

1. Gleichstrom – Grundbegriffe

Aufgabe 1.1

Ein unter Umständen schon lebensgefährlicher Strom von 40 mA fließt durch den menschlichen Körper und überwindet dabei einen Widerstand von 1 k Ω . Welche Spannung reicht hierzu aus?

[Ergebnis: $U = 40 \text{ V}$]

Aufgabe 1.2

Konstruieren Sie für 3 gegebene Widerstände die Widerstandsgeraden. Benutzen Sie dazu einen Spannungsbereich von 0 ... 1 V. Der entsprechende Strombereich ist selbst zu wählen. $R_1 = 400 \Omega$, $R_2 = 800 \Omega$, $R_3 = 500 \Omega$.

Aufgabe 1.3

Ein Freileitungsseil aus Kupfer besteht aus $n = 37$ einzelnen Leitern mit je $d = 2,03 \text{ mm}$ Durchmesser. Der spezifische Widerstand des Materials beträgt $\rho = 17,6 \cdot 10^{-9} \Omega\text{m}$.

Wie groß ist der Widerstand R des Seils je km Leitungslänge?

[Ergebnis: $R = 147 \text{ m}\Omega$]

Aufgabe 1.4

Eine Kupferleitung mit dem Querschnitt 10 mm^2 soll durch eine widerstandsgleiche Aluminiumleitung ersetzt werden ($\rho_{\text{Cu}} = 0,018 \Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$; $\rho_{\text{Al}} = 0,028 \Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$).

Welchen Querschnitt muss die Aluminiumleitung erhalten?

[Ergebnis: $A_{\text{Al}} = 15,6 \text{ mm}^2$]

Aufgabe 1.5

An einem 400 m langen Kupferdraht mit einem Querschnitt von $A = 50 \text{ mm}^2$ liegt eine Spannung von $U = 2 \text{ V}$ an ($\rho_{\text{Cu}} = 0,018 \Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$; $\alpha_{\text{Cu}} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$).

Berechnen Sie für eine Drahttemperatur von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ und $50 \text{ }^\circ\text{C}$ den Strom I .

[Ergebnis: $I_{20^\circ\text{C}} = 13,89 \text{ A}$ und $I_{50^\circ\text{C}} = 12,42 \text{ A}$]

Aufgabe 1.6

Erwärmt man einen Leiter von $\vartheta_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ auf $\vartheta_2 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$, so nimmt sein Widerstand um $p = 0,62 \%$ zu.

Wie groß ist der Temperaturkoeffizient α_{20} des Leitermaterials?

[Ergebnis: $\alpha = 1,55 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$]

Aufgabe 1.7

Eine Halogenlampe hat bei direktem Anschluss an einer Steckdose die elektrischen Werte: 230 V, 1000 W.

Die Halogenlampe wird jetzt über eine 50 m lange Verlängerungsleitung an die Steckdose angeschlossen ($\rho_{Cu} = 0,018 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; $A = 1,5 \text{ mm}^2$).

Berechnen Sie den von der Halogenlampe aufgenommenen Strom und die aufgenommene Leistung.

[Ergebnis: $I_L = 4,25 \text{ A}$ und $P_L = 956 \text{ W}$]

Aufgabe 1.8

An den Klemmen eines linearen Zweipols werden bei Leerlauf und Belastung mit $R_V = 1,2 \text{ k}\Omega$ die Spannungen $U_0 = 21 \text{ V}$ bzw. $U_1 = 18 \text{ V}$ gemessen.

Wie groß ist der Innenwiderstand der Spannungsquelle?

[Ergebnis: $R_i = 200 \Omega$]

Aufgabe 1.9

Eine Quelle liefert bei $U_1 = 10 \text{ V}$ den Strom $I_1 = 0,08 \text{ A}$, bei $U_2 = 8 \text{ V}$ den Strom $I_2 = 0,24 \text{ A}$ und bei $U_3 = 5 \text{ V}$ den Strom $I_3 = 0,48 \text{ A}$.

Berechnen Sie den Innenwiderstand, die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom.

[Ergebnis: $R_i = 12,5 \Omega$; $U_0 = 11 \text{ V}$; $I_K = 0,88 \text{ A}$]

Aufgabe 1.10

Eine Spannungsquelle hat die Kenngrößen: $U_0 = 10 \text{ V}$; $R_i = 1 \Omega$;

Die Spannungsquelle wird mit einem Widerstand $R_V = 5 \Omega$ belastet.

Zeichnen Sie die Kennlinie der Spannungsquelle und die Widerstandsgerade von R_V . Ermitteln Sie den Arbeitspunkt und geben Sie die Klemmenspannung U_1 und den Strom I an.

[Ergebnis: $U_1 = 8,3 \text{ V}$ und $I = 1,7 \text{ A}$]

2. Gleichstrom – Schaltungsanalyse

Aufgabe 2.1

Eine Lampe wird über einen Vorwiderstand an $U = 120 \text{ V}$ angeschlossen. Die Lampe hat folgende Daten im Nennbetrieb: $U_{LA} = 45 \text{ V}$, $I = 0,5 \text{ A}$. Durch die Lampe soll der Nennstrom I fließen. Gesucht wird der Wert des Vorwiderstandes R .

[Ergebnis: $R_V = 150 \Omega$]

Aufgabe 2.2

Ein Stromkreis besteht aus dem Leitungswiderstand R_L (Hin- und Rückleitung) und dem Verbraucherwiderstand R . Als Leitung dient ein Kupferdraht ($\rho_{Cu} = 0,018 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) mit dem Durchmesser $d = 1,5 \text{ mm}$ und einer Länge von jeweils 200 m . Der Verbraucherwiderstand hat den Wert $R = 50 \Omega$. Die Quellenspannung U beträgt 100 V .

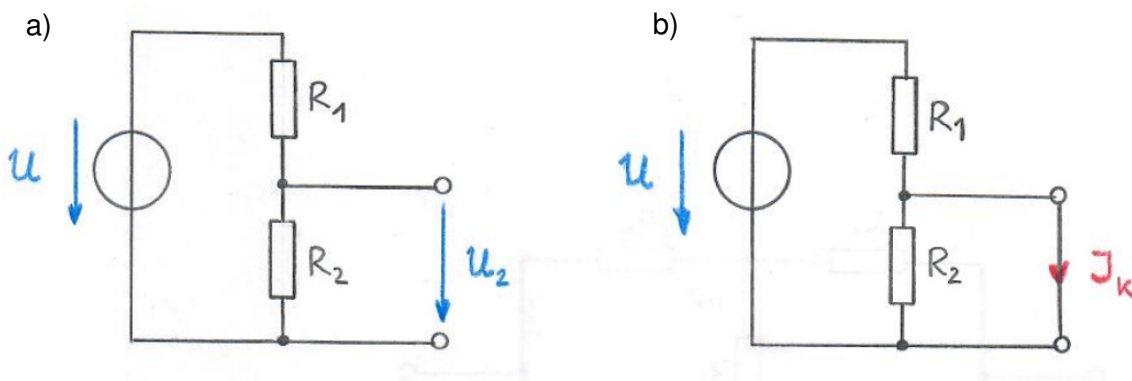
- Zeichnen Sie die Schaltung
- Berechnen Sie:
 - Den gesamten Leitungswiderstand R_L ,
 - die Spannung U_R die am Verbraucher R anliegt,
 - die Teilspannung ΔU auf der gesamten Leitung in % von der Quellenspannung U .

[Ergebnis: b) $R_L = 4,075 \Omega$; $U_R = 92,5 \text{ V}$; $u_L = 7,5 \%$]

Aufgabe 2.3

Eine Spannungsteilerschaltung soll bei einer Eingangsspannung von $U = 60 \text{ V}$ so ausgelegt werden, dass im unbelasteten Zustand (Bild a) die Ausgangsspannung $U_2 = 10 \text{ V}$ ist und im Kurzschlussfall (Bild b) der Strom $I_K = 1,0 \text{ A}$ fließt.

Welche Werte sind für die Teilwiderstände R_1 und R_2 erforderlich?

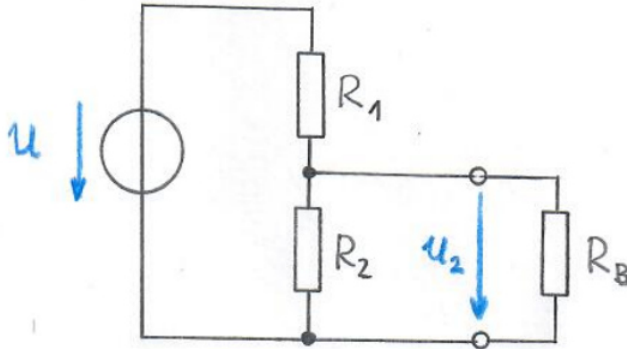


[Ergebnis: a) $R_1 = 60 \Omega$, b) $R_2 = 12 \Omega$]

Aufgabe 2.4

Eine Spannungsteilerschaltung (siehe Bild) liegt an der Eingangsspannung $U = 100 \text{ V}$. Der Gesamtwiderstand des Teilers beträgt $R = R_1 + R_2 = 400 \Omega$. Ausgangsseitig ist ein Belastungswiderstand $R_B = 800 \Omega$ angeschlossen, an dem die Spannung $U_2 = 40 \text{ V}$ liegen soll.

Wie groß müssen die Teilwiderstände R_1 und R_2 sein?

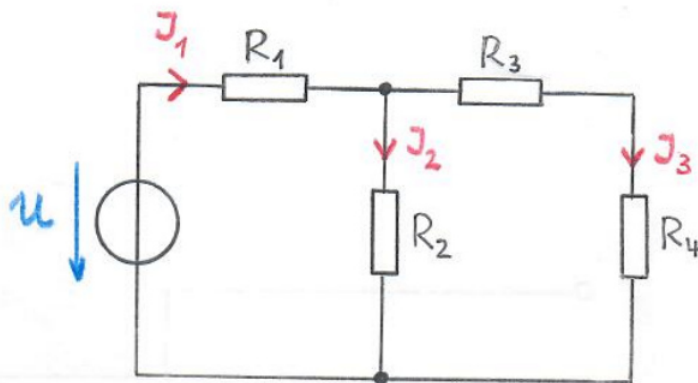


[Ergebnis: a) $R_1 = 220 \Omega$, b) $R_2 = 180 \Omega$]

Aufgabe 2.5

Die Schaltung (siehe Bild) mit den Widerständen $R_1 = 20 \Omega$, $R_2 = 30 \Omega$, $R_3 = 10 \Omega$ und $R_4 = 50 \Omega$ liegt an der Spannung $U = 12 \text{ V}$.

Bestimmen Sie die Ströme I_1 , I_2 und I_3 .

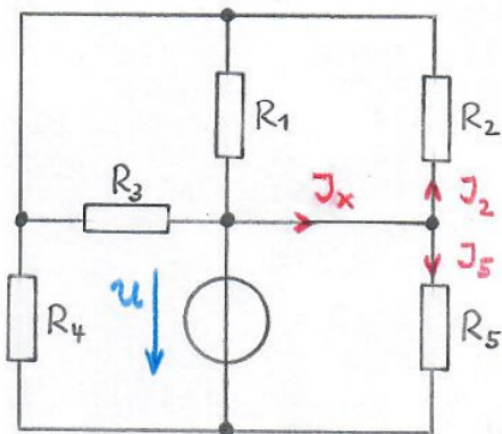


[Ergebnis: a) $I_1 = 300 \text{ mA}$, b) $I_2 = 200 \text{ mA}$, c) $I_3 = 100 \text{ mA}$]

Aufgabe 2.6

Die dargestellte Schaltung (siehe Bild) enthält die Widerstände $R_1 = 50 \Omega$, $R_2 = 45 \Omega$, $R_3 = 40 \Omega$, $R_4 = 55 \Omega$ und $R_5 = 60 \Omega$. Die vorhandene Spannungsquelle liefert die Spannung $U = 48 \text{ V}$.

Wie groß ist der Strom I_x ?

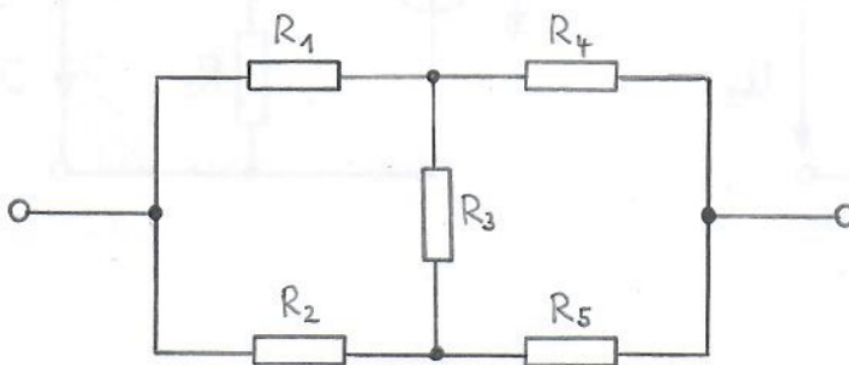


[Ergebnis: $I_x = 1,03 \text{ A}$]

Aufgabe 2.7

Die folgende Schaltung (siehe Bild) enthält die Widerstände $R_1 = 55 \Omega$, $R_2 = 40 \Omega$, $R_3 = 45 \Omega$, $R_4 = 50 \Omega$ und $R_5 = 60 \Omega$.

Bestimmen Sie den Gesamtwiderstand (Ersatzwiderstand) der Anordnung.

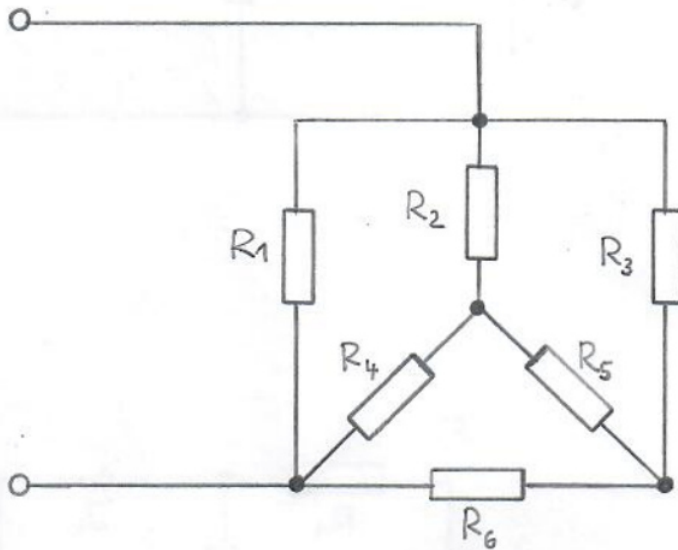


[Ergebnis: $R = 50,8 \Omega$]

Aufgabe 2.8

Die folgende Schaltung (siehe Bild) enthält die Widerstände $R_1 = 1,0 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1,5 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 2,0 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 3,0 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 2,0 \text{ k}\Omega$ und $R_6 = 2,5 \text{ k}\Omega$.

Bestimmen Sie den Gesamtwiderstand (Ersatzwiderstand) der Anordnung.



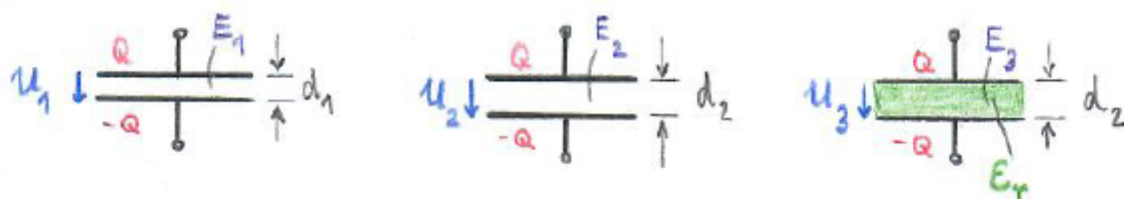
[Ergebnis: $R = 691 \Omega$]

3. Elektrisches Feld

Aufgabe 3.1

Ein Plattenkondensator mit dem Plattenabstand $d_1 = 3,0 \text{ mm}$ und Luft als Dielektrikum ist auf die Spannung $U_1 = 600 \text{ V}$ aufgeladen.

- Welche Spannung U_2 liegt am Kondensator, wenn der Plattenabstand auf $d_2 = 4,0 \text{ mm}$ vergrößert wird?
- Anschließend wird bei unverändertem Plattenabstand ($d_2 = 4,0 \text{ mm}$) eine Isolierstoffplatte mit der Permittivitätszahl $\epsilon_r = 5$ eingebracht, die den gesamten Raum zwischen den Platten ausfüllt. Welche Spannung U_3 liegt jetzt am Kondensator?

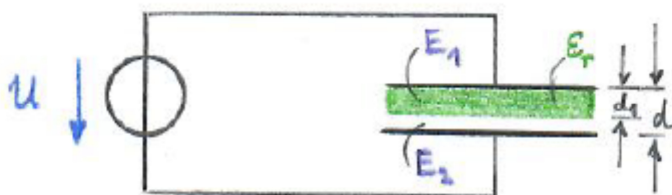


[Ergebnis: a) $U_2 = 800 \text{ V}$, b) $U_3 = 160 \text{ V}$]

Aufgabe 3.2

Ein Plattenkondensator mit Luft als Dielektrikum, dem Plattenabstand $d = 5,0 \text{ mm}$ und der Plattenfläche $A = 50 \text{ cm}^2$ liegt an einer Spannungsquelle mit $U = 500 \text{ V}$.

- Wie groß darf die Stärke d_1 einer zwischen die Platten geschobenen Isolierstoffplatte mit der Permittivitätszahl $\epsilon_r = 7$ höchstens sein, damit die elektrische Feldstärke mit verbleibenden Luftraum nicht größer als $E_2 = 2,0 \cdot 10^5 \text{ V/m}$ wird?
- Wie groß ist die Kapazität C des Kondensators bei eingeschobener Isolierstoffplatte?



[Ergebnis: a) $d_1 = 2,92 \text{ mm}$, b) $C = 17,7 \text{ pF}$]

Aufgabe 3.3

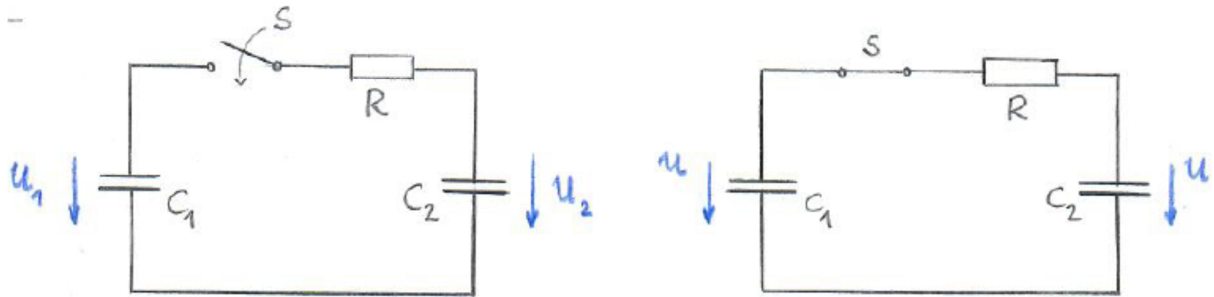
Berechnen Sie die Kapazität, die vorhanden ist, wenn Erdoberfläche (Erdradius $r = 6.350 \text{ km}$) Kondensatorfläche wäre und die Platten einen Abstand von $l = 1 \text{ m}$ hätten.

[Ergebnis: $C = 4.485 \text{ F}$]

Aufgabe 3.4

Zwei Kondensatoren mit den Kapazitäten $C_1 = 10 \mu\text{F}$ und $C_2 = 5 \mu\text{F}$ sind auf die Spannungen $U_1 = 120 \text{ V}$ und $U_2 = 60 \text{ V}$ aufgeladen (siehe Bild).

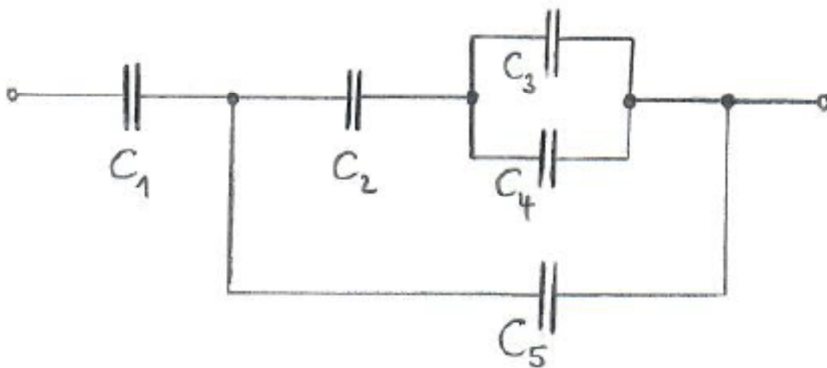
- Welche Spannung U liegt an beiden Kondensatoren, wenn der Schalter S geschlossen wird?
- Welche Energie W wird dabei dem Widerstand R zugeführt und dort in Wärme umgesetzt?



[Ergebnis: a) $U = 100 \text{ V}$, b) $W = 6,0 \text{ mJ}$]

Aufgabe 3.5

Berechnen Sie die Gesamtkapazität C der folgenden Schaltung (siehe Bild). Die Daten der einzelnen Kondensatoren sind: $C_1 = 1 \mu\text{F}$, $C_2 = 2 \mu\text{F}$, $C_3 = 3 \mu\text{F}$, $C_4 = 4 \mu\text{F}$ und $C_5 = 5 \mu\text{F}$.



[Ergebnis: $C = 0,87 \mu\text{F}$]

4. Magnetisches Feld

Aufgabe 4.1

Zwei Stromschienen, Hin- und Rückleitung eines Versorgungsnetzes, verlaufen in einer Schaltanlage 1 m parallel mit einem Abstand von $a = 20$ cm. Durch einen Kurzschluss in der Schaltanlage fließt in beiden Schienen ein Kurzschlussstrom $I_{KS} = 30$ kA.

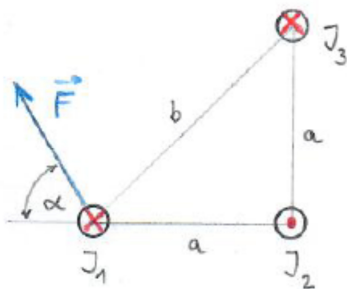
Berechnen Sie die Kraft, die zwischen den Stromschienen auftritt.

[Ergebnis: $F = 900$ N]

Aufgabe 4.2

Drei lange, gerade, parallel verlaufende Leiter (1, 2 und 3) bilden Eckpunkte eines gleichschenkligen, rechtwinkligen Dreiecks (siehe Bild). Die Katheten dieses Dreiecks haben eine Länge von je $a = 100$ mm. Der Leiter 1 führt den Strom $I_1 = 100$ A. Auf diesen Leiter wird von den beiden anderen stromführenden Leitern je Meter Leitungslänge eine Kraft von $F = 0,01$ N ausgeübt. Sie hat die im Bild angegebene Richtung mit $\alpha = 60^\circ$. Die Permeabilitätszahl beträgt $\mu_r = 1$.

Welche Werte haben die beiden Ströme I_2 und I_3 ?

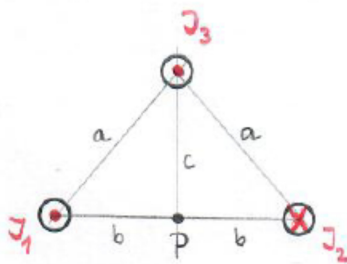


[Ergebnis: $I_2 = 68,5$ A und $I_3 = 86,0$ A]

Aufgabe 4.3

Drei lange, gerade, parallel verlaufende Leiter bilden die Eckpunkte eines gleichschenkligen Dreiecks mit $a = 120$ mm und $2b = 160$ mm (siehe Bild). Die fließenden Ströme betragen $I_1 = 65$ A, $I_2 = 110$ A und $I_3 = 45$ A. Ihre Richtungen sind im folgenden Bild ersichtlich.

- Welche magnetische Feldstärke H herrscht im Punkt P in der Mitte zwischen den beiden unteren Leitern?
- Welcher Winkel α besteht zwischen der Richtung dieser Feldstärke und der Waagrechten (der Linie b)?

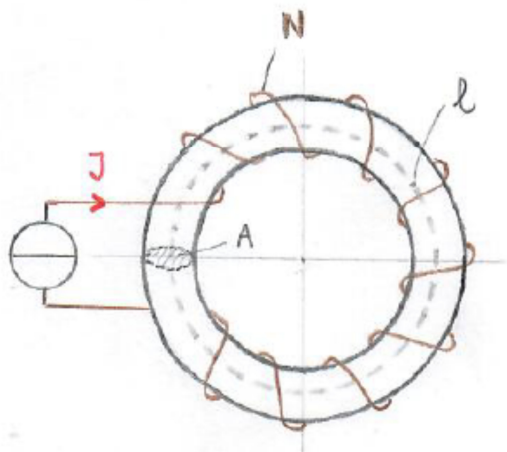


[Ergebnis: a) $H = 357$ A/m, b) $\alpha = 77,0^\circ$]

Aufgabe 4.4

Auf einem Keramikring (Permeabilitätszahl $\mu_r = 1$) mit dem mittleren Ringumfang $l = 400 \text{ mm}$ ist eine aus $N = 600$ Windungen bestehende Spule, gleichmäßig am Umfang verteilt, aufgebracht (siehe Bild). Die von einer Windung eingeschlossene Fläche beträgt $A = 700 \text{ mm}^2$. Die Spule ist mit einer Stromquelle verbunden, die den Strom $I = 2,5 \text{ A}$ liefert.

- Welche magnetische Feldstärke H und welche magnetische Flussdichte F herrschen in der Ringmitte?
- Wie groß ist der im Ring erzeugte magnetische Fluss ϕ ?

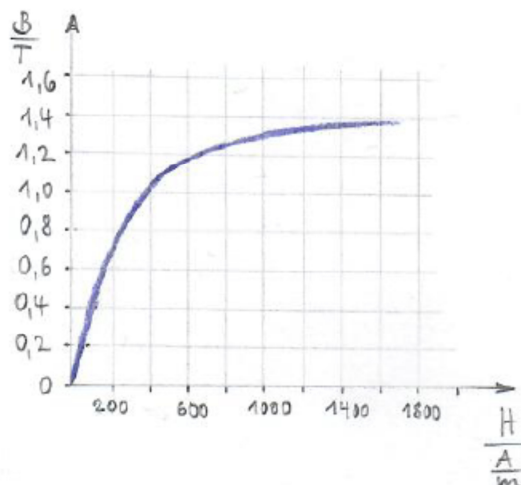
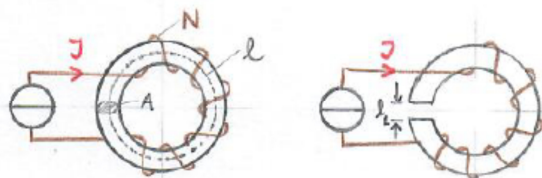


[Ergebnis: a) $H = 3.750 \text{ A/m}$ und $B = 4,71 \text{ mT}$, b) $\phi = 3,30 \mu\text{Wb}$]

Aufgabe 4.5

Bei einem Ringkern aus Eisen mit dem Querschnitt $A = 720 \text{ mm}^2$ beträgt der mittlere Ringumfang $l = 460 \text{ mm}$ (siehe Bild). Auf dem Kern ist eine aus $N = 800$ Windungen bestehende Spule aufgebracht, die mit einer Stromquelle verbunden ist. Die Magnetisierungskennlinie des Kernmaterials ist ebenfalls im folgenden Bild dargestellt. Im Kern soll ein magnetischer Fluss $\phi = 8,3 \cdot 10^{-7} \text{ Wb}$ erzeugt werden.

- Welcher Strom I ist erforderlich?
- Welcher Strom I' wäre erforderlich, wenn der Kern aufgetrennt und ein Luftspalt von $l_L = 0,5 \text{ mm}$ eingefügt wird? (Die mittlere Eisenlänge sein unverändert $l_E = l = 460 \text{ mm}$.)

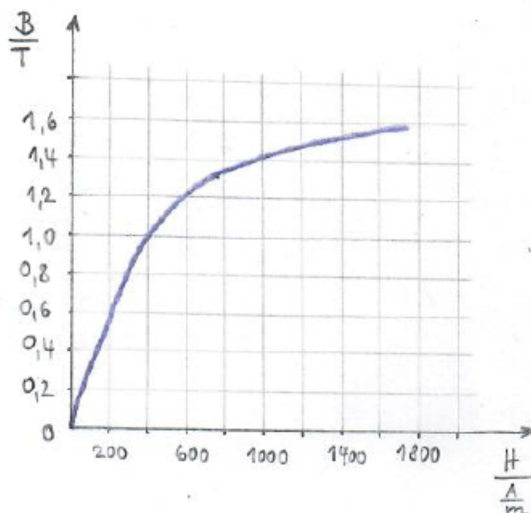
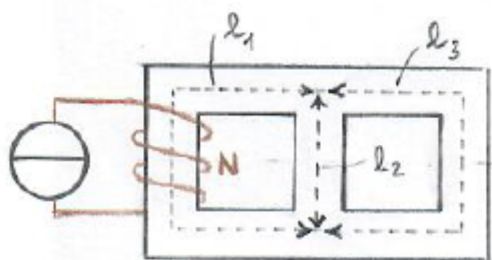


[Ergebnis: a) $I = 0,32 \text{ A}$, b) $I' = 0,89 \text{ A}$]

Aufgabe 4.6

Bei dem im Bild dargestellten Eisenkern aus Stahlguss ist auf dem linken Schenkel eine Spule mit $N = 200$ Windungen aufgebracht (siehe Bild). Der Eisenquerschnitt ist an allen Stellen gleich groß und beträgt $A = 700 \text{ mm}^2$. Die Eisenweglängen haben die mittleren Werte $l_1 = l_3 = 280 \text{ mm}$ und $l_2 = 100 \text{ mm}$. Im rechten Schenkel soll durch den eingespeisten Spulenstrom I ein magnetischer Fluss von $\phi = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$ erzeugt werden. Die Magnetisierungskennlinie des Kernmaterials ist ebenfalls im folgenden Bild dargestellt.

Welcher Strom I muss in der Spule fließen?

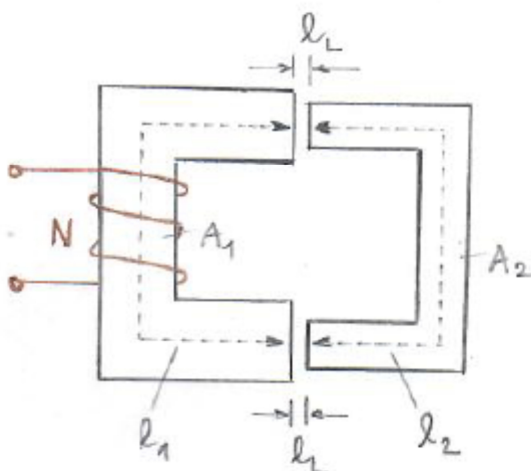


[Ergebnis: $I = 1,12 \text{ A}$]

Aufgabe 4.7

Der im Bild dargestellte, aus zwei Teilen bestehende Eisenkern mit der Permeabilitätszahl $\mu_r = 3.500$ enthält eine aus $N = 150$ Windungen bestehende Spule. Die Eisenquerschnitte betragen $A_1 = 600 \text{ mm}^2$ und $A_2 = 480 \text{ mm}^2$. Die mittleren Eisenlängen sind $l_1 = 125 \text{ mm}$ und $l_2 = 120 \text{ mm}$. Der auf beiden Seiten eingebrachte Luftspalt hat eine Länge von je $l_L = 0,15 \text{ mm}$.

Wie groß ist die Induktivität L der Spule? (Für die Berechnung kann die Luftspaltfläche A_L gleich dem Eisenquerschnitt A_2 gesetzt werden.)



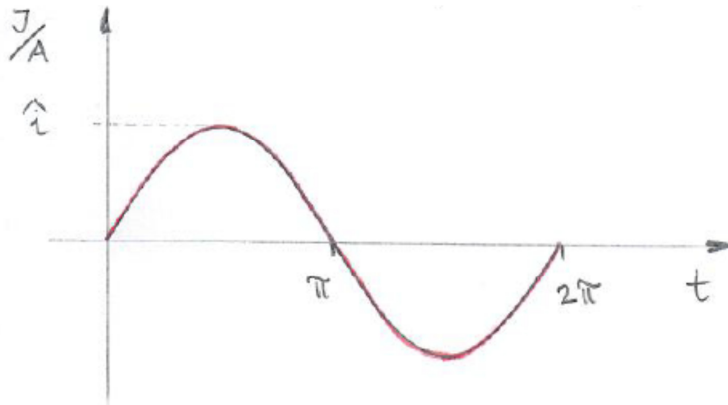
[Ergebnis: $L = 37,4 \text{ mH}$]

5. Zeitabhängigkeit

Aufgabe 5.1

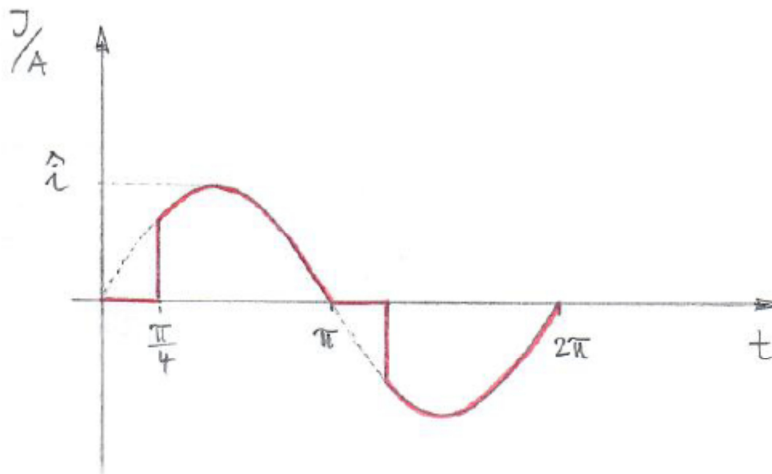
Ein sinusförmiger Wechselstrom mit $i = \hat{i} \sin \omega t$ (siehe folgendes Bild) hat einen Scheitelwert von $\hat{i} = 10 \text{ A}$.

- Wie groß ist der Effektivwert I ?
- Welche Wärmeleistung P wird in einem ohmschen Widerstand von $R = 10 \Omega$ umgesetzt?



Die Sinushalbwellen des Wechselstromes mit $i = \hat{i} \sin \omega t$ und $\hat{i} = 10 \text{ A}$ (siehe folgendes Bild) werden nun angeschnitten. In den Bereichen $0 < \omega t < \alpha$ und $\pi < \omega t < (\pi + \alpha)$ fließt kein Strom ($i = 0$), wobei $\alpha = \pi/4 = 45^\circ$ sei.

- Wie groß ist nun der Effektivwert I ?
- Welche Wärmeleistung P wird nun in dem ohmschen Widerstand mit $R = 10 \Omega$ umgesetzt?



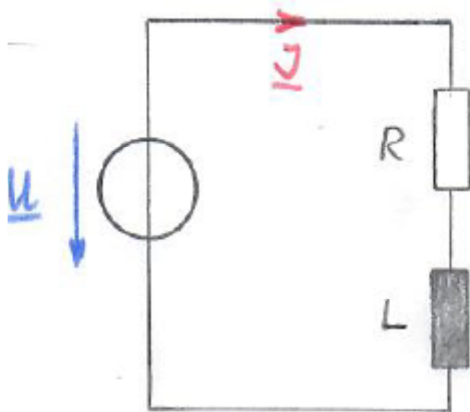
[Ergebnis: a) Effektivwert $I = 7,07 \text{ A}$, b) $P = 500 \text{ W}$, c) Effektivwert $I = 6,74 \text{ A}$, d) $P = 454,6 \text{ W}$]

6. Wechselstromtechnik

Aufgabe 6.1

Eine Spule mit der Induktivität $L = 175 \text{ mH}$ ist mit einem ohmschen Widerstand von $R = 40 \text{ } \Omega$ in Reihe geschaltet. Die Anordnung liegt an einer sinusförmigen Wechselspannung mit dem Effektivwert $U = 230 \text{ V}$ und der Frequenz $f = 50 \text{ Hz}$.

- Wie groß ist der Effektivwert I des fließenden Stromes?
- Welcher Phasenverschiebungswinkel φ besteht zwischen der Spannung U und dem Strom I ?

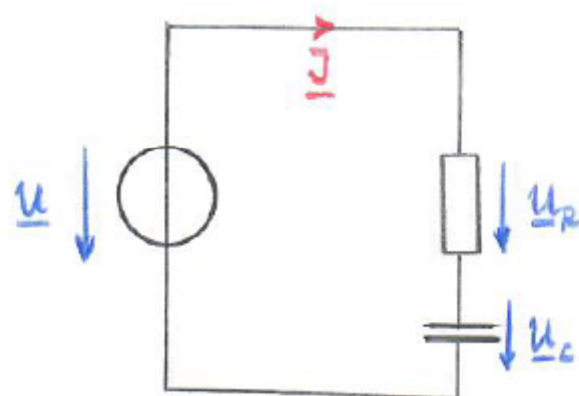


[Ergebnis: a) $I = 3,38 \text{ A}$, b) $\varphi = 54,0^\circ$]

Aufgabe 6.2

Ein ohmscher Widerstand $R = 750 \text{ } \Omega$ ist mit einem Kondensator der Kapazität $C = 250 \text{ nF}$ in Reihe geschaltet. Die Anordnung wird von einem sinusförmigen Strom mit dem Betrag (Effektivwert) $I = 50 \text{ mA}$ und der Frequenz $f = 800 \text{ Hz}$ durchflossen.

- Wie groß sind die Teilspannungen U_R und U_C sowie die Gesamtspannung U ?
- Welcher Phasenverschiebungswinkel φ besteht zwischen den Spannungen U_C und U ?

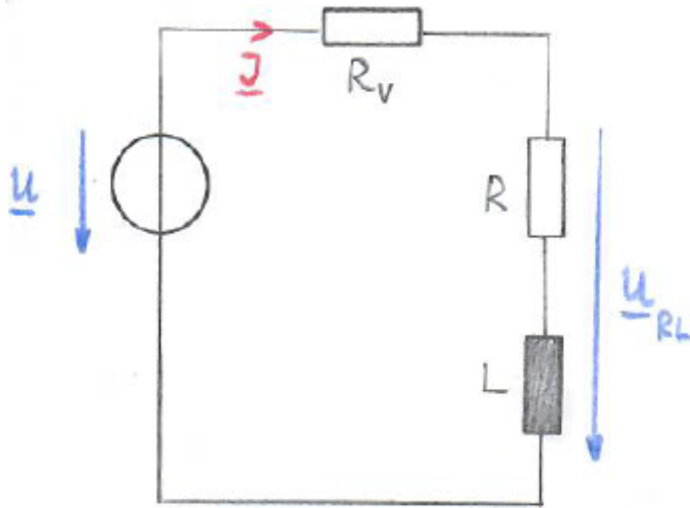


[Ergebnis: a) $U_R = 37,5 \text{ V}$, $U_C = 39,8 \text{ V}$, $U = 54,7 \text{ V}$, b) $\varphi = 43,3^\circ$]

Aufgabe 6.3

Eine Spule mit der Induktivität $L = 50 \text{ mH}$ liegt in Reihe mit einem ohmschen Widerstand von $R = 150 \Omega$. Die Anordnung soll über einen ohmschen Vorschaltwiderstand R_V mit einer Wechselspannungsquelle verbunden werden. Sie liefert eine Spannung von $U = 48 \text{ V}$ der Frequenz $f = 800 \text{ Hz}$.

Welchen Wert muss der Widerstand R_V haben, damit die an der Reihenschaltung von R und L liegende Spannung $U_{RL} = 30 \text{ V}$ wird?

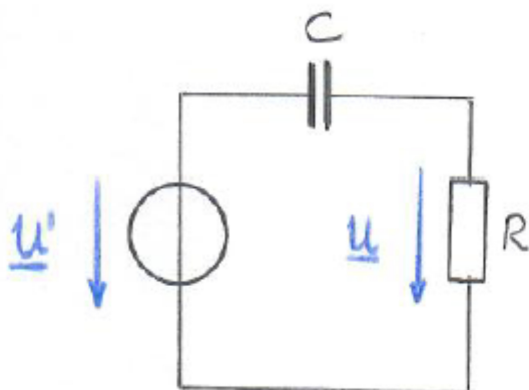


[Ergebnis: $R_V = 244 \Omega$]

Aufgabe 6.4

Ein elektrisches Heizgerät für die Spannung $U = 230 \text{ V}$ besitzt den Widerstand (Wirkwiderstand) $R = 53 \Omega$. Das Gerät soll über einen Kondensator an eine Wechselspannung von $U' = 400 \text{ V}$ der Frequenz $f = 50 \text{ Hz}$ gelegt werden.

Wie groß muss die Kapazität C des Kondensators sein, damit das Heizgerät an $U = 230 \text{ V}$ liegt?

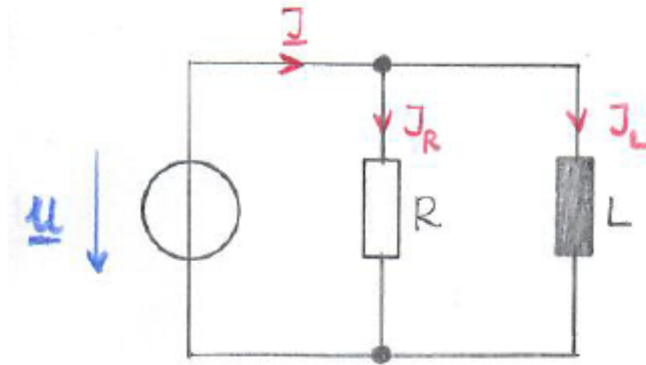


[Ergebnis: $C = 42,25 \mu\text{F}$]

Aufgabe 6.5

Ein ohmscher Widerstand von $R = 100 \Omega$ und eine Spule mit der Induktivität $L = 72 \text{ mH}$ liegen parallel an einer Spannungsquelle, die eine Spannung von $U = 36 \text{ V}$ der Frequenz $f = 400 \text{ Hz}$ liefert.

- Es sind die Teilströme I_R und I_L sowie der Gesamtstrom I zu bestimmen.
- Um welchen Phasenverschiebungswinkel φ eilt der Strom I der Spannung U nach?

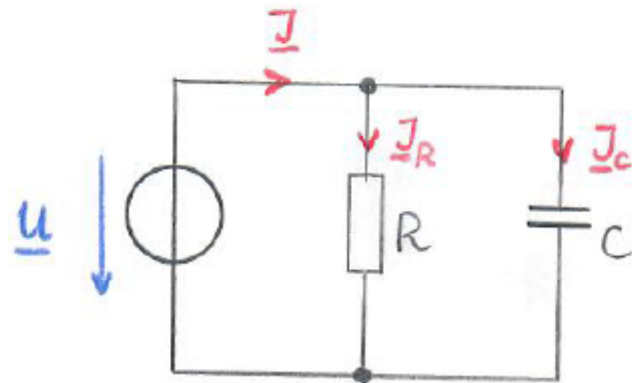


[Ergebnis: a) $I_R = 360 \text{ mA}$, $I_L = 199 \text{ mA}$, $I = 411 \text{ mA}$, b) $\varphi = 28,9^\circ$]

Aufgabe 6.6

Ein ohmscher Widerstand von $R = 100 \Omega$ und ein Kondensator mit der Kapazität $C = 2 \mu\text{F}$ liegen parallel an einer Spannungsquelle, die eine Spannung von $U = 36 \text{ V}$ der Frequenz $f = 400 \text{ Hz}$ liefert.

- Es sind die Teilströme I_R und I_C sowie der Gesamtstrom I zu bestimmen.
- Um welchen Phasenverschiebungswinkel φ eilt der Strom I der Spannung U voraus?



[Ergebnis: a) $I_R = 360 \text{ mA}$, $I_C = 181 \text{ mA}$, $I = 403 \text{ mA}$, b) $\varphi = 26,7^\circ$]