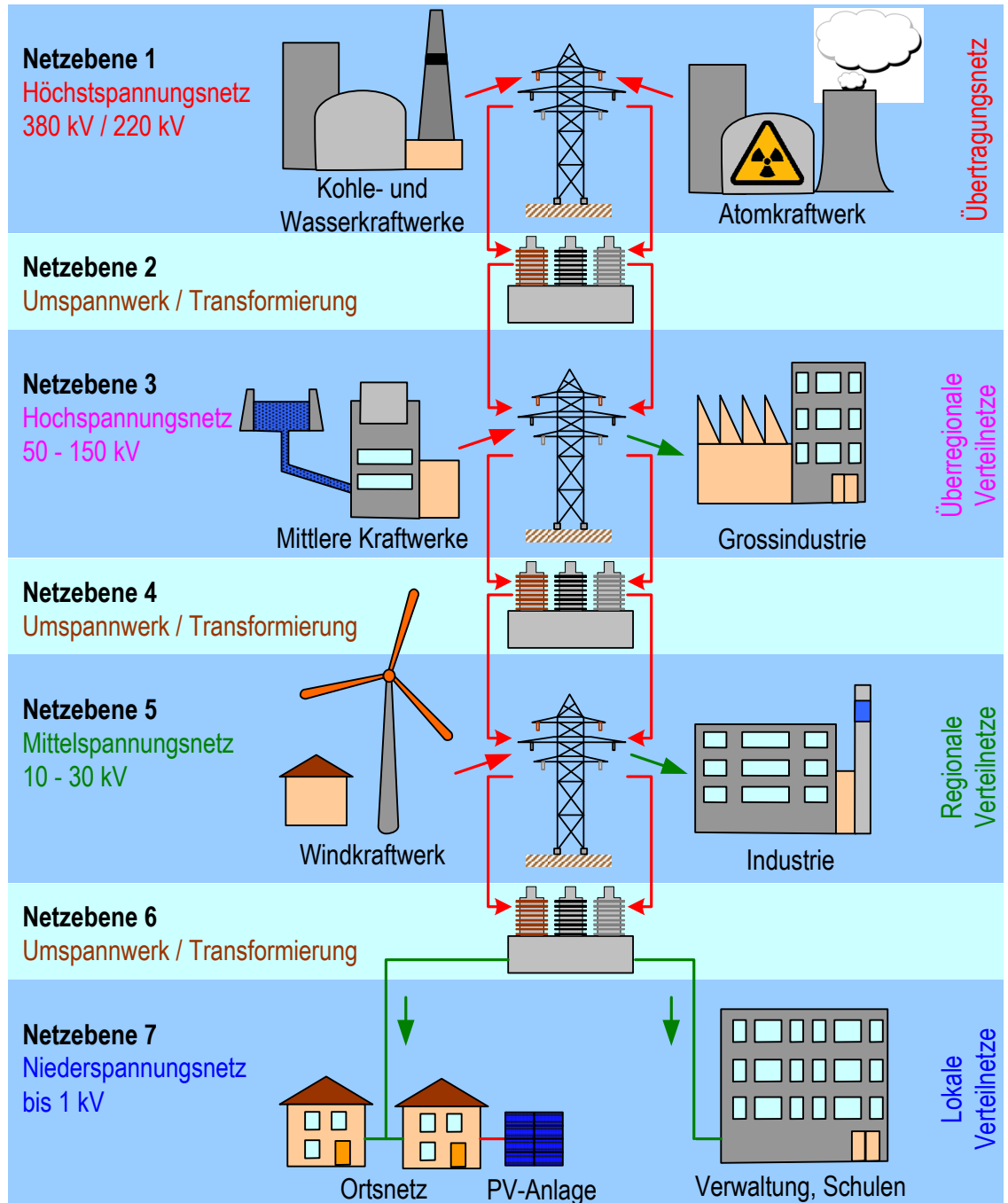


1.5.2 Übertragungseinrichtungen

Mit den Übertragungseinrichtungen soll die erzeugte elektrische Energie dorthin transportiert werden, wo sie schlussendlich benötigt wird. Der Energiefluss beginnt beim Erzeuger und endet nach der Übertragung beim Verbraucher. Zuerst wird die elektrische Energie in verschiedenen Kraftwerken, z. B. Atom-, Wasser- oder Kohlekraftwerken erzeugt. Zur Energieübertragung werden Leitungen (Kabel oder Freileitungen) und Transformatoren benötigt. Die Transformatoren erzeugen aus einer kleinen Spannung eine hohe Spannung und umgekehrt (Netzebenen 2, 4 und 6).

Im ganzen Lehrmittel wurden Grafiken verbessert und aktualisiert.



Übung 6.1

Welche vier Spannungsebenen (Netzebenen 1, 3, 5 und 7) werden bei der elektrischen Energieübertragung unterschieden?

Höchstspannung (380 kV; 220 kV), Hochspannung (50 – 150 kV)
 Mittelspannung (10 – 30 kV), Niederspannung (400 V/230 V)

3.1.8 Gesamtleitwert und Gesamtwiderstand

Der Gesamtleitwert einer Parallelschaltung lässt sich aus dem Verhalten von Spannung und Strom ermitteln.

$$G = G_1 + G_2 + G_3$$

G: Gesamtleitwert [S]
 G_{1,2,3}: Teilleitwerte [S]

Die Berechnung des Gesamtwiderstands einer Parallelschaltung lässt sich, wie bei der Serieschaltung, aus dem Verhalten von Spannung und Strom ermitteln.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U}{I_1 + I_2 + I_3} = \frac{U}{\frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}} = \frac{U}{U \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)}$$

Farbliche Kennzeichnung hilft die Zusammenhänge besser zu verstehen.

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

R: Gesamtwiderstand [Ω]
 R_{1,2,3}: Teilwiderstände [Ω]

Der Gesamtwiderstand R einer Parallelschaltung wird auch als Ersatzwiderstand bezeichnet. Dieser Ersatzwiderstand verhält sich gleich wie die Teilwiderstände zusammen.

Beispiel 1

Berechnen Sie den Gesamtwiderstand von der Schaltung auf Seite 3.3. Anschliessend sind die Messwerte der Ströme mittels Berechnungen zu überprüfen.

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{50\Omega} + \frac{1}{25\Omega} + \frac{1}{20\Omega}} = \underline{\underline{9,09\Omega}}$$

$$I = \frac{U}{R_{tot}} = \frac{10V}{9,09\Omega} = \underline{\underline{1,1A}}$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{10V}{50\Omega} = \underline{\underline{0,2A}} \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{10V}{25\Omega} = \underline{\underline{0,4A}} \quad I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{10V}{20\Omega} = \underline{\underline{0,5A}}$$

Beispiele sind auch in der Schülerversion durchgerechnet.

Merke

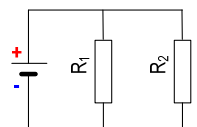
Bei der Parallelschaltung ist der Gesamtwiderstand immer kleiner als der kleinste Teilwiderstand.

Bei nur zwei parallel geschalteten Widerständen lässt sich die Formel zur Berechnung des Gesamtwiderstands vereinfachen.

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{R_2}{R_1 \cdot R_2} + \frac{R_1}{R_2 \cdot R_1}} = \frac{1}{\frac{R_2 + R_1}{R_1 \cdot R_2}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

R: Gesamtwiderstand [Ω]
 R_{1,2}: Teilwiderstände [Ω]



Indirekte Leistungsbestimmung mittels kWh-Zähler und Uhr (Fortsetzung)

Beachten Sie bei den nachfolgenden Beispielen speziell die Masseinheiten. Die Beispiele zeigen, warum bei dieser Leistungsformel die Einheit kW für die Leistung herauskommt.

Beispiel 1

Bestimmen Sie die Leistung eines separat an einen Zähler angeschlossenen Verbrauchers. Pro Minute werden 46 Impulse gezählt. Die Zählerkonstante beträgt 1200 1/kWh.

Im ganzen Lehrmittel werden die Einheiten gekürzt und das Resultat gerundet.

$$P = \frac{N \cdot 3600 \frac{S}{h}}{t \cdot c} = \frac{46 \text{ Imp.} \cdot 3600 \frac{S}{h}}{60 \text{ s} \cdot 1200 \frac{1}{\text{kWh}}} = \frac{46 \text{ Imp.} \cdot 3600 \cancel{S} \cdot \cancel{h} \cdot \text{kWh}}{\cancel{h} \cdot 60 \cancel{S} \cdot 1200 \text{ Imp.}} = \underline{\underline{2,3 \text{ kW}}}$$

Beispiel 2

Ein Wassererwärmer (Boiler) besitzt eine Leistung von 4000 W. Der vorgeschaltete elektromechanische Zähler besitzt eine Zählerkonstante von 750 Umdrehungen pro Kilowattstunde. In welcher Zeit macht die Zählerscheibe 40 Umdrehungen?

$$t = \frac{N \cdot 3600 \frac{S}{h}}{P \cdot c} = \frac{40 \cdot 3600 \frac{S}{h}}{4 \text{ kW} \cdot 750 \frac{1}{\text{kWh}}} = \frac{40 \cdot 3600 \cancel{S} \cdot \cancel{h} \cdot \text{kWh}}{\cancel{h} \cdot 4 \text{ kW} \cdot 750} = \underline{\underline{48 \text{ s}}}$$

3.2.5 Smart-Grid und Smart-Meter

Mit Smart-Grid („intelligentes Netz“) wird unser elektrisches Versorgungsnetz bezeichnet, das die Produktion, den Verbrauch und die Speicherung von elektrischer Energie selbsttätig koordiniert.

Merke

Beim Smart-Grid können Energieerzeuger und Verbraucher miteinander kommunizieren. Ein Smart-Grid verbindet somit das bestehende Elektrizitätsnetz mit Anwendungen aus der Informations- und Kommunikationstechnik.

Durch die zunehmende Anzahl von Photovoltaikanlagen (Solarzellen auf Dächern), Windkraftwerken und Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen werden die elektrischen Versorgungsnetze immer schwieriger zu steuern, da sich bekanntlich elektrische Energie nur schwer speichern lässt.

Damit ein Smart-Grid aufgebaut werden kann, braucht es intelligente Zähler mit einer Kommunikationseinheit (Smart-Meters).



Merke

Ein Smart-Meter ist ein intelligenter Zähler, der in ein Kommunikationsnetz eingebunden ist und dadurch in der Lage ist, Daten zu senden und zu empfangen.

Vorteile:

- Kunden können ihren Energieverbrauch online über ein Webportal einsehen und kontrollieren.
- Das Ablesen des Zählers beim Kunden durch eine Person vom Elektrizitätswerk entfällt.
- Die Energierechnung kann auf den Stichtag genau erstellt werden.
- Wassererwärmer, Wärmepumpen und dergleichen lassen sich direkt vom Smart-Meter schalten (es braucht keinen Rundsteuerempfänger mehr).

Nachteile:

- Durch die Datenkommunikation können Daten an Drittpersonen gelangen.
- Wie bei jeder Datenkommunikation entsteht eine zusätzliche Strahlenbelastung.

Hinweis

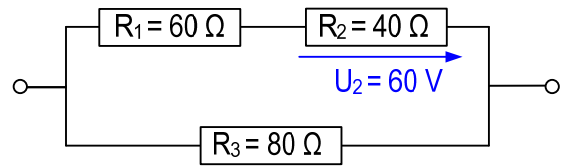
→ Berechnungen 3.17a und Kontrollfragen 3.17b (siehe Anhang)

Gemischte Schaltungen 2

Übung 1

Berechnen Sie gemäss Schaltung:

- a) den Gesamtwiderstand
- b) die Teilströme I_1 und I_2
- c) die Teilspannung U_1
- d) die Gesamtspannung
- e) den Teilstrom I_3
- f) den Gesamtstrom



a) $R_{12} = R_1 + R_2 = 60 \Omega + 40 \Omega = 100 \Omega$

$R = \frac{R_{12} \cdot R_3}{R_{12} + R_3} = \frac{100 \Omega \cdot 80 \Omega}{100 \Omega + 80 \Omega} = \underline{\underline{44,4 \Omega}}$

b) $I_1 = I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{60V}{40 \Omega} = \underline{\underline{1,5 A}}$

c) $U_1 = R_1 \cdot I_1 = 60 \Omega \cdot 1,5 A = \underline{\underline{90V}}$

d) $U = U_1 + U_2 = 90V + 60V = \underline{\underline{150V}} (= U_3)$

e) $I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{150V}{80 \Omega} = \underline{\underline{1,88 A}}$

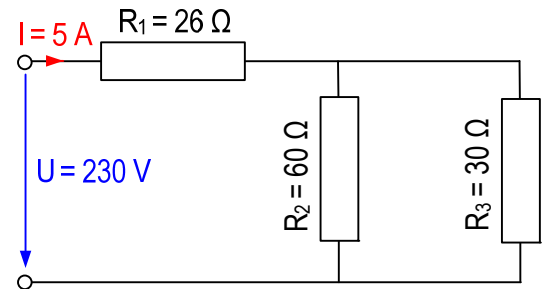
f) $I = I_1 + I_3 = 1,5 A + 1,88 A = \underline{\underline{3,38 A}}$ oder $I = \frac{U}{R} = \frac{150V}{44,4 \Omega} = \underline{\underline{3,38 A}}$

Bei den Übungslösungen (Lehrer) sind die Aufgabenstellungen extra nochmals aufgeführt.

Übung 2

Berechnen Sie gemäss Schaltung:

- a) den Gesamtwiderstand
- b) die Teilspannung U_1
- c) die Teilspannung U_2
- d) die Teilströme I_2 und I_3



a) $R = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 26 \Omega + \frac{60 \Omega \cdot 30 \Omega}{60 \Omega + 30 \Omega} = \underline{\underline{46 \Omega}}$ oder $R = \frac{U}{I} = \frac{230V}{5 A} = \underline{\underline{46 \Omega}}$

b) $U_1 = R_1 \cdot I = 26 \Omega \cdot 5 A = \underline{\underline{130V}}$

c) $U_2 (= U_3) = U - U_1 = 230V - 130V = \underline{\underline{100V}}$

d) $I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{100V}{60 \Omega} = \underline{\underline{1,67 A}}$

$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{100V}{30 \Omega} = \underline{\underline{3,33 A}}$ oder $I_3 = I - I_2 = 5 A - 1,67 A = \underline{\underline{3,33 A}}$



Leiterwiderstand 1 (Fortsetzung)

Übung 10

Ein Kabel, bestehend aus 54 Aluminiumdrähten, ist 150 m lang und hat einen Widerstand von 10,9 mΩ. Berechnen Sie den Durchmesser eines Aluminiumdrahts ($\rho = 0,0278 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$).

$$A_{\text{tot}} = \frac{\rho \cdot \ell}{R} = \frac{0,0278 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 150 \text{ m}}{0,0109 \Omega} = \frac{0,0278 \cancel{\text{m}} \cdot \text{mm}^2 \cdot 150 \cancel{\text{m}}}{\cancel{\text{m}} \cdot 0,0109 \cancel{\text{m}}} = 382,6 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = \frac{A_{\text{tot}}}{N} = \frac{382,6 \text{ mm}^2}{54} = 7,084 \text{ mm}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,084 \text{ mm}^2}{\pi}} = \underline{\underline{3 \text{ mm}}}$$

Übung 11

Zwischen den beiden Adern einer in der Erde liegenden Leitung (Cu) von 0,6 mm Durchmesser ist ein Kurzschluss entstanden. Zur Bestimmung des Fehlerorts wird am Anfang der Leitung ein Widerstand von 12,5 Ω gemessen. In welcher Entfernung befindet sich die Schadenstelle?

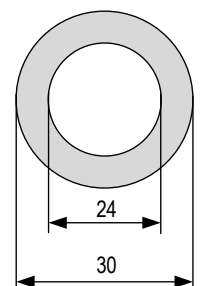
$$A = d^2 \frac{\pi}{4} = (0,6 \text{ mm})^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 0,2827 \text{ mm}^2$$

$$\ell_{\text{tot}} = \frac{R \cdot A}{\rho} = \frac{12,5 \Omega \cdot 0,2827 \text{ mm}^2}{0,0175 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}} = \frac{12,5 \cancel{\Omega} \cdot 0,2827 \cancel{\text{mm}^2} \cdot \text{m}}{0,0175 \cancel{\Omega} \cdot \cancel{\text{mm}^2}} = 202 \text{ m}$$

$$\ell = \frac{\ell_{\text{tot}}}{2} = \frac{202 \text{ m}}{2} = \underline{\underline{101 \text{ m}}}$$

Übung 12

Die Hülle einer Bleimantelleitung hat den gezeichneten Querschnitt. Welchen Widerstand haben 50 m der Bleiumhüllung ($\rho = 0,21 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$)?



$$A = \frac{\pi}{4} (d_A^2 - d_I^2) = \frac{\pi}{4} ((30 \text{ mm})^2 - (24 \text{ mm})^2) = 254,5 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{\rho \cdot \ell}{A} = \frac{0,21 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 50 \text{ m}}{254,5 \text{ mm}^2} = \frac{0,21 \cancel{\Omega} \cdot \cancel{\text{mm}^2} \cdot 50 \cancel{\text{m}}}{\cancel{\text{m}} \cdot 254,5 \cancel{\text{mm}^2}} = \underline{\underline{41,3 \text{ m}\Omega}}$$



LED-Lampen

Ebenfalls neu gibt es zu allen Kapiteln auch Kontrollfragen zur Theorie.

Übung 45

Wofür steht die Abkürzung LED?

Light Emitting Diode bzw. lichtemittierende Diode

Übung 46

Wovon ist die Lichtfarbe einer LED abhängig?

Vom verwendeten Halbleitermaterial und der Höhe der angelegten Spannung.

Übung 47

Auf welche beiden Arten kann in der LED-Technik weisses Licht erzeugt werden?

- Blaue LED, welche einen phosphorhaltigen Leuchtstoff enthält.
- Drei LED's, welche eine additive Farbmischung (RGB) erzeugen.

Übung 48

Nebst sehr vielen Vorteilen haben LED-Lampen auch Nachteile. Nennen Sie zwei Stück.

- Anschaffungspreis
- Hoher Einschaltstromspitz, welcher Schaltkontakte sehr stark belastet.

Übung 49

Früher achtete man beim Kauf einer Lampe auf die Leistung. Dies nützt bei LED-Lampen nicht mehr viel. Worauf muss heute geachtet werden?

Auf den Lichtstrom.

Übung 50

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen vier verschiedene LED-Lampenarten. Ordnen Sie den Bildern die richtigen Bezeichnungen zu.



SMD-LED



COB-LED



LED-Streifen



Bedrahtete LED

Übung 51

Welche LED-Lampen erzeugen ein glühlampenähnliches Licht mit einer Farbtemperatur von 2700 K?



Filament-LED bzw. Retrofit-LED-Lampen

Übung 52

Für welche Anwendungen sind OLED's geeignet?

Für Bildschirme von TV-Apparaten und Smartphones

Übung 53

Welcher Lampentyp ist in Bezug auf die Wärmeentwicklung noch effizienter als LED's?

Laser (LCC: Laser Crystal Ceramics)

Übung 54

Welche LED-Lampen werden häufig für Bauscheinwerfer verwendet?

COB-LED

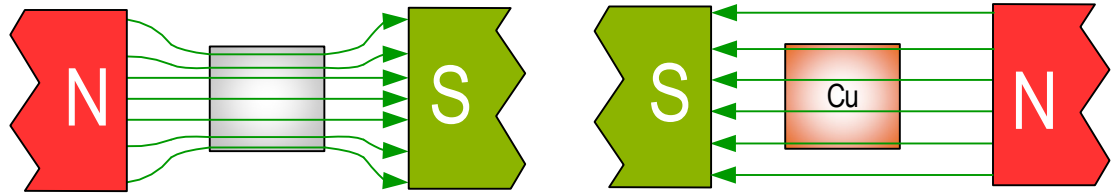


Magnetische Felder gesamt (Fortsetzung)

Übung 13

Zwischen den Magnetpolen befindet sich ein Stück a) Eisen und b) Kupfer. Zeichnen Sie für beide Fälle mindestens sechs Feldlinien.

Die Übungslösungen enthalten ebenfalls ansprechende Grafiken.



Übung 14

Mit welcher Regel kann man die Richtung des Magnetfelds um einen stromdurchflossenen Leiter bestimmen?

Handregel: Mit der rechten Hand den Leiter so umfassen, dass der Daumen in Stromrichtung zeigt, dann zeigen die Finger in Feldlinienrichtung.

Übung 15

Zeichnen Sie für die beiden Fälle je vier Feldlinien inkl. Richtung ein.



Übung 16

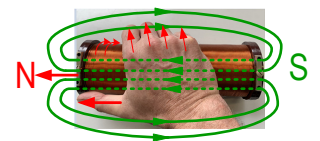
Welche Wirkung entsteht zwischen zwei parallelen Leitern, die in gleicher Richtung stromdurchflossen sind?

Anziehung

Übung 17

Mit welcher Regel lassen sich die Pole eines Elektromagneten bestimmen?

Spulenregel: Die Spule mit der rechten Hand so umfassen, dass die Finger in Stromrichtung zeigen, dann zeigt der ausgestreckte Daumen auf den Nordpol.



Übung 18

Gegeben sind zwei Schnittbilder von einzelnen Spulenwindungen. Zeichnen Sie für beide Fälle je drei Feldlinien ein und notieren Sie für die Spule links die Pole. In der Spule rechts ist die Stromrichtung anzugeben.

