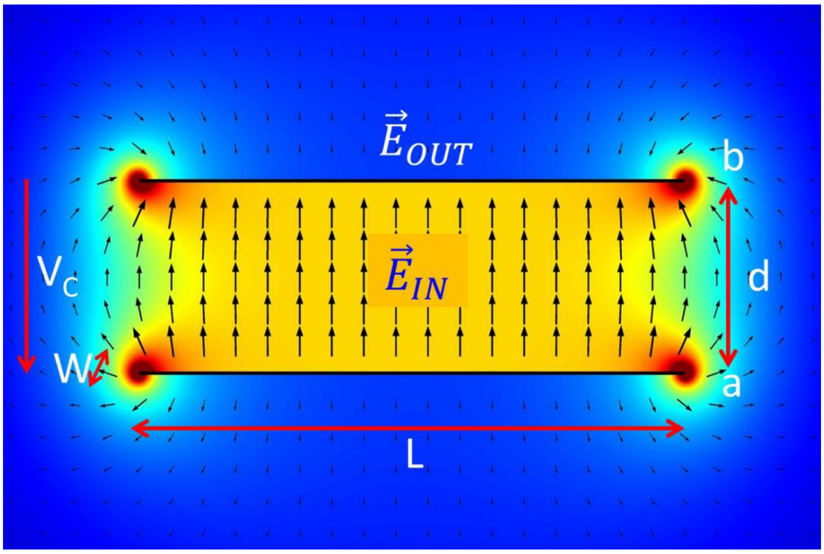
Institut für Theoretische Elektrotechnik und Mikroelektronik
AG Elektronische Fahrzeugsysteme

Übungsheft
Wintersemester 2018/19

Begleitende Übungsaufgaben und Ergänzungen für die Vorlesung Grundlagen der Elektrotechnik A Teil 1



Prof. Dr.-Ing. Karl-Ludwig Krieger

Basics

Aufgabe 1.1

Geben Sie für die folgenden Größen den Zahlenwert in Exponentialdarstellung sowie die physikalische Größe und deren Einheit an:

Zahlenwert in Exponentialdarstellung			physikalische Größe	Einheit
$47,2\,\mathrm{pF}$	$=$	$4,72 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{F}$	Kapazität	F; Farad
$6\,\mathrm{kN}$	$=$			
$1,48\,\mathrm{pF}$	$=$			
$33,6\,\mathrm{nF}$	$=$			
$1,2\,\mu\mathrm{F}$	$=$			
$20\,\mathrm{ms}$	$=$			
$321\,\mu\Omega$	$=$			
$127\,\mu\mathrm{V}$	$=$			
$1,04\,\mathrm{kA}$	$=$			

Zahlenwert in Exponentialdarstellung		konstante physikalische Größe	Einheit
$16,02 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{fC}$	$=$	Elementarladung des Elektrons, e	
$9,11 \cdot 10^{-16}\,\mathrm{pg}$	$=$	Ruhemasse des Elektrons, m_e	

Aufgabe 1.2

Wählen Sie für folgende Größen „dekadische Vorzeichen“, so dass sich geeignete Zahlenwerte ergeben (z.B. mA, pF, MW).

$14,7 \cdot 10^{-7}\,\mathrm{C}$	$=$		$16 \cdot 10^{-13}\,\mathrm{F}$	$=$	
$13,6 \cdot 10^{7}\,\mathrm{W}$	$=$		$14,76 \cdot 10^{10}\,\Omega$	$=$	
$2,3 \cdot 10^{11}\,\mathrm{m}$	$=$		$10^{-10}\,\mathrm{m}$	$=$	
$10^{-9}\,\mathrm{G}\Omega$	$=$		$10^{-6}\,\mu\mathrm{F}$	$=$	
$3,4 \cdot 10^{10}\,\mathrm{Hz}$	$=$		$11,21 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{kJ}$	$=$	

Aufgabe 1.3

a) Geben Sie 0,051 A in kA, mA, nA und pA an. Welche Darstellung ist die zweckmäßigste?

b) Rechnen Sie 1 Nm in Ws und in kWh, 1 PS in kW und 1 km/h in m/s um.

Gleichstrom

Aufgabe 2.1

Ein Elektron bewegt sich über eine Potentialdifferenz von 1 V.

a) Welche elektrische Energie muss von der Spannungsquelle hierfür aufgewendet werden?

b) In welche Energieform wird die Arbeit der Quelle umgewandelt, wenn das Elektron sich im Leiter bewegt?

c) Berechnen Sie die Geschwindigkeit des Elektrons im freien Raum. Die Ruhemasse des Elektrons beträgt $9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg.

d) Bis zu welcher Potentialdifferenz kann nicht-relativistisch gerechnet werden, wenn ein Fehler in der Masse des bewegten Elektrons von 1% akzeptiert wird?

$$m(v) = \frac{m_e}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$
$$c = 3 \cdot 10^8 \, \mathrm{m/s}$$

Aufgabe 2.2

Abbildung 2.2.1 zeigt die oszilloskopische Aufnahme eines periodischen Spannungssignals (Periodendauer T) an einem $50\,\Omega$ Messwiderstand.

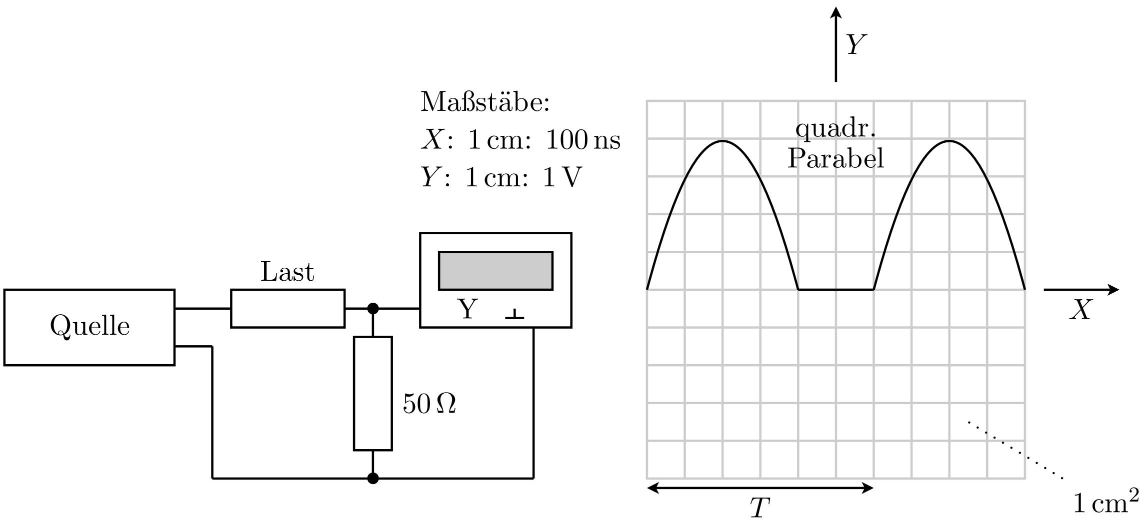


Abbildung 2.2.1

a) Geben Sie eine formelmäßige Darstellung $Y(X)$ an. Für eine zweckmäßige Darstellung kann der Koordinatenursprung horizontal verschoben werden.

b) Überführen Sie die Funktion $Y(X)$ in die Darstellung $U(t)$. Geben Sie die Gleichung in der Form $U/\mathrm{V} = f(t/\mu\mathrm{s})$ (als sogenannte *zugeschnittene Größengleichung*) an.

c) Welche Ladung Q_T wird während einer Periode durch den Widerstand transportiert?

d) Überprüfen Sie das Ergebnis aus c) näherungsweise durch Auszählen der Fläche im Bild.

Aufgabe 2.3

Gegeben ist eine Leitung mit Querschnitt $A = 2{,}5\,\mathrm{mm}^2$.

a) Berechnen Sie die Stromdichte für $I = 15\,\mathrm{A}$.

b) Berechnen Sie den maximalen Strom für eine zulässige Stromdichte $S = 10\,{}^{\mathrm{A}}/_{\mathrm{mm}^2}$.

c) Wie viele Elektronen bewegen sich pro Sekunde durch einen Querschnitt des Leiters, wenn der Strom $I = 1\,\mathrm{A}$ beträgt?

d) Wie groß ist die mittlere Geschwindigkeit der Elektronen für c), wenn die Elektronendichte $n \approx 8{,}6 \cdot 10^{22}\,\mathrm{cm}^{-3}$ beträgt?

e) Die zulässige Betriebsspannung der Leitung beträgt $U_{\max} = 500\,\mathrm{V}$. Berechnen Sie die maximale übertragbare elektrische Leistung.

f) Bestimmen Sie den OHM'schen Widerstand der Leitung pro km Länge bei den Betriebstemperaturen $T_1 = 20°\,\mathrm{C}$ und $T_2 = 120°\,\mathrm{C}$ jeweils für eine Cu- und eine Al-Leitung.

Material	ϱ_{20} ${}^{\Omega\mathrm{mm}^2}/_{\mathrm{m}}$	α_{20} ${}^{1}/_{\mathrm{K}}$	β_{20} ${}^{1}/_{\mathrm{K}^2}$
Cu	$0{,}01786$	$3{,}93 \cdot 10^{-3}$	$0{,}6 \cdot 10^{-6}$
Al	$0{,}02857$	$3{,}77 \cdot 10^{-3}$	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$

g) Berechnen Sie die Verlustleistung der Kupferleitung bei $20°\,\mathrm{C}$ und maximalem Strom jeweils für eine Leitungslänge von $100\,\mathrm{m}$ und $1\,\mathrm{km}$.
Bewerten Sie das Ergebnis.

Aufgabe 2.4

Die Widerstandsänderung von Leitern bei Temperaturänderung kann zur Temperaturmessung an unzugänglichen Wicklungen benutzt werden. Die Erregerwicklung einer elektrischen Maschine (Kupfer, $\alpha_{20} = 3{,}9310^{-3}\,\mathrm{K}^{-1}$) hat bei $20\,°\mathrm{C}$ einen Widerstand von $143\,\Omega$. Nach Dauerbetrieb wird ein Widerstand von $172\,\Omega$ gemessen. Wie hoch ist die Temperatur der Wicklung?

Aufgabe 2.5

Eine Leiterbahn aus Aluminium auf einem Mikrochip hat einen rechteckigen Querschnitt mit einer Breite von $b = 2\,\mu$m, eine Dicke $d = 0,6\,\mu$m und eine Länge von $l = 500\,\mu$m. Berechnen Sie den ohmschen Widerstand R_L der Leiterbahn bei den Temperaturen $T_1 = 20\,°$C und $T_2 = 120\,°$C.
(Aluminium: $\varrho_{20} = 28,6\,\mathrm{n\Omega m}$, $\alpha_{20} = 3,77 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{K}^{-1}$, $\beta_{20} = 1,3 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{K}^{-2}$)

Aufgabe 2.6

Bestimmen Sie die spezifischen Widerstände ϱ_{20} und ϱ_{2300} einer Glühlampe mit einem Wolframdraht von $0,024$ mm Durchmesser und 30 cm Länge, dessen Temperatur bei Betrieb mit der Nennspannung von 220 V und der Nennleistung von 100 W 2300 °C beträgt.

$\alpha_{20} = 4,1 \cdot 10^{-3}\,{}^{1}/_{\mathrm{K}}$
$\beta_{20} = 10^{-6}\,{}^{1}/_{\mathrm{K}^2}$

Aufgabe 2.7

Abbildung 2.7.1 zeigt die durch einen Drahtquerschnitt bis zur laufenden Zeit t transportierte Ladung $Q(t)$. Bei $t = 0$ ist die Tangente an die Kurve $Q(t)$ waagerecht.
Geben Sie die Funktionen $Q(t)$ und $I(t)$ an und stellen Sie $I(t)$ graphisch dar.

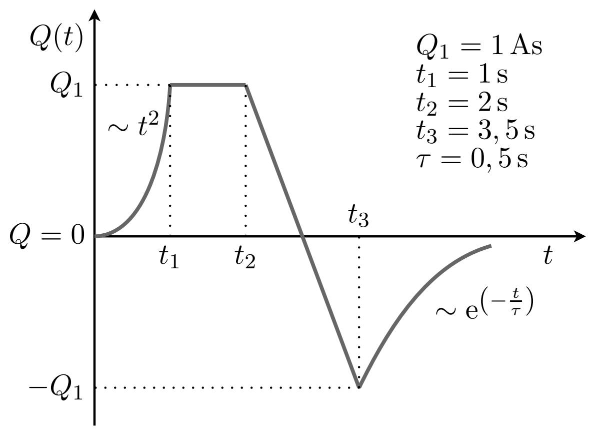


Abbildung 2.7.1

Aufgabe 2.8

Gegeben ist Schaltung aus Abbildung 2.8.1.

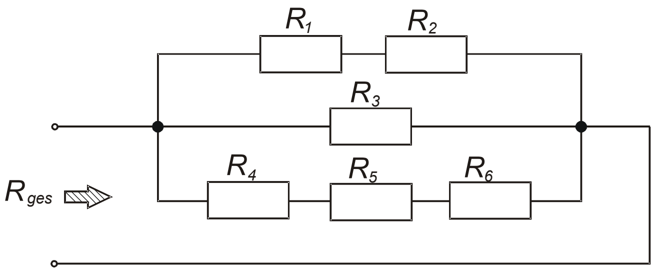


Abbildung 2.8.1

Bestimmen Sie den Ersatzwiderstand R_{ges} für:

$$\begin{aligned} R_1 &= R_4 = R \\ R_2 &= R_5 = 2R \\ R_3 &= R_6 = 3R \end{aligned}$$

Aufgabe 2.9

Gegeben ist Schaltung aus Abbildung 2.9.1:

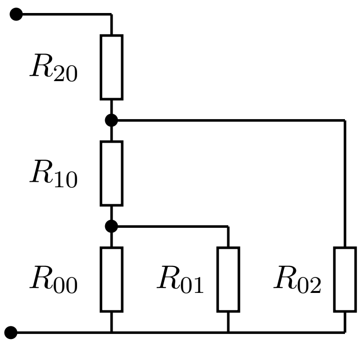


Abbildung 2.9.1

a) Bestimmen Sie den Ersatzwiderstand R_{ges} für $R_{0j} = 2\,\Omega$ und $R_{i0} = 1\,\Omega$ ($R_{00} = 2\,\Omega$).

b) Bestimmen Sie den Ersatzwiderstand R_{ges} für $R_{ij} = 1\,\Omega$

c) Berechnen Sie für den Fall a) die Ströme und Spannungen aller Widerstände für die an den Klemmen anliegende Spannung $U_0 = 10\,\text{V}$.

d) Welche Leistungen nehmen die Widerstände nach c) auf?

Aufgabe 2.10

Gegeben ist folgendes Netzwerk

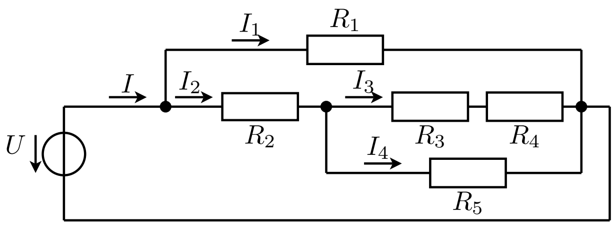


Abbildung 2.10.1

Berechnen Sie die gesamte Stromverteilung im Netzwerk für die gegebenen Widerstandswerte:
$U = 25\,\text{V}$; $R_1 = R_5 = 10\,\Omega$; $R_2 = 5\,\Omega$; $R_3 = 4\,\Omega$; $R_4 = 6\,\Omega$

Aufgabe 2.11

Es liegt eine symmetrisch(!) aufgebaute Widerstandsschaltung mit $R = 1\,\text{k}\Omega$ vor.

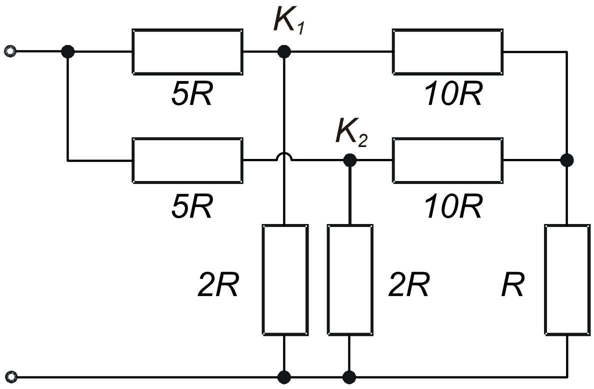


Abbildung 2.11.1

a) Finden Sie eine berechenbare Ersatzschaltung. Berücksichtigen Sie, dass Knoten gleichen Potentials kurzgeschlossen werden können.

b) Wie groß ist der Gesamtwiderstand der abgebildeten Schaltung?

Aufgabe 2.12

In einer zweiadrigen Kupferleitung der Länge l und des Querschnitts A entsteht durch eine Beschädigung an einer unbekannten Stelle ein Übergangswiderstand R_{ue} zwischen den Leitern (s. Abbildung 2.12.1). Zur Feststellung des Fehlerortes wird von beiden Seiten der Widerstand (R_l bzw. R_r) zwischen den beiden Adern gemessen, wobei jeweils auf der anderen Seite des Kabels die Adern nicht miteinander verbunden sind.

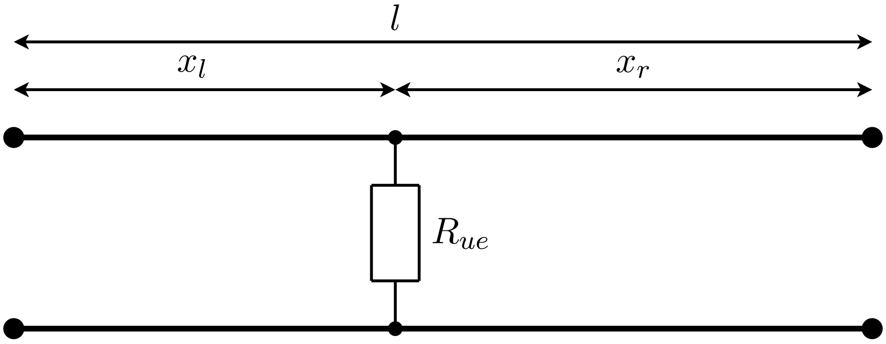


Abbildung 2.12.1

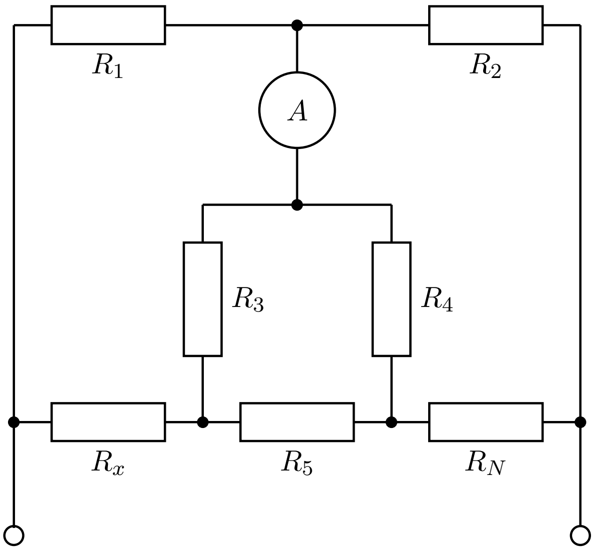
a) Stellen Sie eine Formel für die Berechnung von $\frac{x_l}{x_r}$ aus den bekannten Größen l, A, ϱ, R_l und R_r auf.

b) Berechnen Sie $\frac{x_l}{x_r}$ für folgende Zahlenwerte:
$l = 2100\,\text{m}$; $A = 2,5\,\text{mm}^2$; $\varrho = 0,01786\,\mu\Omega\text{m}$; $R_l = 400\,\Omega$; $R_r = 380\,\Omega$

c) Wie groß ist der relative Fehler bei der Berechnung von $\frac{x_l}{x_r}$ nach b), wenn statt des richtigen Wertes für R_l ($400\,\Omega$) ein Wert von $402\,\Omega$ gemessen wird?

Aufgabe 2.13

Für die Messung von kleinen Widerständen im Bereich von $(10^{-5} \dots 1)\,\Omega$ eignet sich die gezeichnete Thomson-Brücke, die mit Hilfe einer Dreieck-Stern-Umwandlung in eine Wheatstone-Brücke überführt werden kann.



a) Zeichnen Sie die Wheatstone-Brücke und geben Sie die Abgleichbedingung an.

b) Entwickeln Sie die Formel für R_x in Abhängigkeit von den anderen Widerständen der Thomson-Brücke, indem Sie die für die Abgleichbedingung notwendigen Widerstände berechnen.

c) Geben Sie die Bedingungsgleichung an, damit der Widerstand R_x nur noch von den Widerständen R_1, R_2 und R_N abhängig ist.

Aufgabe 2.14

Gegeben ist ein Drehspulinstrument mit Innenwiderstand $R_i = 30\,\Omega$ und Vollausschlag bei 1 mA. Es soll damit ein Vielfachinstrument mit den Messbereichen 3 V, 30 V, 300 V und 10 mA, 100 mA, 1 A aufgebaut werden.

a) Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild.

b) Bestimmen Sie die Messwiderstände, die zur Ermittlung der verschiedenen Messbereiche jeweils zugeschaltet werden müssen.

c) Bestimmen Sie jeweils den Gesamtwiderstand des Messgerätes für die verschiedenen Messbereiche.

Aufgabe 2.15

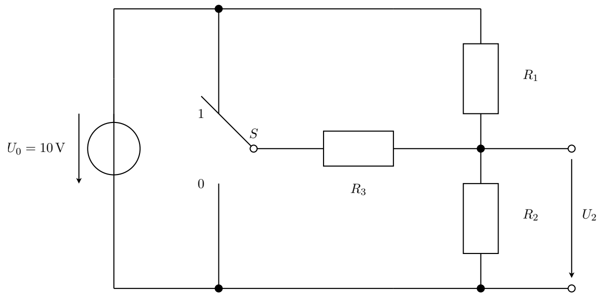
Eine Gleichspannungsquelle (U_0, R_i) mit einem Kurzschlussstrom von $50\,\mathrm{A}$ arbeitet auf die Parallelschaltung zweier Widerstände von $R_1 = 4\,\Omega$ und $R_2 = 6\,\Omega$. Es wird hierbei eine Klemmenspannung von $U_{AB} = 24\,\mathrm{V}$ gemessen.

a) Wie groß ist der Innenwiderstand der Spannungsquelle?

b) Wie groß ist ihre Leerlaufspannung?

Aufgabe 2.16

Die Spannung U_2 (über dem Widerstand R_2) am unbelasteten Ausgang soll abhängig von der Schalterstellung sein.



Bedingung 1: Bei $S = 1$ wird $U_2 = 6\,\mathrm{V}$ gefordert.

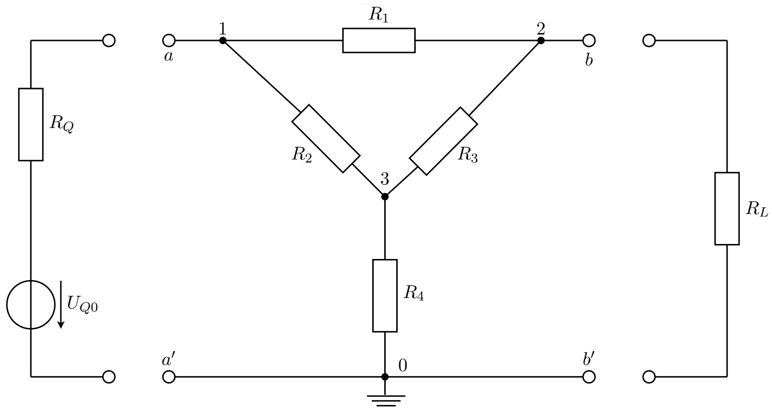
Bedingung 2: Bei $S = 0$ soll $U_2 = 4\,\mathrm{V}$ betragen.

Bedingung 3: Die Summe der Widerstände R_1, R_2 ist $10\,\mathrm{k}\Omega$.

Zeichnen Sie für beide Fälle das Ersatzschaltbild und berechnen Sie anschließend die drei Widerstände R_1, R_2 und R_3.

Aufgabe 2.17

Gegeben ist ein Übertragungsnetzwerk mit den Eingangsklemmen (a, a') und den Ausgangsklemmen (b, b'). Das Netzwerk wird am Eingang mit der Quelle Q und am Ausgang mit der Last R_L beschaltet. Die folgenden Werte sind gegeben: $U_{Q0} = 10\,\mathrm{V}$, $R_Q = 100\,\Omega$, $R_1 = R_4 = R_L = 100\,\Omega$, $R_2 = R_3 = 200\,\Omega$.



a) Berechnen Sie unter Anwendung der Stern-Dreieck-Umwandlung sämtliche Zweigströme und -spannungen des mit Quelle und Last beschalteten Netzwerks.

b) Berechnen Sie den Widerstand des Netzwerks an den unbeschalteten Eingangsklemmen für folgende Beschaltung am Ausgang:

   1) Leerlauf
   2) $R_L = 100\,\Omega$
   3) Kurzschluss

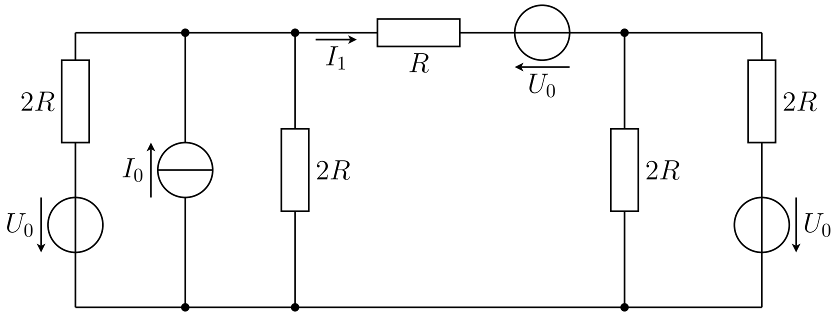
c) Bestimmen Sie die Ersatzspannungsquelle des am Ausgang unbeschalteten Netzwerks.

d) Bestimmen Sie die Ersatzstromquelle des am Ausgang unbeschalteten Netzwerks.

e) Für welchen Lastwiderstand R_L ergibt sich die maximale Ausgangsleistung und wie groß ist diese? Wie groß sind im Fall der Anpassung die von der Quelle gelieferte Leistung sowie die Verlustleistung auf dem Übertragungsnetzwerk?

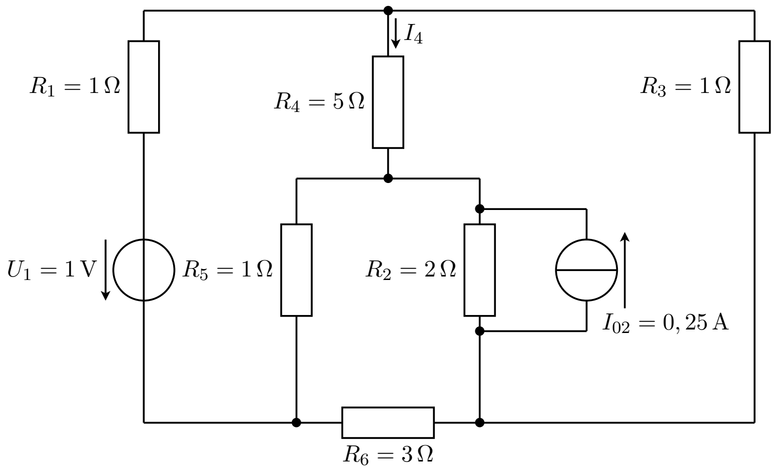
Aufgabe 2.18

Vereinfachen Sie die Schaltung durch die konsequente Anwendung der Methoden *Ersatzspannungsquelle* und *Ersatzstromquelle* bis ein einfacher Stromkreis mit einer Spannungsquelle und einem Widerstand entsteht. Zeichnen Sie für jeden Schritt das Ersatzschaltbild und bestimmen Sie abschließend den Strom I_1.



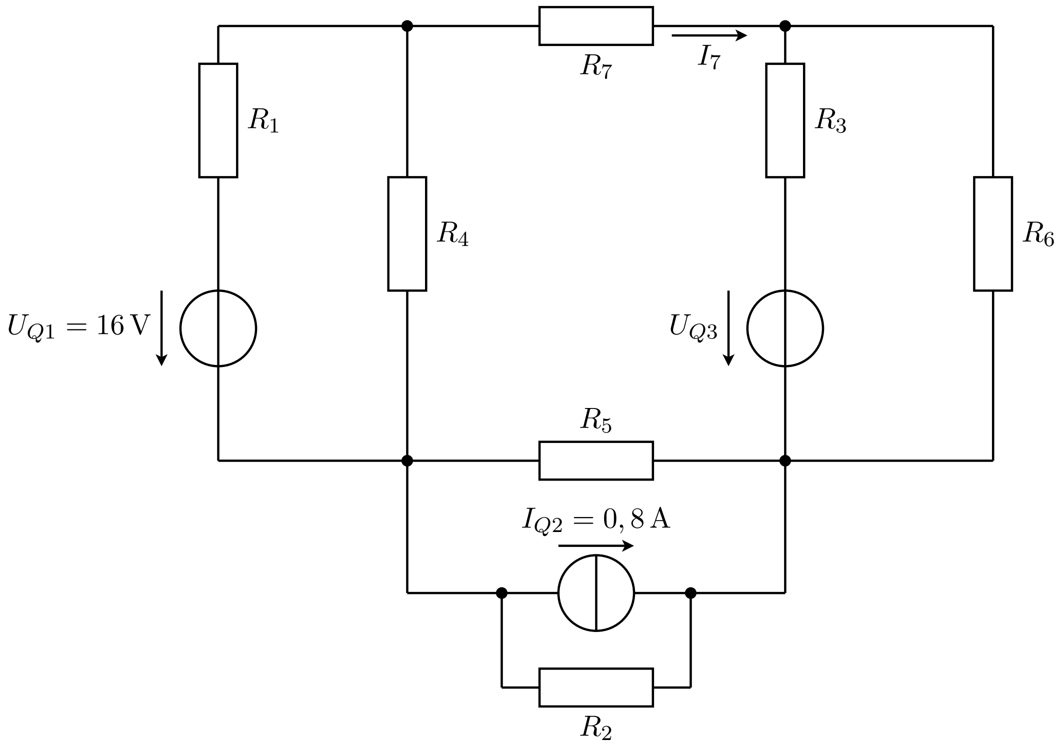
Aufgabe 2.19

Zwei Quellen sind an ein verschachteltes Widerstandsnetz angeschlossen. Bestimmen Sie den Strom I_4 mit dem Überlagerungsprinzip. Die Quellen sollen so belassen werden, wie in der Skizze angegeben.



Aufgabe 2.20

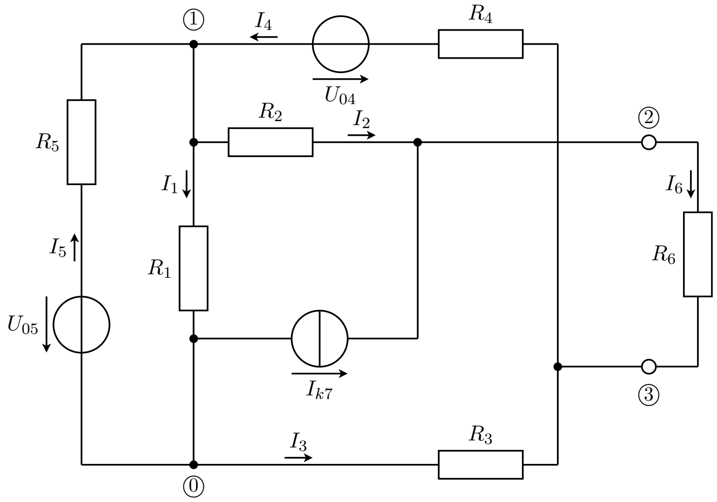
Die Spannung U_{Q3} soll so eingestellt werden, dass der Strom $I_7 = 40\,\mathrm{mA}$ wird. Alle Widerstände der Schaltung haben einen Wert von $10\,\Omega$. Lösen Sie diese Aufgabe mit Hilfe des Superpositionsprinzips.



Aufgabe 2.21

Gegeben sei das untenstehende Netzwerk mit:

$$U_{04} = U_{05} = 10\,\text{V}$$
$$I_{k7} = 3\,\text{A}$$
$$R_3 = R_6 = 10\,\Omega$$
$$R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = 5\,\Omega$$



a) Fassen Sie parallele Zweige zusammen.

b) Skizzieren Sie den Graphen des Netzwerks.

c) Skizzieren Sie den vollständigen Baum, der die Elemente R_1, R_2 und R_3 als Zweige enthält.

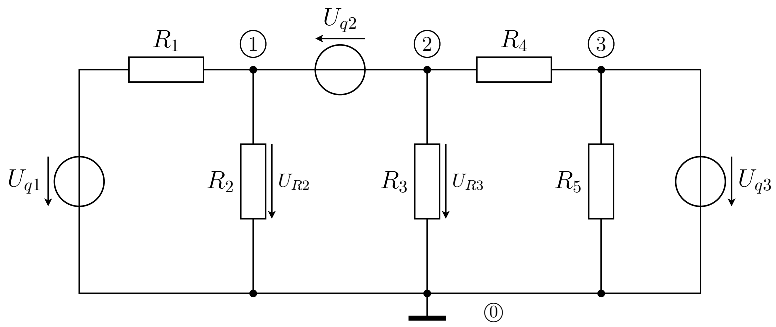
d) Wählen Sie mit dem vollständigen Baum aus c) linear unabhängige Maschen. Die Maschenströme sollen in Richtung der nicht zum vollständigen Baum gehörenden Zweigströme orientiert sein.

e) Erstellen Sie das linear unabhängige System von Netzwerkgleichungen, das sich mit den vorgegebenen Knoten und den Maschenströmen aus d) ergibt.

f) Leiten Sie daraus das reduzierte Gleichungssystem ab, das sich ergibt, wenn in d) die Zweigströme eliminiert werden. Welches Problem tritt hierbei auf? Wie kann man dieses umgehen?

Aufgabe 2.22

Gegeben ist das Netzwerk:

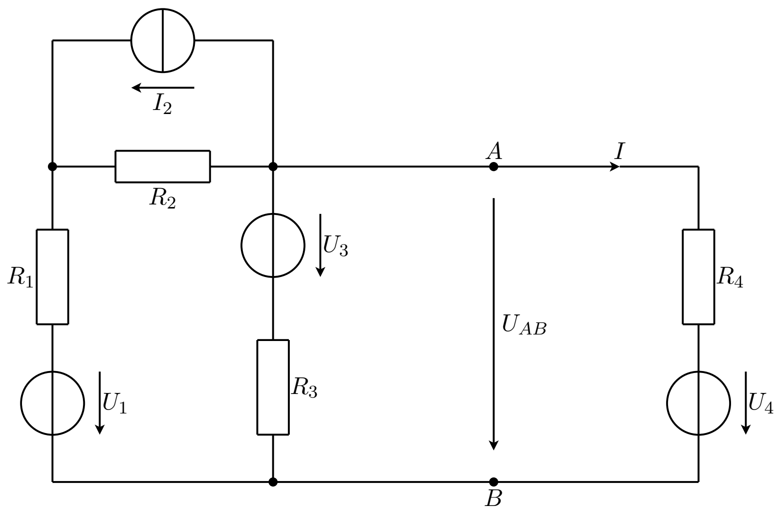


Berechnen Sie allgemein und zahlenmäßig die Spannungen an den Knoten ①, ② und ③ gegen Knoten ⓪ (Masse) mit Hilfe der *Maschenstromanalyse*.

$R_1 = R_2 = R_3 = 2\,\Omega$, $R_4 = R_5 = 4\,\Omega$, $U_{q1} = 10\,\text{V}$, $U_{q2} = U_{q3} = 5\,\text{V}$

Aufgabe 2.23

Im folgenden Netzwerk ist der Wert der Quellenspannung U_4 unbekannt. An den Klemmen A und B wird die Spannung $U_{AB} = 20\,\text{V}$ gemessen. Bestimmen Sie mit Hilfe des Maschenstromverfahrens zunächst allgemein den Strom I. Berechnen Sie dann die Zahlenwerte für U_4 und I.
Zahlenwerte:
$R_1 = 10\,\Omega$; $R_2 = 5\,\Omega$; $R_3 = 15\,\Omega$; $R_4 = 20\,\Omega$
$U_1 = 40\,\text{V}$; $I_2 = 2\,\text{A}$; $U_3 = 10\,\text{V}$



Aufgabe 2.24

Gegeben ist das in Abbildung 2.24.1 dargestellte Netzwerk, in dem die Spannung U berechnet werden soll. Die folgenden Werte sind gegeben: $I_{q1} = 1{,}8\,\mathrm{A}$, $U_{q2} = 5\,\mathrm{V}$, $U_{q5} = 16\,\mathrm{V}$, $R_1 = 10\,\Omega$, $R_2 = 5\,\Omega$, $R_3 = 2{,}5\,\Omega$, $R_4 = 1{,}5\,\Omega$, und $R_5 = 10\,\Omega$.

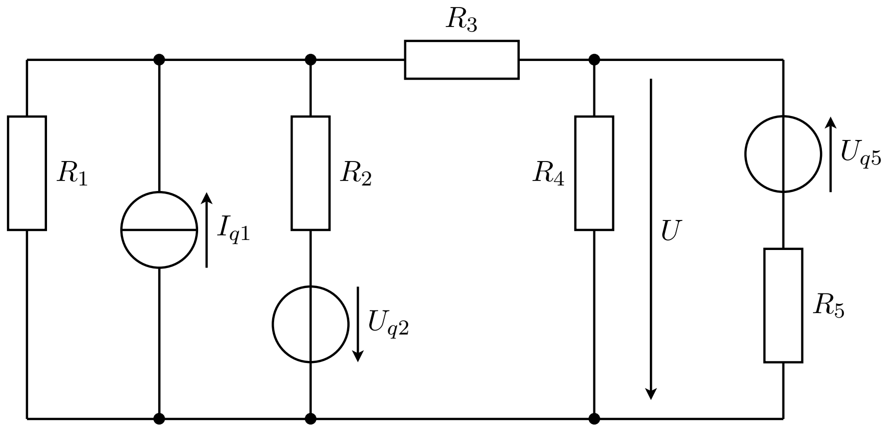


Abbildung 2.24.1

a) Welche Verfahren sind für welche Art von Netzwerken vorteilhaft und warum?

b) Bereiten Sie das Netzwerk für das Knotenpotentialverfahren vor.

c) Berechnen Sie die Spannung U.

Aufgabe 2.25

Gegeben sind das in Abbildung 2.25.1 dargestellte Netzwerk und die folgenden Werte:

$U_{04} = U_{05} = 10\,\mathrm{V} \quad I_{k7} = 3\,\mathrm{A} \quad R_3 = R_6 = 10\,\Omega \quad R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = 5\,\Omega$

a) Welche(s) Verfahren ist/sind für die Bestimmung der Teilströme $I_1 \ldots I_6$ der Schaltung geeignet?

b) Wählen Sie ein Verfahren und bereiten das Netzwerk für dieses Verfahren vor.

c) Bestimmen Sie alle Teilströme der gegebenen Schaltung durch Anwendung dieses Verfahrens.

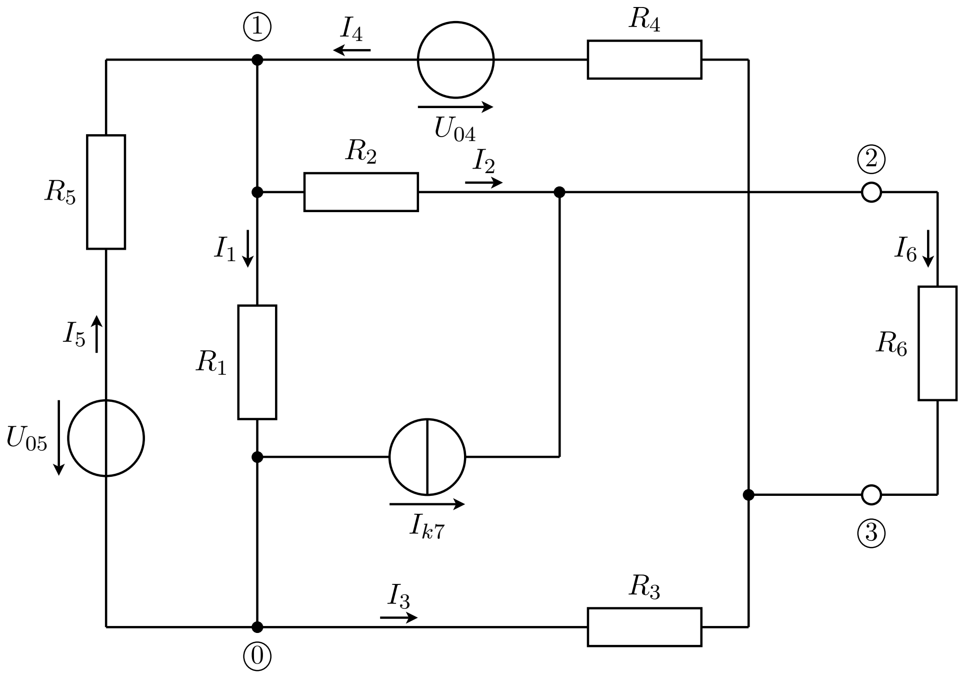


Abbildung 2.25.1

Aufgabe 2.26

Wandeln Sie die in Abbildung 2.26.1 gegebene *stromgesteuerte Spannungsquelle* in eine *spannungsgsteuerte Stromquelle* um. Zeichnen Sie das resultierende Ersatzschaltbild.

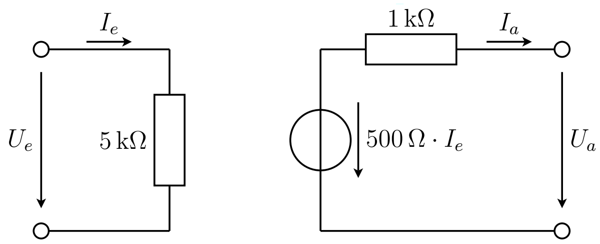
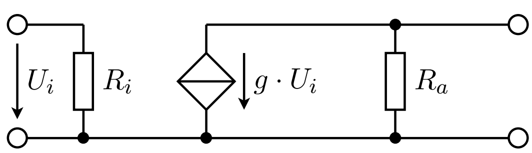


Abbildung 2.26.1

Aufgabe 2.27

Die nachstehende spannungsgesteuerte Stromquelle soll in eine äquivalente stromgesteuerte Spannungsquelle umgewandelt werden. Zeichen Sie das Schaltbild der stromgesteuerten Spannungsquelle und bestimmen Sie deren charakteristische Werte.



Aufgabe 2.28

Gegeben ist das in Abbildung 2.28.1 dargestellte Netzwerk mit gesteuerten Quellen.

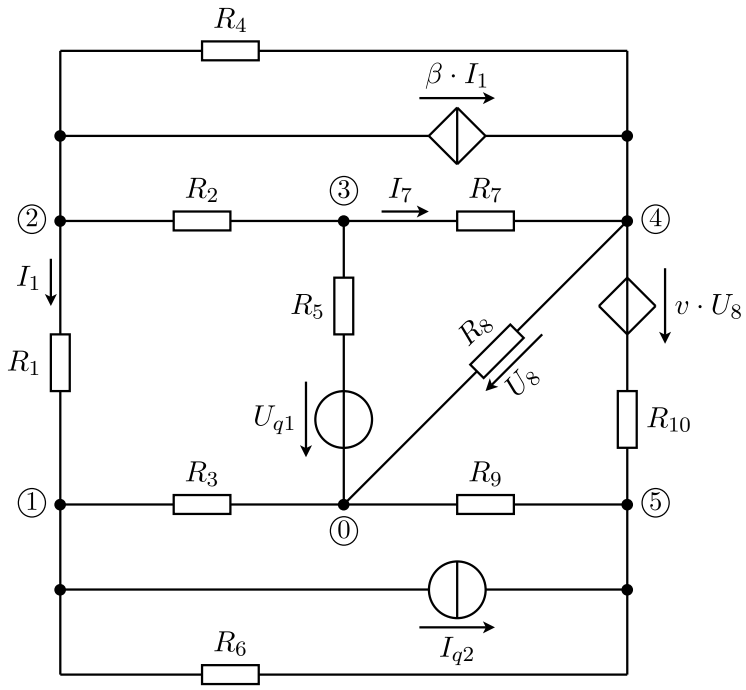


Abbildung 2.28.1

a) Welche Arten von gesteuerten Quellen enthält das Netzwerk?

b) Berechnen Sie das Netzwerk mit dem *Knotenpotentialverfahren* unter Verwendung der eingezeichneten Knotennummern. Wählen Sie den Knoten ⓪ als Bezugsknoten:

1) Wandeln Sie alle nötigen Quellen um. Beachten Sie dabei, dass gesteuerte Quellen beim Knotenpotentialverfahren nur als *spannungsgesteuerte Stromquellen* verwendet werden können.

2) Zeichnen Sie das resultierende Ersatzschaltbild.

3) Stellen Sie das Gleichungssystem für das Knotenpotentialverfahren auf. Behandeln Sie dabei zunächst die gesteuerten Quellen wie „normale“ Quellen.

4) Formen Sie das Gleichungssytem derart um, dass es mit üblichen Lösungsverfahren gelöst werden kann.

5) Mit Hilfe eines Computerprogramms kann nun eine Lösung des Gleichungssystems berechnet werden. Beschreiben Sie für den Fall, dass $V_1 \ldots V_5$ bekannt sind, die weiteren Schritte zur Berechnung des Stroms I_7.

c) Nun soll das Netzwerk mit Hilfe des Maschenstromverfahrens berechnet werden. Wählen Sie dazu den vollständigen Baum, der die Zweige zwischen den Knoten ① und ⓪, ⑤ und ⓪, ② und ③, ③ und ④ sowie ③ und ⓪ enthält. Der vollständige

Baum hat damit die Form eines „liegenden“ H. Übertragen Sie die Schritte in Anlehnung an den Aufgabenteil b) auf das Maschenstromverfahren.

Aufgabe 2.29

Gegeben ist das Netzwerk aus Abbildung 2.29.1.

a) Wandeln Sie das Netzwerk so um, dass es den Anforderungen des Knotenpotentialverfahrens genügt. Zeichnen Sie das resultierende Ersatzschaltbild.
Hinweis: Verschieben Sie die Spannungsquelle U_2 wie mit den grauen Pfeilen angedeutet über den Knoten ② so, dass sie in den Zweigen zwischen den Knoten ② und ① bzw. ② und ⓪ liegt.

b) Stellen Sie das Gleichungssystem für das Knotenpotentialverfahren in *allgemeiner Form* (als Matrix) so auf, dass es ohne weiteres Umstellen lösbar ist.

c) Gegeben sind nun die folgenden Zahlenwerte: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 10\,\mathrm{k\Omega}$, $U_1 = 10\,\mathrm{V}$, $U_2 = 20\,\mathrm{V}$ und $g = 1\,\mathrm{mS}$.
Berechnen Sie den Strom I_A, der vom Knoten ① zum Knoten ③ fließt, als Zahlenwert.

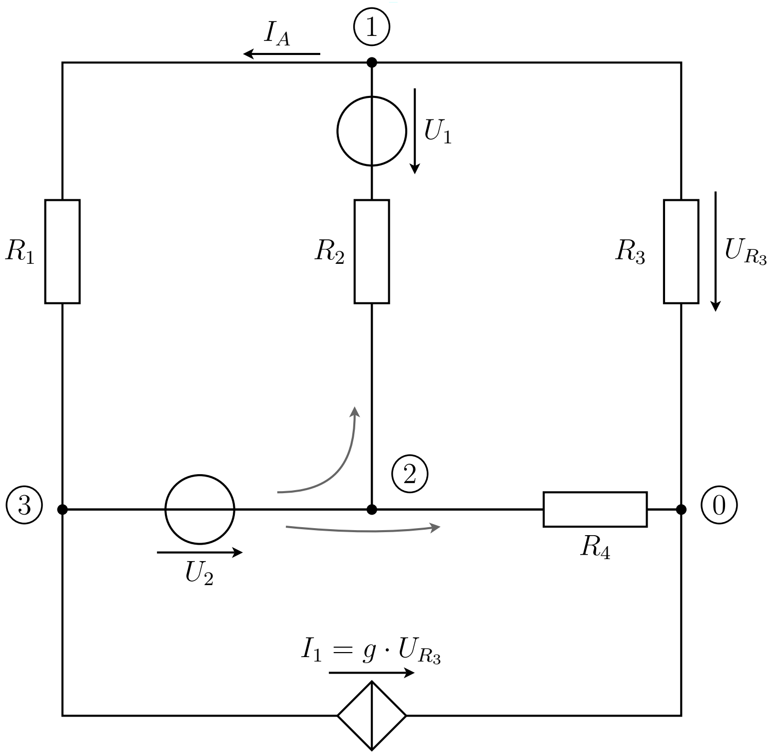


Abbildung 2.29.1

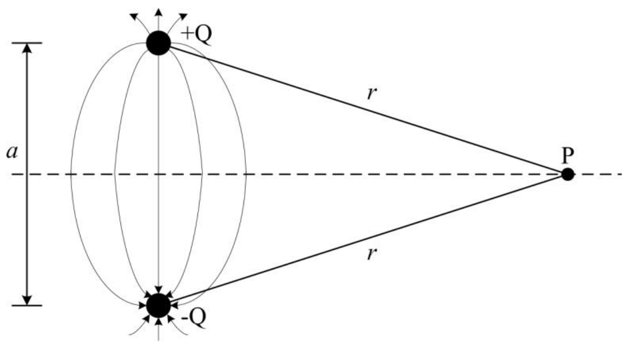
Stationäres elektrisches Feld

Aufgabe 3.1

In einem ebenen, rechtwinkligen Koordinatensystem befindet sich je eine Punktladung von $Q = 1\,\mathrm{nC}$ in den Punkten $(0; 0)$, $(1\,\mathrm{cm}; 0)$ und $(0; 1\,\mathrm{cm})$.
Geben Sie in einer Skizze die Richtung der Kraft $\vec{F}$ auf die Punktladung im Koordinatenursprung an und berechnen Sie deren Betrag. Das Dielektrikum sei Luft.

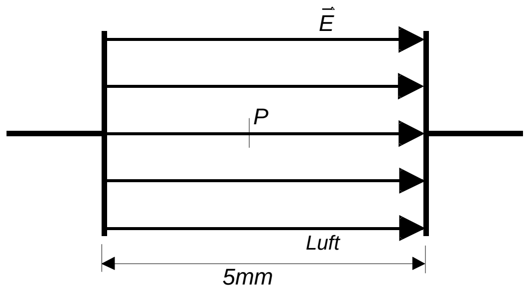
Aufgabe 3.2

Zwei Punktladungen $Q_1 = 1\,\mathrm{nC}$ und $Q_2 = -1\,\mathrm{nC}$ haben einen Abstand von $a = 25\,\mathrm{cm}$ zueinander. Wie groß ist die elektrische Feldstärke $\vec{E}$ (nach Betrag und Richtung) im Punkt P, der zu den beiden Ladungen einen Abstand von $r = 30\,\mathrm{cm}$ hat?



Aufgabe 3.3

Auf den planparallelen Metallplatten mit der Querschnittsfläche $A = 20\,\mathrm{cm}^2$ befindet sich die Ladung $Q_1 = +5\,\mathrm{nC}$ bzw. $Q_2 = -5\,\mathrm{nC}$. Der Punkt P befindet sich inmitten eines elektrostatischen Feldes. Streufelder können vernachlässigt werden.



a) Wie kann erreicht werden, dass Punkt P in einem feldfreien Raum liegt, obwohl das elektrostatische Feld nach wie vor vorhanden ist?

b) Wie groß ist die Feldstärke $\vec{E}$ mit Luft als Dielektrikum im homogenen Feld?

c) Wie groß ist die Feldstärke $\vec{E}$ mit Glas ($\varepsilon_r = 8$) als Dielektrikum im homogenen Feld?

d) Wie groß wäre jeweils die Spannung U zwischen den Metallplatten, deren Abstand $5\,\mathrm{mm}$ beträgt, unter der Annahme konstanter Ladungen $Q_{1,2} = \pm 5\,\mathrm{nC}$ auf den Platten?

Aufgabe 3.4

Gegeben sei ein Plattenkondensator in Luft mit effektiver Plattenfläche $A = 1\,\mathrm{m}^2$ und Plattenabstand $d = 1\,\mathrm{cm}$.

a) Der Kondensator wird auf $U = 10\,\mathrm{kV}$ aufgeladen und wieder von der Spannungsquelle getrennt. Berechnen Sie die Ladung auf den Platten, die elektrische Verschiebungsdichte im Feld sowie die elektrische Energiedichte und die elektrische Gesamtenergie.

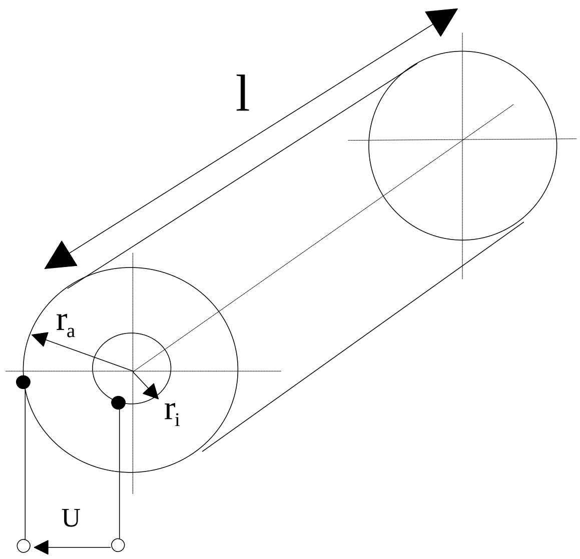
b) Der Plattenabstand wird verdoppelt ohne erneutes Aufladen des Kondensators. Berechnen Sie die Größen wie unter a). Wie groß ist die geleistete mechanische Arbeit beim Auseinanderziehen der Platten?

c) Der Kondensator verbleibt nach Aufladung an der Spannungsquelle. Berechnen Sie die Größen wie unter a) für den Fall, dass der Plattenabstand verdoppelt wird. Begründen Sie das verglichen mit b) unterschiedliche Ergebnis. Wie groß ist die von der Spannungsquelle abgegebene elektrische Energie?

d) Berechnen Sie für einen beliebigen Plattenkondensator mit der Ladung Q die Kraft pro Fläche auf die Platten aus der bei einer sehr geringen Änderung des Plattenabstandes ($\Delta d \ll d$) geleisteten mechanischen Arbeit.

Aufgabe 3.5

Die abgebildete Koaxialleitung liegt an der Spannung U. Im Dielektrikum zwischen dem Außen- und Innenleiter besteht das inhomogene elektrische Feld mit der Feldstärke $\vec{E}$. Für die Leitrung gelte: $l \gg r_i, r_a$.



a) Stellen Sie eine Beziehung für die Verschiebungsdichte in Abhängigkeit des Radius r auf.

b) Bilden Sie aus der gefundenen Funktion für die Verschiebungsdichte eine Beziehung zur Feldstärke.

c) Ermitteln Sie aus der allgemeinen Beziehung:

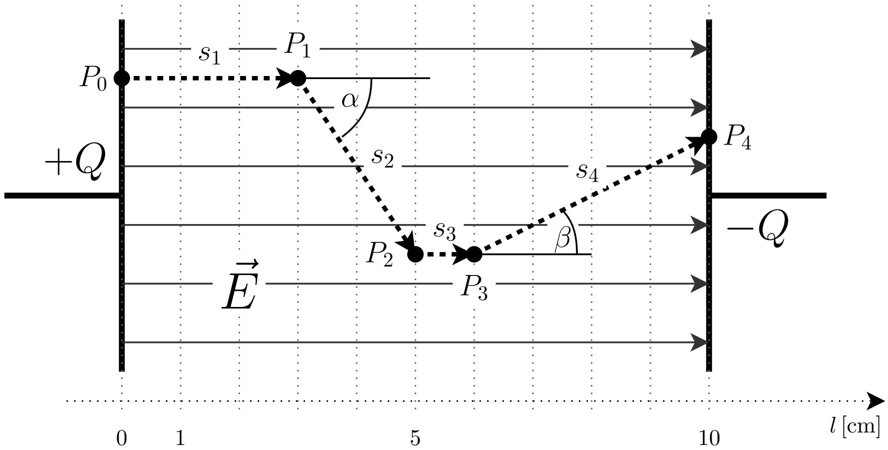
$$U = \int_{r_i}^{r_a} \vec{E}\, \mathrm{d}\vec{s} \tag{3.5.1}$$

eine spezielle Beziehung für die Koaxialleitung: $U = f(Q, r_a, r_i)$ wobei r_a der Radius des Außenleiters und r_i der Radius des Innenleiters ist.

d) Nun soll mit den vorliegenden Beziehungen eine Gleichung für die Feldstärke in radialer Richtung für einen beliebigen Punkt im Dielektrikum gefunden werden, der den Abstand r vom Mittelpunkt hat: $\vec{E} = f(U, r, r_a, r_i)$.

Aufgabe 3.6

Die Feldstärke im gegebenen homogenen elektrostatischen Feld betrage $100\,{}^{\mathrm{V}}/_{\mathrm{mm}}$.



a) Legen Sie ein für diese Aufgabe sinnvolles karthesisches Koordinatensystem fest. Wie lauten in diesem Koordinatensystem die Beschreibungen des elektrischen Feldes $\vec{E}$ und des Weges $\vec{s}$?
Hinweis: Stellen Sie den Weg abschnittsweise dar.

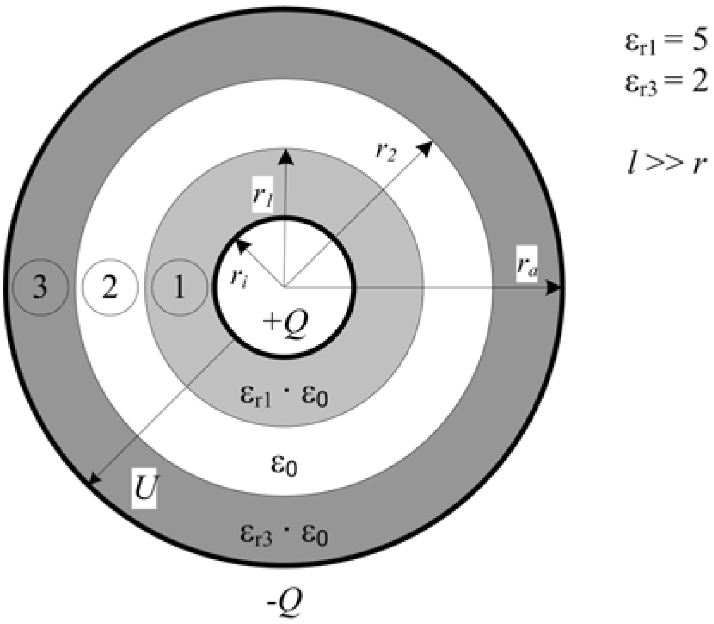
b) Zeichnen Sie die Funktion $\left|\vec{E}\right| = f\,(l)$.

c) Zeichnen Sie den zum Feldstärkeverlauf zugehörigen Potentialverlauf, wenn der Punkt P_0 auf Potential $V_0 = 0\,\mathrm{V}$ liegt.

d) Berechnen Sie die Potentiale $V_1 \ldots V_4$ der Punkte $P_1 \ldots P_4$ mit dem Linienintegral der Feldstärke über den (gestrichelt eingezeichneten) Weg $\vec{s}$, wobei $V_0 = 0\,\mathrm{V}$ ist.

e) Wie groß sind die Spannungen U_{02}, U_{24}, U_{31} und U_{40}?

Aufgabe 3.7



Ein Zylinderkondensator mit einer Zylinderlänge l enthält ein dreischichtiges isolierendes Dielektrikum mit den Gebieten 1, 2 und 3 (mit entsprechend $\varepsilon_0\varepsilon_{r1}$, ε_0, $\varepsilon_0\varepsilon_{r3}$). Der Innen- und der Außenleiter sind ideal leitend. Alle Randeffekte können vernachlässigt werden.

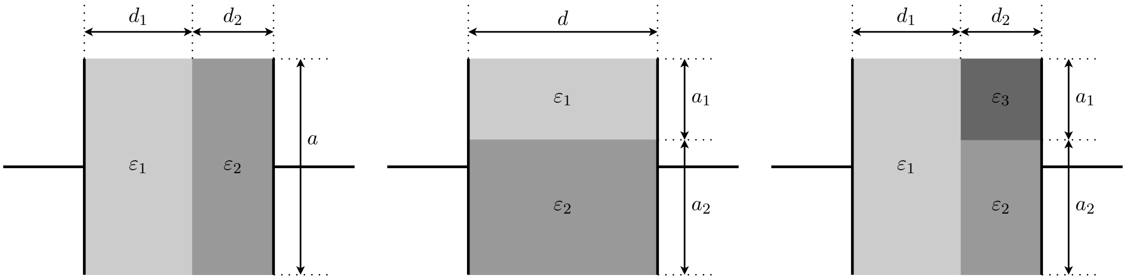
a) Geben Sie die Feldstärkeverläufe $E_{\mathrm{I}}(r)$, $E_{\mathrm{II}}(r)$ und $E_{\mathrm{III}}(r)$ in den drei Bereichen bei einer gegebenen Ladung Q an. Skizzieren Sie den Verlauf der Feldstärke in Abhängigkeit vom Radius r.

b) Berechnen Sie die Spannung U, die über den Innen- und Außenleiter anliegt.

c) Die Anordnung habe folgende Abmessungen: $l = 10\,\mathrm{cm}$, $r_i = 1\,\mathrm{mm}$, $r_1 = 2,2\,\mathrm{mm}$, $r_2 = 3,3\,\mathrm{mm}$, $r_a = 5\,\mathrm{mm}$. Bestimmen Sie die Gesamtkapazität C der Anordnung.

Aufgabe 3.8

Gegeben sind die folgenden Plattenkondensatoren mit geschichteten Dielektrika.



(a) (b) (c)

Die Plattenfläche beträgt $A = a^2$. Es sei $a_1 + a_2 = a$ und $d_1 + d_2 = d$. Berechnen Sie die Gesamtkapazität für die Fälle (a), (b) und (c) und geben Sie das Ergebnis in allgemeiner Form in Abhängigkeit der in den Bildern gegebenen Größen an. Vergleichen Sie die Ergebnisse qualitativ.

Aufgabe 3.9

a) Abbildung 3.9.1 zeigt eine Punktladung Q im leeren Raum. Berechnen Sie über das Hüllenintegral die Verschiebungsflussdichte $D(r)$ und die elektrische Feldstärke $E(r)$.

b) Gegeben sei jetzt eine Hohlkugel im leeren Raum gemäß Abbildung (II) mit einem Radius r_0, die eine Ladung Q trägt. Berechnen Sie für die Kugel die Verschiebungsflussdichte $D(r)$ und die elektrische Feldstärke $E(r)$ über den Hüllenfluss. Geben Sie den Gültigkeitsbereich für r an.

c) Abbildung (III) zeigt zwei konzentrische Hohlkugeln. Die äußere Kugel hat einen Radius r_A und trägt die Ladung $Q_A = -Q$. Die innere Kugel hat einen Radius von r_I und trägt die Ladung $Q_I = Q$. Ferner gilt $r_A > r_I$. Berechnen Sie die Verschiebungsdichte $D(r)$ und die elektrische Feldstärke $E(r)$ dieser Anordnung. Geben Sie erneut den Gültigkeitsbereich von r an und verwenden Sie für die Berechnung das Hüllenintegral.

Aufgabe 3.10

Ein Plattenkondensator nach Abbildung 3.10.1 mit Luft als Dielektrikum und dem Plattenabstand $d = 5\,\text{mm}$ liegt an einer Spannungsquelle mit $U = 2\,\text{kV}$.
Wie groß darf die Dicke d_1 einer zwischen die Platten geschobenen Isolierstoffplatte mit der relativen Permittivitätszahl $\varepsilon_r = 7$ höchstens sein, damit die elektrische Feldstärke im verbleibenden Luftraum nicht größer als $E_2 = 8 \cdot 10^5\,{}^{\text{V}}\!/_{\text{m}}$ wird?

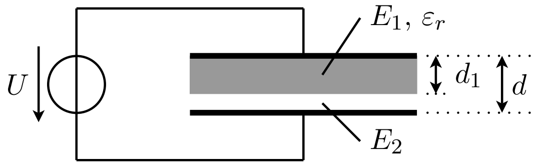


Abbildung 3.10.1

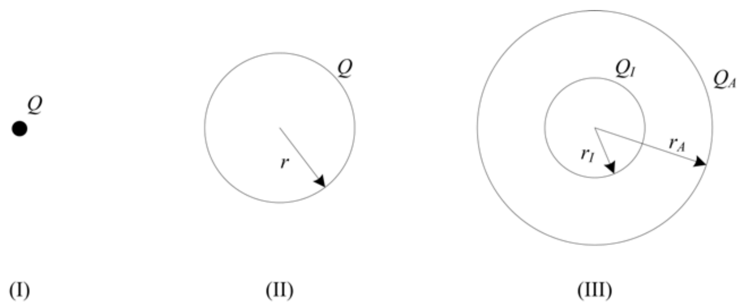
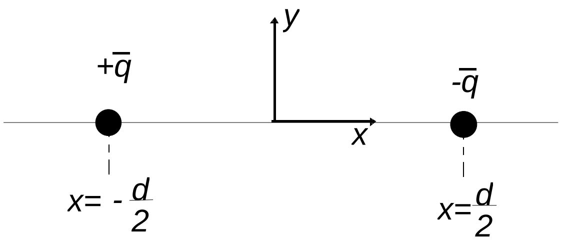


Abbildung 3.9.1

Aufgabe 3.11

Es soll das Feld zweier entgegengesetzter paralleler Linienladungen mit Abstand d gemäß Skizze durch Überlagerung der Teilfelder bestimmt werden.



a) Berechnen und skizzieren Sie die elektrische Feldstärke und das Potential als Funktion von x in der Ebene $y = 0$.

b) Geben Sie eine Begründung dafür, warum die Symmetrieebene $x = 0$ metallisiert werden kann. Das Verfahren ermöglicht demnach auch die Bestimmung des Feldes einer Linienladung vor einer parallelen, leitfähigen Ebene.

c) Unter der Voraussetzung, dass der Leiterabstand sehr viel größer als der Radius der Einzelleiter ist, kann durch die Überlagerung des Feldes von zwei Linienladungen auf den Achsen der beiden Doppelleitungen näherungsweise das Feld einer Doppelleitung beschrieben werden. Berechnen Sie mit dieser Näherung die Kapazität pro km Länge einer Doppelleitung mit Abstand $d = 20\,\mathrm{m}$ und Leiterradius $r = 5\,\mathrm{mm}$.

d) Berechnen Sie die Kapazität pro km Länge einer einzelnen Leitung in einer Höhe $h = 10\,\mathrm{m}$ gegenüber Erde und Leiterradius $r = 5\,\mathrm{mm}$.

Aufgabe 3.12

Die obere Platte eines Plattenkondensators ist gemäß Abbildung 3.12.1 an einer symmetrischen Balkenwaage angebracht. An den Kondensatorplatten, die den Abstand d voneinander haben, liegt die Spannung U_0 an. Die elektrostatische Kraft F_E wird auf der Gegenseite durch die Gewichtskraft F_G kompensiert.

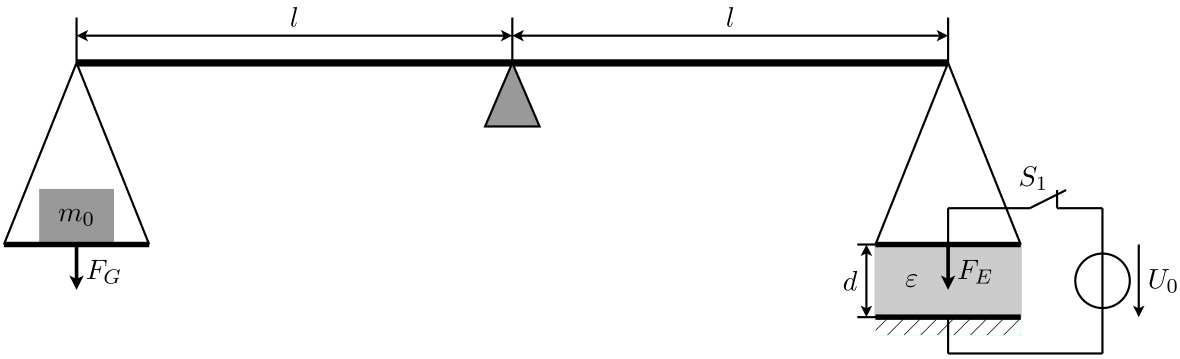


Abbildung 3.12.1

1. Zwischen den Kondensatorplatten befindet sich Luft ($\varepsilon = \varepsilon_0$).
   a) Gesucht ist die Kapazität C_1 des Kondensators in Abhängigkeit von U_0, m_0 und d.
   b) Wie groß ist die Ladung Q_1, die auf den Kondensatorplatten gespeichert ist?
2. Bei angeschlossener Spannung U_0 wird der Kondensator mit einem Dielektrikum ($\varepsilon = 20\varepsilon_0$) gefüllt.
   a) Welche Masseänderung Δm bezogen auf m_0 ist nötig, um die Waage im Gleichgewicht zu halten?
   b) Wie groß ist jetzt die Ladung Q_2 auf den Kondensatorplatten?
3. Jetzt wird der Kondensator durch Öffnen des Schalters S_1 von der Spannungsquelle getrennt und das Dielektrikum wieder entfernt.
   a) Welche Ladung Q_3 ist nun im Kondensator gespeichert?
   b) Welche Masseänderung Δm bezogen auf m_0 ist jetzt erforderlich, um die Waage im Gleichgewicht zu halten?

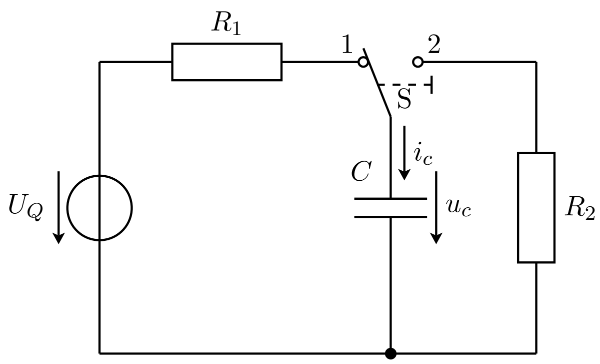
Aufgabe 3.13

Gemäß Skizze wird der Kondensator C in Stellung 1 des Schalters S aufgeladen. In Stellung 2 wird er entladen.

Die folgenden Werte sind gegeben:

$U_Q = 10\,\text{V} \quad C = 10\,\mu\text{F} \quad R_1 = 15\,\text{k}\Omega \quad R_2 = 10\,\text{k}\Omega$

In den Zeitintervallen $-\infty < t \leq 0$ und $1\,\text{s} < t < \infty$ befindet sich der Schalter in Stellung 2. Im Zeitintervall $0 < t \leq 1\,\text{s}$ befindet er sich in Stellung 1.



a) Bestimmen Sie die Zeitkonstanten des Lade- und des Entladevorgangs.

b) Bestimmen Sie jeweils den maximalen Lade- und Entladestrom des Kondensators. Überlegen Sie sich dazu, wann der maximale Strom fließt.

c) Skizzieren Sie den normierten Kondensatorstrom $\frac{i_C}{i_{C,\max}}$ und die normierte Kondensatorspannung $\frac{u_C}{u_{C,\max}}$ im Zeitintervall $-1\,\text{s} < t < 3\,\text{s}$. Markieren Sie charakteristische Punkte.

d) Welche elektrische Energie ist im Feld des Kondensators zum Zeitpunkt $t = 1\,\text{s}$ gespeichert?

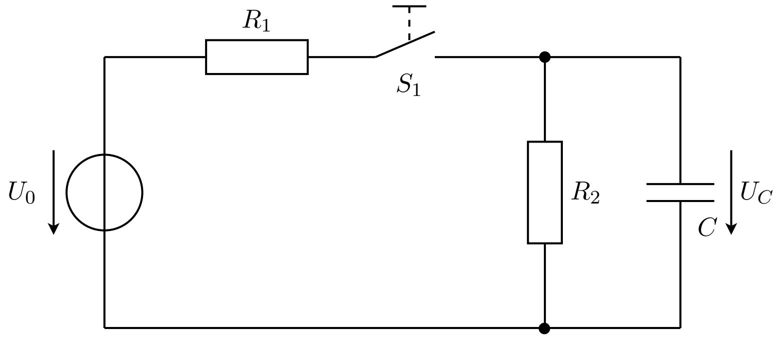
e) Wie groß ist die von der Spannungsquelle im Zeitintervall $-1\,\text{s} < t < 3\,\text{s}$ abgegebene elektrische Energie?

f) Wie viel Wärmeenergie wird jeweils in den Widerständen R_1 und R_2 im Zeitintervall $-1\,\text{s} < t < 3\,\text{s}$ erzeugt?

Aufgabe 3.14

Gegeben ist die unten stehende Schaltung mit:

$U_0 = 10\,\mathrm{V} \quad R_1 = 100\,\Omega \quad R_2 = 200\,\Omega \quad C = 1000\,\mu\mathrm{F}$



a) Der Schalter S_1 ist für $-\infty < t < 0$ geöffnet und wird zum Zeitpunkt $t = 0$ geschlossen. Bestimmen Sie Anfangs- und Endwert der Spannung und des Stromes am Kondensator sowie die Zeitkonstante τ_{ein} des Ausgleichsvorgangs. Geben Sie außerdem den Strom $i_C(t)$ und die Spannung $u_C(t)$ am Kondensator an.

b) Der Schalter S_1 ist für $-\infty < t < 0$ geschlossen und wird zum Zeitpunkt $t = 0$ geöffnet. Bestimmen Sie Anfangs- und Endwert der Spannung und des Stromes am Kondensator sowie die Zeitkonstante τ_{aus} des Ausgleichsvorgangs. Geben Sie außerdem den Strom $i_C(t)$ und die Spannung $u_C(t)$ am Kondensator an.

Elektrisches Strömungsfeld

Aufgabe 4.1

Als Modell für das Verhalten eines Erders soll ein Halbkugelerder gemäß Skizze verwendet werden. Im Fall eines Erdschlusses fließe ein Erdschlussstrom $I_E = 100\,\text{A}$. Das Erdreich habe den spezifischen Widerstand $\varrho = 50\,\Omega\text{m}$.

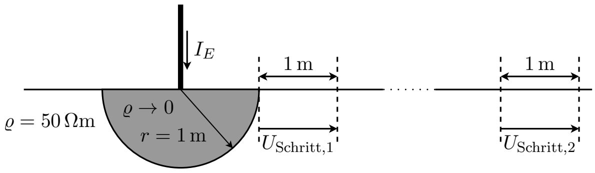


Abbildung 4.1.1

a) Berechnen Sie die Stromdichte allgemein als Funktion des Abstands vom Mittelpunkt des Erders und an der Erdoberfläche.

b) Berechnen Sie die Spannung des Erders gegenüber dem unendlich fernen Punkt.

c) Berechnen Sie die Potentialdifferenz an der Erdoberfläche über eine Strecke von einem Meter (Schrittspannung, d.h. die Spannung, der ein Mensch im Kurzschluss bei einem Schritt von 1 m ausgesetzt ist) am Ort des Erders ($U_{\text{Schritt},1}$) und in 10 m Entfernung vom Erder ($U_{\text{Schritt},2}$).

Aufgabe 4.2

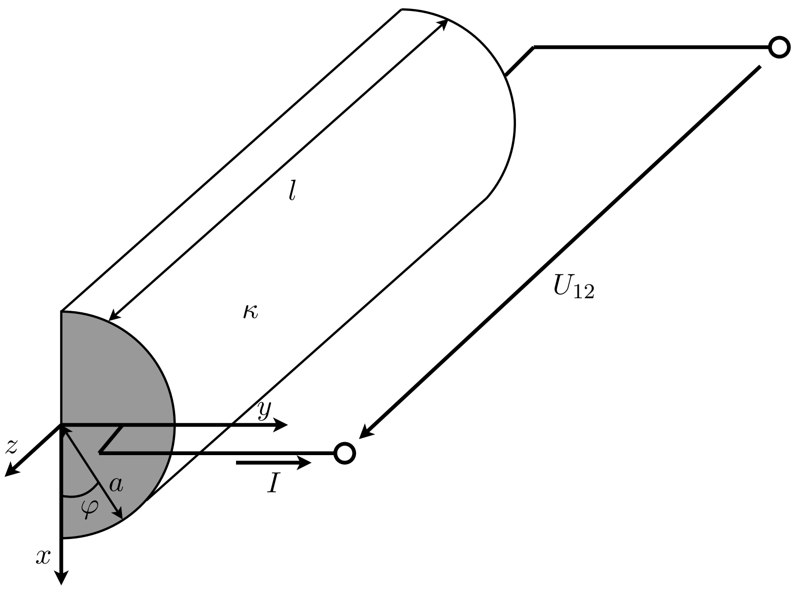


Abbildung 4.2.1

Gegeben sei der in Abbildung 4.2.1 dargestellte Halbzylinder mit der Länge l und dem Radius a, der die von der Koordinate z unabhängige Leitfähigkeit κ besitzt. Beide Deckflächen sind vollständig mit ideal leitfähigen Elektroden versehen (die vordere Elektrode ist grau eingefärbt). Über dem Halbzylinder liegt die Spannung U_{12} in der eingezeichneten Richtung an.

a) Bestimmen Sie die elektrische Feldstärke $\vec{E}$ im gesamten Halbzylinder in Abhängigkeit der geometrischen Größen und der angelegten Spannung U_{12}.

Es gelte nun $\kappa = \kappa_0 \cdot \sin(\varphi)$

b) Bestimmen Sie die Stromdichte $\vec{J}$, die sich im Halbzylinder einstellt, in Abhängigkeit der geometrischen Größen sowie der angelegten Spannung U_{12}.

c) Berechnen Sie nun den in z-Richtung orientierten Strom in Abhängigkeit der geometrischen Größen sowie der angelegten Spannung U_{12}.

d) Berechnen Sie den Widerstand R der Anordnung.

Aufgabe 4.3

Zwischen zwei konzentrisch angeordneten, dünnwandigen Metall-Hohlkugeln mit den Radien $r_1 = 4\,\mathrm{cm}$ und $r_2 = 10\,\mathrm{cm}$ befindet sich ein Medium mit einem spezifischen Widerstand $\varrho = 10^8\,\Omega\mathrm{m}$.

a) Welcher Widerstand R besteht zwischen den beiden Metallkugeln?

b) Wie groß ist die maximal auftretende Feldstärke E, wenn zwischen den Metallkugeln eine Spannung von $U = 25\,\mathrm{kV}$ herrscht?

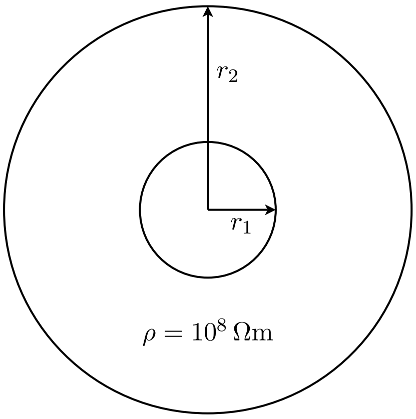


Abbildung 4.3.1

Ergänzungsaufgaben zur Selbstkontrolle

Die nachfolgenden Verständnisaufgaben dienen zur vorlesungsbegleitenden Nachbereitung und sollten ohne Hilfsmittel selbständig gelöst werden können

Basics

- Welche der hier angegebenen Gleichungen sind richtig?
  - ☐ $3 \cdot 10^{-13}\,\mathrm{F} = 300\,\mathrm{fF}$
  - ☐ $0,1\,\mathrm{ms} = 10^{-5}\,\mathrm{s}$
  - ☐ $2,2 \cdot 10^{5}\,{}^{\mathrm{V}}\!/\!_{\mathrm{A}} = 220\,\mathrm{k\Omega}$
  - ☐ $100\,\mathrm{C} = 0,1\,\mathrm{kAs}$
- Nennen Sie drei Wirkungen des elektrischen Stroms! (3 Punkte)

Gleichstrom

- Gegeben sei ein Netzwerk mit 17 Knoten, und 30 Zweigen. Wie viele Gleichungen beinhaltet das *vollständige* KIRCHHOFF'sche Gleichungssystem?

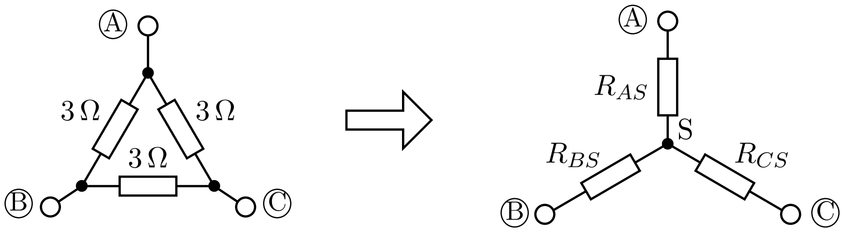
  ☐ 47

  ☐ 60

  ☐ 14

  ☐ 30

- Gegeben ist die dargestellte Dreieckschaltung. Berechnen Sie die Widerstände der bezüglich der Klemmen Ⓐ, Ⓑ und Ⓒ äquivalenten Sternschaltung.

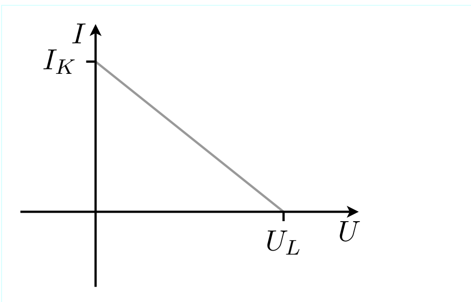


R_{AS} = ____________________

R_{BS} = ____________________

R_{CS} = ____________________

- Gegeben ist der folgende Graph mit eingezeichneter Leerlaufspannung U_L und Kurzschlussstrom I_K. Was ist dargestellt?



  ☐ Ideale Stromquelle

  ☐ Reale Stromquelle

  ☐ Ideale Spannungsquelle

  ☐ Reale Spannungsquelle

- Welche der genannten Größen ermöglichen die Bestimmung einer *Ersatzstromquelle*?

  ☐ Innenwiderstand und Leerlaufspannung

  ☐ Innenwiderstand und Kurzschlussstrom

  ☐ Innenwiderstand und Innenleitwert

  ☐ Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung

- Welche Eigenschaften hat die Matrix der Leitwerte beim Knotenpotentialverfahren?

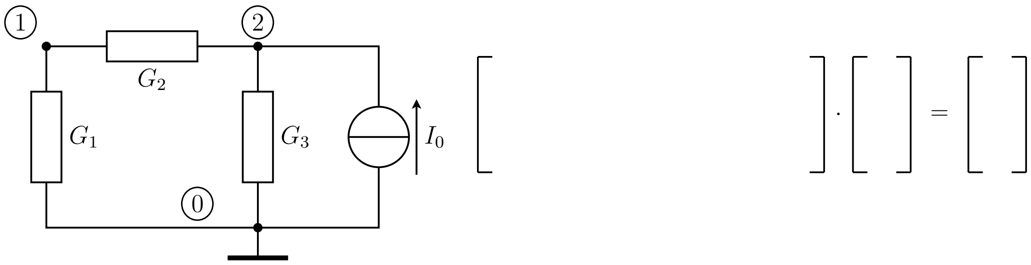
  ☐ Sie ist symmetrisch, wenn keine gesteuerten Quellen im Netzwerk sind.

  ☐ Sie ist immer symmetrisch.

  ☐ Leitwerte, die zwischen Knoten liegen, sind *negativ* eingetragen, wenn der Knoten mit der kleineren Nummer eine positivere Spannung hat als der Knoten mit der größeren Nummer.

  ☐ In der Hauptdiagonalen steht die Summe der Leitwerte, die mit dem entsprechenden Knoten verbunden sind.

- Gegeben ist dieses Netzwerk. Stellen Sie das Gleichungssystem für das Knotenpotentialverfahren in Matrixform auf. (2 Punkte)

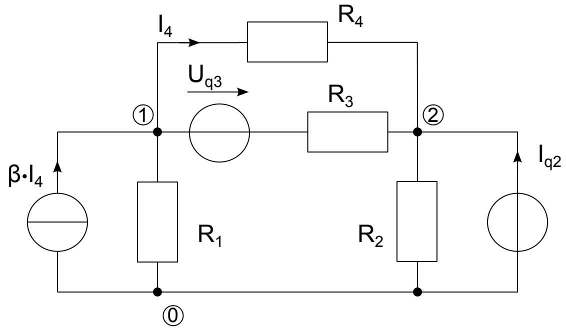


- Gegegeben ist die folgende Matrix des *Knotenpotentialverfahrens*. Zeichen Sie das dazugehörige Netzwerk und benennen Sie alle Elemente sowie die Knoten! (4 Punkte)

$$\begin{bmatrix} G_1 + G_2 + G_3 & -G_2 - G_3 \\ -G_2 - G_3 & G_2 + G_3 + G_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{Q1} \\ -I_{Q1} \end{bmatrix}$$

- Beschreiben Sie stichpunktartig das *Vorgehen* zur Berechnung von Zweigspannungen und Zweigströmen mit Hilfe des *Knotenpotentialverfahrens*! (4 Punkte)

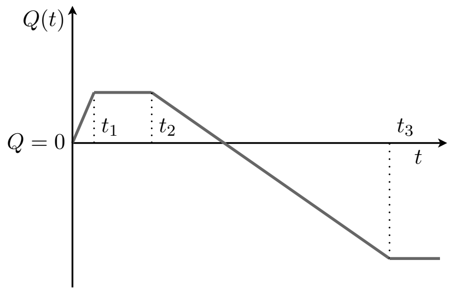
- Gegeben ist das in der Abbildung dargestellte Netzwerk. (8 Punkte)

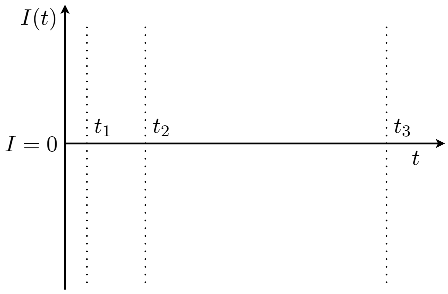


1. Bereiten Sie das Netzwerk für das Knotenpotentialverfahren vor und beschreiben Sie die Schritte, die Sie zum Aufstellen des Gleichungssystems durchführen.
2. Stellen Sie das Gleichungssystem für das Knotenpotentialverfahren so auf, dass es ohne weiteres Umstellen lösbar ist.

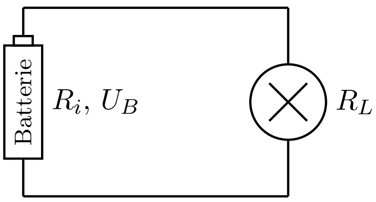
- Was besagt die KIRCHHOFF'sche Knotenregel?

- Gegeben ist die dargestellte Ladungskurve $Q(t)$. Zeichnen Sie den Strom $I(t)$ *qualitativ* in das vorbereitete Koordinatensystem ein. (2 Punkte)





- Gegeben ist die dargestellte Schaltung. Geben Sie den Leistungswirkungsgrad η der Anordnung in Abhängigkeit der Widerstände R_i und R_L an!



$$\eta = \frac{R_L}{R_i + R_L}$$

- Welche Aussage(n) zur *Leistungsanpassung* ist/sind korrekt?

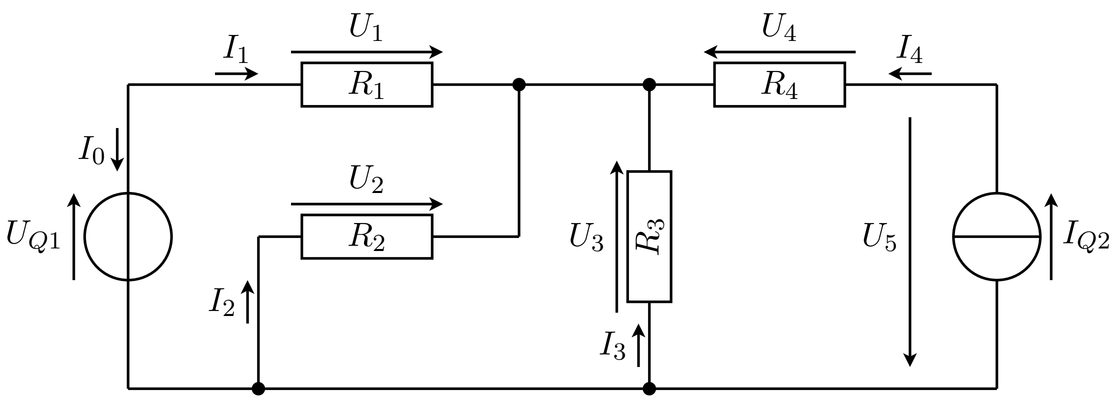
  ☐ Die im Verbraucher umgesetzte Leistung wird im Falle der Leistungsanpassung maximal.

  ☐ Die Leistung der Quelle wird so angepasst, dass die gewünschte Leistung am Verbraucher zur Verfügung steht.

  ☐ Der Widerstandswert des Verbrauchers wird an den Innenwiderstand der Quelle angepasst.

  ☐ Die im Verbraucher umgesetzte Leistung ist gleich der im Widerstand der Quelle umgesetzten Leistung. Der Wirkungsgrad η ist somit 50%.

- Gegeben ist die nachfolgende Schaltung. (3 Punkte)



1. Zeichnen Sie alle Knoten in die Schaltung ein und bezeichnen Sie diese mit $K_1, K_2, \ldots K_n$!
2. Wie viele Maschen sind *maximal* in der Schaltung möglich?

   ____

3. Zeichen Sie *eine beliebige* Masche in die Schaltung ein und stellen Sie die zugehörige Maschengleichung auf!

   ____

   ____

- Was besagt die KIRCHHOFF'sche Maschenregel?

  ____

  ____

- Beschreiben Sie stichwortartig das Vorgehen zur Berechnung eines Zweigstroms mit dem *Maschenstromverfahren*! (3 Punkte)

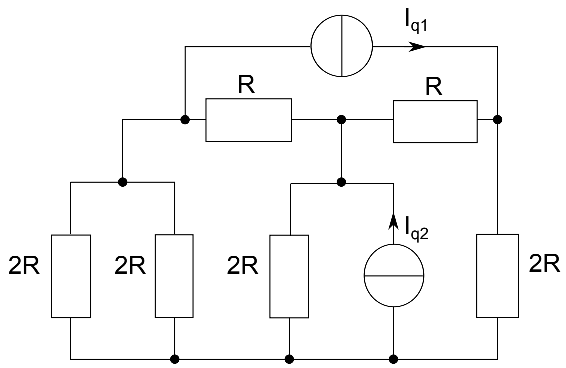
  ____

  ____

  ____

  ____

- Gegeben ist das in der Abbildung dargestellte Netzwerk. (8 Punkte)



1. Bereiten Sie das Netzwerk für das Maschenstromverfahren vor und beschreiben Sie die Schritte, die Sie zum Aufstellen des Gleichungssystems durchführen.

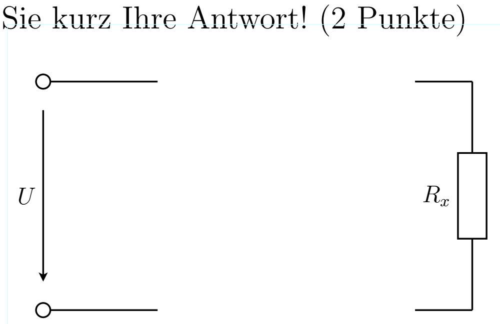
2. Stellen Sie das Gleichungssystem für das Maschenstromverfahren auf.

- Welche Größen werden in die Matrizen/Vektoren des Maschenstromverfahrens geschrieben?

$$(\mathbf{A}) \cdot (\mathbf{B}) = (\mathbf{C})$$

  - ☐ ($\mathbf{A}$): Ströme in den Maschen,
    ($\mathbf{C}$): Quellenspannungen in der Masche, in Umlaufrichtung negativ gezählt
  - ☐ ($\mathbf{A}$): Leitwerte in/zwischen den Maschen,
    ($\mathbf{C}$): Quellenspannungen in der Masche, in Umlaufrichtung positiv gezählt
  - ☐ ($\mathbf{A}$): Widerstände in/zwischen den Maschen,
    ($\mathbf{C}$): Quellenspannungen in der Masche, in Umlaufrichtung negativ gezählt
  - ☐ ($\mathbf{A}$): Quellenspannungen in der Masche, in Umlaufrichtung negativ gezählt,
    ($\mathbf{C}$): Widerstände in/zwischen den Maschen

- Gegeben sind die Innenwiderstände eines Amperemeters und eines Voltmeters sowie der ungefähre Widerstandswert eines zu bestimmenden Widerstands R_x. Mit einer gleichzeitigen Spannungs– und Strommessung soll der Widerstand möglichst genau bestimmt werden. Werte: $R_A = 0,1\,\Omega$; $R_V = 1\,\text{M}\Omega$; $R_x \approx 1\,\Omega$
Skizzzieren Sie die Schaltung, mit der der *kleinste systematische* Messfehler entsteht und begründen Sie kurz Ihre Antwort! (2 Punkte)



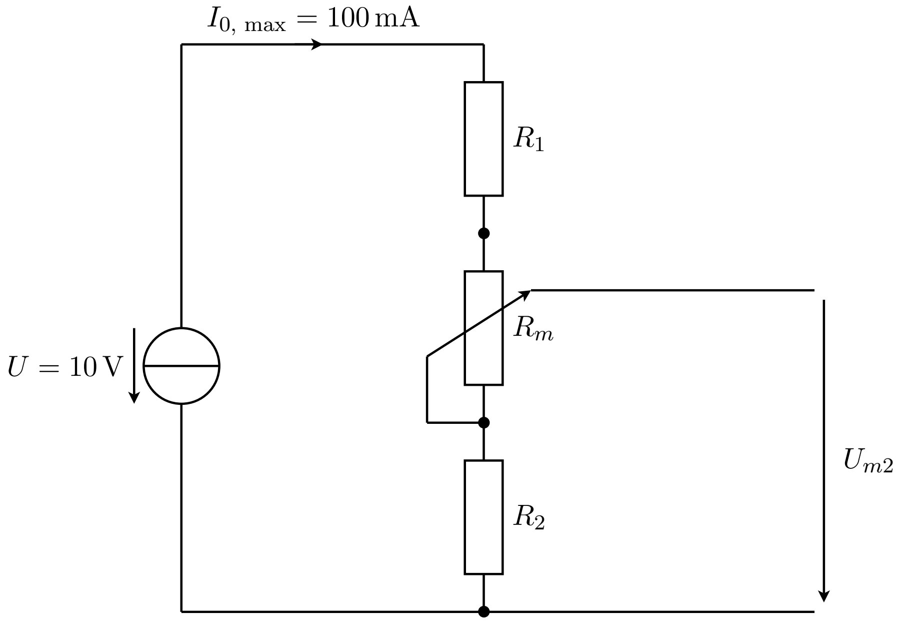
Begründung:

____

____

____

- Gegeben ist die nachfolgende Schaltung.



Dimensionieren Sie die Widerstände R_1, R_2 und R_m so, dass $U_{m2,\,\min} = 2V$ beträgt und $U_{m2,\,\max} = 8V$. Der Strom I_0 darf dabei nicht größer als $100\,\mathrm{mA}$ sein. (2 Punkte)

- Welche Aussagen zur Stern-Dreieck-Umwandlung (bzw. Dreieck-Stern-Umwandlung) sind richtig?

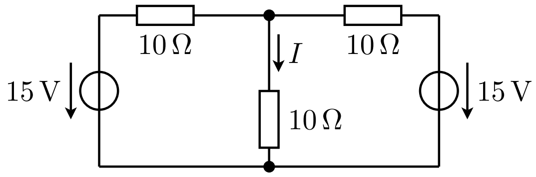
  ☐ Die Klemmengrößen *Spannung* und *Strom* sind in beiden Fällen identisch.

  ☐ Die Ströme durch jeden einzelnen der drei Widerstände vor und nach der Umwandlung sind gleich groß.

  ☐ Die Umwandlung wird genutzt, um Schaltungen besser berechnen zu können.

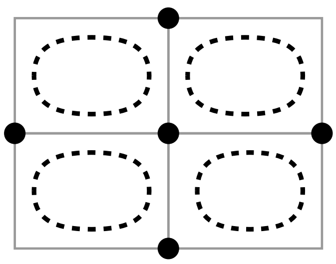
  ☐ Die Umwandlung kann *nicht* rückgängig gemacht werden.

- Gegeben ist die dargestellte Schaltung. Berechnen Sie den Strom I mit Hilfe des Superpositionsprinzips! (2 Punkte)



- Was ist ein *vollständiger Baum*? (2 Punkte)

- Im Bild sind Maschenumläufe dargestellt. Zeichnen Sie den vollständigen Baum so ein, dass jede der dargestellten Maschen genau einen nicht zum Baum gehörenden Zweig enthält.



- Gegeben ist ein Netzwerk mit 6 Zweigen und 4 Knoten. Wie viele *linear unabhängige* Knoten– und Maschengleichungen gibt es? (2 Punkte)

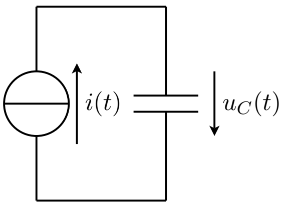
  Es gibt ______________________ unabhängige Knotengleichungen und

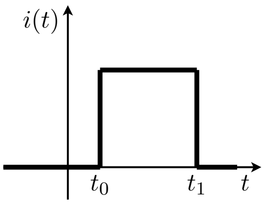
  ______________________ unabhängige Maschengleichungen.

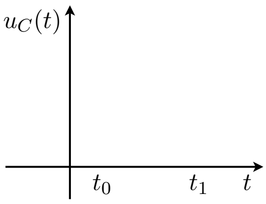
Stationäres elektrisches Feld

- Erklären Sie den *Satz vom Hüllenfluss*! (Eine Gleichung alleine reicht nicht.) (3 Punkte)

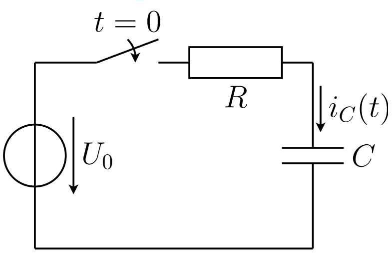
- Gegeben ist die folgende Schaltung. Der Kondensator ist zur Zeit t_0 ungeladen, die Stromquelle liefert den in der Abbildung dargestellten Stromverlauf $i(t)$. Zeichnen Sie qualitativ die Spannung $u_C(t)$ am Kondensator. (2 Punkte)

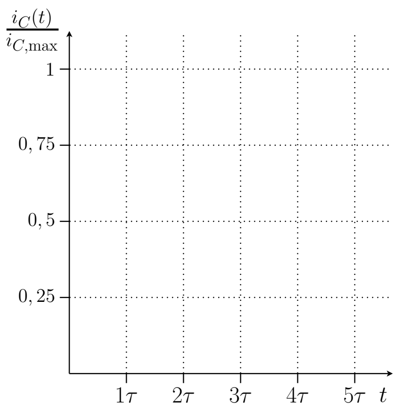






- Ein ungeladener Kondensator wird von einer Spannungsquelle über einen Widerstand geladen. Zeichnen Sie qualitativ den Strom $i_C(t)$, der in den Kondensator fließt, normiert auf den maximalen Kondensatorstrom $i_{C,\max}$. (2 Punkte)





- Gegeben ist eine *Linienladung*. Skizzieren Sie den Betrag der elektrischen Feldstärke in Abhängigkeit vom Abstand r. Geben Sie auch an, wie $|\vec{E}|$ und r verknüpft sind. ($|\vec{E}| \sim \ldots$) (2 Punkte)

- Wie lautet die Materialgleichung des elektrostatischen Feldes? Unter welchen Bedingungen gilt diese?

- Gegeben sind zwei Plattenkondensatoren mit geschichteten Dielektika wie in Abbildung 3.0.2 dargestellt. Beide Kondensatoren haben haben gleiche Abmessungen $A = 1\,\text{mm}^2$ und $s = 1\,\mu\text{m}$. Für die Dielektrika gilt $\varepsilon_{r_1} = 2 \cdot \varepsilon_{r_2} = 20$. Das Feld in den Kondensatoren kann als homogen und ohne Streuungen an den Rändern angenommen werden. Zwischen den Klemmen liegt jeweils die Spannung U_0 an.

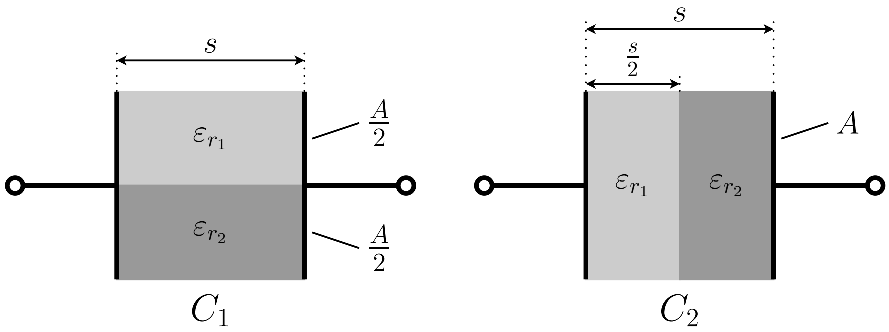


Abbildung 3.0.2

a) Zeichnen Sie die Ersatzschaltbilder für beide Anordnungen.

b) Berechnen Sie die Kapazität der Kondensatoren C_1 und C_2 allgemein und als Zahlenwert.

c) In welchem der beiden Kondensatoren kann die größere elektrische Energie gespeichert werden? Begründen Sie Ihre Antwort.

- Nun werden beide (ungeladnenen) Kondensatoren gemäß Abbildung 3.0.3 jeweils über den gleichen Widerstand $R = 10\,\text{k}\Omega$ geladen.
  Zeichnen Sie qualitativ die zeitlichen Verläufe der Spannungen $u_{C_x}(t)$ am Kondensator bis zur vollständigen Aufladung in ein gemeinsames Diagramm. Geben Sie charakteristische Größen an, und zeichnen Sie diese ebenfalls im Diagramm ein.

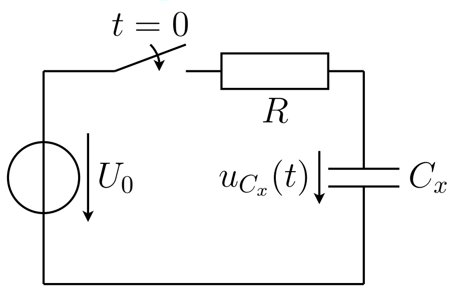
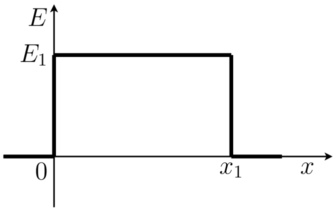
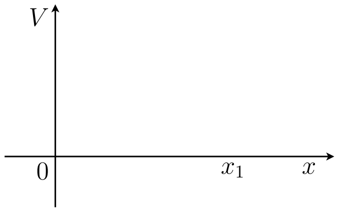


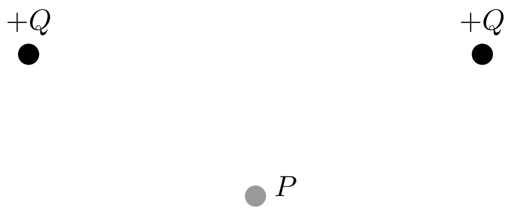
Abbildung 3.0.3

- Gegeben ist das dargestellte elektrische Feld zwischen zwei Platten eines Plattenkondensators. Die rechte Platte am Ort $x = x_1$ hat ein Potential von 0 V. Zeichnen Sie *qualitativ* den Verlauf des Potentials. (2 Punkte)



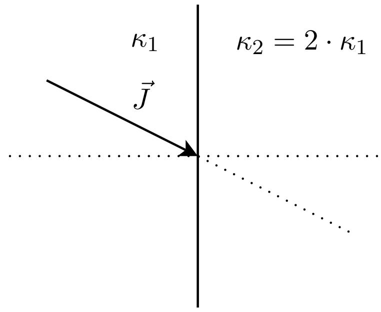


- Gegeben sind die zwei im Bild dargestellten *Punktladungen*. Zeichnen Sie die resultierende Feldstärke im Punkt P qualitativ ein. (2 Punkte)

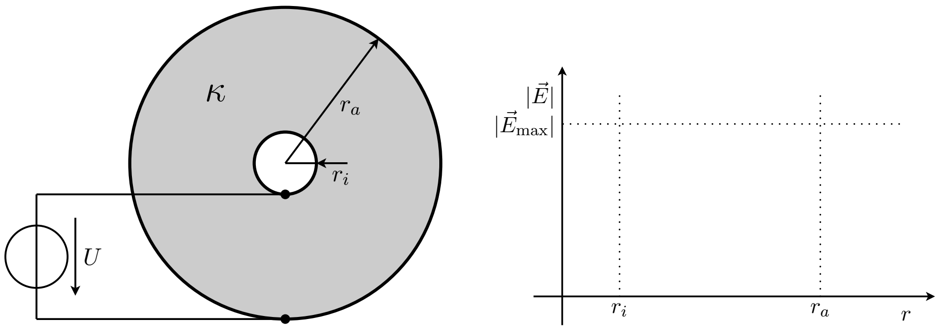


Elektrisches Strömungsfeld

- Ein Strom der Stromdichte $\vec{J}$ fließt auf einen Grenzübergang mit den zwei Leitfähigkeiten κ_1 und $\kappa_2 = 2 \cdot \kappa_1$ zu. Zeichnen Sie den resultierenden Stromdichtevektor *maßstäblich* ein.



- Gegeben ist das dargestellte *zylindersymmetrische* elektrische Strömungsfeld. Zeichnen Sie die den Betrag der elektrischen Feldstärke $|\vec{E}|$ über dem Radius r. (2 Punkte)



- Wie ist die *Leistungsdichte* des elektrischen Strömungsfeldes *allgemein* als Gleichung definiert?

- Welche Gleichung(en) für die Beziehung zwischen Stromdichte und elektrischem Feld ist/sind korrekt?

  - ☐ $\vec{J} = \kappa \vec{D}$
  - ☐ $\vec{J} = \kappa \vec{E}$
  - ☐ $\vec{J} = -\kappa \vec{E}$
  - ☐ $\vec{J} = \frac{1}{\varrho} \vec{E}$