

Elektro- und Prozesstechnik

Skript und Unterrichtsmitschrift

Christian Klisch

April 2002

Inhaltsverzeichnis

1. Grundgesetze der Elektrotechnik	4
1.1. Aufbau der Materie.....	4
1.2. Atomaufbau	4
1.3. Elektrische Ladungsträger.....	5
1.4. Elektrische Spannung.....	5
1.4.1. Messen der elektrischen Spannung.....	6
1.4.2. Erzeugen elektrischer Spannung	6
1.5. Der elektrische Strom.....	7
1.5.1. Messen der elektrischen Stromstärke	7
1.5.2. Wirkung und Gefahren des elektrischen Stroms	8
1.5.3. Stromdichte	8
1.6. Der elektrische Widerstand.....	9
1.6.1. Leiter, Halbleiter, Isolatoren.....	10
2. Der elektrische Stromkreis	10
2.1. Aufbau des einfachen (unverzweigten) Stromkreises.....	10
2.2. Ohmsches Gesetz.....	11
2.2.1. Knoten und Maschen	11
2.3. Reihenschaltung.....	12
2.4. Parallelschaltung.....	13
2.5. Widerstandsnetzwerke	15
2.5.1. Berechnung des Ersatzwiderstands.....	15
2.5.2. Spannungsteiler + Auswertung	16
2.5.3. Brückenschaltung	17
2.6. Spannungsquellen.....	18
2.6.1. Reihenschaltung von Spannungsquellen.....	19
2.6.2. Parallelschaltung von Spannungsquellen	22
2.7. Ersatzstromquelle.....	22
2.8. Berechnungsverfahren für Netzwerke.....	23
2.8.1. Maschenstromverfahren	24
2.8.2. Knotenspannungsverfahren	24
2.8.3. Überlagerungsverfahren	25
3. Energie, Arbeit, Leistung.....	27
3.1. Energie und Arbeit	27
3.2. Leistung	28
3.3. Messen der elektrischen Arbeit und Leistung	29
3.3.1. Direkte Messung der elektrischen Arbeit	29
3.3.2. Direkte Messung der elektrischen Leistung.....	30
3.3.3. Indirekte Messung von Arbeit und Leistung.....	30
3.4. Leistung von Spannungsquellen.....	30
3.5. Wirkungsgrad.....	31
3.6. Elektrowärme.....	32
4. Widerstände	34
4.1. Berechnung des Widerstandwertes.....	34
4.2. Nennwerte von Widerständen.....	35
4.3. Kennzeichnung von Widerständen	35
4.3.1. Kennzeichnung mit Hilfe von Farbringen	35
4.3.2. Alphanumerische Kennzeichnung.....	35

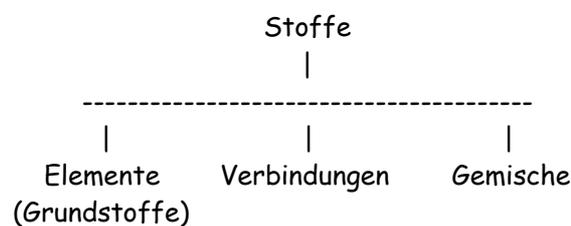
4.4. Bauformen von Widerständen	35
4.4.1. Festwiderstände	36
4.4.2. Veränderbare Widerstände	36
4.5. Widerstände, die von physikalischen Größen abhängen	37
4.5.1. Temperaturabhängige Widerstände	37
4.5.1.1. Kaltleiter / PTC-Widerstände	37
4.5.1.2. Heißleiter / NTC-Widerstände	38
4.5.1.3. Temperaturkoeffizient	38
4.5.1.4. Berechnung temperaturabhängiger Widerstände	38
4.5.1.5. Betriebsarten temperaturabhängiger Widerstände	39
4.5.1.6. Arbeiten mit Kennlinien	40
5. Elektrisches Feld und Kondensator	42
5.1. Elektrisches Feld	42
5.2. Der Kondensator	43
5.2.1. Parallelschaltung von Kondensatoren	44
5.2.2. Reihenschaltung von Kondensatoren	45
5.2.3. Netzwerke mit Kapazitäten	46
5.2.4. Energie einer Kapazität	46
5.2.5. Laden von Kondensatoren	46
5.2.6. Entladen von Kondensatoren	49
5.2.7. Bauformen von Kondensatoren	50
6. Das magnetische Feld	51
6.1. Magnete	51
6.2. Beschreibung magnetischer Felder	52
6.3. Elektromagnetismus	53
6.4. Magnetische Grundgrößen	54

1 Grundgesetze der Elektrotechnik

Der Begriff Elektrotechnik geht auf die beiden griechischen Wörter "Elektron" und "Techne" zurück. Das erste Wort bezeichnet den "Bernstein" und das zweite "Kunst und Kunstfertigkeit"

1.1 Aufbau der Materie

Materie hat eine Masse und nimmt Raum ein. Sie besteht aus Material bzw. Stoff.



Elemente lassen sich mechanisch oder chemisch nicht mehr in andere Stoffe zerlegen. Elemente sind beispielsweise Eisen, Kupfer, Natrium, Wasserstoff... Es gibt höchstwahrscheinlich 92 Natürliche Elemente. Bei den Elementen unterscheidet man zwischen Metallen, Halbmetallen, Nichtmetallen und Edelgasen.

Atome sind die kleinsten Teilchen eines Elementes, die noch die chemischen Eigenschaften des Grundstoffs haben.

Verbindungen sind neue Stoffe mit neuen chemischen Eigenschaften, die durch die Verbindung von Atomen verschiedene Elemente entstehen lassen; z.B. Wasser (H_2O), Schwefelsäure (H_2SO_4), Salzsäure (HCl).

Moleküle sind Verbindungen von gleichen oder unterschiedlichen Atomen. Sie sind auch die kleinsten Teilchen von Verbindungen.

Gemenge (Gemische, Mischungen) können durch physikalische Methoden in unterschiedliche Stoffe zerlegt werden, die aus verschiedenen Elementen und/oder Verbindungen bestehen, z.B. Luft.

1.2 Atomaufbau

Das Atom besteht aus einem Kern und einer Hülle. Der Kern besteht aus positiv geladenen Protonen und elektrisch neutralen Neutronen. In der Hülle bewegen sich elektrisch negativ geladene Elektronen auf maximal 7 Schalen um den Atomkern.

Atome sind elektrisch neutral, da die Anzahl der positiv geladenen Protonen gleich der Anzahl der negativ geladenen Elektronen ist.

Auf der äußersten Schale können sich höchstens 8 Elektronen befinden (Ausnahme: $k = 2$). Die Anzahl der Elektronen auf der äußeren Schale ist maßgebend für die Bindungsfähigkeit eines Elements. Ist die äußere Schale

vollständig mit Elektronen besetzt, so hat das Atom einen besonders stabilen Zustand und kein Bestreben, sich mit anderen Elementen zu verbinden. Diese Grundstoffe bezeichnet man als Edelgase (Helium, Xenon, Krypton,...).
 Protonen, Neutronen und Elektronen bezeichnet man als Elementarteilchen.
 Protonen und Elektronen sind die Träger der Elementarladung; Sie ist die kleinstmögliche elektrische Ladung.
 Atome, die nach Außen wie elektrisch geladene Teilchen wirken, bezeichnet man als Ionen. Es gibt positive und negative Ionen, die durch Elektronenmangel oder Elektronenüberschuss entstehen.

1.3 Elektrische Ladungsträger

Zwischen elektrischen Ladungen treten Kraftwirkungen auf, z.B. zieht ein geriebener Kunststoffstab Papierschnipsel an. Es gilt:
 Ungleiche Ladungen ziehen sich an, gleichartige Ladungen stoßen sich ab.

1.4 Elektrische Spannungen

Elektrische Spannungen entstehen durch Ladungstrennung. Sie ist das Ausgleichsbestreben unterschiedlicher Ladungen.

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$$

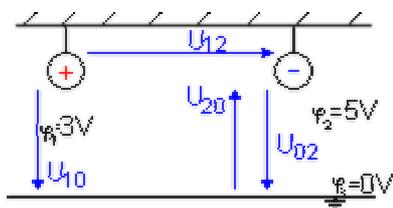
Elektrische Spannung ist eine Potentialdifferenz

Symbol (Formelzeichen für die elektrische Spannung: U

Formelzeichen für elektrisches Potential: φ

Einheit der elektrischen Spannung und des elektrischen Potentials: Volt

Symbol für die Einheit: V (Einheitenzeichen)



$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$U_{12} = 3V - (-5V)$$

$$U_{12} = 3V + 5V$$

$$U_{12} = \underline{8V}$$

Zur Kennzeichnung elektrischer Spannungen dienen Spannungspfeile (blau) vom höheren zum niedrigen Potential.

$$U_{10} = ?$$

$$U_{10} = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$U_{10} = 3V$$

$$U_{20} = ?$$

$$U_{20} = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$U_{20} = -5V$$

$$U_{02} = ?$$

$$U_{02} = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$U_{02} = 5V$$

$$U_{02} = -U_{20}$$

Die Spannungen U_{02} und U_{20} haben die gleiche Größe (Maßzahl) aber entgegengesetzte Richtungen.

Unter Potential versteht man eine Spannung zwischen einem Messpunkt und einem Bezugspunkt. Als Bezugspunkt bzw. Bezugspotential wird meistens Erde oder Masse gewählt und diesem Punkt das Potential 0 zugeordnet.

Elektrische Spannung ist die Arbeit, die bei der Ladungstrennung pro Ladungsmenge erforderlich ist.

$$U = W/Q$$

W (w: work): Arbeit (Energie)

Q: Ladungsmenge

$$[W] = J$$

J = Joule

$$1J = 1Ws = 1VAs$$

$$Q = W/U$$

$$[Q] = J/V$$

$$[Q] = VAs/V$$

$$[Q] = As$$

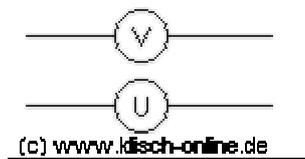
$$1As = 1C$$

C: Columb

1.4.1 Messen der elektrischen Spannung

Die Messung der elektrischen Spannung erfolgt mit einem Spannungsmesser (Voltmeter), der mit den beiden Polen der Spannungsquelle (z.B. Batterie) oder den Klemmen des Bauteils (z.B. Widerstand, Glühlampe) verbunden wird.

Schaltzeichen für einen Spannungsmesser:



1.4.2 Erzeugen elektrischer Spannungen

Elektrische Spannung wird auf folgende Arten erzeugt:

1. Elektromagnetische Spannungserzeugung
(Dynamo, Generator)
2. Chemische Spannungserzeugung
(Batterie, Brennstoffzellen)

3. Foelektrische Spannungserzeugung
(Fotovoltaik, Foelement)
4. Thermische Spannungserzeugung
(Thermoelement)
5. Spannungserzeugung durch Druck oder Zug
(Piezokristall)
6. Elektrostatische Spannungserzeugung
(Reiben von Stäben, Bandgenerator)

1.5 Der elektrische Strom

Elektrischer Strom entsteht durch den Ladungsausgleich zwischen Punkten mit Elektronenüberschuss und Elektronenmangel.

Elektrischer Strom ist Ladungstransport.

Die physikalische Stromrichtung entspricht der Bewegungsrichtung der Ladungsträger. Das heißt, die physikalische Stromrichtung ist vom negativen Pol (Elektronenüberschuss) zum positiven Pol (Elektronenmangel). Die technische Stromrichtung ist entgegengesetzt.

Die elektrische Stromstärke ist die Ladungsmenge, die pro Zeiteinheit durch einen Leiterquerschnitt fließt.

$$I = Q/t$$

I: Elektrische Stromstärke

t: Zeit

$$[I] = \text{As/s} = \text{A}$$

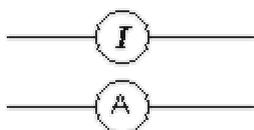
$$[I] = \text{A}$$

Die elektrische Spannung ist die Ursache und die Stromstärke ist die Wirkung.

1.5.1 Messen der elektrischen Stromstärke

Die Messung der elektrischen Stromstärke erfolgt mit einem Strommesser, der in den aufgetrennten Stromkreis geschaltet wird, so dass die Ladungsträger durch das Messgerät hindurchfließen.

Schaltzeichen:



(c) www.klisch-online.de

1.5.2 Wirkungen und Gefahren des elektrischen Stromes

Lichtwirkung:	Glühlampe, Leuchtstoffröhre
Magnetische Wirkung:	Motor, Fernschröhre, Lautsprecher
Elektromagnetische Wellen:	Radio, TV, Mikrowelle, Handy
Thermische Wirkung:	Heizlüfter, Bügeleisen, Herdplatte, LötKolben
Chemische Wirkung:	Galvanotechnik, Elektrolyse

Physiologische Wirkung (Wirkung auf Lebewesen)

Im engeren Sinne:

Muskelkrämpfe, Herzkammerflimmern

Dies entsteht durch Überlagerung mit den körpereigenen Spannungsimpulsen in Muskeln (1mV)

Im weiteren Sinne:

Gefahren durch	Wärmewirkung:	Verbrennungen, Gerinnung von Eiweiß, Platzen der roten Blutkörperchen
	chemische Wirkung:	Zersetzung der Zellflüssigkeit
	Lichtwirkung:	Augenverletzungen durch Lichtbögen

Um die Gefahren des elektrischen Stromes abzuwenden, müssen Schutzmaßnahmen eingehalten werden. Die Schutzmaßnahmen werden von der Deutschen Elektrotechnischen Kommission (DKE) erstellt, in der der Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) und das Deutsche Institut für Normung (DIN) zusammenarbeiten.

1.5.3 Stromdichte

Die Stromdichte ist die Stromstärke in einem Leiter bezogen auf den Leiterquerschnitt

$$J = I/A$$

J: Stromdichte

A: Leiterquerschnitt

[J] = A/m² in der Elektrotechnik ist die Einheit A/mm² gebräuchlich.

Je höher die Stromdichte eines Leiters, desto stärker wird der Leiter erwärmt.

Beispiele:

Wie hoch ist die Stromstärke in einem Leiter mit einem Querschnitt von $1,5\text{mm}^2$, in dem der maximale Betriebsstrom von 16A fließt?

Geg: $A = 1,5\text{mm}^2$, $I = 16\text{A}$

Ges: J

Lös: $J = I/A = 16\text{A}/1,5\text{mm}^2 = 10,7\text{ A/mm}^2$

Wie hoch ist die Stromstärke in einem Leiter mit einem Querschnitt von 16mm^2 , in dem die maximale Betriebsstromstärke von 80A fließt?

Geg: $A = 16\text{mm}^2$, $I = 80\text{A}$

Ges: J

Lös: $J = I/A = 80\text{A}/16\text{mm}^2 = 5\text{ A/mm}^2$

Es wurden für die verschiedenen Verlegearten und Nennquerschnitte die zulässige Betriebsstromstärke für Dauerbetrieb bei 30°C festgelegt.

1.6 Der elektrische Widerstand

Der elektrische Widerstand ist ein Maß für die Behinderung der Ladungsträgerbewegung.

Die Ladungsträger werden bei ihrer Bewegung im Leiter durch Zusammenstöße mit den Atomen bzw. Ionen behindert und geben dabei einen Teil ihrer Bewegungsenergie ab, die zur Erwärmung des Leiters führt.

Formelzeichen für elektrischer Widerstand: R

Einheit: Ohm

Einheitenzeichen: Ω (großes griechisches Omega)

Der elektrische Leitwert ist ein Maß für die Durchlässigkeit der Ladungsträgerbewegung

$G = 1/R$

G : Leitwert

$[G] = 1/\Omega = 1\text{S}$

Einheit für den Leitwert: Siemens

Einheitenzeichen: S

Beispiel:

Wie groß ist der Leitwert eines $330\text{k}\Omega$ Widerstands?

Geg: $R=330\text{k}\Omega$

Ges: G

Lös: $G = 1/R = 1/330 \cdot 10^3 \Omega = 0,00303 \cdot 10^{-3} \text{S} = 3,03 \cdot 10^{-6} \text{S} = 3,03 \mu\text{S}$

1.6.1 Leiter, Halbleiter, Isolatoren

Leiter besitzen sehr viele freie Elektronen pro Volumeneinheit (z.B.: Kupfer, Aluminium, Gold, Kohlenstoff).

Halbleiter besitzen sehr wenige freie Elektronen pro Volumeneinheit (z.B.: Silizium, Germanium, Selen)

Isolatoren besitzen fast keine freien Elektronen pro Volumeneinheit (z.B.: Keramik, Kunststoffe)

2 Der elektrische Stromkreis

2.1 Aufbau des einfachen (unverzweigten) Stromkreises

Die einfachste Form eines elektrischen Stromkreises besteht aus:

- Spannungsquelle
- Verbraucher
- Verbindungsleitungen

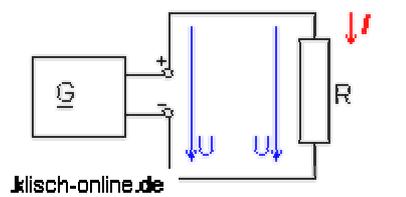
Ein Stromkreis, in dem elektrischer Strom fließt, muss geschlossen sein

Elektrische Verbrauchsmittel - kurz Verbrauchsmittel - sind Betriebsmittel, die die Aufgabe haben, elektrische Energie in eine Nicht-Elektrische Energieart oder zur Nachrichtenübertragung nutzbar zu machen.

Elektrische Betriebsmittel - kurz Betriebsmittel - sind Gegenstände, die als Ganzes oder in einzelnen Teilen dem Anwenden elektrischer Energie dienen. Hierzu gehören z.B. Gegenstände zum Erzeugen, Fortleiten, Verteilen, Speichern, Messen, Umsetzen und Verbrauchen elektrischer Energie, auch im Bereich der Fernmeldetechnik.

Definition nach VDE 0100 Teil 200

Der einfache Stromkreis mit Verbraucher-Zählpfeilsystem



2.2 Das Ohmsche Gesetz

Bei konstantem Widerstand ist die Stromstärke durch den Widerstand proportional der Spannung am Widerstand.

$I \sim U$ wenn $R = \text{Konstant}$

$I = U/R$ Ohmsches Gesetz

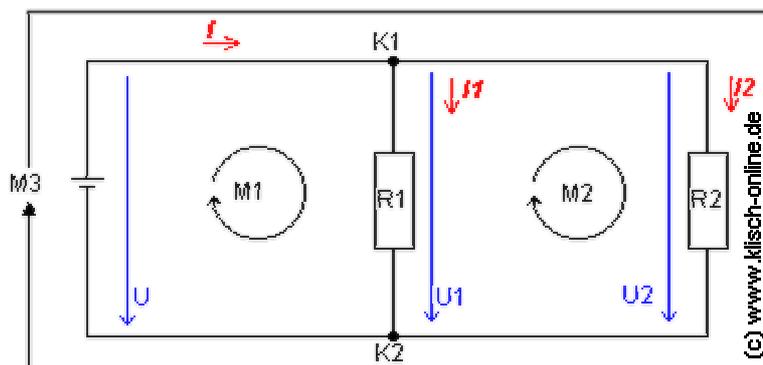
$R = U/I$

$[R] = V/A$

$1\Omega \triangleq 1 V/A$

$1S \triangleq 1/\Omega = 1/ V/A = A/V$

2.2.1 Knoten und Maschen



K1, K2: Knotenpunkte (Stromverzweigungspunkte)

M1, M2, M3: Maschen

Knotenpunkte

K1: $I_1 + I_2 = I$

Allgemein: $\sum I_{zu} = \sum I_{ab}$

K1: $I_1 + I_2 = I$

$+I_1 + I_2 - I = 0$

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^n I_i = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0$$

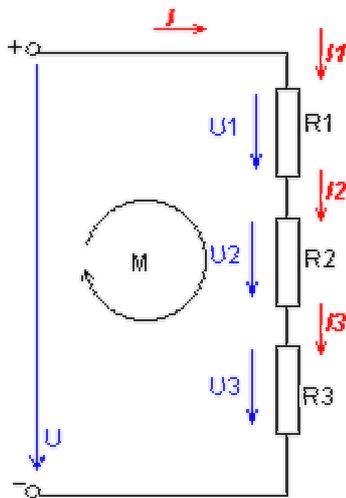
Maschen

M1: $U_1 = U$
 $U_1 - U = 0$

$$\sum_{i=1}^n U_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^n U_i = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n = 0$$

2.3 Reihenschaltung



© www.klisch-online.de

Elektrische Verbraucher sind in Reihe geschaltet, wenn sie von der gleichen Stromstärke durchflossen werden (keine Knoten).

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

$$\sum_{i=1}^n U_i = U_1 + U_2 + U_3 - U = 0$$

Bei der Reihenschaltung von Verbrauchern ist die Gesamtspannung gleich der Summe der Teilspannungen.

$$U_1 = I \cdot R_1$$

$$U_2 = I \cdot R_2$$

$$U_3 = I \cdot R_3$$

$$U = I \cdot R_E \quad R_E = \text{Ersatzwiderstand}$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$I \cdot R_E = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3 \quad | /I$$

$$R_E = R_1 + R_2 + R_3$$

Bei der Reihenschaltung elektrischer Verbraucher ist der Ersatzwiderstand der Schaltung gleich der Summe der Einzelwiderstände.

Ersatzschaltung:

++Bild fehlt++

Der Ersatzwiderstand hat die gleiche Wirkung wie die Einzelwiderstände, das heißt:

bei unveränderter Spannung U fließt die Stromstärke I

$$U_1 = I \cdot R_1 \Rightarrow I = U_1/R_1$$

$$U_2 = I \cdot R_2 \Rightarrow I = U_2/R_2$$

$$I = U_1/R_1 = U_2/R_2$$

$$U_1/R_1 \cdot U_2 = 1/R_1$$

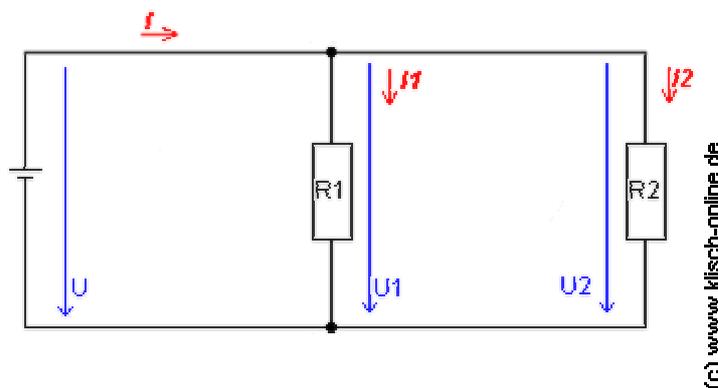
$$U_1/U_2 = R_1/R_2$$

Bei der Reihenschaltung elektrischer Verbraucher verhalten sich die Spannungen wie die zugehörigen Widerstände.

$$U_3/U = R_3/R_E$$

2.4 Parallelschaltung

Widerstände sind parallel geschaltet, wenn sie an der selben Spannung liegen.



$$U = I_1 \cdot R_1 \Rightarrow I_1 = U/R_1$$

$$U = I_2 \cdot R_2 \Rightarrow I_2 = U/R_2$$

$$U = I \cdot R_E \Rightarrow I = U/R_E$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$U/R_E = U/R_1 + U/R_2 \quad | /U$$

$$1/R_E = 1/R_1 + 1/R_2$$

$$1/R_E = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n$$

n: Anzahl der parallelgeschalteten Widerstände

Bei der Parallelschaltung von Widerständen ist der Kehrwert des Ersatzwiderstand gleich der Summe der Kehrwerte der Einzelwiderständen.

$$1/R_E = G_E$$

$$G_E = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$$

Bei der Parallelschaltung von Widerständen ist der Ersatzleitwert gleich der Summe der Einzelleitwerte.

Sonderfall 1:

Parallelschaltung von Widerständen mit den gleichen Widerstandswert.

$$R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_n = R$$

$$1/R_E = 1/R + 1/R + 1/R + \dots + 1/R$$

$$1/R_E = n/R \quad | \text{Kehrwert}$$

$$R_E/1 = R/n$$

$$R_E = R/n$$

Sonderfall 2:

Parallelschaltung von nur zwei Widerständen

$$1/R_E = 1/R_1 + 1/R_2 \quad | \text{Hauptnenner: } R_1 * R_2$$

$$1/R_E = R_2/R_2 * R_1 + R_1/R_1 * R_2$$

$$1/R_E = R_2 + R_1 / R_1 * R_2$$

$$R_E = R_1 * R_2 / R_1 + R_2$$

$$[R_E] = \frac{\Omega * \Omega}{\Omega}$$

$$[R_E] = \Omega$$

Bei der Parallelschaltung von Widerständen ist das Verhältnis der Stromstärken gleich dem umgekehrten Verhältnis der zugehörigen Widerstände.

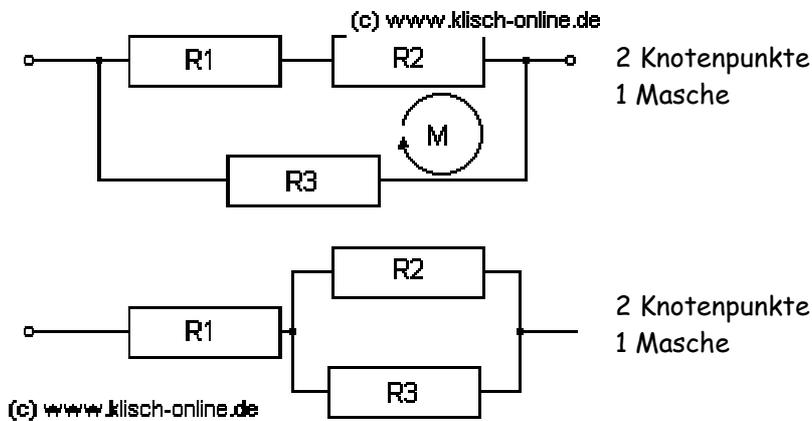
$$R_1 > R_2$$

$$I_2 > I_1$$

Bei der Parallelschaltung fließt durch den Widerstand mit dem niedrigsten Widerstandswert die größte Stromstärke.

2.5 Widerstandsnetzwerke

Widerstandsnetzwerke sind Schaltungen, die aus Reihen- und Parallelschaltungen bestehen.



Die Mindestanforderung für Widerstandsnetzwerke sind Schaltungen mit mindestens 2 Knotenpunkten und einer Masche.

2.5.1 Berechnung des Ersatzwiderstands

Für die Berechnung des Ersatzwiderstands benutzt man die Formeln für die Reihen- Parallelschaltungen.

Schaltung 1:

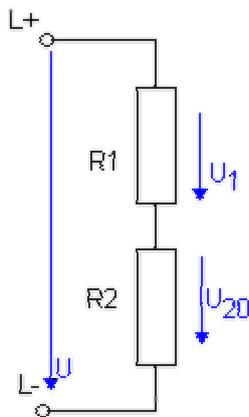
$$R_E = (R_1 + R_2) * R_3 / R_1 + R_2 + R_3$$

Schaltung 2:

$$R_E = R_1 + R_2 * R_3 / R_2 + R_3$$

2.5.2 Spannungsteiler

Unbelasteter Spannungsteiler



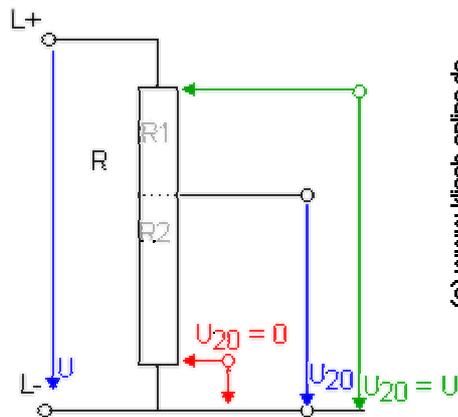
$$U = U_1 + U_{20}$$

$$U/R_E = U_1/R_1 = U_{20}/R_2$$

$$R_1/R_2 = U_1/U_{20}$$

Spannungsteiler mit konstanten Widerständen

(c) www.klisch-online.de

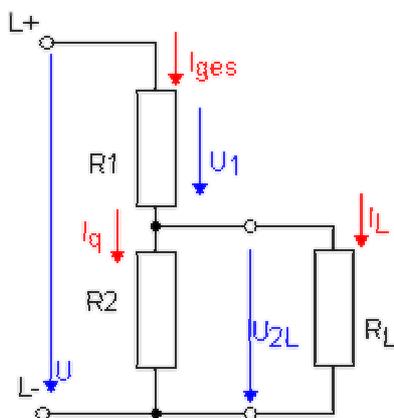


$$U_{20} = 0 \dots U$$

Spannungsteiler mit einstellbarem Widerstand

(c) www.klisch-online.de

Belastbarer Spannungsteiler



R_L = Lastwiderstand

I_q = Querstrom

$$U = U_1 + U_{2L}$$

$$U_{2L} = U * ((R_2 * R_L) / (R_2 * R_L + R_1 * R_2 + R_L * R_1))$$

(c) www.klisch-online.de

2.5.2 Spannungsteiler Auswertung

Für alle Spannungen gilt:

$$U = 150V$$

$$R_1 : R_2 = 2 : 1$$

R_1	R_2	R_L	U_{2L}	f	I_q	I_L	q
100 Ω	50 Ω	50 Ω	30V	40%	600mA	600mA	1
1k Ω	500 Ω	50 Ω	6,5V	87%	13mA	130mA	0,1
100 Ω	50 Ω	500 Ω	46,9V	6,2%	938mA	93,8mA	10

U_{20} = Leerlaufspannung

U_{2L} = Lastspannung

Die Spannungsteilerwiderstände R_1 und R_2 sollten möglichst niederohmig gewählt werden.

Der Lastwiderstand eines Spannungsteilers sollte möglichst hochohmig sein.

Bei einem belasteten Spannungsteiler sollten die Spannungsteilerwiderstände möglichst niederohmig und die Lastwiderstände möglichst hochohmig sein.

$$I_q = U_{2L} / R_2$$

bzw.

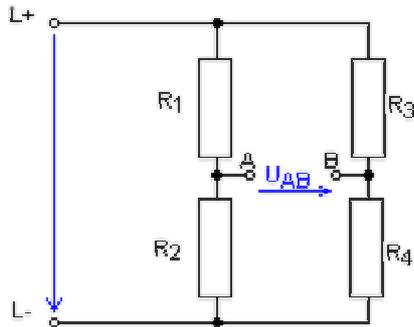
$$I_L = U_{2L} / R_L$$

Querstromverhältnis

$$q = I_q / I_L$$

Bei einem guten Spannungsteiler ist das Querstromverhältnis hoch. In der Praxis sollte q größer als 10 sein.

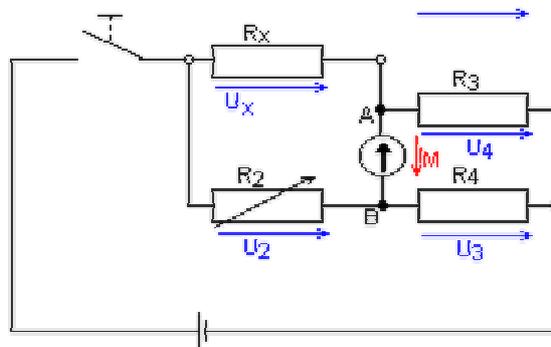
2.5.3 Brückenschaltung



© www.klisch-online.de

Eine Brückenschaltung besteht aus einer Parallelschaltung von je 2 Reihenschaltungen mit je 2 Widerständen oder aus der Parallelschaltung von 2 unbelasteten Spannungsteilern.

Prinzip einer Widerstandsmessbrücke



© www.klisch-online.de

R_x : zu messender Widerstand
 Messgerät mit 0-Punkt in der Mitte, kann unbeschadet in beide Richtungen ausschlagen

Mit einer Widerstandsmessbrücke kann man nur Widerstandswerte messen. Dazu muss die Brücke abgeglichen sein.

Abgleichungsbedingung:

$$U_{AB} = 0$$

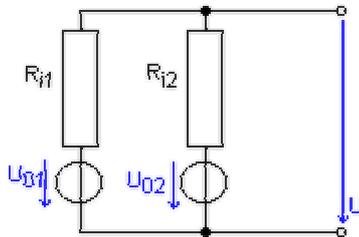
$$I_M = 0$$

$$R_x/R_2 = R_3/R_4$$

Bei der Widerstandsmessung wird der Widerstand R_3 so lange verändert, bis der Zeiger des Messgerätes auf 0 steht. Damit ist die Brücke abgeglichen und $R_x = R_2 \cdot R_3 / R_4$. Dieser Wert ist jedoch direkt auf einer Skala abzulesen. Als Spannungsquelle dient eine Batterie, die über einen Tastschalter mit der Brückenschaltung verbunden ist. Dies ist das Prinzip der Wheatstone Messbrücke.

2.6 Parallelschaltung von Spannungsteilern

1) Parallelschaltung von Spannungsquellen mit gleicher Quellenspannung und gleichem Innenwiderstand

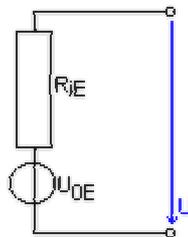


(c) www.klisch-online.de

$$R_{i1} = R_{i2} = R_i$$

$$U_{01} = U_{02} = U_0$$

Ersatzschaltung



(c) www.klisch-online.de

$$U_{0E} = U_0$$

$$R_{iE} = R_i / n$$

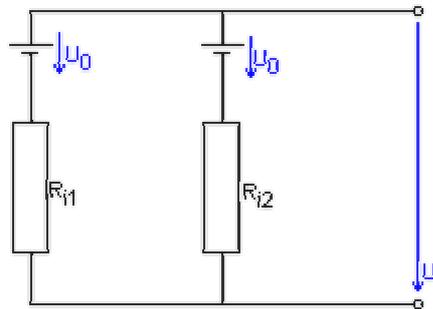
(n = Anzahl der Widerstände)

Bei einer Parallelschaltung von Spannungsquellen mit gleichen Quellenspannungen und gleichen Innenwiderständen ist die Quellenspannung der Ersatzspannungsquelle gleich der Quellenspannung einer einzelnen Spannungsquelle.

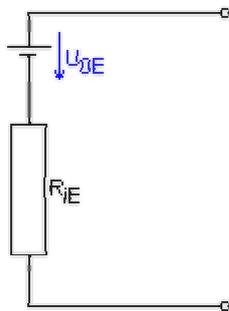
Bei einer Parallelschaltung von Spannungsquellen mit gleichen Quellenspannungen und gleichen Innenwiderständen ist der Innenwiderstand der Ersatzspannungsquelle gleich dem Innenwiderstand einer einzelnen Spannungsquelle dividiert durch die Anzahl n der parallel geschalteten Spannungsquellen.

Bei der Parallelschaltung von Spannungsquellen erhält man höhere Stromstärken.

2) Parallelschaltung von Spannungsquellen mit gleicher Quellenspannung und unterschiedlichen Innenwiderständen



(c) www.klisch-online.de

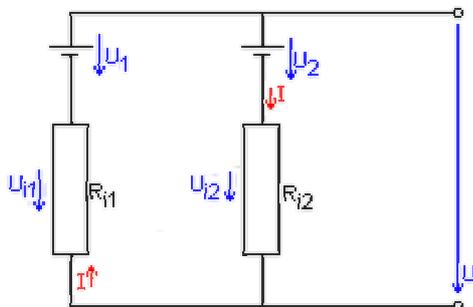


(c) www.klisch-online.de

$$U_{0E} = U_0$$

$$R_{iE} = R_{i1} \cdot R_{i2} / (R_{i1} + R_{i2})$$

3) Parallelschaltung von Spannungsquellen mit unterschiedlicher Quellenspannung und unterschiedlichen Innenwiderständen



(c) www.klisch-online.de

$$U_{i1} - U_{01} + U_{02} + U_{i2} = 0$$

$$I \cdot R_{i1} - U_{01} + U_{02} + I \cdot R_{i2} = 0$$

$$I \cdot R_{i1} + I \cdot R_{i2} = U_{01} - U_{02}$$

$$I \cdot (R_{i1} + R_{i2}) = U_{01} - U_{02}$$

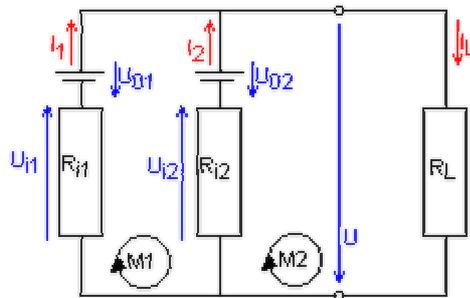
$$I_A = (U_{01} - U_{02}) / (R_{i1} + R_{i2})$$

I_A = Ausgleichstromstärke

Bei der Parallelschaltung von Spannungsquellen mit unterschiedlichen Quellenspannungen ergibt sich ein Ausgleichsstrom, der durch die beiden Innenwiderständen fließt. Durch die Spannung an diesen beiden

Innenwiderständen ergibt sich ein Ausgleich zwischen den beiden unterschiedlichen Quellenspannungen.

Belastet



(c) www.klisch-online.de

M1:

$$\begin{aligned}
 U_{i1} - U_{01} + U_{02} - U_{i2} &= 0 \\
 I_1 - R_{i1} * U_{01} + U_{02} - I_2 * R_{i2} & \\
 I_1 * R_{i1} = U_{01} + I_2 * R_{i2} - U_{02} & \\
 I_1 = (U_{01} + I_2 * R_{i2} - U_{02}) / R_{i1} &
 \end{aligned}$$

M2:

$$\begin{aligned}
 U_{i1} - U_{02} + U &= 0 \\
 I_2 * R_{i2} - U_{02} + I_L * R_L &= 0 \\
 I_2 * R_{i2} = U_{02} - I_L * R_L & \\
 I_2 = (U_{02} - I_L * R_L) / R_{i2} &
 \end{aligned}$$

$$I_L = I_1 + I_2$$

(Umstellung der Formel...)

$$I_L = (U_{02} * R_{i1} + U_{01} * R_{i2}) / (R_{i1} * R_{i2} + R_L * R_{i1} + R_L * R_{i2})$$

$$I_L = [A]$$

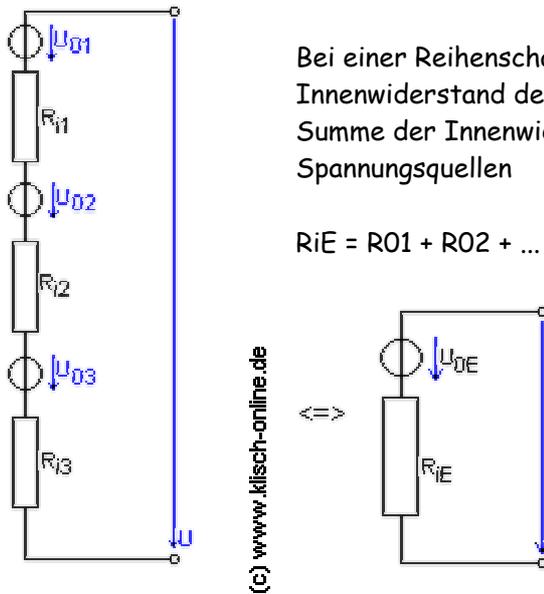
2.7 Reihenschaltung von Spannungsquellen

Bei einer Reihenschaltung von Spannungsquellen ist die Leerlaufspannung der Ersatzspannungsquelle gleich der Summe der Leerlaufspannungen der einzelnen Spannungsquellen

$$U_{0E} = U_{01} + U_{02} + \dots + U_n$$

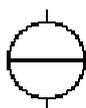
Bei einer Reihenschaltung von Spannungsquellen ist der Innenwiderstand der Ersatzspannungsquelle gleich der Summe der Innenwiderstände der einzelnen Spannungsquellen

$$R_{iE} = R_{01} + R_{02} + \dots + R_n$$



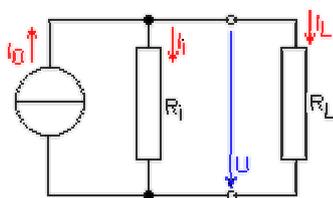
(c) www.klisch-online.de

2.7 Ersatzstromquelle



Schaltzeichen einer Ersatzstromquelle

Eine Ersatzstromquelle liefert einen konstanten Quellstrom I_0 : Quellstrom

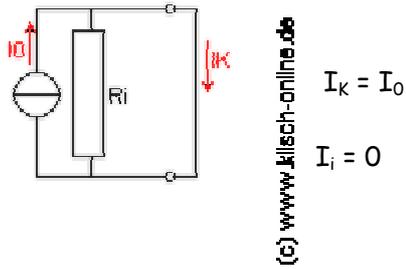


$$I_L = I_0 - I_i$$

$$I_i = U / R_i$$

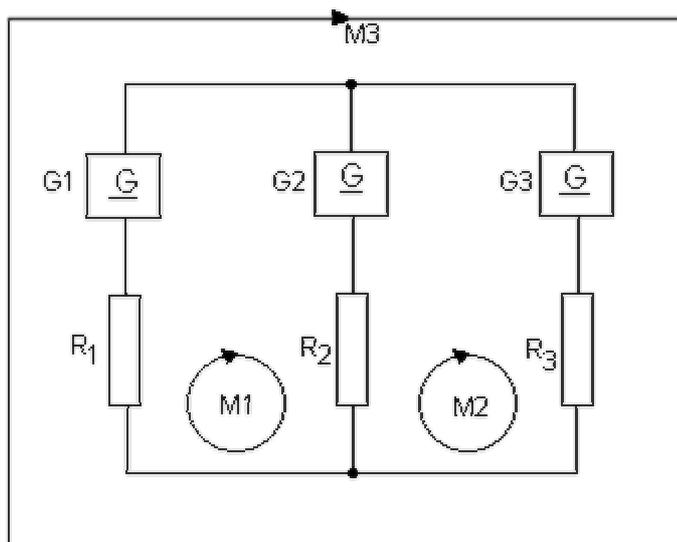
$$I_L = I_0 - U / R_i$$

(c) www.klisch-online.de



2.8 Berechnungsverfahren für Netzwerke

Ein Netzwerk ist eine Schaltung mit einer beliebigen Anzahl von Spannungs- bzw. Stromquellen und Widerständen in beliebigen Schaltungen



3 Generatoren
(G_1, G_2, G_3)
Gleichspannung
3 Widerstände
(R_1, R_2, R_3)
2 Knotenpunkte
3 Maschen

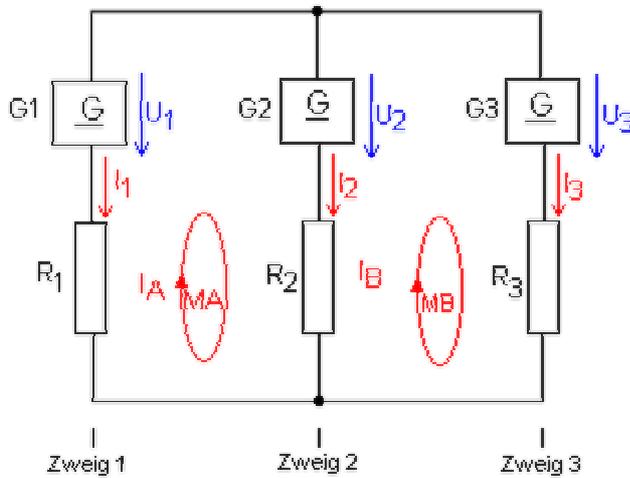
Allgemein:

In jedem Netzwerk gibt es immer eine Masche mehr, als es Knotenpunkte gibt.

m : Anzahl der Maschen
 n : Anzahl der Knotenpunkte

$m = n + 1$

2.8.1 Maschenstromverfahren



Spannungs- und Stromrichtungen festgelegt

Maschenströme I_A und I_B
Richtung der Maschenströme willkürlich festgelegt

I_1, I_2, I_3 :
Zweigströme

(c) www.klisch-online.de

Zusammenhang zwischen Zweigströmen und Maschenströmen:

$$I_1 = -I_A$$

$$I_2 = I_A - I_B$$

$$I_3 = I_B$$

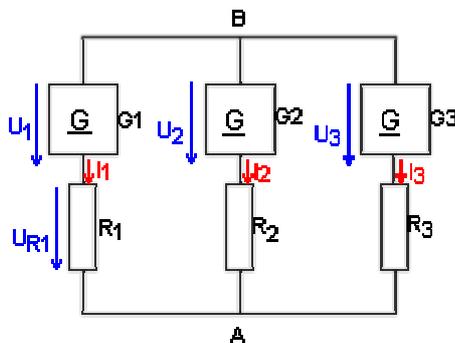
Masche A:

$$I_A = (U_1 - U_2 + I_B \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$$

Masche B:

$$I_A (-U_2 + U_3 + I_B \cdot R_3 + I_B \cdot R_2) / R_2$$

2.8.2 Knotenspannungsverfahren



Knotenpunkte werden mit A und B bezeichnet

Festlegen der Knotenpunktspannung U_{BA}

$$U_{BA} = \varphi_B - \varphi_A$$

$$U_{BA} = \varphi_B$$

(c) www.klisch-online.de

$$I_1 = U_{R1} / R_1$$

$$I_1 = U_{BA} - U_1 / R_1$$

$$I_1 = \varphi_B - U_1 / R_1$$

$$I_2 = \varphi_B - U_2 / R_2$$

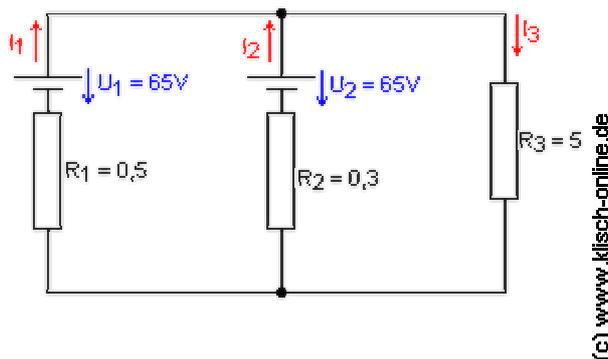
$$I_3 = \varphi_B - U_3 / R_3$$

Kirchhoffisches Gesetz:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

$$\varphi_B = (U_1 * R_2 * R_3 + U_2 * R_1 * R_3 + U_3 * R_1 * R_2) / (R_2 * R_3 + R_1 * R_3 + R_1 * R_2)$$

2.8.3 Überlagerungsverfahren

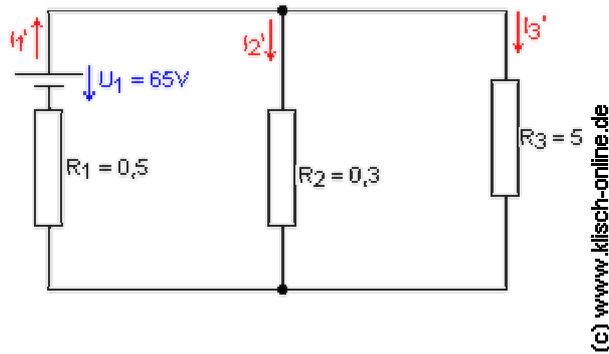


Beim Überlagerungsverfahren werden bis auf eine Spannungsquelle alle anderen Spannungsquellen kurz geschlossen und die entsprechenden Teilströme berechnet. Diese Teilströme werden dann überlagert, um das Ergebnis zu berechnen.

1. Schritt

Richtung der Stromstärken I_1 , I_2 und I_3 festlegen.

Spannungsquelle U_2 kurzschließen



Berechnen der Stromstärken I_1' , I_2' , I_3'

$$I_1' = U_1 / R_E$$

$$I_1' = U_1 / (R_1 + (R_2 * R_3 / (R_2 + R_3)))$$

$$I_1' = 65V / (0,5\Omega + (0,3\Omega * 5\Omega / (0,3\Omega + 5\Omega)))$$

$$I_1' = 83,8A$$

$$I_2' = (U_1 - I_1' * R_1) / R_2$$

$$I_2' = (65V - 83A * 0,5\Omega) / 0,3\Omega$$

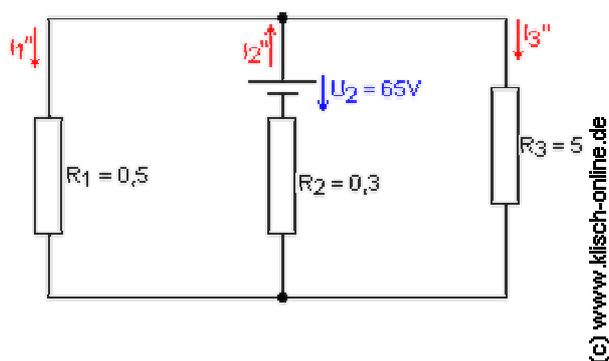
$$I_2' = 78A$$

$$I_3' = (U_1 - I_1' * R_1) / R_3$$

$$I_3' = (65V - 83A * 0,5\Omega) / 5\Omega$$

$$I_3' = 4,7A$$

Spannungsquelle U_1 kurzgeschlossen



Berechnen der Stromstärken I_1'' , I_2'' , I_3''

$$I_2'' = U_2 / (R_2 + (R_1 * R_3 / (R_1 + R_3)))$$

$$I_2'' = 65V / (0,3\Omega + (0,5\Omega * 5\Omega / (0,5\Omega + 5\Omega)))$$

$$I_2'' = 86,2A$$

$$I_1'' = (U_2 - I_2'' \cdot R_2) / R_1$$

$$I_1'' = (65V - 86,2A \cdot 0,3\Omega) / 0,5\Omega$$

$$I_1'' = 78,28A$$

$$I_3'' = (U_2 - I_2'' \cdot R_2) / R_3$$

$$I_3'' = (65V - 86,2A \cdot 0,3\Omega) / 5\Omega$$

$$I_3'' = 7,8A$$

Bei der Berechnung der Stromstärken I_1' , I_2' , I_3' , I_1'' , I_2'' und I_3'' empfiehlt es sich, die Stromstärken so anzusetzen, wie sie im Stromkreis fließen.

Überlagern der Stromstärken

$$I_1 = I_1' - I_1''$$

$$I_1 = 83A - 78,3A$$

$$I_1 = 4,7A$$

$$I_2 = -I_2' + I_2''$$

$$I_2 = -78,3A + 86,2A$$

$$I_2 = 7,9A$$

$$I_3 = I_3' + I_3''$$

$$I_3 = 4,7A + 7,8A$$

$$I_3 = 12,5A$$

Probe:

$$I_1 + I_2 = I_3$$

$$4,7A + 7,9A = 12,6A$$

Fehler: <1%

3. Energie, Arbeit, Leistung

3.1 Energie und Arbeit

Energie ist das Vermögen, eine Arbeit zu verrichten (gespeicherte Arbeit)

Formelzeichen für Arbeit: W

Elektrische Arbeit

Elektrische Arbeit wird verrichtet, wenn sich Ladungsträger in einem Stromkreis auf Grund einer angelegten Spannung bewegen.

$$W = Q \cdot U$$

$$Q = I \cdot t$$

$$W = I \cdot t \cdot U$$

$$[W] = VAs$$

$$1W = 1VA$$

$$[W] = Ws = J$$

Die Grundeinheit der elektrischen Arbeit ist die Ws (Wattsekunde). Diese Einheit ist für die meisten Fälle zu klein, weshalb man die Einheit kWh benutzt.

Zusammenhang zwischen kWh und Ws

$$\begin{array}{l} k \quad W \quad h \\ 1000W \quad 3600s \end{array}$$

$$3.600.000Ws = 1kWh = 3,6 \cdot 10^6 Ws$$

$$W = U \cdot I \cdot t$$

Ohmsches Gesetz

$$I = U / R$$

$$W = (U \cdot U \cdot t) / R$$

$$W = (U^2 \cdot t) / R$$

$$U = R \cdot I$$

$$W = R \cdot I \cdot I \cdot t$$

$$W = R \cdot I^2 \cdot t$$

3.2 Leistung

Allgemein: Leistung ist Arbeit pro Zeiteinheit

Formelzeichen für Leistung: P

$$P = W / t$$

$$P = U \cdot I$$

$$[P] = W$$

Mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes ergeben sich folgende Formeln:

$$P = U^2 / R$$

$$P = I^2 * R$$

3.3 Messen der elektrischen Arbeit und Leistung

3.3.1 Direkte Messung der elektrischen Arbeit

Die elektrische Arbeit wird direkt mit einem Elektrizitätszähler gemessen. Die Anzeige erfolgt digital in der Einheit kWh. Den Anschluss eines Elektrizitätszählers und das Schaltzeichen befinden sich im Fachbuch auf Seite 40.

In jedem Zähler befinden sich eine Zählerscheibe, deren Umdrehungsgeschwindigkeit ein Maß für die elektrische Arbeit ist. Außerdem wird für jeden Zähler eine Zählerkonstante angegeben, aus der man entnehmen kann, wie viele Umdrehungen der Zählerscheibe eine kWh entspricht.

Formelzeichen Zählerkonstante: c_z

Einheit Zählerkonstante: 1/kWh

Beispiel:

$$c_z = 600 \text{ 1/kWh}$$

Dies bedeutet, dass nach 600 Umdrehungen der Zählerscheibe eine kWh verbraucht wurde.

$$600 \text{ Umdrehungen } \hat{=} 1 \text{ kWh}$$

$$60 \text{ Umdrehungen } \hat{=} 0,1 \text{ kWh}$$

$$W = n / c_z$$

n: Anzahl der Umdrehungen der Zählerscheibe

$$[n] = 1$$

$$[W] = 1 / 1/\text{kWh} = \text{kWh}$$

$$P = W / t$$

$$P = n/cz / t$$

$$P = n / c_z * t$$

$$[P] = 1 / (1/\text{kWh} * h) = \text{kW}$$

3.3.2 Direkte Messung elektrischer Leistung

Die direkte Messung der elektrischen Leistung erfolgt mit einem Leistungsmesser. Schaltzeichen und Schaltung siehe Seite 40 im Fachbuch.

3.3.3 Indirekte Messung von Arbeit und Leistung

Zur Ermittlung der elektrischen Arbeit benötigt man die Größen Spannung, Stromstärke und Zeit.

Dies ist mit einem Spannungs- und Strommesser sowie einer Uhr möglich.

$$W = U \cdot I \cdot t$$

$$W = P \cdot t$$

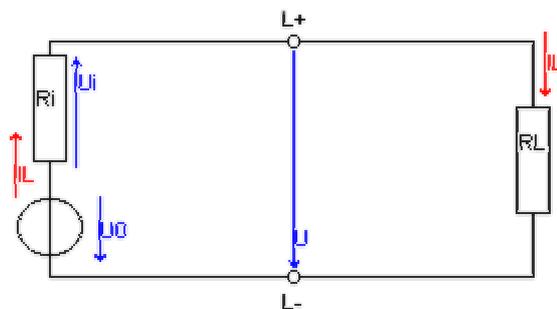
Die zweite Möglichkeit einer indirekten Messung der elektrischen Arbeit ist die Verwendung eines Leistungsmessers und einer Uhr.

Die elektrische Leistung kann indirekt mit einem Strom- und Spannungsmesser ermittelt werden.

	Arbeit	Leistung
direkt	Zähler	Leistungsmesser
indirekt	Spannungsmesser Strommesser Uhr	Spannungsmesser Strommesser
indirekt	Leistungsmesser Uhr	-----

3.4 Leistung von Spannungsquellen

Ersatzschaltbild



U0 : Leerlauf oder Quellenspannung

UL : Spannung am Lastwiderstand, Klemmenspannung

PL : Leistung am Lastwiderstand

Pi : Leistung am Innenwiderstand

(c) www.klisch-online.de

$$P_{ges} = P_L + P_i$$

$$P_{ges} = U_0 \cdot I$$

$$I = U_0 / R_{ges}$$

$$I = U_0 / (R_L + R_i)$$

$$P_{ges} = U_0 \cdot U_0 / (R_L + R_i)$$

$$P_{ges} = U_0^2 / (R_L + R_i)$$

Je kleiner der Widerstandswert des Lastwiderstands, desto größer die Gesamtleistung

Leistung am Innenwiderstand

$$P_i = I^2 \cdot R_i$$

$$I = U_0 / (R_i + R_L)$$

$$P_i = (U_0 / (R_i + R_L))^2 \cdot R_i$$

$$P_i = U_0^2 \cdot R_i / (R_i + R_L)^2$$

Je kleiner der Widerstandswert des Lastwiderstands, desto größer die Leistung am Innenwiderstand

Leistung am Lastwiderstand

$$P_L = I^2 \cdot R_L$$

$$I = U_0 / (R_i + R_L)$$

$$P_L = (U_0 / (R_i + R_L))^2 \cdot R_L$$

$$P_L = U_0^2 \cdot R_L / (R_i + R_L)^2$$

3.5 Wirkungsgrad

Bei elektrischen Betriebsmitteln unterscheidet man zwischen der zugeführten Leistung (P_{zu}) und der abgehenden Leistung (P_{ab}).

Der Unterschied zwischen zugeführter und abgegebener Leistung ist die Verlustleistung (P_v)

$$P_{zu} = P_{ab} + P_v$$

Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis von P_{ab} durch P_{zu} .

$$\eta = P_{ab} / P_{zu} \quad \eta: \text{kleines griechische eta}$$

$$\eta < 1$$

Der Wirkungsgrad wird als Dezimalzahl (immer < 1) oder als Potenzzahl (immer $< 100\%$) angegeben.

Der Wirkungsgrad ist eine dimensionslose Zahl. Die Einheit des Wirkungsgrades ist 1.

Bei elektrischen Betriebsmitteln ist auf den Leistungsschild die abgebende Leistung angegeben.

Die zugeführte Leistung muss aus der Nennspannung und dem Nennstrom errechnet werden.

Der Wirkungsgrad verbessert sich mit höherer Leistung

Bei einer Anlage, die aus mehreren Aggregaten besteht, ergibt sich der Gesamtwirkungsgrad aus dem Produkt der Einzelaggregate.

Der Gesamtwirkungsgrad ist immer kleiner als der kleinste Einzelwirkungsgrad.

Wirkungsgrad von elektrisch parallel geschalteten Betriebsmitteln

Ermittlung des Wirkungsgrades von unabhängig voneinander arbeitenden Betriebsmitteln, die elektrisch parallel geschaltet sind.

$$\eta = P_{ab} / P_{zu}$$

$$\eta = (P_{ab1} + P_{ab2} + P_{ab3}) / (P_{zu1} + P_{zu2} + P_{zu3})$$

Diese Rechnung ergibt einen Mittelwert oder Durchschnittswert des Wirkungsgrades.

3.6 Elektrowärme

Unter Elektrowärme versteht man die Umwandlung von elektrischer Energie in nutzbare Wärmeenergie, z.B. Wasserkocher. Ein Maß für die Wärmeenergie ist die Temperatur.

Temperaturen werden in der Regel mit der Celsius- oder der Kelvinskala gemessen. Bei beiden Skalen beträgt die Differenz zwischen dem Siedepunkt des Wassers und dem Gefrierpunkt des Wassers 100 Einheiten. Dadurch sind Temperaturdifferenzen bei beiden Skalen gleich groß.

$$\Delta v = 30^{\circ}\text{C}$$

Δv : Temperaturunterschied in $^{\circ}\text{C}$

$$\Delta T = 30\text{K}$$

Temperaturunterschied in Kelvin

$$\Delta v = \Delta T$$

Berechnung des Temperaturunterschieds

$$\Delta v = v_2 - v_1$$

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

v_2, T_2 : höhere Temperatur

v_1, T_1 : niedrigere Temperatur

Man benötigt zur Erwärmung eines Stoffes eine Energiezufuhr.
Die Höhe der Energiezufuhr ist abhängig von:

- dem zu erwärmenden Material
- von der zu erwärmenden Masse
- von der Temperaturdifferenz

$$W_{\text{th}} = m * c * \Delta v$$

W_{th} : Thermische Arbeit

m : Masse

c : spezifische Wärmekapazität

Δv : Temperaturdifferenz

Das Ergebnis erhält man in der Einheit kJ (Kilojoule)

$$1\text{J} \hat{=} 1\text{Ws}$$

$$1\text{kJ} \hat{=} 1000\text{Ws} = 1\text{kWs}$$

Die zur Erzeugung benötigte elektrische Arbeit ergibt sich aus:

$$W_{\text{el}} = U * I * t$$

$$W_{\text{el}} < W_{\text{th}}$$

$$\eta_{\text{th}} = W_{\text{th}} / W_{\text{el}}$$

$$\eta_{\text{th}} = m * c * \Delta v / U * I * t$$

η_{th} : thermischer Wirkungsgrad

4. Widerstände

Der Begriff Widerstand bezeichnet in der Elektrotechnik ein Bauteil:

Die Behinderung des Elektroflusses ist eine physikalische Größe, die man ebenfalls als Widerstand bezeichnet. Zur besseren Unterscheidung benutzt man für die physikalische Größe auch den Begriff Widerstandswert.

R	=	100	Ω
Formelzeichen für den Widerstandswert		Zahlenwert	Einheitenzeichen für die Einheit Ohm

$$1\Omega = 1V / 1A$$

4.1 Berechnung des Widerstandswertes

Der Widerstandswert hängt von folgenden Größen ab:

- Material δ : ρεηχσιφιζεπΣ τρεωσδνατσρεδιΩ
- Länge l: Leiterlänge
- Querschnitt A: Querschnittsfläche

$$R \sim \delta$$

$$R \sim l$$

$$R \sim 1/A$$

$$R = \delta \cdot l / A$$

$$\delta = R \cdot A / l$$

$$\delta = [\Omega \cdot m^2 / m = \Omega \cdot m]$$

Grundeinheit des spezifischen Widerstands:

$$\Omega \cdot m$$

Für den spezifischen Widerstand wird auch die Einheit $\Omega \cdot mm^2 / m$ verwendet
Der Kehrwert für den spezifischen Widerstand ist die Leitfähigkeit γ :

$$\gamma = 1/\delta \Rightarrow \delta = 1/\gamma$$

Für die Leitfähigkeit wird auch das Formelzeichen χ (τεδνεωρεω)αππαΚ(

$$\epsilon\iota\Delta : \tau\sigma\iota \tau\iota\epsilon\kappa\gamma\eta^{\tau\mu}\phi\tau\iota\epsilon\Lambda \rho\epsilon\delta \tau\iota\epsilon\eta\iota\epsilon$$

$$\gamma = m / \Omega \cdot mm^2 = 1/\Omega \cdot m = S/m$$

$$R = l / \gamma \cdot A$$

4.2 Nennwerte von Widerständen

Die Festlegung der Widerstände, die produziert werden, sind in einer Norm festgelegt. Die Widerstände sind international genormt in den Baureihen E6 bis E192. Für jede Baureihe ist auch eine Toleranz vorgegeben.

Die Toleranz gibt die zulässige Abweichung vom Nennwert in Prozent an.

4.3 Kennzeichnung von Widerständen

4.3.1 Kennzeichnung mit Hilfe von Farbringen

2 Möglichkeiten:

- 4 Farbringe: Ziffer, Ziffer, Multiplikator, Toleranz
- 5 Farbringe: Ziffer, Ziffer, Ziffer, Multiplikator, Toleranz

Die Farbringe sind von der Seite des Widerstands zu lesen, wo der Abstand zwischen Widerstandsende und Farbring am geringsten ist.

Bei 5 Farbringen ist der Farbring für die Toleranz breiter, als die übrigen Farbringe.

(Tabelle für die Farbkennzeichnung siehe Buch S.27/ Tabellenbuch S.77)

4.3.2 Alphanumerische Kennzeichnung

Hierbei werden Zahlen und Buchstaben benutzt.

An Buchstaben benutzt man: R, K (kilo), M (Mega), m (milli)

Es handelt sich hierbei um eine Kurzschreibweise, bei der Anstelle des Kommas ein Buchstabe geschrieben wird. Die Toleranz wird unverschlüsselt angegeben.

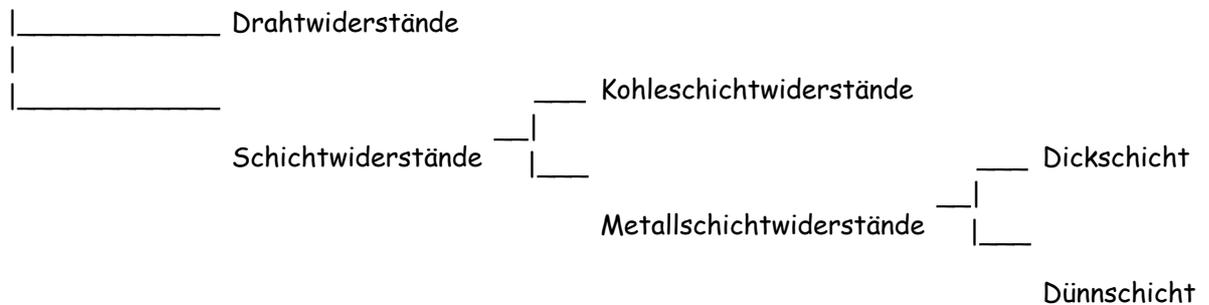
(Siehe Buch S.27/Tabellenbuch S.77)

4.4 Bauformen von Widerständen

Widerstände unterteilt man in Festwiderstände (fester Widerstandswert) und in veränderbare Widerstände.

4.4.1 Festwiderstände

Festwiderstände



Drahtwiderstände: Für höhere Leistungen

Kohleschichtwiderstände: Nicht sehr hoch belastbar, auf einem Keramikkörper wird eine Kohleschicht von $0,001 \mu\text{m}$ bis $10 \mu\text{m}$ aufgedampft

Metallschichtwiderstände:

Dickschichttechnik: hoch belastbar, Metall, Metallverbindung und Glaspulver werden auf einen Keramikträger aufgebracht und gebrannt

Dünnschichttechnik: weniger hoch belastbar, es werden Metalle von $0,5 \mu\text{m}$ aufgedampft

Andere Einteilungskriterien für Widerstände:

Art der Anschlüsse (Schellen-, Lötflächen-, Kappenanschluss)

Art der Oberfläche (Ungeschützt, zementiert, glasiert)

Belastbarkeit von Widerständen (Leistung)

Bei Widerständen geringer Leistung ergibt sich die Belastbarkeit aus der Widerstandsgröße.

4.4.2 Veränderbare Widerstände

Veränderbare Widerstände werden auch als Potentiometer bezeichnet.

Unterschiedliche Bauformen: Drehpotentiometer, Spindelpotentiometer, Schiebepotentiometer, Trimpotentiometer

Trimpotentiometer: können nur mit einem Werkzeug verstellt werden, sie werden meist auf Platinen eingesetzt und dienen zum Einstellen vorgegebener Werte (Ausgleich von Toleranzen)

Es gibt Potentiometer mit linearer Einteilung und logarithmischer Einteilung. Man kann die positiv logarithmische und die negativ logarithmische Einteilung mit der gleichen Bauform erreichen, indem man das Potentiometer unterschiedlich einbaut.

Logarithmische Einteilungen bieten den Vorteil, dass man in einem Bereich eine sehr große Einstellung und danach eine sehr feine Einstellung benötigt.

4.5 Widerstände, die von physikalischen Größen abhängen

Diese Widerstände haben nichtlineare Strom- Spannungs- Kennlinien. Widerstände können von folgenden physikalischen Größen abhängen:

- Temperatur
- Licht
- Magnetfeld
- Druck
- Spannung

4.5.1 Temperaturabhängige Widerstände

4.5.1.1 Kaltleiter/PTC-Widerstand

Der Widerstandswert von Kaltleitern nimmt bei steigender Temperatur zu. Werkstoffe, deren Widerstand sich bei zunehmender Temperatur erhöht, besitzen einen positiven Temperaturkoeffizienten und werden als PTC-Widerstände bezeichnet.

Positive Temperature Coefficient (engl.): positiven Temperaturbeiwert

Alle Metalle besitzen einen positiven Temperaturkoeffizienten.

Schaltzeichen:



4.5.1.2 Heißleiter/NTC-Widerstand

Der Widerstandswert von Heißleitern nimmt mit steigender Temperatur ab. Werkstoffe, deren Widerstand sich bei zunehmender Temperatur verringert, besitzen einen negativen Temperaturkoeffizienten. Alle Halbleiter und Kohlenstoff besitzen einen negativen Temperaturkoeffizienten.

Schaltzeichen:



4.5.1.3 Temperaturkoeffizient

Der Temperaturkoeffizient gibt die Widerstandsänderung eines Werkstoffes mit einem Widerstandswert von einem Ohm bei einer Temperaturänderung von 1 Kelvin an.

Formelzeichen: α

$$[\alpha] = \Omega / \Omega \cdot K = 1/K$$

Der Temperaturkoeffizient kann sowohl positiv als auch negativ sein.

4.5.1.4 Berechnung temperaturabhängiger Widerstände

Berechnung der Widerstandsänderung:

$$\Delta R = R_{20} * \alpha * \Delta v$$

ΔR : Widerstandsänderung

R_{20} : Widerstand bei 20°C

Δv : Temperaturdifferenz

$$\Delta v = v_2 - v_1$$

v_2 : Temperatur nach Erwärmung

v_1 : Ausgangstemperatur

Temperaturdifferenz bei Erwärmung:

$$\Delta v = v_2 - 20^\circ\text{C}$$

Zahlenwert positiv

Temperaturdifferenz bei Abkühlung:

$$\Delta v = v_2 - 20^\circ\text{C}$$

Zahlenwert negativ

PTC-Widerstand

$$\alpha > 0$$

bei Erwärmung: $\Delta R > 0$

bei Abkühlung: $\Delta R < 0$

NTC-Widerstand

$$\alpha < 0$$

bei Erwärmung: $\Delta R < 0$

bei Abkühlung: $\Delta R > 0$

Die Widerstandsänderung bei temperaturabhängigen Widerständen erfolgt in der Regel nicht linear, doch ergeben diese Gleichungen bei Metallen im Bereich von -50°C bis 200°C hinreichend genaue Ergebnisse.

4.5.1.5 Betriebsarten temperaturabhängiger Widerstände

Hierbei unterscheidet man zwischen Eigenerwärmung und Fremderwärmung. Unter Eigenerwärmung versteht man die Erwärmung des Widerstandes auf Grund des durchfließenden Stroms.

Mit Fremderwärmung bezeichnet man die Beeinflussung des Widerstandes durch die Veränderung der Umgebungstemperatur. Hierbei ist auch eine Abkühlung möglich.

Durch eine geringe Stromstärke durch den Widerstand kann der Einfluss der Eigenerwärmung vernachlässigbar klein gehalten werden.

4.5.1.6 Arbeiten mit Kennlinien

1. Einzeichnen der Widerstandsgeraden für $R_2 = 510\Omega$ bei $U_b = 24V$

Berechnen der Stromstärke für R_2 :

$$I_2 = U_b / R_2$$

$$I_2 = 24V / 510\Omega$$

$$I_2 = 47mA$$

AP1:

$$I = 15,5mA$$

$$U_1 = 16V$$

$$U_2 = 8V$$

2. Einzeichnen der Widerstandsgeraden für $R_3 = 1k\Omega$ bei $U_b = 24V$

$$I_3 = U_b / R_2$$

$$I_3 = 24V / 1000\Omega$$

$$I_3 = 24mA$$

AP2:

$$I = 11mA$$

$$U_1 = 13,4V$$

$$U_2 = 10,6V$$

Erkenntnis:

Bei gleicher Betriebsspannung beginnen die beiden Widerstandsgeraden im gleichen Punkt. Die Widerstandsgerade für den Widerstand mit dem höheren Widerstandswert verläuft flacher.

3. Einzeichnen der Widerstandsgeraden für $R_4 = 510\Omega$ bei $U_b = 10V$

$$I_2 = U_b / R_2$$

$$I_2 = 10V / 510\Omega$$

$$I_2 = 19,6mA$$

AP3:

$$I = 3mA$$

$$U_1 = 8,2V$$

$$U_2 = 1,8V$$

Erkenntnis:

Bei gleichem Widerstandswert und geringer Betriebsspannung wird die Widerstandsgerade zum Nullpunkt hin parallel verschoben.

4. Einzeichnen der Widerstandsgeraden für $R_5 = 100\Omega$ bei $U_b = 24V$

Berechnen der Stromstärke für R_5 :

$$I_2 = U_b / R_2$$

$$I_2 = 24V / 100\Omega$$

$$I_2 = 240mA$$

AP4:

$$I = 34mA$$

$$U_1 = 20,6V$$

$$U_2 = 3,4V$$

Erkenntnis:

Zur Berechnung der Stromstärke, die zum Zeichnen der Widerstandsgeraden benötigt wird, können beliebige Spannungswerte benutzt werden. Zum Eintragen des entsprechenden Punktes muss der gewählte Spannungswert von der Betriebsspannungswert von der Betriebsspannung subtrahiert werden.

Überprüfung, ob die Nennleistung der Widerstände nicht überschritten ist

Im Beispiel beträgt die Nennleistung der Widerstände $R_1-R_5 = 0,5W$.

$$P_N = 0,5W$$

$$P = U \cdot I \Rightarrow I = P / U$$

U / V	10	12	14	16	18	20	22	24
I / mA	50	41,7	35,7	31	27,8	25	22,7	20,8

Erkenntnisse:

Nur bei Arbeitspunkten unterhalb der Leistungshyperbel ist die Nennleistung der Widerstände nicht überschritten.

Bei der Schaltung mit dem 100Ω -Widerstand sind die Nennleistungen bereits überschritten.

Die Höchstzulässige Stromstärke ist 27,6 mA.

5 Elektrisches Feld und Kondensator

5.1 Elektrisches Feld

Auf elektrisch geladene Kugeln wirken Kräfte (Anziehung und Abstoßung), das heißt, der Raum zwischen ihnen muss einen besonderen Zustand aufweisen. Ein solcher Raumzustand wird als elektrisches Feld bezeichnet.

Elektrische Ladungen verursachen elektrische Felder, das heißt einen Raum, indem auf elektrische Ladungen Kräfte ausgeübt werden.

Die Beeinflussung des Raumes durch elektrische Felder kann vom Menschen nicht unmittelbar erkannt werden, da sie dafür keine Sinnesorgane besitzen. Es können lediglich Wirkungen erkannt und Modellvorstellungen entwickelt werden.

Elektrische Feldlinien ermöglichen eine Modellvorstellung vom Aufbau eines elektrischen Feldes.

Die elektrischen Feldlinien stellen die Richtung der Kräfte dar, die im Feld auf Positive Ladungen wirken.

Elektrische Feldlinien können mit Hilfe von Grießkörnern auf Rizinusöl und entsprechenden Ladungen (Elektronen) sichtbar gemacht werden.

Elektrische Feldlinien:

- gehen von der positiven zur negativen Ladung
- treten senkrecht zur Ladungsoberfläche ein und aus
- schneiden und berühren sich nicht
- kennzeichnen die Stärke des Feldes; je dichter sie verlaufen, desto stärker ist das elektrische Feld

Abschirmung elektrischer Felder

Elektrische Felder können durch elektrisch leitfähige Gehäuse abgeschirmt werden (Faradayscher Käfig).

Anwendung:

Antennenleitungen, Präzisionsmessgeräte, Rechenzentren

Elektrisches Feld

Homogen (lat. gleichmäßig)

Homogene elektrische Felder treten zwischen zwei ungleichartig geladenen parallelen Platten auf. Die Feldlinien eines homogenen elektrischen Feldes verlaufen parallel und im gleichen Abstand. Die Feldstärke hat überall die gleiche Stärke.

Die elektrische Feldstärke ergibt sich aus der Spannung, die an den Platten anliegt, und dem Plattenabstand.

$$E = U / a$$

E: Elektrische Feldstärke

$$[E] = V/m$$

Anwendung:

Prüfung von Flüssigen und Gasförmigen Isolierstoffen

Kapazität (lat. Fassungsvermögen)

Zwei parallel gegeneinander isolierte elektrisch leitfähige Platten werden durch eine Gleichspannung aufgeladen.

Die von den Platten aufgenommene elektrische Ladungen sind proportional der angelegten Spannung und proportional der Kapazität.

$$Q = C * U \Rightarrow C = Q / U$$

$$[Q] = As$$

$$Q = I * t$$

$$[C] = As / V = 1F \text{ (Farad)}$$

5.2 Der Kondensator

Kondensatoren sind elektrische Bauteile, die elektrische Ladungen speichern. Die gespeicherte Ladungsmenge ergibt sich aus der Kapazität des Kondensators und der angelegten Spannung

Aufbau eines Kondensators

Zwei Platten aus elektrisch leitfähigem Material (Metall)

Isolierstoff zwischen den Platten (Papier, Keramik, Kunststoff)

Platten bezeichnet man als Elektroden

Den Isolierstoff zwischen den Elektroden bezeichnet man als Dielektrikum, hier bildet sich das elektrische Feld

Schaltzeichen: $-| |-$

Kapazität eines Kondensators

Die Kapazität ist abhängig von:

- der Plattenbeschaffenheit A $C \sim A$
- dem Plattenabstand d $C \sim 1/d$
- dem Isolierstoff ϵ $C \sim \epsilon$

$$C = \epsilon \cdot A / d$$

ϵ : Permittivität

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A / d$$

ϵ_0 : elektrische Feldkonstante

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$$

ϵ_r : Permittivitätszahl

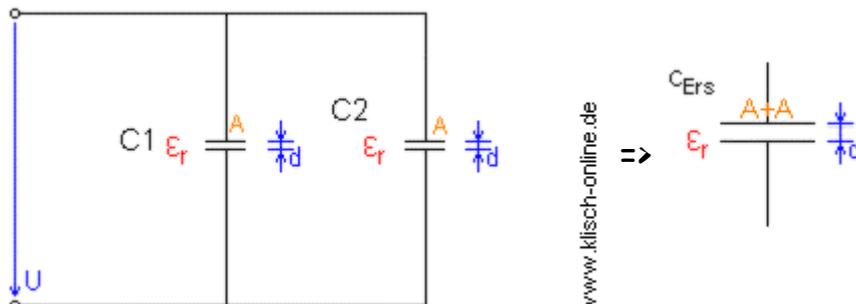
Die Permittivität gibt die Wirkung eines Isolierstoffes auf die Kapazität eines Kondensators an.

Die Permittivitätszahl gibt an, um wie viel mal sich die Kapazität eines Kondensators durch ein bestimmtes Dielektrikum gegenüber dem Vakuum erhöht.

Die Permittivitätszahl ist ein Faktor und besteht deshalb nur aus einem Zahlenwert ohne Einheit.

$$[C] = \text{As} \cdot 1 \cdot \text{m}^2 / \text{Vm} \cdot \text{m} = \text{As} / \text{V} = \text{F}$$

5.2.1 Parallelschaltung von Kondensatoren



© www.klisch-online.de

$$C_1 = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A / d = C_2$$

$$C_{Ers} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot 2A / d$$

$$C_{Ers} = 2 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A / d$$

$$C_{Ers} = C_1 + C_2$$

Bei der Parallelschaltung von Kapazitäten ist die Ersatzkapazität gleich der Summe der Einzelkapazitäten.

5.2.2 Reihenschaltung von Kondensatoren



$$C_1 = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A / d = C_2$$

$$C_{Ers} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A / 2d$$

$$C_{Ers} = 1/2 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A / d$$

$$C_{Ers} = C_1 / 2$$

Bei der Reihenschaltung von 2 gleichgroßen Kapazitäten ist die Ersatzkapazität die Hälfte der Einzelkapazität.

Für die Reihenschaltung von n-gleichen Kapazitäten gilt:

$$C_{Ers} = C / n$$

Allgemein gilt bei der Reihenschaltung von Kapazitäten, dass der Kehrwert der Ersatzkapazität gleich der Summe der Kehrwerte der Einzelkapazitäten ist.

$$1 / C_{Ers} = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n$$

Für die Reihenschaltung von 2 Kapazitäten gilt:

$$C_{Ers} = C_1 \cdot C_2 / C_1 + C_2 \quad \text{nur für 2 C}$$

Bei der Reihenschaltung von Kapazitäten ist die Ersatzkapazität immer kleiner als die kleinste Einzelkapazität.

5.2.3 Netzwerke mit Kapazitäten

Bei Netzwerken mit Kapazitäten werden die Gesetzmäßigkeiten der Parallel- und Reihenschaltung angewendet.

5.2.4 Energie einer Kapazität

Eine Kapazität kann Energie speichern. Diese Energie wird durch das Aufladen des Kondensators durch eine Spannungsquelle gespeichert.

Für die gespeicherte Ladungsmenge gilt: $Q = C \cdot U$

In einem Koordinatensystem steht die unter dem Graphen liegende Fläche (A) für die Energie

$$A = 1/2 \cdot g \cdot h$$

$$A = W = 1/2 \cdot U \cdot Q$$

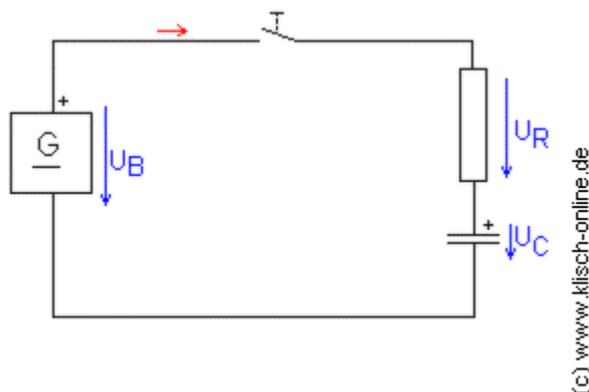
$$[W] = V \cdot As = Ws = J$$

$$W = 1/2 \cdot U \cdot C \cdot U$$

$$W = 1/2 \cdot C \cdot U^2$$

Die im elektrischen Feld einer Kapazität gespeicherte Energie kann entweder mit Hilfe der Ladungsmenge und der Spannung oder mit der Kapazität und der angelegten Spannung berechnet werden.

5.2.5 Laden von Kondensatoren



Einschaltmoment

$$U_C = 0 ; U_R = U_B ; I_{\max} = U_B / R$$

Im ersten Augenblick nach dem Einschalten ist der Kondensator noch nicht aufgeladen und die Spannung zwischen den beiden Platten gleich 0. Dadurch wirkt der Kondensator wie ein Kurzschluss. Die Spannung am Widerstand R entspricht der Betriebsspannung da $U_R = U_B - U_C$. Die Stromstärke ergibt sich aus dem Quotienten von U_B / U_R .

Ladevorgang (Feldaufbau):

$U_C \rightarrow$ wird größer
 $U_R \rightarrow$ wird kleiner
 $I \rightarrow$ wird kleiner

Ladevorgang beendet:

$U_C = U_B$
 $U_R = 0$
 $I = 0$

Das laden des Kondensators ist beendet, wenn die Spannung am Kondensator den Wert der Betriebsspannung erreicht hat. Jetzt wirkt der Kondensator wie eine Unterbrechung des Stromkreises. Es fließt kein Strom mehr.

Beim Aufladen eines Kondensators sind die Größen U_C , U_R und I zeitabhängig

$$U_C = f(t)$$

Zeitabhängige Größen werden in der Elektrotechnik mit kleinen Formelzeichen geschrieben.

Das Laden des Kondensators ist abhängig von der Kapazität C und dem Widerstand R .

Je größer die Kapazität, desto länger die Ladezeit

Je größer der Widerstand, desto kleiner die Stromstärke und desto länger die Ladezeit

$$\tau = R * C$$

τ = kleines griechisches Tau

$$[\tau] = V * A s / A * V = s$$

τ : Zeitkonstante

In der Praxis geht man davon aus, dass ein Kondensator nach 5 Zeitkonstanten aufgeladen ist.

$$t_{\text{lade}} = 5\tau$$

++Bild++

Die Exponentialfunktion nähert sich der Betriebsspannung U_B asymptotisch an. Dies bedeutet, dass der Unterschied zwischen der Funktion und der Betriebsspannung immer geringer wird, den Wert theoretisch aber nie erreicht.

$$u_C = U_B * (1 - e^{-t/\tau})$$

$$[u_C] = V * (1 - e^{-1})$$

$$[u_C] = V$$

$e^{-t/\tau}$: Potenz

e: Basis

e: Eulersche Zahl (2.72...)

$-t/\tau$: Exponent (negativer Bruch)

t: beliebige Zeit

Ladestrom

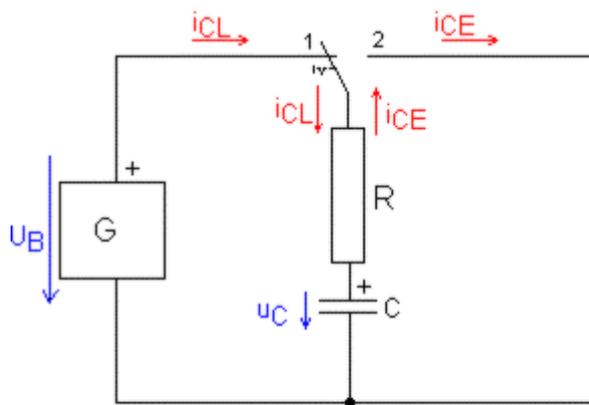
Die Stromstärke ist im Einschaltmoment am Größten und nimmt dann ab. Sie nähert sich der 0-Linie asymptotisch an.

$$i = i_{\text{max}} * e^{-t/\tau}$$

$$i_{\text{max}} = U_B / R$$

$$i = U_B/R * e^{-t/\tau}$$

5.2.6 Entladen von Kondensatoren



(c) www.klisch-online.de

Schaltung zum Laden und Entladen eines Kondensators

- 1: Kondensator C wird über Widerstand R geladen
- 2: Kondensator C wird über Widerstand R entladen

Beim Entladen wirkt der Kondensator kurzzeitig wie eine Spannungsquelle. Innerhalb von 5 Zeitkonstanten sinkt die Spannung praktisch auf 0V. Die Stromstärke beim Entladen sinkt ebenfalls von ihrem Höchstwert auf 0A.

Die Stromrichtung ist beim Entladen entgegengesetzt der Stromrichtung beim Laden.

$$u_C = U_B \cdot e^{-t/\tau}$$

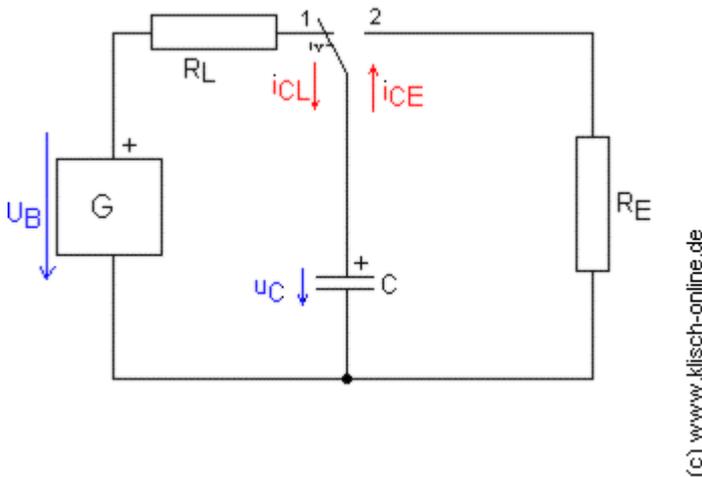
$$i_C = i_{\max} \cdot e^{-t/\tau}$$

$$i_{\max} = U_B/R$$

$$i = U_B/R \cdot e^{-t/\tau}$$

Die Zeitkonstante für das Laden und das Entladen ist hier gleich, da der Lade- und Entladewiderstand ebenfalls gleich sind.

Laden und Entladen mit unterschiedlichen Widerständen



Größe	Laden	Entladen
Kondensatorspannung	$u_C = U_B * (1 - e^{-t/\tau_L})$	$u_C = U_B * e^{-t/\tau_E}$
Kondensatorstrom	$i_C = i_{max} * e^{-t/\tau_L}$	$i_C = i_{max} * e^{-t/\tau_E}$
Zeitkonstante	$\tau_L = R_L * C$	$\tau_E = R_E * C$
Ladezeit	$t_L = 5 * \tau_L$	$t_E = 5 * \tau_E$

5.2.7 Bauformen von Kondensatoren

Einteilung in Kondensatoren mit fester Kapazität und veränderbarer Kapazität (Fachbuch S.94).

Metallpapier- (MP) und Metallkunststoffkondensatoren (MK)

Bauformen als Wickelkondensatoren

Bei MK-Kondensatoren gibt ein 3. Buchstabe die Art der Kunststofffolien an. Besonderheit: Selbstheilung; D.h. Isolierung von Fehlerstellen (Fachbuche S94/95)

Keramikkondensatoren

Bauformen sind entweder Scheiben- oder Rohrkondensator. Kleine Bauformen sind möglich, da ϵ_r sehr hoch ist (bis 10k).

Besonderheit: Darf nicht in der Starkstromtechnik eingesetzt werden

Elektrolytkondensatoren

1. Elektrode: Aluminiumfolie
 2. Elektrode: Elektrolyt
- Dielektrikum: Aluminiumoxid
Besonderheit: Darf nur an Gleichspannung mit richtiger Polung angeschlossen werden (Fachbuch S96/97)

Veränderbare Kondensatoren

Man unterscheidet zwischen Dreh- und Trimmkondensatoren. Sie sind aus feststehenden und beweglichen Plattenpaaren aufgebaut mit Luft als Dielektrikum.

6 Das Magnetische Feld

6.1 Magnete

Ein Magnet ist ein Körper, der Eisen, Nickel, Kobalt und deren Verbindungen anzieht. Die Pole eines Magneten sind die Orte der größten Kraftwirkung. Ungleichartige Pole ziehen sich an, gleichartige stoßen sich ab.

Kenzeichnung der Magnetpole:

Nordpol -> **rot**

Südpol -> **grün**

Formen von Magneten: Stabmagnet, Hufeisenmagnet

Der Nordpol eines Magneten (Kompassnadel) zeigt in Richtung des geografischen Nordpols. In der Nähe des geografischen Nordpols liegt der magnetische Südpol.

Dauermagnete (Permanentmagnete) behalten ihre magnetische Eigenschaft für sehr lange Zeit bei.

Entmagnetisieren von Dauermagneten:

- Starke mechanische Erschütterung
- Erhitzen über die Curie-Temperatur hinaus
- durch ein starkes entgegengesetztes Magnetfeld

Ursache des Magnetismus

Durch die Eigenrotation der Elektronen entstehen geringste elektrische Ströme, die jeweils ein Magnetfeld erzeugen. Stehen die Achsen der Elektronenbewegungen parallel, so addieren sich diese Magnetfelder zu einer von außen wahrnehmbaren magnetische Wirkung.

Magnetische Werkstoffe

Es gibt 3 unterschiedliche magnetische Werkstoffgruppen: Ferromagnetische, paramagnetische und diamagnetische.

Ferromagnetische Werkstoffe (Eisen, Nickel, Kobalt) verstärken ein äußeres Magnetfeld sehr stark.

Paramagnetische Werkstoffe (z.B. Luft, Aluminium) verstärken ein äußeres Magnetfeld ganz geringfügig.

Diamagnetische Werkstoffe (z.B. Wasser, Kupfer) schwächen ein äußeres Magnetfeld ganz geringfügig.

6.2 Beschreibung magnetischer Felder

Den besonderen Raumzustand um einen Magneten bezeichnet man als magnetisches Feld. Man beschreibt diesen besonderen Raumzustand, der mit den menschlichen Sinnen nicht wahrgenommen werden kann, mit magnetischen Feldlinien. Sie stellen die Richtung dar, die eine Kompassnadel im Magnetfeld einnimmt. Magnetische Feldlinien können auch mit Eisenspänen sichtbar gemacht werden.

Magnetische Feldlinien:

- sind in sich geschlossen
- schneiden oder berühren sich nicht
- treten senkrecht aus dem Magneten aus und ein
- verlaufen außerhalb des Magneten vom Nord- zum Südpol
- sind ein Maß für die Stärke des Magnetischen Feldes

Homogenes magnetisches Feld

Im Inneren eines Hufeisenmagneten befindet sich ein homogenes Magnetfeld. Die Feldlinien verlaufen parallel und im gleichen Abstand.

6.3 Elektromagnetismus

Um jeden Stromdurchflossenen Leiter entsteht ein Magnetfeld

Kennzeichnung der Stromrichtung eines stromdurchflossenen Leiters:

1. Fließt der Strom vom Betrachter weg, wird der Leiterquerschnitt durch ein Kreuz gekennzeichnet
2. Fließt der Strom auf den Betrachter zu, wird der Leiterquerschnitt mit einem Punkt gekennzeichnet

Feldlinienrichtung eines stromdurchflossenen Leiters:

1. Fließt der Strom vom Betrachter weg, so verlaufen die Feldlinien im Uhrzeigersinn
2. Fließt der Strom auf den Betrachter zu, so verlaufen die Feldlinien entgegen dem Uhrzeigersinn.

2 parallele stromdurchflossene Leiter

Bei 2 parallelen stromdurchflossenen Leitern ergibt sich aus den einzelnen Magnetfeldern durch Überlagerung ein Gesamtfeld. Auf Grund dieses Gesamtfeldes ergibt sich eine Kraftwirkung auf die Leiter.

Bei gleicher Stromrichtung ziehen sich die Leiter an, bei unterschiedlicher Stromrichtung stoßen sich die Leiter ab.

(Siehe Fachbuch S.106)

Anwendung der Kraftwirkung zwischen den stromdurchflossenen Leitern findet man bei der Definition der Einheit Ampere.

Spulenformen

In der Elektrotechnik sind die wichtigsten Spulenformen die Zylinderspule und die Ringspule (auch Kreisringspule) (Siehe Fachbuch S.106).

Das Magnetfeld einer Zylinderspule ist sehr ähnlich dem Magnetfeld eines Stabmagneten.

Da die Feldlinien von Nord- zum Südpol außen um die Spule herum verlaufen, sind Zylinderspulen schwierig zu berechnen.

Das Magnetfeld einer Kreisringspule besitzt keinen Nord- und Südpol. Die Feldlinien verlaufen fast ausschließlich im Spuleninneren. Ringspulen lassen sich relativ einfach berechnen.

Elektrosmog

Unter Elektrosmog versteht man die elektrischen und magnetischen Felder, die von Geräten ausgehen, die mit elektrischer Energie betrieben werden. Zum Schutz gegen diese Felder bestehen europaweit entsprechende Normen.

Beschreibung magnetischer Felder

Den besonderen Raumzustand um einen Magneten (Spule) bezeichnet man als magnetisches Feld. Man beschreibt diesen Zustand, der mit den menschlichen Sinnen nicht wahrgenommen werden kann mit magnetischen Feldlinien. Sie stellen die Richtung dar, die eine Kompassnadel im Magnetfeld einnimmt. Magnetische Feldlinien können auch mit Eisenspänen sichtbar gemacht werden.

Magnetische Feldlinien

- berühren oder schneiden sich nicht
- treten senkrecht zur Oberfläche ein und aus
- kennzeichnen die Stärke des Feldes
- treten am Nordpol aus und am Südpol ein, innerhalb des Magneten verlaufen sie vom Süd- zum Nordpol
- sind in sich geschlossen

6.4 Magnetische Grundgrößen

(Siehe Fachbuch S.108)

Ursache für elektromagnetische Felder ist die elektrische Durchflutung

$$\Theta = N \cdot I$$

Θ : elektrische Durchflutung

N: Windungszahl

$$[\Theta] = A \cdot 1 = A$$

Das magnetische Feld wird von der Durchflutung verursacht. Für die Größe des magnetischen Flusses ist die Feldlinienlänge wichtig.

$$\Theta = H \cdot l_m$$

H: magnetische Feldstärke

l_m : mittlere Feldlinienlänge

$$H = \Theta / l_m$$

$$[H] = A/m$$

$$\Theta = I * N = H * l_m$$

$$I * N = H * l_m$$

Die mittlere Feldlinienlänge ist bei Ringspulen einfach zu berechnen, bei Zylinderspulen praktisch nicht zu berechnen.

Mittlere Feldlinienlänge einer Ringspule:

$$d_m = (d_a + d_i) / 2$$

$$l_m = \pi * (d_a + d_i) / 2$$