 7 Lämpchen Reihenschaltung
- 6 Lämpchen mit den Werten 34V 3W
- 1 Lämpchen mit 14V 3W
- Die Versorgungsspannung der Lichterkette ist 230V DC

Die Lämpchen können als ohmscher Widerstand angenommen werden. Berechnen sie zunächst den Widerstand der 2 Typen von Lämpchen. Dazu nehmen sie an das die maximale mögliche Leuchtkraft mit 34V bzw. 14V bei 3W erreicht wird.



$$I_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

$$I_7 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

$$R_7 = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

Wie groß ist der Gesamtwiderstand der Schaltung?

$$R_{\text{ges}} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

Wie groß ist die Gesamtstromaufnahme?

$$I_{\text{ges}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

Berechnen sie nun die real über die Widerstände/Lämpchen abfallende Spannung.

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = U_5 = U_6 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$U_7 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

Jetzt können sie die real umgesetzte Leistung berechnen.

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$P_7 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

Was stellen sie bezüglich der realen Leistungsaufnahmen und der realen Spannungsabfälle fest?

8. Lösungen

Übungsaufgaben Reihenschaltung von Widerständen

1.)

	Richtig	Falsch	
a.)		x	Die Spannung ist grundsätzlich an jedem Widerstand gleich groß. ($U_{R1} = U_{R2}$ usw.)
b.)	x		Die Summe der Einzelspannungen ist gleich die Gesamtspannung.
c.)	x		Besteht die Reihenschaltung aus gleich großen Widerständen, so sind auch die einzelnen Spannungen gleich groß.
d.)		x	Je größer ein Widerstand desto geringer ist die an ihm abfallende Spannung.

2.)

	Richtig	Falsch	
a.)	x		In einer Reihenschaltung fließt überall der gleiche Strom.
b.)		x	Die Gesamtstromstärke ist gleich der Summe der Einzelstromstärken.
c.)		x	Die angelegte Spannung hat keinen Einfluß auf die Stromstärke.
d.)	x		Je größer die Widerstände, umso geringer die Stromstärke.

3.)

Reihenschaltung: $R_1=100\ \Omega$, $R_2=200\ \Omega$, $R_3=1500\ \Omega$, angelegte Spannung $U=24V$

Berechne:

$$R_{ges} = 100\Omega + 200\Omega + 1500\Omega = 1800\Omega$$

$$I_{ges} = 24V / 1800\Omega = 0,01333\ A$$

$$I_1 = 24V / 1800\Omega = 0,01333\ A = I_1 = I_2 = I_3 = I_{ges}$$

$$I_2 = 24V / 1800\Omega = 0,01333\ A = I_1 = I_2 = I_3 = I_{ges}$$

$$I_3 = 24V / 1800\Omega = 0,01333\ A = I_1 = I_2 = I_3 = I_{ges}$$

$$U_{R1} = 100\Omega * 0,01333A = 1,3333V$$

$$U_{R2} = 200\Omega * 0,01333A = 2,6666V$$

$$U_{R3} = 1500\Omega * 0,01333A = 20V$$

Übungsaufgaben Maßeinheiten und Formelzeichen

	Formelzeichen	Maßeinheit
Spannung	U	V
Strom	I	A
Widerstand	R	Ω
el. Leistung	P	W
el. Arbeit	W	Wh oder Ws
Kapazität	C	F
Leitwert	G	S
Induktivität	L	H

*nicht im Text erwähnt

Übungsaufgaben ohmschen Gesetz

$$R = U/I$$

1) $130V / 0,45A = 288,89\Omega$

2) $1500\Omega * 0,6A = 900V$

3) $12V / 200\Omega = 60mA$

4) $10V / 0,1A = 100\Omega$

Kreuzen Sie an ob die folgenden Aussagen richtig oder falsch sind!

	Richtig	Falsch	
5.)	X		Je größer die Spannung, umso größer die Stromstärke.
6.)		X	Je kleiner der Widerstand, umso kleiner die Stromstärke.
7.)	X		Soll die Stromstärke konstant bleiben, so muss bei einer Spannungserhöhung der Widerstand ebenfalls erhöht werden.

Übungsaufgaben Parallelschaltung

1.)

Es sind die folgenden Größen zu berechnen:

1.) $R_{ges} = 1 / (1/1000\Omega + 1/2000\Omega) = 0,666 \text{ k}\Omega$

2.) $I_1 = 24V / 1000\Omega = 24mA$

$$3.) I_2 = 24V / 2000\Omega = 12mA$$

$$4.) I_{ges} = 12mA + 24mA = 36mA$$

2.)

Es sind die folgenden Größen zu berechnen:

$$1.) R_3 = 12V / 0,05A = 0,240 k\Omega$$

$$2.) R_{ges} = 1 / (1 / 1000\Omega + 1 / 2000\Omega + 1 / 240\Omega) = 0,176k\Omega$$

$$3.) I_1 = 12V / 1000\Omega = 12mA$$

$$4.) I_2 = 12V / 2000\Omega = 6mA$$

$$5.) I_{ges} = 6mA + 12mA + 50mA = 68mA$$

Übungsaufgaben Mischschaltung

$$1.) I_4 = 125mA = I_{ges}$$

$$2.) I_5 = 125mA = I_{ges}$$

$$3.) R_5 = 2,5V / 125mA = 20 \Omega$$

$$4.) U_4 = 600\Omega * 125mA = 75V$$

$$5.) U_p = 120V - (75V + 2,5V) = 120V - 77,5V = 42,5V$$

$$6.) I_1 = 42,5V / 1500\Omega = 28,33 mA$$

$$7.) I_3 = 42,5V / 3000\Omega = 14,167mA$$

$$8.) I_2 = 125mA - 28,33mA - 14,167mA = 82,503mA$$

$$9.) R_2 = 42,5V / 82,503mA = 515,13\Omega$$

$$10.) R_{ges} = 600\Omega + 20\Omega + 1 / (1 / 1500\Omega + 1 / 3000\Omega + 1 / 515,13\Omega) = 960\Omega$$

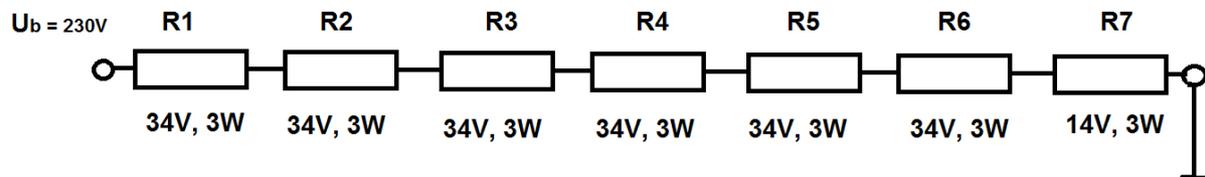
Übungsaufgaben Schwibbogen

Zur Weihnachtszeit wird ein Schwibbogen aufgestellt. Es fällt auf das ein Lämpchen dunkler leuchtet als die Anderen. Bei näherer Betrachtung stellen wir fest, dass das dunklere Lämpchen andere Kennwerte aufweist. Warum berennt ein Lämpchen dunkler?

Gegeben:

- Lichterkette mit 7 Lämpchen Reihenschaltung
- 6 Lämpchen mit den Werten 34V 3W
- 1 Lämpchen mit 14V 3W
- Die Versorgungsspannung der Lichterkette ist 230V DC

Die Lämpchen können als ohmscher Widerstand angenommen werden. Berechnen sie zunächst den Widerstand der 2 Typen von Lämpchen. Dazu nehmen sie an das die maximale mögliche Leuchtkraft mit 34V bzw. 14V bei 3W erreicht wird.



$$I_1 = P_1/U_1 = 3W/34V = 88,24mA$$

$$I_7 = P_7/U_7 = 3W/14V = 214,29mA$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 34V/88,24mA = 385,31\Omega$$

$$R_7 = 14V/214,29mA = 65,33\Omega$$

Wie groß ist der Gesamtwiderstand der Schaltung?

$$R_{ges} = 6 \cdot 385,31\Omega + 65,33\Omega = 2377,19\Omega$$

Wie groß ist die Gesamtstromaufnahme?

$$I_{ges} = 230V / 2377,19\Omega = 96,75mA$$

Berechnen sie nun die real über die Widerstände/Lämpchen abfallende Spannung.

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = U_5 = U_6 = 385,31\Omega \cdot 96,74mA = 37,27V$$

$$U_7 = 230 - 6 \cdot 37,27V = 6,32V$$

Jetzt können sie die real umgesetzte Leistung berechnen.

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = 37,27V \cdot 96,75mA = 3,6W$$

$$P_7 = 6,32V \cdot 96,75mA = 0,6115W$$

Was stellen sie bezüglich der realen Leistungsaufnahmen und der realen Spannungsabfälle fest?

- Die Leistung an 6 Lämpchen überschreitet die maximale Leistungsangabe → dadurch erwärmen sie sich stärker und können früher durchbrennen.