Aufgabensammlung

Grundgebiete der Elektrotechnik

Für Studierende der Bachelor-Studiengänge

- **Elektrotechnik Jülich ET**
- **Electrical Engineering ET-AOS**
- **Physikingenieurwesen PI**
- **Physical Engineering PI-AOS**
- **Wirtschaftsingenieurwesen WI**

Prof. Dr.-Ing. Alexander Kern

Fachhochschule Aachen
Campus Jülich

© FH Aachen, Prof. Dr.-Ing. Alexander Kern

01/2020

Grundlagen

Aufgabe 1.1

Die kinetische Energie eines Körpers der Masse *m*, der sich mit der Geschwindigkeit *v* bewegt, beträgt $W_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$.

Diese Gleichung soll so als zugeschnittene Größengleichung dargestellt werden, dass sich die Energie in kWh ergibt, wenn man die Masse in Tonnen und die Geschwindigkeit in km/h angibt.

Aufgabe 1.2

Geben Sie das Gewicht von 100 m Kupferdraht in Abhängigkeit von seinem Durchmesser so als zugeschnittene Größengleichung an, dass sich die Gewichtskraft in N ergibt, wenn man den Durchmesser in mm einsetzt.

Zahlenwerte: $\rho_{Cu} = 8{,}93 \frac{g}{cm^3}$; $g = 9{,}81 \frac{m}{s^2}$

Aufgabe 1.3

Ab dem Zeitpunkt t = 0 wird ein Fahrzeug, das die Anfangsgeschwindigkeit v_0 = 54 km/h hat, mit 5 m/s² abgebremst. Geben Sie jeweils eine zugeschnittene Größengleichung an, in die man die Zeit *t* in Sekunden einsetzen kann, aus der sich dann ergibt:

a) die Geschwindigkeit *v* in km/h;
b) die ab t = 0 zurückgelegte Strecke *x* in Meter.

Aufgabe 1.4

Die elektrische Leitfähigkeit von Kupfer hat den Wert $\kappa_{Cu} = 56 \frac{S \cdot m}{mm^2}$.

a) Rechnen Sie diesen Wert in die Einheit $\frac{S}{cm}$ um.
b) Ermitteln Sie den spezifischen Widerstand ρ_{Cu} und geben Sie ihn in μΩ*m an.
c) Wie lang ist ein Kupferseil, das einen Querschnitt A = 1,5 cm² hat und dessen Widerstand R = 1 Ω beträgt?
d) Welchen Querschnitt muss ein Aluminium-Leiter haben, wenn er bei gleicher Länge ebenfalls einen Widerstand R = 1 Ω haben soll?
   (Leitfähigkeit von Aluminium ist $\kappa_{Al} = 35 \frac{S \cdot m}{mm^2}$)
e) Geben Sie eine zugeschnittene Größengleichung für den elektrischen Widerstand eines Kupfer-Leiters an, aus der sich der Widerstand *R* in mΩ ergibt, wenn man den Querschnitt *A* in cm² und die Länge *l* in km einsetzt.
f) Wie lautet die zugeschnittene Größengleichung für den elektrischen Leitwert eine Aluminium-Leiters, aus der sich der Leitwert *G* in S ergibt, wenn man den Querschnitt *A* in cm² und die Länge *l* in km einsetzt?

Gleichstromkreis

Aufgabe 2.1

Ein Dehnungs-Messstreifen hat eine aktive Länge von 2,5 cm. Er besteht aus 16 Längsdrähten mit einem Durchmesser d = 0,0205 mm und hat einen Widerstand von R = 600 Ω.

a) Wie groß ist der spezifische Widerstand des Drahtmaterials?
b) Welche Spannung liegt an dem Dehnungs-Messstreifen, wenn ein Strom von 15 mA fließt?

Aufgabe 2.2

Zum Messen hoher Ströme soll aus Manganin ein Messwiderstand in Form eines Hohlzylinders hergestellt werden. Bei einem Strom von 1 kA soll an dem Messwiderstand eine Spannung von 200 mV abfallen. Der Hohlzylinder soll den äußeren Durchmesser d_a = 5,5 cm und die Länge l = 12 cm haben. Der spezifische Widerstand von Manganin hat den Wert ρ = 0,42 Ωmm²/m.

a) Berechnen Sie den Leitwert des Messwiderstandes.
b) Wie groß muss die Wandstärke des Hohlzylinders sein?

Aufgabe 2.3

Das Gewicht einer Eisenbahnschiene beträgt bezogen auf ihre Länge 436 N/m. Die Dichte des verwendeten Eisens ist ρ = 7,8 g/cm³, seine Leitfähigkeit κ = 10,53 Sm/mm². Für die Erdbeschleunigung soll der Wert g = 9,81 m/s² verwendet werden. Wie lang ist die Schiene, wenn ihr Widerstand R = 1 Ω beträgt?

Aufgabe 2.4

Eine Spule mit einem inneren Durchmesser d_i = 1,5 cm und einem äußeren Durchmesser d_a = 9,5 cm ist mit n = 100 Lagen Kupferdraht bewickelt. Jede Lage hat m = 125 Windungen. Der Drahtdurchmesser beträgt ohne Isolation δ = 0,3 mm.

a) Wie groß ist der Widerstand der Spule bei 20℃?
b) Bei welcher Spannung fließt durch die Spule ein Strom von 200 mA?
c) Durch die Erwärmung der Spule sinkt der Strom bei konstanter Spannung auf 160 mA ab. Welche mittlere Temperatur hat die Wicklung jetzt?

Zahlenwerte: κ = 56 Sm/mm² ; α_{20} = 3,93·10⁻³ K⁻¹

Aufgabe 2.5

Der Wolfram-Glühfaden einer Glühlampe mit der Leistung P = 100 W hat im Betrieb eine Temperatur T = 2500 °C. Die Glühlampe ist für die Spannung U = 230 V ausgelegt.

a) Wie groß ist der Widerstand des Glühfadens bei der Betriebstemperatur?
b) Wie groß ist der Widerstand des Glühfadens bei der Zimmertemperatur (20°C)?
c) Wie groß wären Strom und Leistung, wenn der Glühfaden sich nicht erwärmen würde?

Zahlenwerte: $\alpha_{20} = 4{,}1 * 10^{-3}\ K^{-1}$; $\beta_{20} = 10^{-6}\ K^{-2}$

Aufgabe 2.6

Ein elektrischer Heizofen hat eine Leistung von 1 kW bei einer Spannung von 230 V. Der Heizdraht hat einen Durchmesser von 0,6 mm und besteht aus einer Chrom-Nickel-Legierung mit dem spezifischen Widerstand $\rho_{20} = 1{,}13\ \Omega mm^2/m$ und dem Temperaturkoeffizienten $\alpha_{20} = 0{,}2 \cdot 10^{-3}\ K^{-1}$. Im Nennbetrieb beträgt die Übertemperatur der Heizwicklung ΔT = 500 K. Welche Länge hat der Heizdraht?

Aufgabe 2.7

Ein spannungsabhängiger Widerstand (VDR), der als Teil eines Überspannungsableiters in einem Mittelspannungsnetz mit U = 15 kV eingesetzt ist, hat eine Kennlinie, die sich mit hinreichender Genauigkeit durch nebenstehende Gleichung beschreiben lässt.

$$\frac{I}{A} = \left(\frac{U}{9kV} \right)^4$$

a) Wie groß ist der Strom durch den spannungsabhängigen Widerstand bei 15 kV?
b) Welcher Strom fließt durch den Widerstand, wenn sich die Spannung um 20 % erhöht?
c) Wie lautet die zugeschnittene Größengleichung für den Widerstand R in kΩ in Abhängigkeit von der Spannung U in kV?

Aufgabe 2.8

An den Klemmen einer linearen elektrischen Quelle werden bei zwei verschiedenen Belastungen Spannung und Strom gemessen. Man erhält folgende Ergebnisse:

U_1 = 240 V, I_1 = 10 A; U_2 = 225 V, I_2 = 40 A

Zeichnen Sie: a) das Ersatzschaltbild der Spannungsquelle
b) die *U/I* – Kennlinie.

Berechnen Sie:
c) den Innenwiderstand
d) die Leerlaufspannung
e) den Kurzschlussstrom.

Aufgabe 2.9

Eine lineare elektrische Quelle hat eine Leerlaufspannung von 10 V. Wenn man diese Quelle mit einem Widerstand von 40 Ω belastet, sinkt die Klemmspannung auf 8 V ab.

Gesucht sind:
a) der Innenwiderstand
b) der Kurzschlussstrom
c) die Spannungsquellenersatzschaltung
d) die Stromquellenersatzschaltung.

Aufgabe 2.10

An eine lineare elektrische Quelle mit der Leerlaufspannung U_0 = 100 V und dem Innenwiderstand R_i = 1 Ω wird ein Lastwiderstand R_a = 24 Ω angeschlossen. Geben Sie für die folgenden Größen zunächst allgemeine, formelmäßige Ergebnisse an und berechnen Sie dann die Zahlenwerte.

Gesucht sind:
a) der Strom I
b) die Klemmspannung U
c) die im Lastwiderstand umgesetzte Leistung P_a
d) die im Innenwiderstand umgesetzte Leistung P_i
(wenn die Spannungsquellenersatzschaltung als zutreffende Darstellung auch der Vorgänge im Inneren der Quelle aufgefasst wird)
e) der Wirkungsgrad η im Falle d)
f) der Lastwiderstand $R_{a\,max}$, bei dem die Quelle die größtmögliche Leistung $P_{a\,max}$ an den Klemmen abgibt
g) die Leistung $P_{a\,max}$ und der Wirkungsgrad η im Falle f).

Aufgabe 2.11

In einem Gefäß mit 1 kg Wasser von 21,8 °C befindet sich ein Tauchsieder mit einem Widerstand der Heizwicklung von 84,8 Ω. Nachdem dieser Tauchsieder 7 min an einer Spannung von 230 V angeschlossen war, beträgt die Wassertemperatur 80 °C. Die spezifische Wärmekapazität von Wasser hat den Wert $c = 1{,}163 \cdot 10^{-3} \frac{kWh}{kg \cdot K}$.

Wie groß ist der thermische Wirkungsgrad der Anordnung?

Aufgabe 2.12

Ein elektrischer Heizofen mit der Nennspannung U = 230 V besitzt zwei Heizwiderstände und hat vier Leistungsstufen, die u. a. 1250 W, 750 W und 500 W betragen. Außerdem hat der Ofen eine noch geringere Leistungsstufe.

a) Wie werden die beiden Widerstände in vier Stufen geschaltet?
b) Welche Werte haben die beiden Widerstände?
c) Welchen Wert hat die niedrigste Leistungsstufe?

Aufgabe 2.13

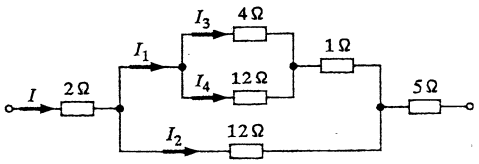
Eine Glühlampe mit den Daten „6 V, 3 W“ und eine Glühlampe mit den Daten „6 V, 2 W“ sollen in Reihe an ein 12 V – Netz angeschlossen werden.

Ist diese Schaltung zu empfehlen? Was wird geschehen? (Antwort mit Begründung!)

Aufgabe 2.14

Die nebenstehende Anordnung wird von dem Strom I = 8 A durchflossen.

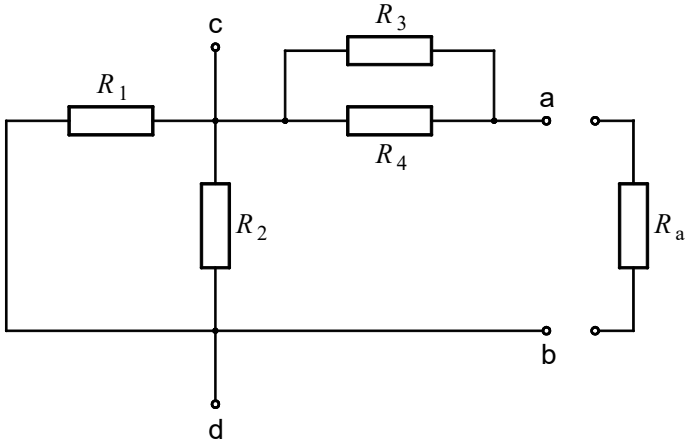
a) Berechnen Sie die Ströme I_1, I_2, I_3 und I_4.
b) Wie groß ist die Leistungsaufnahme der einzelnen Widerstände und der Gesamtschaltung?



Aufgabe 2.15

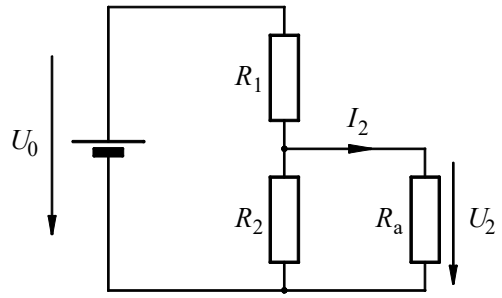
Die Widerstände in dem Netzwerk haben die folgenden Werte:

R_1 = 10 Ω
R_2 = 40 Ω
R_3 = 5 Ω
R_4 = 15 Ω
R_a = 8.25 Ω.



a) Wie groß ist der Widerstand zwischen den Klemmen **a** und **b**?
b) Wie groß ist der Widerstand zwischen den Klemmen **c** und **d**, wenn die Klemmen **a** und **b** offen sind?
c) Wie groß ist der Widerstand zwischen den Klemmen **c** und **d**, wenn an die Klemmen **a** und **b** der Widerstand R_a angeschlossen ist?

Aufgabe 2.16



Der nebenstehend dargestellte Spannungsteiler hat einen Gesamtwiderstand $R_1 + R_2 = 1\ \text{k}\Omega$. Er ist so eingestellt, dass $R_1 = 600\ \Omega$ und $R_2 = 400\ \Omega$ ist.

Ferner sind gegeben:
$U_0 = 60$ V und $R_a = 960\ \Omega$.

a) Berechnen Sie den Strom I_2 und die Spannung U_2.
b) Wie groß ist die an R_a abgegebene Leistung?
c) Auf welche Werte müssen die Widerstände R_1 und R_2 eingestellt werden, damit am Lastwiderstand R_a die Spannung ½ U_0 liegt?

Aufgabe 2.17

Ein Akkumulator hat eine Leerlaufspannung von 60 V und einen Innenwiderstand von 2 Ω. Dieser Akkumulator soll von einer Spannungsquelle mit einer Leerlaufspannung von 110 V und einem Innenwiderstand von 1 Ω geladen werden.

a) Wie groß ist der Ladestrom?
b) Wie groß ist die Klemmenspannung während der Ladung?

Aufgabe 2.18

Eine KFZ-Batterie hat eine Leerlaufspannung von $U_{0B} = 12$ V. Der Anlasser des Wagens nimmt einen Strom von 175 A auf. Bei dieser Belastung sinkt die Klemmenspannung der Batterie auf 7,8 V ab.

a) Wie groß ist der Innenwiderstand der Batterie?.
b) Der Anlasser nimmt eine Leistung von 1 kW auf. Welchen Querschnitt muss die 752 mm lange Kupferleitung ($\kappa_{Cu} = 56\ \text{Sm/mm}^2$) zwischen Batterie und Anlasser haben, wenn der Widerstand der Rückleitung (Wagenchassis) und des Anlasserschalters zusammen 10 mΩ beträgt?
c) Die Lichtmaschine des Wagens hat eine Leerlaufspannung $U_{0D} = 13{,}5$ V. Der Innenwiderstand der Lichtmaschine einschließlich der Zuleitung zur Batterie beträgt 96 mΩ. Wie groß ist der Ladestrom der Batterie?
d) Wie groß ist die Klemmenspannung der Batterie während der Ladung?
e) Welche Leistung nimmt die Batterie auf?
f) Welche Leistung könnte man der Batterie höchstens entnehmen? Wie groß wären in diesem Fall die Klemmenspannung der Batterie und der Strom?

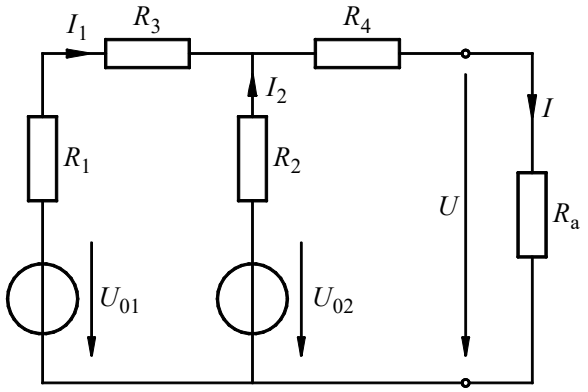
Aufgabe 2.19

Die Elemente in der nebenstehenden Schaltung haben die folgenden Werte:

U_{01} = 220 V U_{02} = 200 V

R_1 = 4 Ω R_2 = 10 Ω
R_3 = 6 Ω R_4 = 5 Ω
R_a = 200 Ω

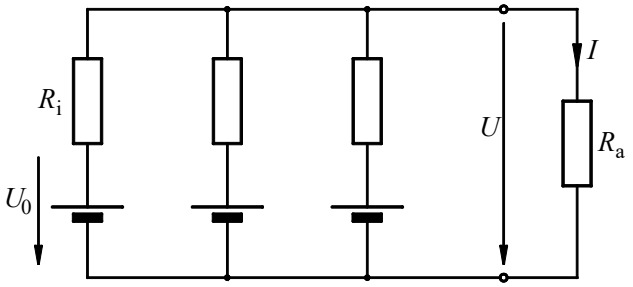
Berechnen Sie die Ströme I_1, I_2, I und die Spannung U.



Aufgabe 2.20

Drei Batterien mit U_0 = 6 V und R_i = 0,3 Ω sind parallel geschaltet.

a) Wie groß sind die Klemmenspannung und der Strom für R_a = 0,1 Ω.
b) Wie ändern sich diese Werte, wenn eine der Batterien die Daten U_{01} = 4,5 V und R_{i1} = 0,5 Ω hat?

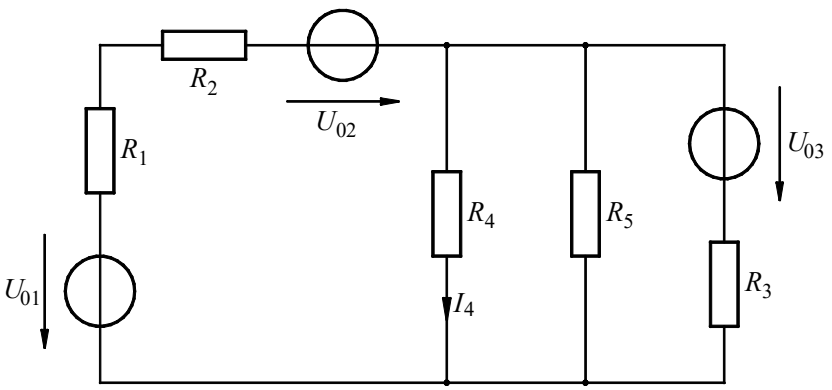


Aufgabe 2.21

Die Elemente in der Schaltung haben die folgenden Werte:

U_{01} = 35 V
U_{02} = 20 V
U_{03} = 24 V

R_1 = 2 Ω
R_2 = 3 Ω
R_3 = 4 Ω
R_4 = 34 Ω
R_5 = 20 Ω.



Berechnen Sie den Strom I_4 mithilfe des Verfahrens der Ersatzspannungsquelle.

Aufgabe 2.22

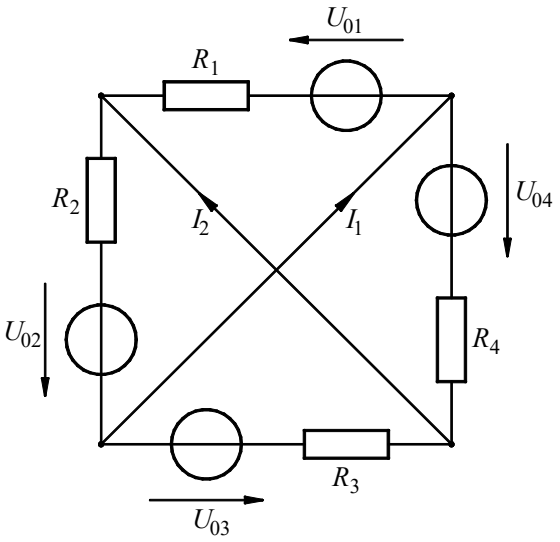
Berechnen Sie die Ströme I_1 und I_2.

U_{01} = 4 V R_1 = 2 Ω

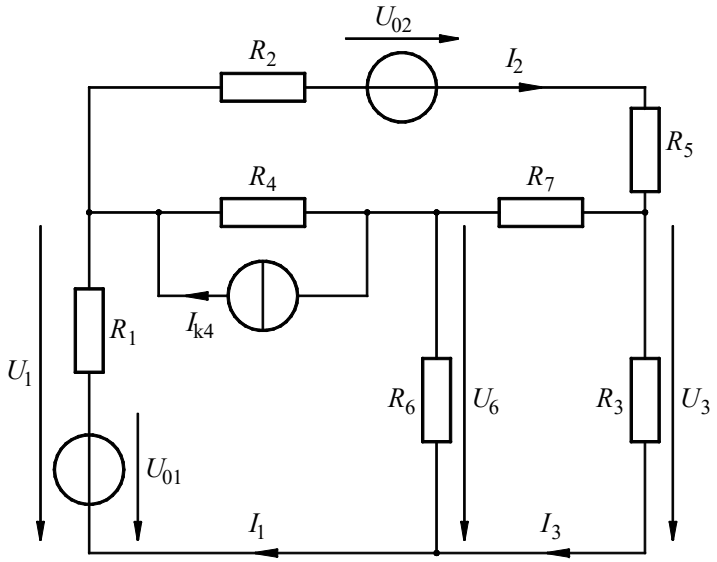
U_{02} = -4 V R_2 = 2 Ω

U_{03} = 8 V R_3 = 2 Ω

U_{04} = 4 V R_4 = 2 Ω



Aufgabe 2.23



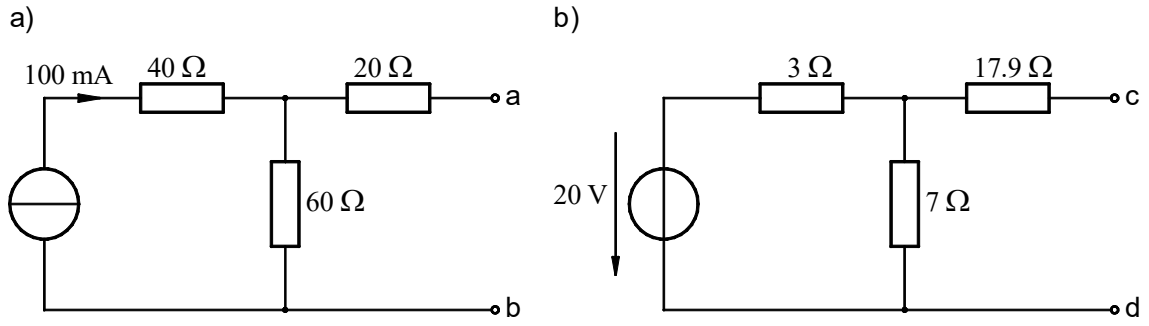
R_1 = 20 Ω
R_2 = 13 Ω
R_3 = 30 Ω
R_4 = 30 Ω
R_5 = 17 Ω
R_6 = 10 Ω
R_7 = 20 Ω

U_{01} = 90 V
U_{02} = 147 V

I_{k4} = 1,1 A

a) Ermitteln Sie mithilfe des Maschenstromverfahrens die Ströme I_1, I_2 und I_3.
b) Ermitteln Sie mithilfe des Knotenpotenzialverfahrens die Spannungen U_1, U_3 und U_6.

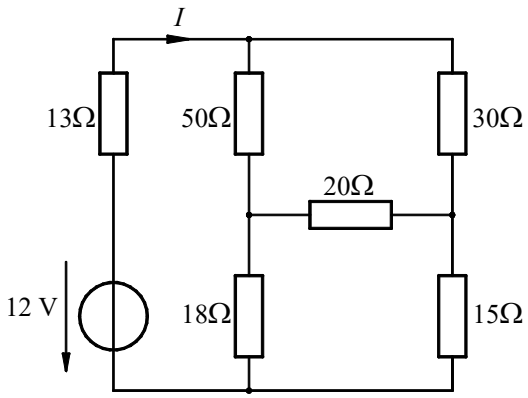
Aufgabe 2.24



a) Bestimme für die Schaltung a) die Ersatzspannungsquelle bezüglich der Klemmen **a** und **b**.
b) Bestimme für die Schaltung b) die Ersatzstromquelle bezüglich der Klemmen **c** und **d**.

Aufgabe 2.25

Berechne den Strom I in der nebenstehenden Schaltung.



Aufgabe 2.26

Mit Hilfe eines Vielfachmessgerätes mit 5 kΩ/V wird in einem linearen elektrischen Netzwerk eine Spannung gemessen. Im 20 V – Messbereich zeigt das Instrument 8 V an, im 10 V – Bereich aber nur 6 V. Die Messungenauigkeit des Messgerätes soll vernachlässigt werden.

a) Welche Spannung lag vor dem Anschließen des Messgerätes tatsächlich vor?
b) Was zeigt das Instrument im 5 V – und im 2 V – Messbereich an?

Aufgabe 2.27

Unter Verwendung eines Amperemeters mit 1 mA Vollausschlag und einem Innenwiderstand von 100 Ω soll ein Multimeter mit der Skalenstaffelung 1, 2, 5, 10, ... aufgebaut werden.

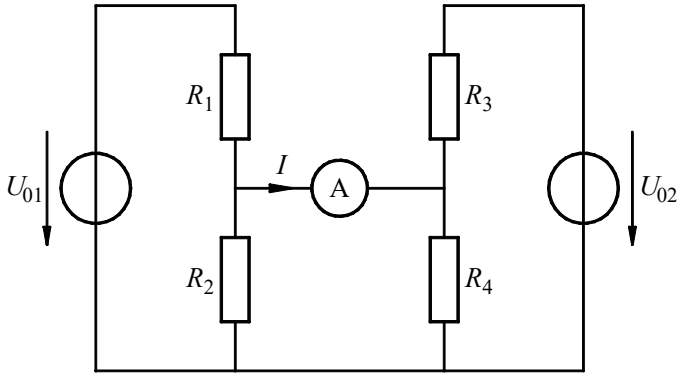
a) Welches ist der kleinste Spannungs-Messbereich?
b) Welche Vorwiderstände werden benötigt, wenn der größte Spannungs-Messbereich 500 V betragen soll und jeweils alle Vorwiderstände in Reihe geschaltet werden?
c) Welcher Nebenwiderstand wird für die Strom-Messung bis 10 A benötigt?
d) Welche Verlustleistung wird maximal in den Vorwiderständen und in dem Nebenwiderstand umgesetzt?

Aufgabe 2.28

U_{01} = 40 V
U_{02} = 20 V

R_2 = 40 Ω
R_3 = 100 Ω
R_4 = 100 Ω

Welchen Wert muss der Widerstand R_1 in der dargestellten Kompensationsschaltung haben, damit I = 0 wird?

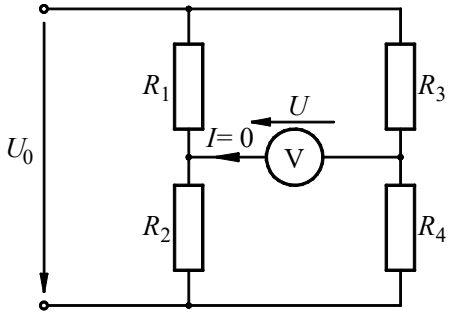


Aufgabe 2.29

Zur Messung von Längenänderungen bei Biegevorgängen wird die nebenstehende Brückenschaltung von Dehnungs-Messstreifen verwendet.

Die angelegte Spannung ist U_0 = 20 V. Die Widerstände betragen R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 600 Ω.

Das Voltmeter ist so hochohmig, dass I = 0 angenommen werden kann.

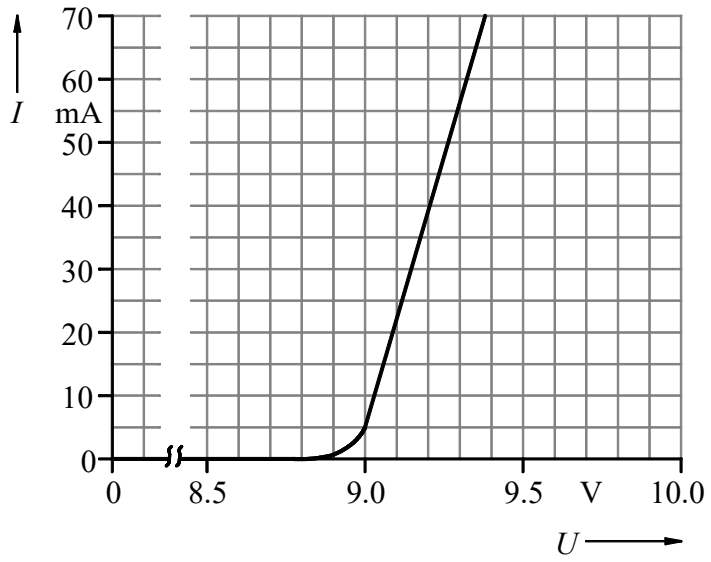


a) Wie groß wird U, wenn der Dehnungs-Messstreifen 1 um 0,05% gedehnt wird, und sich sein Widerstand R_1 daher um 0,1% vergrößert?
b) Wie groß wird U, wenn sich die Widerstände R_1 und R_4 um 0,1% vergrößern?
c) Wie groß wird U, wenn sich die Widerstände R_1 und R_4 um 0,1% vergrößern und sich die Widerstände R_2 und R_3 um 0,1% verkleinern?

Aufgabe 2.30

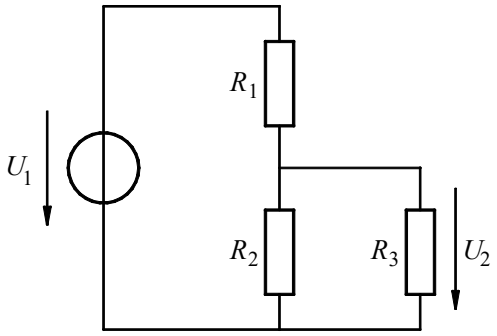
An eine lineare Spannungsquelle mit der Leerlaufspannung U_0 = 14 V wird eine Z-Diode angeschlossen.

Die *I/U*-Kennlinie der Z-Diode ist nebenstehend dargestellt.



a) Wie groß ist der Strom, wenn die Spannung an der Z-Diode U = 9,25 V beträgt?
b) Wie groß ist der Innenwiderstand R_i der Spannungsquelle?
c) Um wie viel Prozent ändert sich die Spannung an der Z-Diode, wenn die Leerlaufspannung der Spannungsquelle (bei gleich bleibendem Innenwiderstand R_i) von 14 V auf 12 V (also um ca. 14 %) absinkt?

Aufgabe 2.31



U_1 = 12.15 V
R_1 = 45 Ω
R_2 = 180 Ω

a) Wie groß ist die Spannung U_2, wenn $R_3 = \infty$ ist?
b) Wie groß ist die Spannung U_2, wenn R_3 = 360 Ω ist?
c) Welche Werte ergeben sich in den Fällen a) und b), wenn der Widerstand R_2 gegen eine Z-Diode (*I/U*-Kennlinie siehe Aufgabe 2.30) ausgetauscht wird?

Elektrostatisches Feld

Aufgabe 3.1

Der Abstand zweier Punktladungen Q_1 und Q_2 in Luft ($\varepsilon = \varepsilon_0 = 8{,}85 * 10^{-12}$ As/Vm) beträgt d = 0,5 cm. Berechnen Sie Größe und Richtung der Kraft, die beide Ladungen aufeinander ausüben, wenn Q_1 = 1 nC ist und für Q_2 gilt:

a) $Q_2 = 0$ b) $Q_2 = -2$ nC c) $Q_2 = 4$ nC

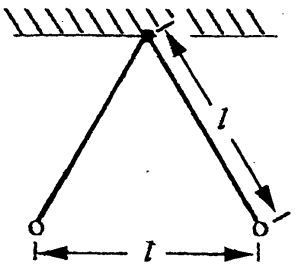
Aufgabe 3.2

Ein Kügelchen trägt eine Ladung von 1 nC. Es hängt an einem Faden zwischen zwei großen, senkrecht angeordneten, ebenen Elektroden, die einen Abstand von 5 cm haben.

a) Welche Kraft wirkt auf das Kügelchen, wenn an die Elektroden eine Spannung von 5 kV angelegt wird?
b) Welche Bewegung wird das Kügelchen nach Anschalten der Spannung ausführen?

Aufgabe 3.3

Zwei gleich geladene, an Fäden in Luft aufgehängte Ladungsträger, die als Punktladungen betrachtet werden können, stoßen sich gemäß nebenstehender Skizze ab. Sie haben eine Masse m von je 8,93 mg. Die Fadenlänge ist l = 8 cm.
Berechnen Sie die Ladung der Ladungsträger.



Zahlenwerte: $g = 9{,}81$ m/s^2
$\varepsilon_0 = 8{,}85 * 10^{-12}$ As/Vm

Aufgabe 3.4

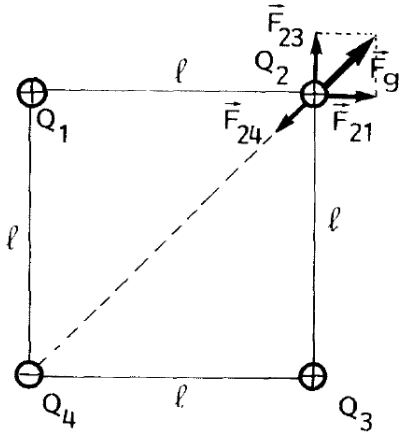
Der Radius des ersten Bohr'schen Kreises beträgt $r = 53 \cdot 10^{-12}$ m. Wie groß ist bei einem Wasserstoff-Atom die elektrische Feldstärke auf dieser Elektronenbahn?

Zahlenwert: $e = 0{,}16 \cdot 10^{-18}$ As

Aufgabe 3.5

Vier gleiche Ladungen sind in den Eckes eines Quadrates mit der Seitenlänge *l* platziert. Die gesamte Anordnung befindet sich im Vakuum. Q_1, Q_2 und Q_3 sind positive Ladungen. Q_4 ist negativ.

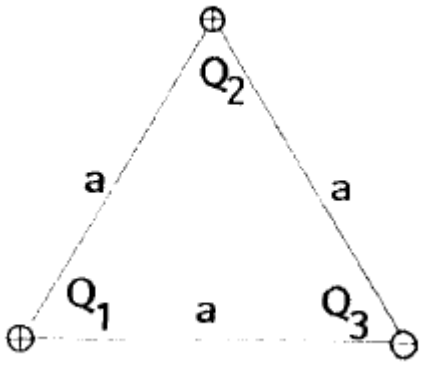
Berechnen Sie die resultierende Kraft auf die Ladung Q_2.



Aufgabe 3.6

Drei Punktladungen Q_1 = 2,5•10^{-8}As, Q_2 = 1,5•10^{-8}As und Q_3 = -2•10^{-8}As sind, wie nebenstehend dargestellt, in den Eckpunkten eines gleichseitigen Dreiecks mit der Seitenlänge a = 10 cm, in Luft angebracht (ε_0 = 8,85•10^{-12} As/Vm).

Legen Sie den Ursprung eines kartesischen 2D-Koordinatensystems in den Mittelpunkt des Dreiecks und berechnen Sie:



a) die Beträge der drei elektrischen Feldstärken, die von den drei Ladungen im Mittelpunkt erzeugt werden;
b) den Betrag der resultierenden Feldstärke im Mittelpunkt;
c) den Winkel α der resultierenden Feldstärke mit der horizontalen x-Achse.

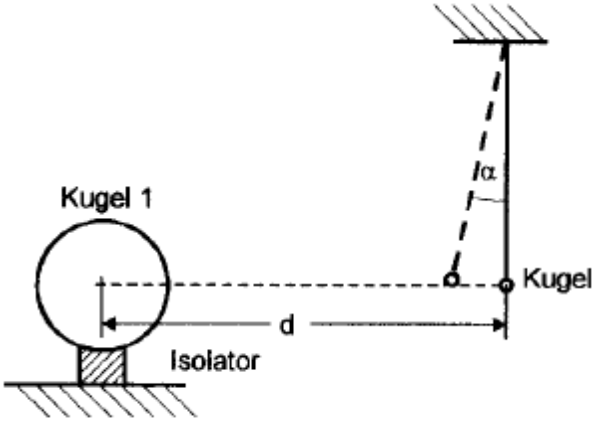
Aufgabe 3.7

Zwei gleichgroße Ladungen befinden sich in einem kartesischen Koordinatensystem (x,y) in den Punkten (-1,0) und (1,0). Bestimmen Sie die Richtung des gemeinsamen Feldvektors beider Ladungen in den Punkten (1,2), (3,0), (3,3) und (4,1). Wie verlaufen die Feldlinien in größerer Entfernung?

Aufgabe 3.8

Gegenüber einer isolierten Kugel 1 ist im Abstand d = 1 m die Kugel 2 frei beweglich aufgehängt. Die Kapazität zwischen den Kugeln beträgt C_{12} = 2 pF. Zwischen den Kugeln liegt eine Spannung U_{12} =50kV. Die Anordnung befindet sich im Vakuum.

a) Welche elektrische Feldstärke erzeugt Kugel 1 am Ort der Kugel 2?
b) Wie groß ist die Anziehungskraft F_{12} zwischen den Kugeln?
c) Durch die Anziehungskraft wird die Aufhängung der Kugel 2 um den Winkel α ausgelenkt. Wie groß ist der Winkel α, wenn die Kugel 2 eine Masse von $m = 10^{-3}$ kg hat? (Die Auslenkung der Kugel ist so gering, dass die Änderung der Feldstärke vernachlässigt werden kann).



Aufgabe 3.9

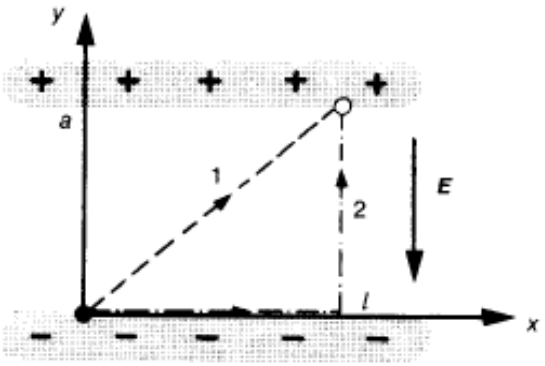
Gegeben ist die Ladungsdichte in Abhängigkeit vom Ort: $\dfrac{\rho}{\frac{pAs}{cm^3}} = \dfrac{3}{1+\left(\frac{r}{cm}\right)^3}$

Berechnen Sie die Verläufe der elektrischen Flussdichte $D(r)$ und der elektrischen Feldstärke $E(r)$, wenn die Permittivitätszahl ε_r = 1 ist ($\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ As/Vm).

Aufgabe 3.10

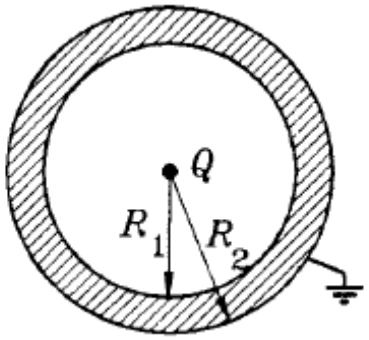
In der in der Skizze dargestellten Zweiplattenanordnung herrsche homogen die elektrische Feldstärke

$$\boldsymbol{E}_0 = \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -10 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ kV/cm.}$$



Berechnen Sie die Arbeit, die geleistet werden muss, um eine Ladung Q = 1 µC vom Punkt P_1 *(0, 0, 0)* zum Punkt P_2 *(l, a, 0)* zu bewegen. Geben Sie die Spannung zwischen den beiden Platten an.

Aufgabe 3.11



Eine positive Punktladung Q ist konzentrisch von einer metallenen Hohlkugel (Innenradius R_1, Außenradius R_2) umgeben.

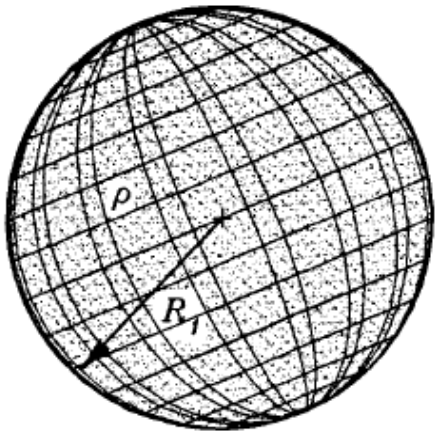
a) Die metallene Hohlkugel sei geerdet. Das Potenzial der Hohlkugel sei Null.
Geben Sie den Verlauf der elektrischen Feldstärke E und des elektrischen Potenzials φ im ganzen Bereich ($0 < r < \infty$) an. Skizzieren Sie die Verläufe $E = f(r)$ und $\varphi = f(r)$.

b) Die Erdung der metallenen Hohlkugel werde aufgehoben. Was ändert sich? Geben Sie für diesen Fall ebenfalls den Verlauf der elektrischen Feldstärke $E = f(r)$ und des elektrischen Potenzials $\varphi = f(r)$ an.

c) Im Gegensatz zum Aufgabenteil a) sei die Erdung der metallenen Hohlkugel von Anfang an nicht vorhanden. Geben Sie für diesen Fall ebenfalls den Verlauf der elektrischen Feldstärke und des elektrischen Potenzials an. Skizzieren Sie ebenfalls die Verläufe $E = f(r)$ und $\varphi = f(r)$ an. (Hier wählt man sinnvollerweise das Potenzial $\varphi(r \rightarrow \infty) = 0$)

Aufgabe 3.12

Eine Ladungswolke ist kugelförmig (Radius R_1) und enthält homogen (gleichmäßig) verteilt eine positive Gesamtladung Q. Im ganzen Raum gilt: $\varepsilon = \varepsilon_0$.



a) Wie groß ist die Raumladungsdichte ρ der Ladungswolke? Es wird ein Ausdruck $\rho = f(R, R_1, Q)$ gesucht, der nur die Variable R und die gegebenen Größen R_1 und Q enthält.

b) Bestimmen Sie den Verlauf der elektrischen Feldstärke $E = f(R)$ im ganzen Raum (0 < R < oo). Skizzieren Sie den Verlauf.

c) Bestimmen und skizzieren Sie nun auch den Verlauf des Potenzials $\varphi = f(R)$ im ganzen Raum (0 < R < oo).

Hinweis: φ(R -> oo) = 0

Aufgabe 3.13

Die Elektroden eines Plattenkondensators haben einen Abstand von 0,2 mm. Zwischen den Elektroden liegt eine Spannung von 100 V. Die Permittivitätszahl ist $\varepsilon_r = 2$.

a) Wie groß ist die elektrische Feldstärke zwischen den Elektroden?
b) Wie groß ist die elektrische Flussdichte?
c) Wie viel Ladung befindet sich auf jedem cm^2 der Plattenoberfläche?
d) Wie groß ist die Kapazität bezogen auf die Plattenoberfläche?

Aufgabe 3.14

Ein Koaxialkabel (Innen- und Außenleiter sind koaxiale Zylinder) hat einen Innenleiter von 1 cm Durchmesser und einem Außenleiter von 2,6 cm Durchmesser. Dieses Kabel wird mit einer Spannung von 8,6 kV betrieben.

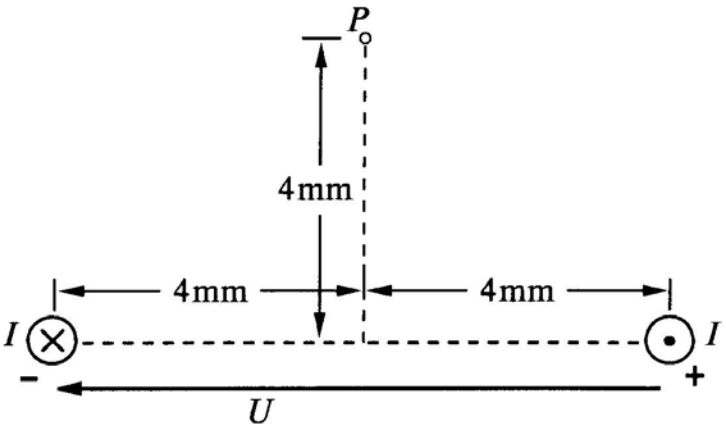
a) Wie groß ist die elektrische Feldstärke am Innenleiter?
b) Wie groß ist die elektrische Feldstärke am Außenleiter?

Aufgabe 3.15

Zwei 100 m lange Kupferdrähte mit ca. 4 mm^2 Querschnitt werden parallel zueinander in einem Abstand von 1 m durch die Luft geführt. Infolge einer zwischen den beiden Drähten bestehenden Spannung U weist der eine Draht die elektrische Ladung $Q = 1{,}25\ \mu C$ und der andere die Ladung $-Q = -1{,}25\ \mu C$ auf.

a) Wie groß ist die elektrische Flussdichte genau in der Mitte zwischen den beiden Drähten?
b) Wie groß ist an dieser Stelle die elektrische Feldstärke? Geben Sie die Richtung an.
c) Wie groß ist die Kraft, die die beiden Drähte aufeinander ausüben? Ziehen sich die Drähte gegenseitig an, oder stoßen sie sich ab?

Aufgabe 3.16



Die Kapazität einer geraden, langen Doppelleitung beträgt, bezogen auf ihre Länge $\frac{C}{l} = 5\frac{pF}{m}$.

Die Doppelleitung hat einen Leiterabstand von 8 mm und verbindet eine Gleichspannungsquelle mit einem Verbraucher. Wie in der nebenstehenden Schnittskizze dargestellt, fließt der Strom *I* in dem linken Leiter in die Zeichenebene hinein und in dem rechten wieder heraus. Der linke Leiter führt negatives Potenzial, der rechte positives. Zwischen den beiden Leitern besteht an der betrachteten Stelle eine Spannung *U* = 30 V. Die Permittivitätszahl ist 1.

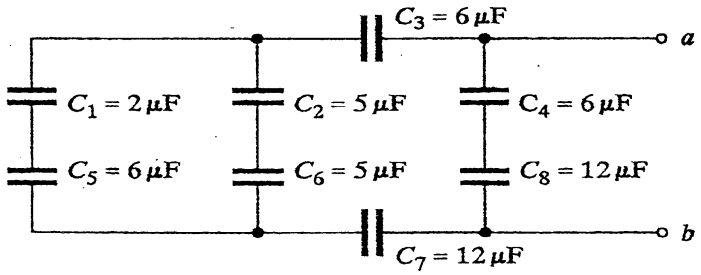
a) Liegt die Spannungsquelle vor oder hinter der Zeichenebene?
b) Wie groß ist die pro Länge gespeicherte Ladung *Q/l*?
c) Berechnen Sie speziell für den Punkt *P* die elektrische Flussdichte *D* und die elektrische Feldstärke *E*.
d) Tragen Sie die Richtung der Vektoren $\vec{D}$ und $\vec{E}$ im Punkte *P* in die Schnittskizze ein.

Aufgabe 3.17

Ein Kugelkondensator besteht aus zwei konzentrischen Kugeln. Die Außenkugel hat einen Radius *r* = 80 cm.

a) Wie groß muss der Radius r_i der Innenkugel gewählt werden, damit bei konstanter Spannung zwischen den Elektroden die Feldstärke auf der Innenkugel $E(r_i)$ minimal wird?
b) Um welchen Faktor wird im Vergleich zu a) die Feldstärke auf der Innenkugel größer, wenn bei gleicher Spannung wie im Fall a) r_i = 20 cm gewählt wird?
c) Um welchen Faktor wird im Vergleich zu a) die Feldstärke auf der Innenkugel größer, wenn bei gleicher Ladung wie im Fall a) r_i = 20 cm gewählt wird?
d) Wie verhält sich die Kapazität im Fall a) zu der Kapazität in den Fällen b) und c)?

Aufgabe 3.18



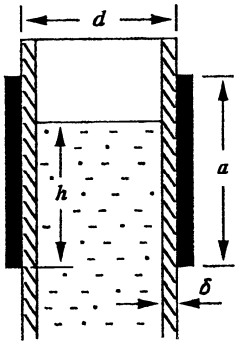
Wie groß sind die Spannungen an den einzelnen Kapazitäten C_1 … C_8, wenn an die Klemmen a, b eine Spannung von 12 V angelegt wird?

Aufgabe 3.19

Ein Zylinderkondensator mit den Abmessungen l = 10 cm, r_i = 0,5 cm, r_a = 1 cm ist mit Öl (ε_r = 2) gefüllt. Der Kondensator wird auf eine Spannung von 10 V aufgeladen und von der Spannungsquelle abgetrennt. Randfelder sollen vernachlässigt werden.

a) Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?
b) Wie groß ist sein Energieinhalt?
c) Der Innenzylinder wird in axialer Richtung zur Hälfte aus dem Außenzylinder herausgezogen. Wie groß ist der Energieinhalt jetzt?
d) Woher stammt die Energiedifferenz?
e) Wie groß ist im Fall c) die Klemmenspannung des Kondensators?

Aufgabe 3.20



In einer Füllstandsmesseinrichtung gemäß nebenstehender Skizze befindet sich zwischen zwei quadratischen Elektroden mit der Kantenlänge a = 10 cm und dem Abstand d = 2 cm ein Gefäß, das aus einem Material mit der Permittivitätszahl ε_{r1} = 2 gefertigt ist. Die Wandstärke des Gefäßes beträgt δ = 2 mm. Randfelder sollen vernachlässigt werden.

Die elektrische Feldkonstante hat den Wert: $\varepsilon_0 = 8{,}85 * 10^{-12}$ As/Vm

a) Wie groß ist die Kapazität der Anordnung, wenn das Gefäß leer ist?
b) Wie groß ist die Kapazität, wenn das Gefäß vollständig mit Wasser (ε_{r2} = 80) gefüllt ist?
c) Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Füllhöhe h und der Kapazität C?

Aufgabe 3.21

Ein Plattenkondensator hat einen Plattenabstand d = 1 mm. Die Ladespannung beträgt U = 1 kV.

a) Wie groß ist der Druck auf die Elektroden, und wie groß ist die Energiedichte, wenn sich der Kondensator im Ölbad (ε_r = 2) befindet?
b) Wie groß sind Druck und Energiedichte, wenn der Kondensator als Luftkondensator geladen, dann von der Quelle getrennt und mit Öl aufgefüllt wird?

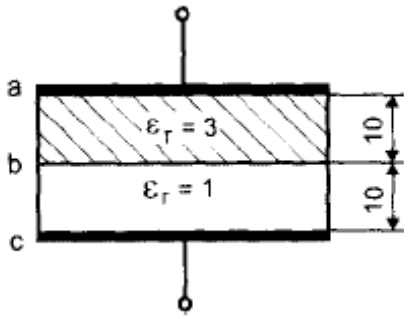
Aufgabe 3.22

Eine Kugelelektrode befindet sich im Zentrum einer Hohlkugel, deren elektrisch leitende Innenfläche einen Radius r_a = 5 m hat. Aufgrund besonders günstiger Verhältnisse hat die Durchschlagsfestigkeit der Luft in der Hohlkugel den Wert E = 30 kV/cm.

a) Innerhalb welcher Grenzen muss der Radius r_i der Kugelelektrode bleiben, wenn mit einer Spannung von U = 712,5 kV gearbeitet werden soll und die Durchschlagsfeldstärke der Luft an keiner Stelle überschritten werden darf?
b) Wie groß ist die Kapazität der Anordnung, wenn r_i = 25 cm ist?
c) Wie groß ist in diesem Fall die Ladung auf der Kugelelektrode bei U = 712,5 kV?
d) Wie groß ist die gespeicherte Energie?
e) Welchen Wert hat die maximale Energiedichte?

Aufgabe 3.23

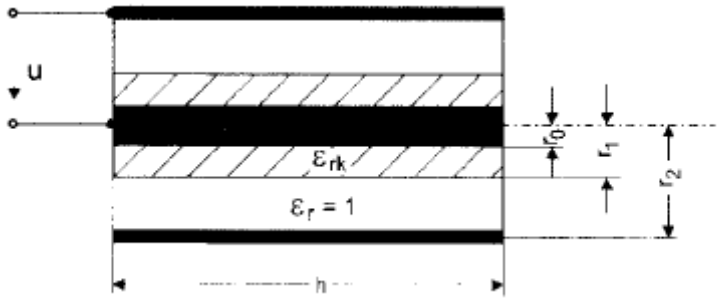
Ein Plattenkondensator besteht aus drei dünnen Metallplatten der Größe A = 100 cm^2. Er wird auf eine Spannung U = 1000 V aufgeladen und danach von der Spannungsquelle getrennt.



a) Wie groß ist die Gesamtkapazität der Anordnung und die Spannung U_{ab} zwischen den Platten *a* und *b*?
b) Der Abstand der Platten *b* und *c* wird durch Verschieben der Platte *c* auf 20 mm vergrößert. Wie groß sind die Spannungen U_{ab}, U_{bc} und U_{ac}?
c) Die Energie der Gesamtanordnung vor und nach dem Verschieben der Platte *c* ist zu berechnen. Wie lässt sich ein eventueller Differenzbetrag der Energie erklären?
d) Nach dem Verschieben der Platte *c* wird zwischen die Platten *b* und *c* eine 10 mm dicke, planparallele Scheibe eingeführt. Wie groß muss die Permittivitätszahl ε_r der Scheibe sein, damit die Spannung U_{ac} den Wert 1150 V annimmt?

Aufgabe 3.24

Um die innere Metallelektrode einer zylindrischen Anordnung liegt konzentrisch eine Kunststoffschicht mit der relativen Permittivitätszahl ε_{rk}. Der Raum bis zur äußeren Elektrode ist mit Luft ($\varepsilon_r = 1$) gefüllt. An der Anordnung liegt die Spannung U.



Für $r_1 = 1{,}6\ r_0$, $r_2 = 4\ r_0$ und $\varepsilon_{rk} = 3$ sind folgende Größen allgemein zu bestimmen:

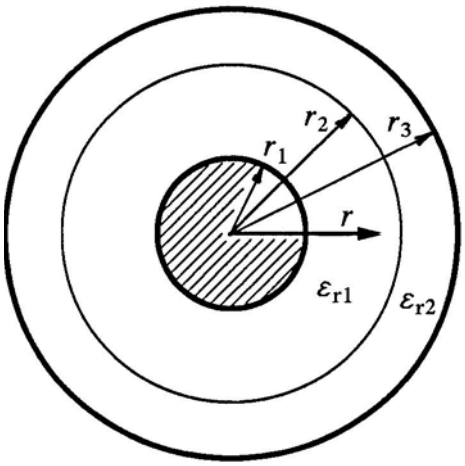
a) Die Gesamtkapazität C der Anordnung.
b) Der Verlauf der elektrischen Feldstärke in der normierten Form $E(r/r_0)$.
c) Für $U = 3219$ V und $r_0 = 5$ mm ist der Verlauf $E(r/r_0)$ zu berechnen und maßstäblich zu skizzieren
d) Es ist die Spannung U_{max} zu berechnen, bei der an keiner Stelle der Anordnung die Feldstärke $E_{max} = 600$ V/mm überschritten wird.

Aufgabe 3.25

Zwischen den beiden Elektroden des dargestellten Kugelkondensators befinden sich zwei verschiedene Dielektrika mit den Permittivitätszahlen $\varepsilon_{r1} = 4{,}5$ und $\varepsilon_{r2} = 2{,}5$.

Weitere Zahlenwerte:
$r_1 = 4$ cm; $r_2 = 9$ cm; $r_3 = 12$ cm.

Der Kugelkondensator ist auf $Q = 5$ nC aufgeladen. Auf der Grenzfläche zwischen den beiden Dielektrika befinden sich **keine** Ladungen.



a) Geben Sie die elektrische Feldstärke E in Abhängigkeit von der Ortskoordinate r an. Stellen Sie den Zusammenhang mithilfe von zugeschnittenen Größengleichungen dar, aus denen sich die Feldstärke E in kV/m ergibt, wenn man r in cm einsetzt.
b) Welche Spannung besteht zwischen der Innenelektrode und der Grenzfläche? Wie groß ist die Spannung zwischen Grenzfläche und Außenelektrode?

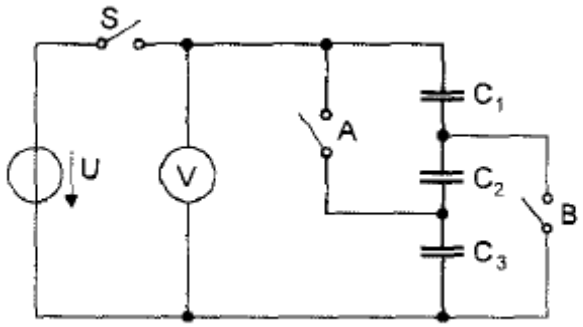
Aufgabe 3.26

Die Kondensatoren in der nebenstehenden Schaltung werden bei geöffneten Schaltern A und B durch die Spannungsquelle U = 275 V aufgeladen. Nach vollständiger Aufladung wird die Speisespannung durch Öffnen des Schalters S abgetrennt.

C_1 = 4 C C_2 =5 C C_3 = l0 C

Welche Spannungen zeigt das Instrument nach Schließung folgender Schalter an:

a) Schalter A
b) zusätzlich Schalter B



Elektrisches Strömungsfeld

Aufgabe 4.1

In einem homogenen elektrischen Strömungsfeld liegt eine Fläche A = 100 cm^2, deren Flächenvektor $\vec{A}$ mit dem Stromdichtevektor $\vec{J}$ den Winkel α einschließt. Wie groß ist der Strom I durch die Fläche A, wenn J = 2 A/cm^2 ist und für α gilt:

a) α = 0° b) α = 60° c) α = 90°?

Aufgabe 4.2

Ein inhomogenes elektrisches Strömungsfeld wird durch den Vektor $\vec{J} = \left(0,\, 0,\, \frac{x}{cm}\right)\frac{A}{cm^2}$ beschrieben. Wie groß ist der Strom durch das Quadrat mit den Eckpunkten:

P_1 = (2, 1, 0) cm ; P_2 = (4, 1, 0) cm ; P_3 = (4, 3, 0) cm ; P_4 = (2, 3, 0) cm?

Aufgabe 4.3

Ein elektrisches Strömungsfeld verlaufe nach der Funktion $\vec{J} = \left(1,\, \frac{-x}{4cm},\, 0\right)\frac{A}{cm^2}$.

a) Stellen Sie in der Ebene z = 0 im Bereich $|x| \le 4\,cm, |y| \le 2\,cm$ für alle Punkte im Rasterabstand 1 cm jeweils den Vektor $\vec{J}$ dar.
b) Stellen Sie das Strömungsfeld durch Skizzieren der Stromlinien dar.
c) Berechnen Sie den Strom durch das Quadrat mit den Eckpunkten P_1, P_2, P_3, P_4.
d) Berechnen Sie den Strom durch das Quadrat mit den Eckpunkten P_3, P_4, P_5, P_6.

Ströme in Richtung der positiven x- und y-Achse sollen als positiv gelten. Die Koordinaten der Punkte sind:

P_1 = (4, -2, -2) cm; P_2 = (4, -2, 2) cm; P_3 = (4, 2, 2) cm;
P_4 = (4, 2, -2) cm; P_5 = (0, 2, -2) cm; P_6 = (0, 2, 2) cm.

Aufgabe 4.4

Ein ebenes Potenzialfeld verläuft nach der Funktion: $\frac{\varphi}{kV} = -\ln\left\{\sqrt{\left(\frac{x}{cm}\right)^2 + \left(\frac{y}{cm}\right)^2}\right\}$

a) Zeichnen Sie dieses Potenzialfeld im Intervall 0,3 cm<r<7,5 cm mit $r = \sqrt{x^2 + y^2}$.
b) Berechnen Sie das zu diesem Potenzialfeld gehörende elektrische Feld $\vec{E}$ und skizzieren Sie das Feld.
c) Wie groß ist die Spannung zwischen den Punkten P_1 = (2, 2) cm und P_2 = (5, 2) cm?

Aufgabe 4.5

Berechnen Sie die Feldstärke in einer stromdurchflossenen Kupferleitung von 2,76 mm Durchmesser bei einer Strombelastung von I = 20 A ($\kappa_{Cu} = 56\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$).

Aufgabe 4.6

Ein Hohlzylinder aus Vulkanfiber mit $\rho = 10 \cdot 10^{12}\,\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ und der Länge l = 40 mm, mit einem Innenradius r_i = 10 mm und einem Außenradius r_a = 20 mm wird von innen nach außen von einem Strom I = 10 μA durchflossen. Berechnen Sie die Stromdichte und die elektrische Feldstärke bei einem Radius von 18 mm.

Aufgabe 4.7

In einem homogenen elektrischen Feld beträgt die elektrische Feldstärke E = 12 V/cm. Auf einer Feldlinie liegen im Abstand d = 5 cm die Punkte A und B. Das Potenzial des Punktes B ist größer als das des Punktes A.

a) Welche Potenziale φ_A und φ_B besitzen die Punkte A und B, wenn der Potenzialbezugspunkt C vom Punkt A den Abstand a = 4 cm und vom Punkt B den Abstand b = 3 cm hat?
b) Wie groß sind die drei Spannungen U_{AB}, U_{BC} und U_{CA}?

Aufgabe 4.8

Ein Stahl-Aluminium-Seil für eine Freileitung hat einen Eisenquerschnitt von 8 mm^2 und einen Aluminiumquerschnitt von 48,3 mm^2. Durch das Seil fließt ein Strom von 170 A. Die spezifischen Widerstände für Stahl und Aluminium sind ρ_{St} = 0,14 Ωmm^2/m und ρ_{Al} = 0,029 Ωmm^2/m. Wie groß sind die elektrischen Feldstärken und die Stromdichten in Aluminium und in Stahl?

Aufgabe 4.9

Zum Zwecke der einfacheren Rechnung wird die Erdungsanlage eines Hochspannungs-Leitungsmastes als eine metallene, unendlich gut leitende Halbkugel mit dem Radius r_i = 7,5 m angenommen. Für den spezifischen Widerstand des umgebenden Erdreichs soll mit dem Wert ρ = 118 Ωm gerechnet werden.

a) Wie groß ist der Erdungswiderstand des Mastes?
b) Welche Spannungsverteilung ergibt sich an der Erdoberfläche in der Umgebung des Mastes, wenn er von einem Blitz mit der Stromstärke 5 kA getroffen wird?
c) In welcher Entfernung vom Mastfußpunkt ist das Potenzial um 4 kV, 8 kV, 12 kV abgefallen?

d) Welche Spannung hat der Mastfußpunkt gegen einen unendlich weit entfernten Punkt?
e) Wie groß ist der Höchstwert der Schrittspannung bei einer Schrittweite von 1 m?

Aufgabe 4.10

Berechnen Sie allgemein den ohmschen Widerstand eines zu einem Halbkreis geformten Leiters mit quadratischem Querschnitt. Gegeben sind der innere Radius r_i und der äußere Radius r_a des Halbkreisrings sowie die Leitfähigkeit κ.

Aufgabe 4.11

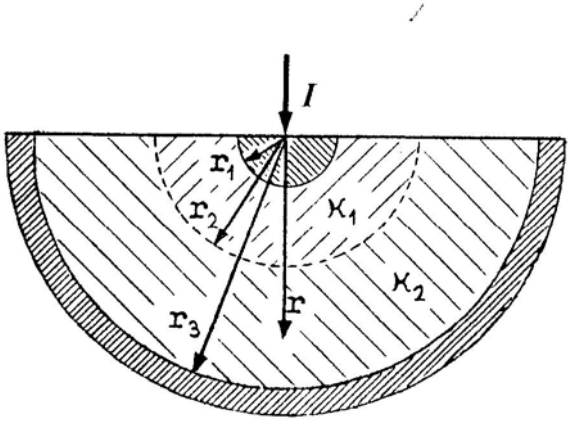
Ein zylindrisches Rohr aus Hartpapier (spezifischer Widerstand ρ) hat den äußeren Durchmesser *d*, die Wandstärke δ und die Länge *l*.

a) Die beiden Stirnflächen sind mit je einer Metallschicht belegt. Wie groß ist der Widerstand zwischen den beiden Metallschichten?
b) Jetzt sind die Innenfläche und die Außenfläche (mit Ausnahme der beiden Stirnflächen) mit je einer Metallschicht belegt. Wie groß ist der Widerstand zwischen diesen beiden Metallschichten?
c) An welcher Stelle tritt im Falle b) die größte Leistungsdichte auf? Wie groß ist diese, wenn zwischen den beiden Metallschichten die Spannung *U* liegt?

Die Ergebnisse sollen nur die angegebenen Größen ρ, *d*, δ, *l* und *U* enthalten.

Aufgabe 4.12

Der Raum zwischen zwei konzentrischen, halbkugelförmigen Elektroden wird gemäß nebenstehender Skizze von zwei Stoffen mit unterschiedlicher Leitfähigkeit ausgefüllt. Von der Innenelektrode zur Außenelektrode fließt der Strom I.



Die folgenden Größen sind bekannt: l, r_1, r_2, r_3, κ_1, κ_2

Berechnen Sie ausschließlich unter Verwendung dieser Größen:

a) die Stromdichte *J* in Abhängigkeit von der Ortskoordinate *r*;
b) die elektrische Feldstärke *E* in Abhängigkeit von der Ortskoordinate *r*;
c) die Spannung U zwischen den beiden Elektroden;
d) den elektrischen Widerstand *R* zwischen den beiden Elektroden.

Wechselstromkreis

Aufgabe 5.1

Gegeben ist eine sinusförmige Wechselspannung mit dem Scheitelwert $\hat{u}$ = 500 V und der Frequenz f = 50 Hz. Zur Zeit t = 0 ist der Augenblickswert $u(t = 0)$ = 130 V (ansteigend).

a) Zeichnen Sie ein Zeitlinienbild der Wechselspannung.
b) Beschreiben Sie die Wechselspannung durch eine Gleichung.
c) Wie groß ist der Nullphasenwinkel φ?
d) Zu welcher Zeit t_1 erreicht die Spannung erstmals ihren Maximalwert?
e) Zu welcher Zeit t_2 erreicht die Spannung erstmals den Wert -400 V?

Aufgabe 5.2

Gegeben ist eine Wechselspannung mit der Frequenz f = 250 kHz. Die positiven und die negativen Halbschwingungen verlaufen symmetrisch und unterscheiden sich nur durch das Vorzeichen. Die positive Halbschwingung während des Zeitraums $-\mu s \leq t \leq 1\ \mu s$ wird durch folgende Funktion beschrieben:

$$\frac{u}{V} = \left(\frac{t}{\mu s}\right)^2 - \left(\frac{t}{\mu s}\right)^4$$

Skizzieren Sie den Verlauf der Spannung und berechnen Sie Form- und Scheitelfaktor.

Aufgabe 5.3

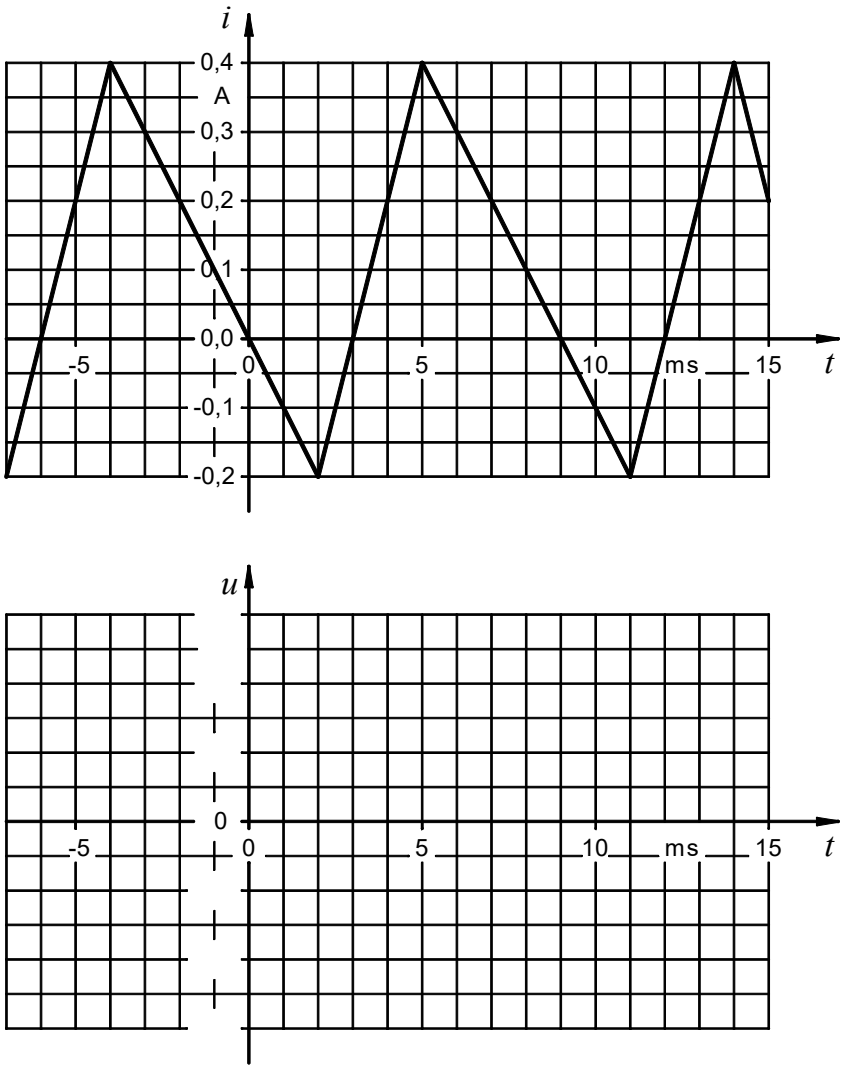
Eine Wechselspannung verläuft nach der Funktion $u = 8V \cdot \cos(\omega t) \cdot \sin(2\omega t)$ mit $\omega = 2000 \cdot \pi\, s^{-1}$.

a) Welche Frequenzen sind in dem Signal enthalten?
b) Welche Effektivwerte haben die beiden sinusförmigen Spektralanteile.
c) Wie groß ist der Effektivwert des Gesamtsignals?
d) Wie groß ist der Gleichrichtwert des Gesamtsignals.
e) Geben Sie den Formfaktor an.

Anmerkung: $\sin\alpha \cdot \sin\beta = \frac{1}{2}\{\cos(\alpha-\beta) - \cos(\alpha+\beta)\}$ $\sin\alpha \cdot \cos\beta = \frac{1}{2}\{\sin(\alpha-\beta) + \sin(\alpha+\beta)\}$

Aufgabe 5.4

Ein Strom $i(t)$ mit der in der Zeichnung dargestellten Zeitfunktion fließt durch eine Induktivität L = 150 mH.



a) Wie groß ist die Frequenz des Stroms?
b) Bestimmen Sie die Gleichstrom-Komponente $i_=$ des Stroms.
c) Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf der Spannung *u(t)* an der Induktivität in das untere Diagramm. Die Spannungsachse muss dazu vorher noch skaliert werden.
d) Berechnen Sie den Effektivwert der Spannung in c).

Aufgabe 5.5

Eine Reihenschaltung aus R = 100 Ω und L = 500 mH wird von einem sinusförmigen Wechselstrom mit $\hat{\imath}$ = 350 mA und f = 50 Hz durchflossen.

a) Ermitteln Sie die zeitlichen Verläufe der Spannungen $u_R(t)$ und $u_L(t)$.
b) Stellen Sie die Funktionen $u_R(t)$ und $u_L(t)$ in einem Zeitlinienbild dar und ermitteln Sie grafisch den Verlauf der Gesamtspannung *u(t).*
c) Stellen Sie die Spannungen $\hat{u}_R$ und $\hat{u}_L$ in einem Scheitelwertzeigerbild dar und ermitteln Sie grafisch den Scheitelwert $\hat{u}$ und die Phasenlage der Gesamtspannung u.
d) Überprüfen Sie die Ergebnisse durch eine Rechnung.

Aufgabe 5.6

Ein verlustloser Kondensator liegt an einer sinusförmigen Wechselspannung der Frequenz f = 50 Hz. Mit zwei Dreheiseninstrumenten werden eine Spannung von 220 V und ein Strom von 11,75 mA gemessen.

a) Wie groß muss die Spannungsfestigkeit des Kondensators sein, wenn diese das Zweifache des Maximalspannungswertes betragen soll?
b) Wie groß sind der Scheinwiderstand und die Kapazität des Kondensators?

Aufgabe 5.7

Die Reihenersatzschaltung einer Spule besteht aus dem ohmschen Widerstand R = 65 Ω und der Induktivität L = 500 mH. Die Spule liegt an einer sinusförmigen Wechselspannung U = 221 V mit der Frequenz f = 50 Hz.

a) Geben Sie den komplexen Widerstand der Spule in der Exponentialform an.
b) Wie groß sind der Strom und seine Phasenverschiebung gegenüber der Spannung?

Aufgabe 5.8

Eine Spule liegt in Reihe mit einem Kondensator der Kapazität C = 48 700 pF an einer Wechselspannung U = 48,3 V, f = 2,4 kHz. Es fließt ein Strom I = 200 mA; der Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung beträgt $\varphi_i - \varphi_u = 40°$.
Wie groß sind die Elemente der Reihenersatzschaltung der Spule, wenn der Kondensator als verlustfrei angenommen wird?

Aufgabe 5.9

Die Reihenschaltung eines ohmschen Widerstandes R = 10 Ω, einer Induktivität L = 68,12 mH und einer Kapazität C = 229 µF wird von einem Wechselstrom I = 8,8 A der Frequenz f = 50 Hz durchflossen.

a) Berechnen Sie den Blindwiderstand der Induktivität, den Blindwiderstand der Kapazität, den gesamten Blindwiderstand und den komplexen Widerstand der Reihenschaltung und stellen Sie diese Operatoren in einem maßstäblichen Zeigerbild dar.
b) Ermitteln Sie Schein-, Wirk-, und Blindleitwert der Schaltung und zeichnen Sie das Zeigerdiagramm für den komplexen Leitwert.
c) Berechnen Sie die Spannungen an den drei Bauelementen und die Gesamtspannung. Zeichnen Sie das Strom – Spannungs – Zeigerdiagramm.

Aufgabe 5.10

Gegeben ist die Reihenschaltung einer Spule mit einem Kondensator. Die Spule kann als Reihenschaltung von R = 500 mΩ und L = 1,5 µH betrachtet werden. Der

Kondensator ist praktisch verlustfrei und kann als reine Kapazität C = 4,43 µF angesehen werden. An der Spule wird bei der Frequenz f = 100 kHz eine Spannung U_{sp} = 2 mV gemessen.

a) Wie groß ist die an der Reihenschaltung liegende Gesamtspannung?
b) Wie groß ist die Phasenverschiebung der Gesamtspannung gegenüber der an der Spule gemessenen Spannung?

Aufgabe 5.11

Eine Parallelschaltung bestehend aus dem ohmschen Widerstand R = 115,5 Ω und der Induktivität L = 636 mH liegt an einer Wechselspannung U = 10 V. Die Frequenz ist f = 50 Hz.

a) Wie groß ist der komplexe Widerstand der Anordnung?
b) Welchen Strom nimmt die Schaltung auf?
c) Zeichnen Sie ein maßstäbliches Strom – Spannungs – Zeigerdiagramm.

Aufgabe 5.12

An der Parallelschaltung eines ohmschen Widerstandes R, einer Kapazität C und einer Induktivität L = 12 mH liegt bei einer Frequenz f = 398 Hz eine Spannung U = 300 mV. Die Parallelschaltung nimmt dabei einen Strom von 10 mA auf.
Wie groß sind R und C, wenn die Spannung dem Strom um den Winkel $\varphi_u - \varphi_i$ = 41,4° vorauseilt?

Aufgabe 5.13

Gegeben ist eine Spule, deren Verhalten im Frequenzbereich von 0 bis 50 Hz durch eine RL - Reihenschaltung richtig beschrieben wird. Bei Anschluss an eine Gleichspannung von 220 V nimmt diese Spule einen Strom $I_{=}$ = 10 A auf. Legt man an dieselbe Spule eine Wechselspannung von 220 V mit der Frequenz f = 50 Hz, dann fließt nur ein Strom I = 2 A. Bestimmen sie für diese Spule:

a) den Wirkwiderstand
b) den Scheinwiderstand bei 50 Hz
c) den induktiven Blindwiderstand
d) die Induktivität in der Reihenersatzschaltung
e) die Phasenverschiebung der Spannung gegenüber dem Strom
f) die Spannungen an Wirkwiderstand und Induktivität in der Reihenersatzschaltung
g) die Elemente der äquivalenten Parallelersatzschaltung für f = 50 Hz
h) Zeichnen Sie für diese Spule das vollständige, maßstabsgerechte Zeigerbild mit allen Spannungen und Strömen, die in der Reihen- und in der Parallelersatzschaltung auftreten.

Aufgabe 5.14

Eine Induktivität L = 69,7 mH und eine Kapazität C = 0,503 µF liegen in Reihe mit einem ohmschen Widerstand R an einer Wechselspannung U = 80 V.
Berechnen Sie für R_1 = 148,9 Ω und für R_2 = 34,79 Ω:

a) die Resonanzfrequenz, den Kennwiderstand und die Güte
b) die Bandbreite des Schwingkreises
c) den Strom bei Resonanzfrequenz
d) die Spannungen an Induktivität und Kapazität im Resonanzfall

Aufgabe 5.15

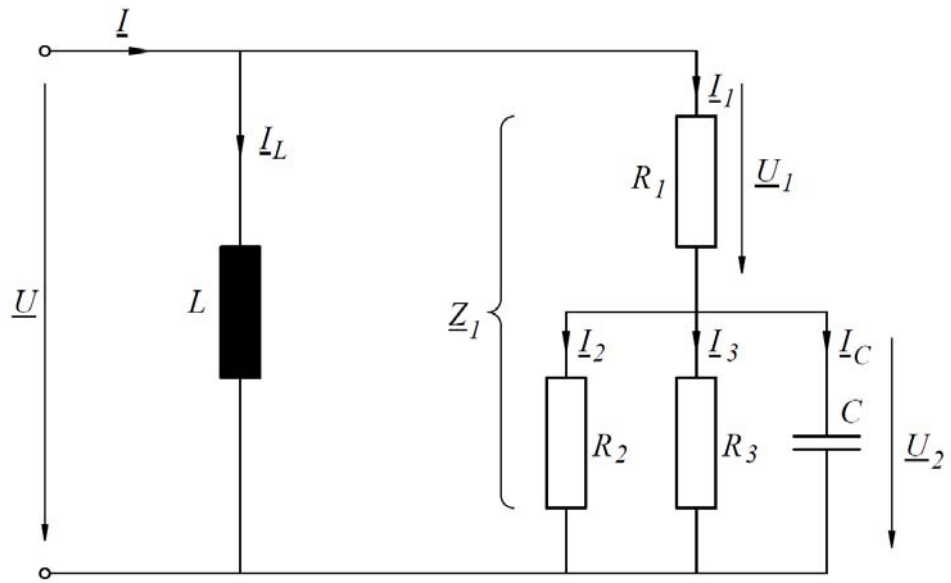
An einem Schwingkreis wurde bei konstanter Spannung folgende Resonanzkurve gemessen:

$\frac{f}{MHz}$	0,7	0,8	0,9	0,95	1,0	1,05	1,1	1,2	1,3	1,4
$\frac{I}{mA}$	3,18	4,87	8,25	10,68	12,0	10,78	8,68	5,75	4,23	3,36

a) Handelt es sich um einen Reihen- oder um einen Parallelschwingkreis?
b) Wie groß ist die Güte des Schwingkreises?

Aufgabe 5.16

Gegeben ist die folgende Schaltung:



U = 40 V $\quad R_1$ = 6 Ω
f = 2,5 kHz $\quad R_2$ = 6,3 Ω
C = 16,2 µF $\quad R_3$ = 5,4 Ω

a) Berechnen Sie den komplexen Widerstand $\underline{Z}_1$, der aus R_1, R_2, R_3 und C gebildet wird, und geben Sie ihn in der Exponentialform an.
b) Bestimmen Sie die Spannungen $\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$ und die Ströme $\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$, $\underline{I}_3$, $\underline{I}_C$ nach Betrag und Phase. Der Nullphasenwinkel der Gesamt-spannung $\underline{U}$ sei $\varphi_u = 0$.
c) Wie groß sind Schein-, Wirk- und Blindleistung an $\underline{Z}_1$?
d) Welchen Wert muss die Induktivität L haben, wenn die Gesamt-schaltung rein ohmsches Verhalten zeigen soll?
e) Wie groß ist der Widerstand der Gesamtschaltung dann?

Aufgabe 5.17

Eine Anordnung zur dielektrischen Trocknung von Holz (Kondensator mit auszutrocknender Holzprobe zwischen den Platten) nimmt bei einer Frequenz von 1,06 MHz, einer Spannung von 4 kV und einem Strom von 2,6 A eine Wirkleistung von 6,25 kW auf.

a) Wie groß sind die Kapazität und der Parallelersatzwiderstand der Trocknungsanlage?
b) Welche Größe muss eine parallelgeschaltete Induktivität haben, damit Resonanz auftritt?
c) Berechnen Sie Wirk- und Blindstrom der Trocknungsanlage, und zeichnen Sie ein vollständiges Strom-Spannungs-Zeigerbild.
d) Welche Größe muss eine in Reihe zu der Trocknungsanlage geschaltete Induktivität haben, wenn durch sie die Blindleistung der Trocknungsanlage vollständig kompensiert werden soll?
e) Wie groß sind jetzt Strom und Spannung an der Trocknungsanlage, und welche Wirkleistung nimmt sie auf?
f) Zeichnen Sie auch für diesen Fall ein vollständiges Strom-Spannungs-Zeigerbild.

Aufgaben 5.18

Ein Lötkolben hat bei einer Netzspannung U = 230 V (f = 50 Hz) eine Nennleistung von P_N = 100 W. Um eine Überhitzung zu vermeiden, wird die Spannung während der Lötpausen mit Hilfe eines Vorwiderstandes auf 161 V reduziert.

a) Wie groß ist der Vorwiderstand?
b) Welche Leistung nehmen Lötkolben und Vorwiderstand zusammen aus dem Netz auf?
c) Der Vorwiderstand soll nun gegen einen Kondensator (verlustfrei) ausgetauscht werden. Welche Kapazität muss dieser Kondensator haben, wenn am Lötkolben weiterhin eine Spannung von 161 V liegen soll?
d) Welche Wirk-, Blind- und Scheinleistung nehmen Lötkolben und Reihenkondensator zusammen aus dem Netz auf?

Aufgabe 5.19

Eine Leuchtstofflampe soll an einem Wechselspannungsnetz (U = 230 V, f = 50 Hz) betrieben werden. Zur Stabilisierung des Arbeitspunktes wird die Leuchtstofflampe mit einer Drosselspule in Reihe geschaltet. Durch diese Reihenschaltung fließt der Strom von I = 0,4 A.
Die Leistung der Leuchtstofflampe beträgt 40 W; die Verlustleistung der Spule beträgt 10,6 W. An der Leuchtstofflampe sind Strom und Spannung in Phase.

a) Berechnen Sie Blind- und Scheinleistung sowie den Leistungsfaktor der Reihenschaltung.
b) Wie groß sind die Induktivität und der Wicklungswiderstand der Drosselspule?
c) Wie groß sind die Brennspannung an der Leuchtstofflampe und die Spannung an der Spule?
d) Zu der Reihenschaltung aus Leuchtstofflampe und Drosselspule wird jetzt zusätzlich ein (verlustloser) Kondensator in Reihe geschaltet, dessen Kapazität so groß ist, dass die Gesamtschaltung ohmsch-kapazitiv wird. Wie groß muss diese Kapazität sein, wenn der unter a) berechnete Leistungsfaktor erhalten bleiben soll?
e) Wie groß ist die Spannung am Kondensator?
f) Eine Reihenschaltung aus Leuchtstofflampe und Drossel (ohne Kondensator) wird parallel zu der unter d) beschriebenen Anordnung (Leuchtstofflampe, Drosselspule und Kondensator) geschaltet. Berechnen Sie den Strom und den Leistungsfaktor der so entstandenen Duo-Schaltung.
g) Wie groß ist die Phasenverschiebung zwischen den Strömen der beiden Leuchtstofflampen?
h) Zeichnen Sie ein vollständiges Strom-Spannungs-Zeigerdiagramm.

Aufgabe 5.20

Ein Energieversorgungsunternehmen (EVU) soll eine Wirkleistung von 60 MW liefern. Der Leistungsfaktor beträgt dabei cos φ = 0,85. Von den drei Kraftwerken des EVU liefern das Kraftwerk A eine Wirkleistung von 25 MW bei cos φ = 0,9 und das Kraftwerk B eine Wirkleistung von 15 MW bei cos φ = 0,8; den Rest der Leistung liefert das Kraftwerk C.

a) Wie groß sind Blind- und Scheinleistung der Kraftwerke A und B?
b) Wie groß müssen Wirk-, Blind- und Scheinleistung sowie der Leistungsfaktor des Kraftwerks C sein?

Aufgabe 5.21

Ein Wechselstrommotor hat eine mechanische Leistung von 20 kW bei einem Wirkungsgrad von 85 %; sein Leistungsfaktor ist cos φ = 0,75. Der Motor liegt an einem Wechselspannungsnetz mit U = 230 V und f = 50 Hz.
Welche Kapazität muss zum Motor parallel geschaltet werden, um seine Blindleistung vollständig zu kompensieren?

Ortskurven

Aufgabe 6.1

Die Parallelschaltung eines ohmschen Widerstandes R = 235 Ω, einer Induktivität L = 6,8 µH und einer Kapazität C = 14,9 nF liegt an einer Wechselspannung U = 9,4 V.

a) Berechnen Sie die Kennfrequenz, den Kennwiderstand und die Güte des Schwingkreises.
b) Wie groß sind im Resonanzfall die Ströme durch die drei Bauelemente und der Gesamtstrom?
c) Skizzieren Sie die Ortskurven für den komplexen Leitwert und für den komplexen Widerstand in Abhängigkeit von der Frequenz.

Aufgabe 6.2

Die Induktivität L = 41,38 mH, die Kapazität C und der ohmsche Widerstand R_1 werden zu einem Reihenschwingkreis zusammengeschaltet.

Der Kennwiderstand ist Z_0 = 1,56 kΩ. Die Güte hat den Wert $\mathrm{Q} = \frac{12}{7}$

a) Wie groß sind die Kapazität C und der Widerstand R_1?
b) Welchen Wert hat die Resonanzfrequenz f_0?
c) Wie groß sind die Grenzfrequenzen f_{gu} und f_{go}?
d) Berechnen sie die Impedanz $\underline{Z}$ der Schaltung für f_1 = 3,9 kHz und f_2 = 6,5kHz.
e) Zeichnen Sie die Ortskurve für $\underline{Z}$ und tragen Sie die Widerstandszeiger für die Frequenzen f_0, f_{gu}, f_{go}, f_1 und f_2 in das Diagramm ein.
f) Zeichnen Sie die Ortskurve für $\underline{Y}$. Tragen sie die Frequenzen f_0, f_{gu}, f_{go}, f_1, f_2 als Parameterwerte ein.
g) Wie verändert sich die Ortskurve für $\underline{Y}$, wenn ein Widerstand R_2 = 2,73 kΩ zu dem Reihenschwingkreis parallel geschaltet wird?
h) Zeichnen Sie für diese Schaltung auch die Widerstands-Ortskurve.

Dreiphasensysteme

Aufgabe 7.1

Ein unsymmetrischer, im Dreieck geschalteter Drehstromverbraucher wird an einem symmetrischen Dreiphasennetz (400 V, 50 Hz) betrieben. Von den drei Strängen des Verbrauchers ist folgendes bekannt:

Strang zwischen L1 und L2:	Der Strom beträgt I_{12} = 5 A; Der Leistungsfaktor ist $\cos\varphi$ = 0,8, kapazitiv.
Strang zwischen L2 und L3:	Der Widerstand ist $Z_{23} = R_{23}$ = 80 Ω (rein reell).
Strang zwischen L3 und L1:	Die Scheinleistung ist S_{31} = 3 kVA; die induktive Blindleistung ist Q_{31} = 1,8 kvar.

a) Wie groß ist die von dem Drehstromverbraucher insgesamt aufgenommene Wirkleistung?
b) Wie groß sind die Phasenströme I_{23} und I_{31}?
c) Welche Phasenwinkel φ_{12}, φ_{23}, φ_{31} bestehen zwischen den jeweiligen Strangspannungen und Strangströmen?
d) Stellen Sie alle Strangspannungen und Strangströme in einem maßstäblichen Zeigerbild dar.
e) Wie groß sind die Leiterströme I_1, I_2, I_3?

Aufgabe 7.2

Ein Drehstromverbraucher in symmetrischer Sternschaltung wird an einem symmetrischen Dreiphasennetz (400 V, 50 Hz) betrieben. Bei einem Leistungsfaktor cos φ = 0,866 (induktiv) nimmt er eine Wirkleistung von 12 kW auf.

a) Wie groß ist der Strom?
b) Wie groß ist die aufgenommene Blindleistung?
c) Berechnen Sie den ohmschen Widerstand und die Induktivität in der Reihenersatzschaltung für einen Strang.
d) Wie groß sind der Wirkwiderstand und die Induktivität in der Parallelersatzschaltung?
e) Mit Hilfe dreier Kondensatoren soll die Blindleistung kompensiert werden. Welche Kapazität müssen diese Kondensatoren haben, wenn sie im Dreieck geschaltet werden?
f) Wie groß müsste ihre Kapazität sein, wenn sie im Stern geschaltet würden?
g) Welche Werte nehmen die Wirkleistung und die Blindleistung des Verbrauchers an, wenn seine drei Stränge nicht im Stern sondern im Dreieck geschaltet werden?

Aufgabe 7.3

Ein symmetrischer Drehstromverbraucher (P = 18 kW; cos φ = 0,6, induktiv) liegt an einem symmetrischen Dreiphasennetz (400 V, 50 Hz).

a) Berechnen Sie Wirk-, Blind- und Scheinleistung je Strang.
b) Wie groß sind Strangspannung und Strangstrom, wenn der Verbraucher im Dreieck geschaltet ist?
c) Wie groß sind Strangspannung und Strangstrom bei gleicher Leistung in Sternschaltung?
d) Welche Werte haben Wirk-, Blind- und Scheinwiderstand in der Reihenersatzschaltung eines Stranges bei Dreieckschaltung bzw. Sternschaltung des Verbrauchers?

Ermitteln Sie die Wirkleistung, die der Verbraucher (bei gleichbleibendem cos φ) noch aufnimmt, wenn infolge eines Defekts eine vollständige Stromunterbrechung in einem Strang auftritt,

e) wenn der Verbraucher im Dreieck geschaltet ist,
f) wenn der Verbraucher im Stern geschaltet ist, und der Sternpunkt an den Neutralleiter des Netzes angeschlossen ist,
g) wenn der Verbraucher im Stern geschaltet ist, der Sternpunkt aber nicht an den Neutralleiter des Netzes angeschlossen ist.

Zeitunabhängige Magnetfelder

Aufgabe 9.1

Ein Elektron bewegt sich in einem homogenen Magnetfeld auf einer Kreisbahn. Die Bahnebene steht senkrecht auf den Feldlinien. Die magnetische Induktion B beträgt 1 mT. Die Umfanggeschwindigkeit des Elektrons ist v = 3000 km/s. Wie groß sind:

a) die vom Magnetfeld ausgeübte Kraft F_m in N ?
b) der Radius r der Kreisbahn in cm ?
c) die Winkelgeschwindigkeit $\omega = v/r$ des Elektrons ?
d) die Zeit T für einen vollen Umlauf des Elektrons ?

Aufgabe 9.2

Eine 100 km lange Gleichspannungsleitung (U = 200 kV Hochspannung) aus Kupferdraht (Drahtquerschnitt A = 3,2 mm^2, spezifischer Widerstand ρ_{Cu} = 16 $\Omega mm^2/km$, Abstand zwischen Hin- und Rückleiter d = 1 m) erfährt an ihrem Ende einen Kurzschluss. Mit welcher Kraft pro Meter (Größe und Richtung) wirken die beiden Leiter aufeinander?

Aufgabe 9.3

Für die folgenden lang gestreckten zylindersymmetrischen Anordnungen, die jeweils von dem Strom I = 11,31 A durchflossen werden, soll der Verlauf der magnetischen Feldstärke H(r) ermittelt und im Bereich $0 \le r \le 6$ mm graphisch dargestellt werden:

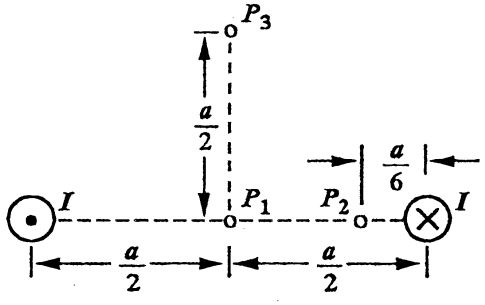
a) ein Draht von 2 mm Durchmesser
b) ein Draht von 6 mm Durchmesser
c) ein Rohr mit 6 mm Außendurchmesser und 1 mm Wandstärke
d) eine koaxiale Anordnung aus einem Draht gemäß a) für die Hinleitung und einem Rohr gemäß c) für die Rückleitung

Aufgabe 9.4

Eine (schlanke) Zylinderspule mit N = 600 Windungen wird von einem Strom I = 2 A durchflossen. Wie groß ist die magnetische Feldstärke im Innern der Spule, wenn die Länge der Spule l = 60 cm beträgt?

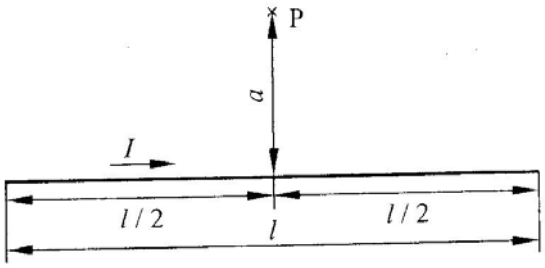
Aufgabe 9.5

Durch eine Doppelleitung (siehe Skizze) fließt ein Strom I = 7,1 A; der Abstand der beiden Leiter beträgt a = 56,5 cm. Berechnen Sie die Beträge der magnetischen Feldstärke H in den Punkten P_1, P_2 und P_3 und tragen Sie die Richtung des Feldstärkevektors in die Skizze ein.



Aufgabe 9.6

Wie lange muss ein gerader, linearer Leiter sein, damit er im Punkt P 90% des Feldstärkewertes erzeugt, den er bei unendlicher Länge erzeugen würde?



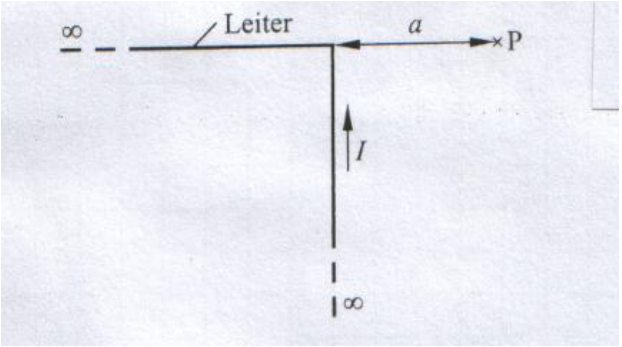
Aufgabe 9.7

Berechnen Sie die magnetische Feldstärke in der Mitte einer quadratischen, stromdurchflossenen Leiterschleife.

Gegeben: I = 2,5 A; Seitenlänge s = 120 mm

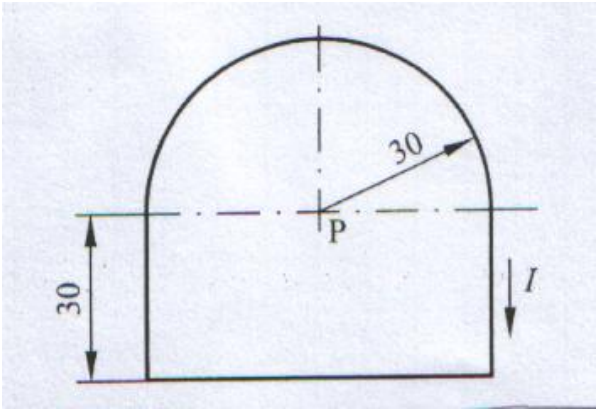
Aufgabe 9.8

Ein unendlich langer Leiter ist rechtwinklig geknickt. Bestimmen Sie die magnetische Feldstärke im Punkt P.



Aufgabe 9.9

Auf einen flachen Spulenkörper in der abgebildeten Form ist eine Spule mit 200 Windungen gewickelt, die von einem Strom I = 30 mA durchflossen wird. Welche magnetische Feldstärke herrscht im Punkt P?

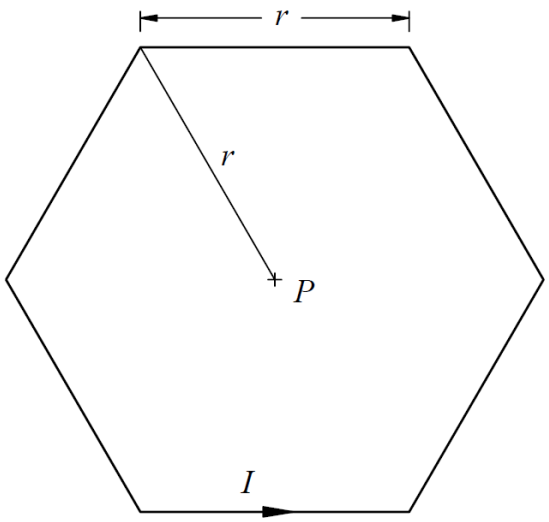


Aufgabe 9.10

Ein Leiter hat die Form eines Sechseckes, wobei alle sechs Seiten die Länge r = 4 cm aufweisen.

Ein Strom I = 2 A fließt in der skizzierten Richtung durch den Leiter.

Berechnen Sie die magnetische Feldstärke H im Zentrum P des Sechseckes



Aufgabe 9.11

Ein langer, gerader, kreisrunder Draht wird von einem Strom I = 100 A durchflossen. Um den Leiter liegt konzentrisch ein Kreisring mit einem quadratischen Querschnitt A = 4 cm^2 und einem mittleren Radius r_m = 5 cm.

a) Der Ring besteht aus Kunststoff (μ_r = 1). Wie groß ist die magnetische Feldstärke H in der Mitte des Ringes (bei r = r_m)?
b) Berechnen Sie die magnetische Flussdichte B in der Mitte des Ringes und ermitteln Sie hieraus überschlägig den magnetischen Fluss Φ im Ring
c) Wie groß ist der magnetische Fluss im Ring bei strenger Rechnung?
d) Welche Werte nehmen die unter a) bis c) gesuchten Größen an, wenn der Ring aus Eisen mit der konstanten Permeabilitätszahl μ_r = 100 besteht?

Zahlenwert: $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$ Vs/Am

Aufgabe 9.12

Ein Kern aus legiertem Eisenblech hat eine Eisenweglänge von 57 cm und eine Luftspaltlänge von 1,42 mm. Die Magnetisierungskennlinie kann näherungsweise durch folgende Funktion beschrieben werden:

$$\frac{B}{T} = 1{,}6 - \frac{3{,}2}{2 + \frac{H}{A/cm}}$$

a) Wie groß muss die elektrische Durchflutung θ sein, wenn die Induktion B = 1,4 T betragen soll?
b) Wie groß ist in diesem Arbeitspunkt die Permeabilität μ_r des Eisenblechs?
c) Zeichnen Sie die Magnetisierungskennlinie des Eisenblechs sowie die gescherte Kennlinie für den Eisenkreis mit Luftspalt.

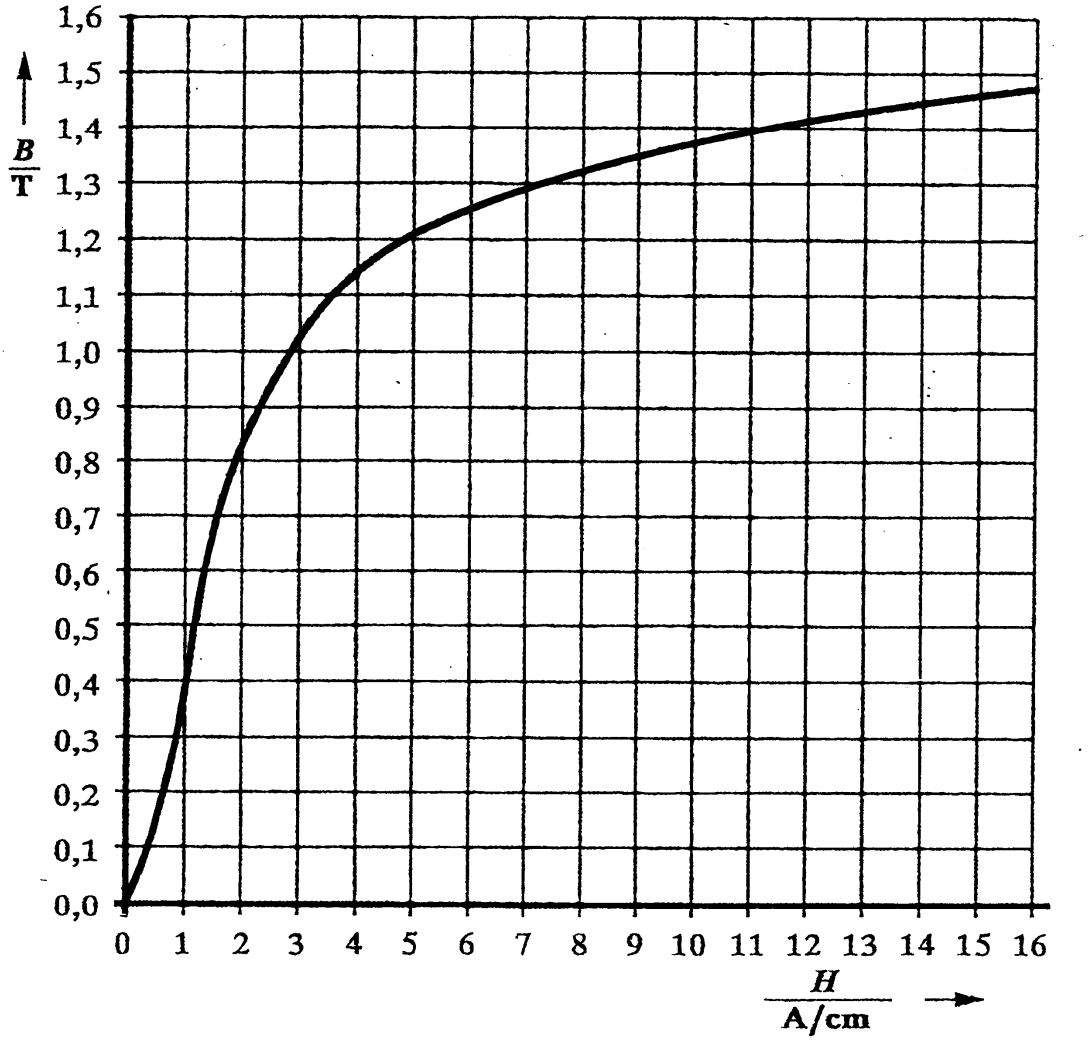
Aufgabe 9.13

Ein Eisenring mit einem Querschnitt von 5 cm^2 und einer mittleren Länge von 120 cm ist mit 1000 Windungen Kupferdraht bewickelt. Durch die Wicklung fließt ein Strom von 480 mA.

a) Wie groß sind die mittlere magnetische Feldstärke, die mittlere magnetische Flussdichte und der magnetische Fluss in dem Eisenring?
b) Wie groß ist die wirksame Permeabilitätszahl μ_r in diesem Arbeitspunkt?
c) Der Ringkern wird jetzt von einem Luftspalt von 0,4 mm Länge unterbrochen. Die Streuung am Luftspalt kann vernachlässigt werden.
   Wie groß sind jetzt die mittleren Werte von H, B und Φ im Eisenkern?
d) Welche Werte haben H, B und Φ im Luftspalt?
e) Wie groß ist jetzt die wirksame Permeabilitätszahl μ_r im Eisenkern?

Die Magnetisierungskennlinie des verwendeten Dynamoblechs ist nachstehend dargestellt.

(Magnetisierungskennlinie für die Aufgaben 9.13 und 9.14)



Aufgabe 9.14

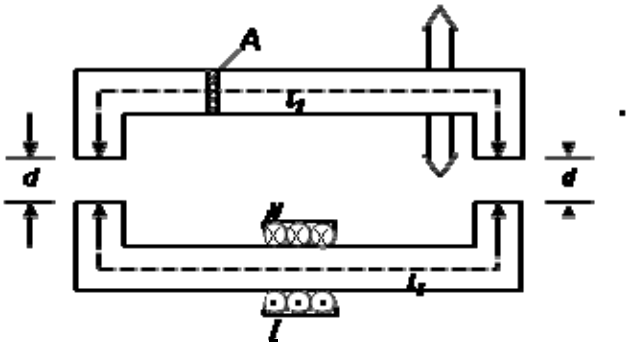
Ein Eisenkern aus Dynamoblech (Magnetisierungskennlinie aus Aufgabe 9.13) ist mit 2500 Windungen Kupferdraht bewickelt. Der Eisenquerschnitt beträgt 500 cm^2, die mittlere Feldlinienlänge 150 cm.

a) Wie groß muss der Strom durch die Wicklung sein, wenn die magnetische Flussdichte im Eisen 1 T sein soll?
b) In den Eisenkern wird jetzt ein Luftspalt von 2 mm Länge eingefügt. Wie groß muss nun der Strom durch die Wicklung sein, um eine Luftspaltinduktion von 1 T zu erreichen?
c) Wie groß wäre die Induktion im Luftspalt, wenn weiterhin der unter a) berechnete Strom durch die Wicklung flösse?
d) Wie groß ist der magnetische Widerstand des magnetischen Kreises für die Fälle a), b) und c) ?

Aufgabe 9.15

Eine Drosselspule hat die gezeichnete Gestalt. Gegeben sind:

Eisenweglänge $l_1 = l_2 = 12{,}5$ cm
Eisenquerschnitt A = 4 cm^2
rel. Permeabilität des Eisens $\mu_r = 5000$
Windungszahl N = 50
Strom I = 1 A.

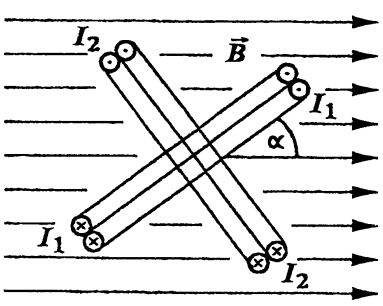


Die Länge d der beiden Luftspalte kann durch Verschieben des einen Schenkels in Pfeilrichtung zwischen den Werten d = 0 und d = 1 mm variiert werden.

a) Fertigen Sie eine grafische Darstellung mit Zahlenwerten für die Abhängigkeit des magnetischen Flusses Φ von der Luftspaltlänge d an, wenn der Strom konstant auf I = 1 A gehalten wird.
b) Für d = 1 mm berechne man die magnetische Feldstärke im Eisen und in den Luftspalten.
c) Wie groß müsste bei gleichem A wie oben der Eisenweg einer Drosselspule sein, die keinen Luftspalt hat, wenn ihr magnetischer Widerstand dem der vorgegebenen Drosselspule für den Fall d = 1 mm entsprechen soll ?

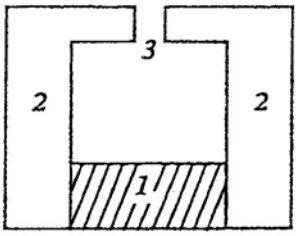
Aufgabe 9.16

Zwei gleiche Flachspulen mit rechteckförmigem Querschnitt werden, wie in der Skizze dargestellt, unter einem rechten Winkel zu einem Kreuzrahmen montiert, der um seine Achse reibungsfrei drehbar ist. Der Kreuzrahmen befindet sich in einem homogenen, zeitlich konstanten Magnetfeld der Induktion B. Beide Spulen sind elektrisch gegen-



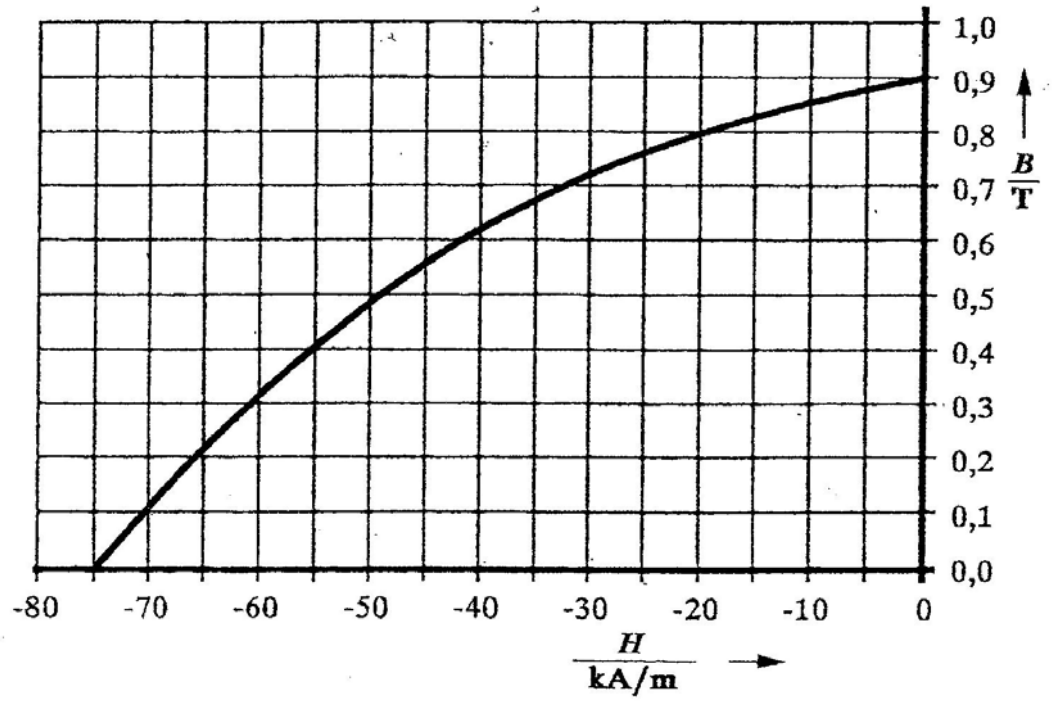
einander isoliert. Die eine Spule führt den Strom I_1, die andere den Strom I_2. Unter welchem Winkel α stellt sich die Gleichgewichtslage ein?

Aufgabe 9.17



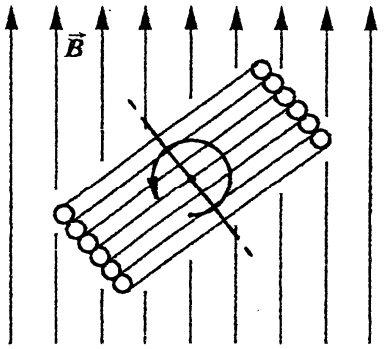
Ein Dauermagnet (siehe Skizze) besteht aus dem Magneten selbst (1), aus zwei mit Polschuhen versehenen Weicheisenschenkeln (2) und dem Arbeitsluftspalt (3). Die Magnetisierungskurve ist nachstehend dargestellt. Der Arbeitsluftspalt hat einen Querschnitt von 5 cm^2 und eine Länge von 2 mm. Die Streuung am Luftspalt ist zu vernachlässigen. Der magnetische Widerstand von Polschuhen und Weicheisenschenkeln ist gegenüber dem magnetischen Widerstand des Luftspaltes vernachlässigbar klein.

a) Wie groß sind die magnetische Feldstärke und die Induktion im Magnetwerkstoff und im Luftspalt, wenn der Dauermagnet eine Länge von 5 cm und einen Querschnitt von 2 cm^2 hat?
b) Welchen Querschnitt und welche Länge muss der Dauermagnet (1) haben, wenn mit möglichst geringem Magnetstoffaufwand eine Induktion von 0,66 T im Luftspalt erzeugt werden soll?
c) Welchen Höchstwert kann die Induktion im Luftspalt erreichen, wenn der Dauermagnet ein Volumen von 11,3 cm^3 hat? Wie sind Länge und Querschnitt zu bemessen, um diesen Zustand zu erreichen?



Zeitveränderliche Magnetfelder

Aufgabe 10.1



Eine Spule mit N = 22 Windungen dreht sich mit der Drehzahl n = 3000 min^{-1} in einem homogenen Magnetfeld der Induktion B = 0,75 T. Der Spulenquerschnitt beträgt A = 600 cm^2. Die Drehachse steht senkrecht zur Spulenachse und zum Feld (siehe Skizze). Zum Zeitpunkt t = 0 liege die Spulenachse parallel zum Feld.

a) Wie verläuft die Spannung an den offenen Klemmen der Spule, wenn der Spannungszählpfeil der Feldrichtung rechtswendig zugeordnet ist?
b) Wie groß sind die Frequenz und die Kreisfrequenz?

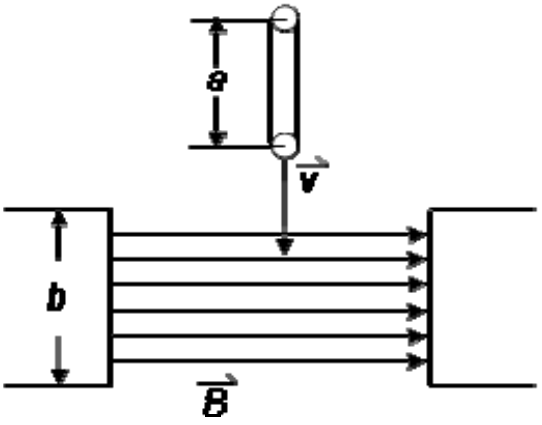
Aufgabe 10.2

Der Empfänger einer drahtlosen Personenrufanlage ist zum Empfang eines sinusförmig verlaufenden magnetischen Wechselfeldes mit einer Rahmenantenne ausgestattet. Der Rahmen trägt eine Wicklung mit 100 Windungen und spannt senkrecht zum Feld eine Fläche von 10 cm^2 auf. Zum sicheren Auslösen des Rufsignals benötigt der an die Rahmenantenne angeschlossene Verstärker eine Eingangsspannung mit einem Scheitelwert von 20 mV. Wie groß muss der Scheitelwert der magnetischen Flussdichte mindestens sein, wenn

a) die Anlage mit einer Sendefrequenz von 5 kHz arbeitet?
b) die Anlage mit einer Sendefrequenz von 50 kHz arbeitet?

Aufgabe 10.3

Eine rechteckige Spule mit einer Windung wird mit konstanter Geschwindigkeit v durch einen Luftspalt hindurch bewegt. Im Luftspalt herrsche ein homogenes Magnetfeld, das am Rand sprunghaft auf Null kommt. Der Querschnitt des Luftspalts ist quadratisch. Die Länge der Spule senkrecht zur Zeichenebene ist größer als die des Luftspalts. Zur Zeit t = 0 tritt die Spule in das Magnetfeld ein.

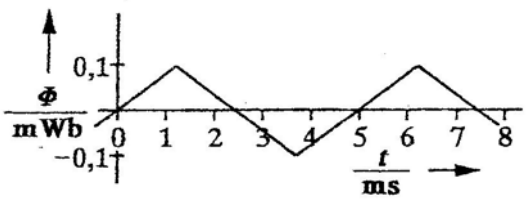


Es gilt: B = 1 T; a = 1,5 cm; b = 2 cm; v = 0,5 m/s

Stellen Sie den Verlauf der gesamten, in der Spule induzierten Spannung für t > 0 abhängig von der Zeit grafisch dar (mit Zahlenwerten).

Aufgabe 10.4

Der magnetische Fluss, dessen zeitlicher Verlauf hier dargestellt ist, durchsetzt eine Spule mit 125 Windungen. Berechnen und zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf der an den Spulenenden auftretenden Spannung. Spannungs- und Flusszählpfeil seien einander rechtswendig zugeordnet.



Aufgabe 10.5

Ein ringförmiger Spulenkörper (Querschnittsfläche A = 2 cm^2, mittlere Länge l = 40 cm) ist gleichmäßig mit 1000 Windungen Draht bewickelt. Wie groß ist die Induktivität der Wicklung, wenn sie von einem Strom I = 40 mA durchflossen wird und der Ringkörper aus folgenden Materialien besteht:

a) Kunststoff mit der Permeabilitätszahl $\mu_r = 1$
b) Eisen mit der Permeabilitätszahl $\mu_r = 200$
c) Dynamoblech (Kennlinie aus Aufgabe 9.13)?

Aufgabe 10.6

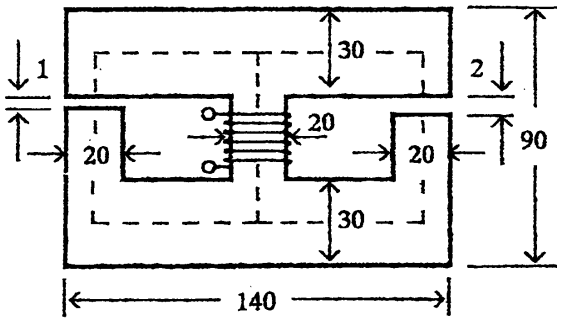
Ein Kreisring mit quadratischem Querschnitt dient als Wickelkörper für eine Ringspule. Der innere Radius beträgt r_i = 2 cm, der äußere Radius r_a = 3 cm. Bestimmen Sie zunächst näherungsweise die Induktivität der Spule, indem Sie nur die mittlere Feldlinie zur Berechnung heranziehen. Ermitteln Sie dann das exakte Ergebnis. Wie groß ist der Fehler bei der Näherungsrechnung?

Aufgabe 10.7

Berechnen Sie unter Vernachlässigung der Streuung die Induktivität der skizzierten Anordnung.

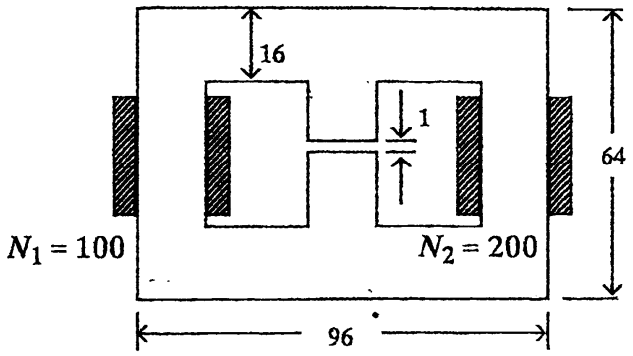
Die Windungszahl ist N = 1635. Der Eisenkern hat eine Dicke von 20 mm.

Permeabilität: $\mu_r = 200$
$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$ Vs/Am



Aufgabe 10.8

Der dargestellte Transformator hat einen quadratischen Kernquerschnitt. Die Permeabilitätszahl des Eisen beträgt μ_r = 497. Die Streuung am Luftspalt soll vernachlässigt werden.



a) Skizzieren Sie ein elektrisches Analogschaltbild mit vier Widerständen und berechnen Sie die diesen Widerständen entsprechenden magnetischen Widerstände.
b) Berechnen Sie die primäre und die sekundäre Induktivität.
c) Berechnen Sie den Kopplungsfaktor und die Gegeninduktivität.
d) Wie groß wären die primäre und die sekundäre Induktivität, wenn der Kern der Aufgabe 2.7 verwendet würde?

Aufgabe 10.9

Eine 35,5 cm lange Zylinderspule mit einer Querschnittsfläche von 11,3 cm^2 hat 1000 Windungen. Der Spulenkörper besteht aus Kunststoff (μ_r = 1). Wie groß sind Induktivität und der Energieinhalt der Spule, wenn diese von einem Strom von 500 mA durchflossen wird.

Aufgabe 10.10

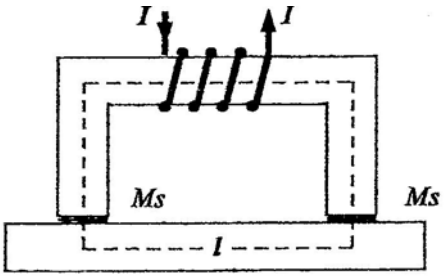
Ein idealer Transformator wird primärseitig an eine sinusförmige Spannungsquelle mit dem Effektivwert U = 100 V und dem Innenwiderstand R_i = 10 Ω angeschlossen. Sekundärseitig ist ein Lastwiderstand R_a = 1 kΩ vorhanden. Durch Anpassung mit dem idealen Übertrager soll die größtmögliche Leistung auf R_a übertragen werden. Bestimmen Sie das Übersetzungsverhältnis ü und die Verbraucherleistung $P_{a/max}$.

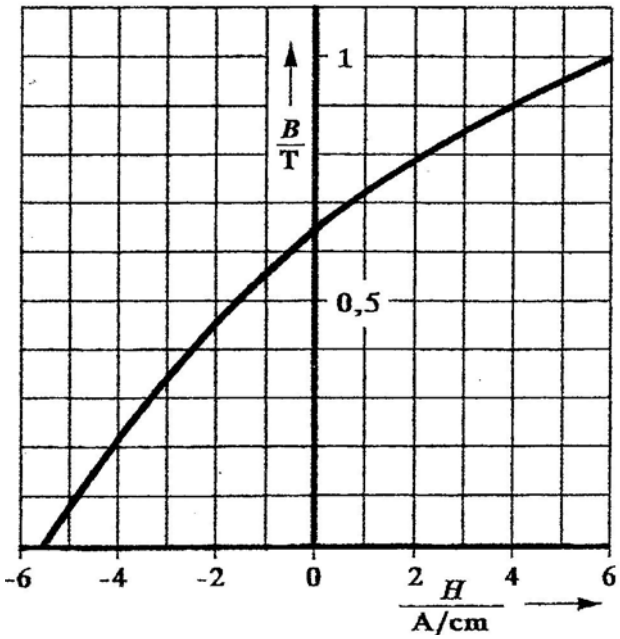
Aufgabe 10.11

Ein Transformator mit den Windungszahlen N_1 = 1200 und N_2 = 600, dem magnetischen Widerstand $R_m = 2*10^6$ A/Vs und dem Kopplungsgrad k = 0,9 soll als verlustlos betrachtet werden.

a) Berechnen Sie die Elemente des Ersatzschaltbildes des verlustlosen Transformators.
b) Bestimmen Sie unter Verwendung dieses Ersatzschaltbildes:
   - das Spannungsverhältnis $\underline{U}_1/\underline{U}_2$ für einen sekundärseitigen Leerlauf;
   - das Stromverhältnis $\underline{I}_1/\underline{I}_2$ für einen sekundärseitigen Kurzschluss.

Aufgabe 10.12





Die Erregerspule des skizzierten Hebemagneten hat N = 100 Windungen. Der Hebemagnet soll einen Eisenträger der Masse m = 104 kg heben; die Hebekraft soll aus Sicherheitsgründen 5-mal so groß sein, wie zum bloßen Halten des Trägers erforderlich. Zwischen Magnet und Eisenträger liegt auf beiden Seiten ein 0,5 mm starkes Messingblech *Ms* („Klebeblech). Magnet und Träger haben denselben Querschnitt A = 100 cm^2. Für beide soll einheitlich die dargestellte Magnetisierungskennlinie gelten. Die gesamte Eisenweglänge ist l = 2,33 m.

a) Wie groß sind die magnetische Flussdichte und die magnetische Feldstärke im Messingblech?
b) Wie groß ist die magnetische Feldstärke im Eisen?
c) Welcher Strom fließt durch die Wicklung des Magneten?
d) Wie groß ist die Induktivität der Wicklung?

Stromverdrängung, Skin-Effekt

Aufgabe 12.1

Gegeben ist eine Eisenplatte ($\kappa = 10^7$ S/m, $\mu_r = 5000$). Durch die Eisenplatte fließt ein Strom I der Frequenz f = 50 Hz. Die Amplitude der elektrischen Feldstärke an der Oberfläche der Platte beträgt $E_y(0) = 20$ mV/m.

a) Bestimmen Sie die Eindringtiefe δ.
b) Berechnen Sie die Amplitude der Stromdichte $J_y(0)$ an der Oberfläche.
c) Für t = 0 ist die Stromdichte an der Oberfläche maximal. In welchen Tiefen x_1 und x_2 liegen die ersten beiden Nullstellen der Stromdichte für t = T/4 ?
d) Welcher Strom I fließt in einem $\Delta z = 10$ mm breiten Streifen zur Zeit t = 0 ?

Aufgabe 12.2

Gegeben sind drei Leiter aus Messing ($\kappa = 10^7$ S/m) mit der Breite b = 50 mm. Die drei Leiter haben die unterschiedlichen Dicken $d_1 = 0{,}05$ mm, $d_2 = 3$ mm und $d_3 = 25$ mm. Berechnen Sie für f = 100 kHz:

a) die Eindringtiefe δ;
b) die Widerstände pro Meter R' der drei Leitungen;
c) die Stromdichten $J_y(x = d/2)$ in der Mitte des jeweiligen Leiters, wenn an der Oberfläche eine Stromdichte von $J_y(x = 0) = 1$ A/m^2 existiert.

Lösungen

Grundlagen

Aufgabe 1.1: $\frac{W_{kin}}{kWh} = 10{,}7 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{m}{t} \cdot \left(\frac{v}{km/h}\right)^2$

Aufgabe 1.2: $\frac{G}{N} = 6{,}88 \cdot \left(\frac{d}{mm}\right)^2$

Aufgabe 1.3: a) $\frac{v}{km/h} = 54 - 18 \cdot \frac{t}{s}$ b) $\frac{x}{m} = 15 \cdot \frac{t}{s} - 2{,}5 \cdot \left(\frac{t}{s}\right)^2$

Aufgabe 1.4: a) $560 \cdot 10^3$ S/cm b) 0,0179 µΩ*m c) 8,4 km d) 2,4 cm^2

e) $\frac{R}{m\Omega} = 179 \cdot \frac{\frac{l}{km}}{\frac{A}{cm^2}}$ f) $\frac{G}{S} = 3{,}5 \cdot \frac{\frac{A}{cm^2}}{\frac{l}{km}}$

Gleichstromkreis

Aufgabe 2.1: a) $0{,}495 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ b) 9 V

Aufgabe 2.2: a) 5.000 S b) 1,5 mm

Aufgabe 2.3: 60 km

Aufgabe 2.4: a) 546 Ω b) 109 V c) 83,6 °C

Aufgabe 2.5: a) 529 Ω b) 30,5 Ω c) 7,53 A; 1,73 kW

Aufgabe 2.6: 12 m

Aufgabe 2.7 a) 7,72 A b) 16 A c) $\frac{R}{k\Omega} = 6561 \frac{1}{\left(\frac{U}{kV}\right)^3}$

Aufgabe 2.8: c) 0,5 Ω d) 245 V e) 490 A

Aufgabe 2.9: a) 10 Ω b) 1 A c) 10 V; 10 Ω d) 1 A; 100 mS

Aufgabe 2.10: a) 4 A b) 96 v c) 384 W d) 16 W
e) 96 % f) 1 Ω g) 2,5 kW; 50 %

Aufgabe 2.11: 93 %

Aufgabe 2.12: b) 70,5 Ω; 105,8 Ω c) 300 W

Aufgabe 2.13: Die Lebensdauer der 2W-Birne wird reduziert

Aufgabe 2.14: a) 6 A; 2 A; 4,5 A; 1,5 A
b) 128 W; 81 W; 27 W; 36 W; 48 W; 320 W; 640 W

Aufgabe 2.15: a) 11,75 Ω b) 8 Ω c) 4,8 Ω

Aufgabe 2.16: a) 20 mA; 19,2 V b) 384 mW c) 377,6 Ω; 622,4 Ω

Aufgabe 2.17: a) 16,7 A b) 93,3 V

Aufgabe 2.18: a) 24 mA b) 7 mm^2 c) 12,5 A d) 12,3V
e) 153,75 W f) 1,5 kW; 6 V; 250 A

Aufgabe 2.19: 1,5 A; -0,5 A; 1 A; 200 V

Aufgabe 2.20: a) 3 V; 30 A b) 2,625 V; 26,25 A

Aufgabe 2.21: 0,5 A

Aufgabe 2.22: 1 A; -1 A

Aufgabe 2.23: a) 0,12 A; -1,5 A; -0,48 A b) 87,6 V; -14,4 V; 6 V

Aufgabe 2.24: a) 6 V; 80 Ω b) 0,7 A; 50 mS

Aufgabe 2.25: 300 mA

Aufgabe 2.26: a) 12 V b) 4 V, 2 V

Aufgabe 2.27: a) 100 mV c) 10 mΩ d) 0,5 W; 1 W
b) 0,1 kΩ; 0,3 kΩ; 0,5 kΩ; 1 kΩ; 3 kΩ; 5 kΩ; 10 kΩ; 30 kΩ; 50 kΩ; 100 kΩ; 300 kΩ

Aufgabe 2.28: 120 Ω

Aufgabe 2.29: a) 5 mV b) 10 mV c) 20 mV

Aufgabe 2.30: a) 50 mA b) 95 Ω c) -1,1 %

Aufgabe 2.31: a) 9,72 V b) 8,84 V c) 9,33 V; 9,20 V

Elektrostatisches Feld

Aufgabe 3.1: a) 0 b) -0,72 mN c) 1,44 mN

Aufgabe 3.2: a) 0,1 mN b) Das Kügelchen pendelt zwischen den beiden Elektroden

Aufgabe 3.3: ± 6nC

Aufgabe 3.4: 512*10^9 V/m

Aufgabe 3.5: $F = 0{,}914 \cdot \frac{Q^2}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot l^2}$ (Abstoßung)

Aufgabe 3.6: a) E_1 = 67,5 kV/m; E_2 = 40,5 kV/m; E_3 = 54,0 kV/m b) 110,5 kV/m
c) 18°

Aufgabe 3.7: siehe Zeichnung, radial

Aufgabe 3.8: a) 899,2 V/m b) 90 µN c) 0,525°

Aufgabe 3.9: $\frac{D}{\frac{nAs}{m^2}} = 10 \cdot \frac{\ln\left[1+\left(\frac{r}{cm}\right)^3\right]}{\left(\frac{r}{cm}\right)^2}$; $\frac{E}{\frac{V}{m}} = 1130 \cdot \frac{\ln\left[1+\left(\frac{r}{cm}\right)^3\right]}{\left(\frac{r}{cm}\right)^2}$

Aufgabe 3.10: $\frac{W}{J} = 10^{-2} \cdot \frac{a}{cm}$; $\frac{U}{kV} = 10 \cdot \frac{a}{cm}$

Aufgabe 3.11: a) $E(r) = \frac{Q}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r^2}$; $\varphi(r) = \frac{Q}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_1}\right)$ für r < R_1, sonst E(r) = 0, φ(r) = 0

b) keine Änderung

c) r > R_2: $E(r) = \frac{Q}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r^2}$; $\varphi(r) = \frac{Q}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r}$

$R_1 \le r \le R_2$: $E(r) = 0$; $\varphi(r) = \frac{Q}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{1}{R_2}$

r < R_1: $E(r) = \frac{Q}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r^2}$; $\varphi(r) = \frac{Q}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$

Aufgabe 3.12: a) $\frac{Q}{4/3 \cdot \pi \cdot R_1^3}$ b) r < R_1: $\frac{Q}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot R_1^3} \cdot r$; r > R_1: $\frac{Q}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2}$

c) r > R_1: $\frac{Q}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r}$; r < R_1: $\frac{Q}{8\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot R_1} \cdot \left(3 - \frac{r^2}{R_1^2}\right)$

Aufgabe 3.13: a) 5 kV/cm b) 8,85 µAs/m² c) 885 pC d) 8,85 pF/cm²

Aufgabe 3.14: a) 18 kV/cm b) 6,92 kV/cm

Aufgabe 3.15: a) 7,96 nAs/m² b) 899 V/m c) 0,281 mN (Anziehung)

Aufgabe 3.16: a) hinter der Zeichenebene b) 150 pAs/m c) 5,97 nAs/m²; 674 V/m

Aufgabe 3.17: a) 40 cm b) 1,33 c) 4 d) 3

Aufgabe 3.18: 4,5 V, 3 V, 4 V, 8 V, 1,5 V, 3 V, 2 V, 4 V

Aufgabe 3.19: a) 16 pF b) 0,8 nWs c) 1,6 nWs d) W_{mech} e) 20 V

Aufgabe 3.20: a) 4,92 pF b) 40,2 pF c) C/pF = 4,92 + 3,53 h/cm

Aufgabe 3.21: a) 8,85 Pa; 8,85 Ws/m³ b) 2,21 Pa; 2,21 Ws/m³

Aufgabe 3.22: a) 0,25 … 4,75 m b) 29,3 pF c) 20,9 µC d) 7,43 Ws e) 39,8 Ws/m³

Aufgabe 3.23: a) 6,64 pF; 250 V b) 250 V; 1500 V; 1750 V
c) 3320 nJ; 5810 nJ d) 5

Aufgabe 3.24: a) $\frac{6\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot h}{\ln 25}$ b) $\frac{3 \cdot U}{r_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot \ln 25} \cdot \frac{1}{r/r_0}$ d) 5150 V

Aufgabe 3.25: a) $\frac{E_1}{kV/m} = 99{,}9 \cdot \frac{1}{\left(r/cm\right)^2}$; $\frac{E_2}{kV/m} = 179{,}8 \cdot \frac{1}{\left(r/cm\right)^2}$ b) 138,8 V; 49,9 V

Aufgabe 3.26: a) 50 V b) 26,3 V

Elektrisches Strömungsfeld

Aufgabe 4.1: a) 200 A b) 100 A c) 0 A
Aufgabe 4.2: 12 A
Aufgabe 4.3: c) 16 A d) -8 A
Aufgabe 4.4: b) $\frac{E}{kV/cm} = \frac{1}{r/cm}$ c) 644 V
Aufgabe 4.5: 0,06 V/m
Aufgabe 4.6: 2,21 nA/mm²; 22,1 kV/m
Aufgabe 4.7: a) -38,4 V; 21,6 V b) -60 V; 21,6 V, 38,4 V
Aufgabe 4.8: 0,0987 V/m; 3,4 A/mm²; 0,0987 V/m; 0,705 A/mm²
Aufgabe 4.9: a) 2,5 Ω b) $U/kV = 93{,}9\left[\frac{1}{7{,}5} - \frac{1}{r/m}\right]$
c) 11 m; 20,8 m; 180,5 m d) 12,5 kV e) 1,47 kV
Aufgabe 4.10: $\frac{\pi}{\kappa \cdot (r_a - r_i) \cdot \ln\left(r_a / r_i\right)}$
Aufgabe 4.11: a) $\frac{\rho \cdot l}{\pi \cdot \delta \cdot (d - \delta)}$ b) $\frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \ln\left(\frac{d}{d - 2 \cdot \delta}\right)$ c) $r = \frac{d}{s} - \delta$; $\frac{U^2}{\rho \cdot \left(\frac{d}{2} - \delta\right)^2 \cdot \left[\ln\left(\frac{d}{d - 2 \cdot \delta}\right)\right]^2}$
Aufgabe 4.12: a) $\frac{I}{2\pi \cdot r^2}$ b) $\frac{I}{2\pi \cdot \kappa_1} \cdot \frac{1}{r^2}$; $\frac{I}{2\pi \cdot \kappa_2} \cdot \frac{1}{r^2}$
c) $\frac{I}{2\pi} \cdot \left[\frac{1}{\kappa_1} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \frac{1}{\kappa_2}\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3}\right)\right]$ d) $\frac{1}{2\pi} \cdot \left[\frac{1}{\kappa_1} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \frac{1}{\kappa_2}\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3}\right)\right]$

Wechselstromkreis

Aufgabe 5.1: b) $u = 500V \cdot \sin(\omega t + \varphi)$; $\omega = 100 \cdot \pi\, s^{-1}$ c) 15° = 0,263 rad d) 4,16 ms
e) 12,11 ms
Aufgabe 5.2: 1,195; 1,569
Aufgabe 5.3: a) 1 kHz; 3 kHz b) 2,83 V; 2,83 V c) 4 V d) 3,395 V e) 1,178
Aufgabe 5.4: a) 111 Hz b) 0,1 A d) 21,2 V
Aufgabe 5.5: a) u_R = 35 V * sin(ωt); u_L = 55 V * cos(ωt) d) 65,2 V * sin(ωt + 57,5°)
Aufgabe 5.6: a) 622 V b) 18,72 kΩ; 170 nF
Aufgabe 5.7: 170 Ω * $e^{j67,5°}$; 1,3 A; -67,5°
Aufgabe 5.8: 185 Ω; 80 mH
Aufgabe 5.9: a) 21,4 Ω; -13,9 Ω; 7,5 Ω; 12,5 Ω * $e^{j36,9°}$
b) 80 mS; 64mS; -48 mS c) 88 V; 188,3 V; 122,3 V; 110 V
Aufgabe 5.10: a) 1,44 mV b) -12,7 °
Aufgabe 5.11: a) 100 Ω * $e^{j30°}$ b) 100 mA
Aufgabe 5.12: 40 Ω; 4,51 µF
Aufgabe 5.13: a) 22 Ω b) 110 Ω c) 107,8 Ω d) 343 mH
e) 78,5° f) 44 V; 215,6 V g) 550 Ω; 357 mH
Aufgabe 5.14: a) 850 Hz; 372 Ω; 2,5; 10,7 b) 340 Hz; 79,4 Hz
c) 537 mA; 2,3 A; d) 200 V; 856 V
Aufgabe 5.15: a) Reihenschwingkreis b) 5
Aufgabe 5.16: a) 8 Ω * $e^{-j10°}$ b) 30 V * $e^{j10°}$; 11,7 V * $e^{-j26,5°}$; 5 A * $e^{j10°}$;1,85 A * $e^{-j26,5°}$
2,16 A * $e^{-j26,5°}$; 2,97 A * $e^{j63,5°}$ c) 200 VA; 197 W; -34,8 var
d) 2,93 mH e) 8,12 Ω
Aufgabe 5.17: a) 2,56 kΩ; 78 pF b) 289 µH c) 1,56 A; 2,08 A d) 184,6 µH
e) 4,33 A; 6,66 kV; 17,31 kW
Aufgabe 5.18: a) 226,7 Ω b) 70 W c) 5,898 µF d) 49 W; 50 var; 70 VA
Aufgabe 5.19: a) 76,8 var; 92 VA b) 1,529 H; 66,25 Ω c) 100 V; 194 V
d) 3,314 µF e) 384 V f) 0,44 A; 1 g) 113,3°
Aufgabe 5.20: a) 12,11 Mvar; 27,78 MVA; 11,25 Mvar; 18,75 MVA
b) 20 MW; 13,83 Mvar; 24,31 MVA; 0,823
Aufgabe 5.21: 1249 µF

Ortskurven

Aufgabe 6.1: a) 500 kHz; 21,36 Ω; 11 b) 40 mA; 440 mA; 440 mA; 40 mA
c) Vertikale durch 4,26 mS; Kreis durch 0 und 235 Ω

Aufgabe 6.2: a) 17 nF; 910 Ω b) 6 kHz c) 4,5 kHz; 8 kHz
d) (910 - j1386) Ω; (910 + j250) Ω
e) Vertikale durch 910 Ω f) Kreis durch 0 und 1,1 mS
g) Rechtsverschiebung um 1/3 Durchmesser
h) Kreis durch 682,5 Ω und 2730 Ω

Dreiphasen-Systeme

Aufgabe 7.1: a) 6,0 kW b) 5A; 7,5 A c) -36,87°; 0; 36,87°
e) 5,42 A; 9,80 A; 12,26 A

Aufgabe 7.2: a) 20 A b) 6,929 kvar c) 10 Ω; 18,38 mH d) 13,33 Ω; 73,50 mH
e) 45,95 μF f) 137,84 μF g) 36 kW; 20,79 kvar

Aufgabe 7.3: a) 6 kW; 8 kvar; 10 kVA b) 400 V; 25 A c) 230,9 V; 43,3 A
d) Δ: 9,6 Ω; 12,8 Ω; 16 Ω Stern: 3,2 Ω; 4,27 Ω; 5,33 Ω
e) 12 kW f) 12 kW g) 9 kW

Zeitunabhängige Magnetfelder

Aufgabe 9.1: a) $0{,}48 \cdot 10^{-15}$ N b) 1,71 cm c) $1{,}75 \cdot 10^{8}\ s^{-1}$ d) 35,8 ns

Aufgabe 9.2: $8 \cdot 10^{-3}$ N/m Abstoßung

Aufgabe 9.3: a) $\frac{H}{\frac{A}{cm}} = 18\frac{r}{mm}$ bzw. $\frac{18}{\frac{r}{mm}}$ b) $\frac{H}{\frac{A}{cm}} = 2\frac{r}{mm}$ bzw. $\frac{18}{\frac{r}{mm}}$

c) $\frac{H}{\frac{A}{cm}} = 0$ bzw. $3{,}6\left[\frac{r}{mm} - \frac{4}{\frac{r}{mm}}\right]$ bzw. $\frac{18}{\frac{r}{mm}}$

d) $\frac{H}{\frac{A}{cm}} = 18\frac{r}{mm}$ bzw. $\frac{18}{\frac{r}{mm}}$ bzw. $3{,}6\left[\frac{9}{\frac{r}{mm}} - \frac{r}{mm}\right]$ bzw. 0

Aufgabe 9.4: 20 A/cm

Aufgabe 9.5: 8 A/m; 14,4 A/m; 4 A/m

Aufgabe 9.6: I = 4,13 * a

Aufgabe 9.7: 18,76 A/m

Aufgabe 9.8: I/(4π*a)

Aufgabe 9.9: 95 A/m

Aufgabe 9.10: 27,57 A/m

Aufgabe 9.11: a) 3,18 A/cm b) 0,4 mT; 0,16 μVs c) 0,162 μVs
d) 3,18 A/cm; 40 mT; 16 μVs; 16,2 μVs

Aufgabe 9.12: a) 2380 A b) 796 c) $\frac{\frac{\Theta}{l}}{\frac{A}{cm}} = 19{,}82\frac{B}{T} - 2 + \frac{3{,}2}{1{,}6 - \frac{B}{T}}$

Aufgabe 9.13: a) 4 A/cm; 1,15 T; 0,575 mVs b) 2290
c) 1,8 A/cm; 0,8 T; 0,4 mVs d) 6,37 kA/cm; 0,8T; 0,4 mVs
e) 3540

Aufgabe 9.14: a) 168 mA b) 805 mA c) 0,2 T
d) 8,4 kA/Vs; 40,2 kA/Vs; 42 kA/Vs

Aufgabe 9.15: b) 4,88 A/m; $24{,}4 \cdot 10^{3}$ A/m c) 10,25 m

Aufgabe 9.16: $\alpha = \arctan(I_1/I_2)$

Aufgabe 9.17: a) -11kA/m; 0,85 T; 271 kA/m; 0,34 T b) 6 cm^2; 2,28 cm c) 0,6 T; 5,45 cm^2; 2,07 cm

Zeitveränderliche Magnetfelder

Aufgabe 10.1: a) 311 V * sin(0,314 t/ms) b) 50 Hz c) 314 s^{-1}
Aufgabe 10.2: a) 6,37 µT b) 0,637 µT
Aufgabe 10.3: $\pm$ 10 mV
Aufgabe 10.4: $\pm$ 10 V
Aufgabe 10.5: a) 628 µH b) 126 mH c) 2 H
Aufgabe 10.6: -1,35 %
Aufgabe 10.7: 1 H
Aufgabe 10.8: a) 294 kA/Vs; 3108 kA/Vs; 801 kA/Vs; b) 6,9 mH; 27,6 mH
c) 0,809; 11,2 mH d) 2,55 mH; 6,8 mH; 0,51 mH
Aufgabe 10.9: 4 mH; 0,5 mWs
Aufgabe 10.10: 0,1; 250 W
Aufgabe 10.11: a) 0,720 H; 0,180 H; 0,324 H b) 2,22; 0,556
Aufgabe 10.12: a) 0,8 T; 6,37 kA/m b) 2,2 A/cm c) 11,5 A d) 69,6 mH

Stromverdrängung/Skin-Effekt

Aufgabe 12.1: a) 0,318 mm b) 0,2 A/mm^2 c) 0 mm; 1 mm d) 0,64 A
Aufgabe 12.2: a) 0,503 mm b) 40 mΩ/m; 2 mΩ/m; 1,33 mΩ/m c) 1 A/m^2; 0,1 A/m^2; 0