# Institut für Regelungstechnik

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

Prof. Dr.-Ing. M. Maurer
Prof. Dr.-Ing. W. Schumacher

Hans-Sommer-Str. 66
38106 Braunschweig
Tel. (0531) 391-3840


# Klausuraufgaben

## Grundlagen der Elektrotechnik

| | | | |
|---|---|---|---|
| Vorname: | ______________________ | Nachname: | ______________________ |
| Matr.-Nr.: | ______________________ | Studiengang: | ______________________ |
| Datum: | 05. August 2019 | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1: | 2: | 3: | 4: | 5: | 6: |

| | | |
|---|---|---|
| ID: ________ | Summe: ________ | Note: ________ |

Mit meiner Unterschrift gebe ich das Einverständnis, über meine TU E-Mail-Adresse kontaktiert zu werden (z. B. für HiWi-Jobs, studentische Arbeiten oder Stipendien):

______________________
Unterschrift

# Allgemeine Hinweise:

- Alle Lösungen müssen **nachvollziehbar** bzw. **begründet** sein.
- **Einheiten sind anzugeben**.
- Für **jede Aufgabe** ein **neues Blatt** verwenden (nicht für jede Unteraufgabe).
- **Keine Rückseiten** beschreiben.
- **Keine Bleistifte oder Rotstifte** verwenden.
- **Lösungen auf Aufgabenblättern** werden **nicht gewertet**.
- Lösen Sie die Aufgaben **zunächst analytisch mit Symbolen** und setzen Sie **erst am Schluss Zahlenwerte** ein.
- In dieser Klausur gibt es **Hinweise**, welche Aufgabenteile unabhängig von anderen Teilaufgaben gelöst werden können. Diese sind **an der linken Seite jeweils mit einem Pfeil ($\Longrightarrow$) markiert und der zugehörige Hinweis ist fett gedruckt**.
- **Zugelassene Hilfsmittel**:
  - Geodreieck
  - Zirkel
- Die Ergebnisse sind nur online über das QIS-Portal einsehbar.
- Diese Klausur besteht aus **6 Aufgaben** auf insgesamt **17 Blättern**.

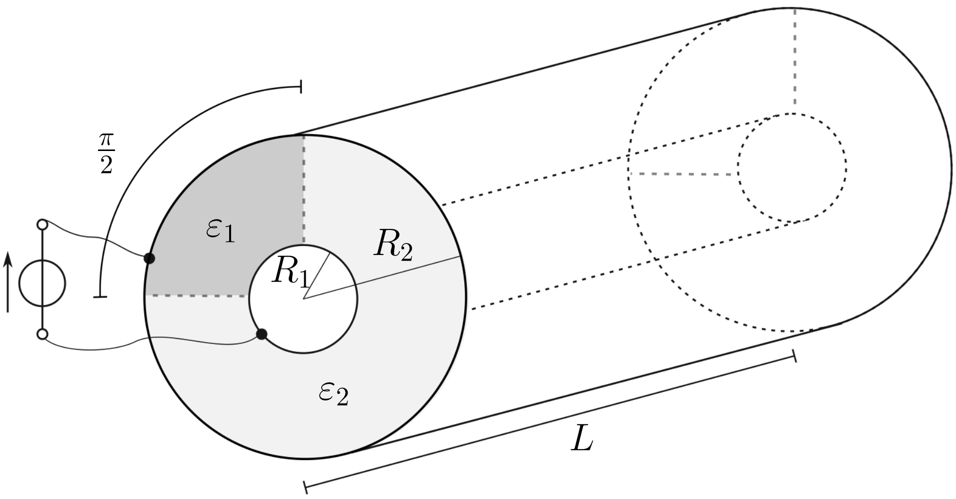
# 1 Elektrisches Feld

**Punkte: 18**

a) Skizzieren Sie am Beispiel eines Plattenkondensators mit zwei Dielektrika die Anordnung der Dielektrika für eine Reihenschaltung sowie eine Parallelschaltung und zeichnen Sie den Verlauf der E-Feldlinien ein. Woran erkennen Sie, ob die Anordnung im idealen Ersatzschaltbild mit einer Parallel- oder einer Reihenschaltung modelliert werden muss? (2 Punkte)

Gegeben ist der unten abgebildete Zylinderkondensator mit einer inneren stabförmigen **Metall**elektrode mit dem Radius $R_1$ und **einer** äußeren rohrförmigen **Metall**elektrode mit dem Radius $R_2$. Der Kondensator hat die Länge $L$. Zwischen der inneren und äußeren Elektrode befinden sich entsprechend der dargestellten Anordnung zwei Dielektrika mit den Permittivitäten $\varepsilon_1$ und $\varepsilon_2$. Der Kondensator wird über eine Spannungsquelle mit der Gesamtladung $Q_z$ geladen. Gehen Sie, soweit nicht anders gefordert, für alle Berechnungen von einem idealen Kondensator aus.

Weiterhin gilt: $\varepsilon_1 = 3 \cdot \varepsilon_2$




b) Zeichnen Sie das ideale Ersatzschaltbild der gegebenen Kondensatoranordnung. Bezeichnen Sie die Teilkapazitäten mit $C_1$ und $C_2$ entsprechend der Indizes der Dielektrika. Geben Sie an, bei welchen Teilen es sich um Parallel- bzw. Reihenschaltungen handelt. (2 Punkte)

c) Geben Sie das Gaußsche Gesetz der Elektrostatik an. (1 Punkt)

d) Geben Sie in Abhängigkeit von den Verschiebungsflussdichten $D_1$ und $D_2$ in den Dielektrika mit den Permittivitäten $\varepsilon_1$ bzw. $\varepsilon_2$ eine Gleichung für die Gesamtladung $Q_z$ des Kondensators an. (4 Punkte)

e) Welche Richtungskomponenten (Normalkomponente und Tangentialkomponente) des elektrischen Feldes und des Feldes der elektrischen Flussdichte sind in obiger Anordnung am Übergang der Dielektrika mit den Permittivitäten $\varepsilon_1$ und $\varepsilon_2$ stetig? (1 Punkt)

f) Berechnen Sie die Feldstärken $E_1$ und $E_2$ in den Dielektrika mit den Permittivitäten $\varepsilon_1$ bzw. $\varepsilon_2$. Beachten Sie dabei die Ergebnisse aus Aufgabenteil d) und e). (3 Punkte)

g) Berechnen Sie die Spannung $U$ zwischen der inneren und äußeren Elektrode. (2 Punkte)

h) Berechnen Sie die Gesamtkapazität $C_{ges}$ der Anordnung. (1 Punkt)

i) Die Länge des Zylinderkondensators wird auf $2L$ verdoppelt. Um welchen Faktor müssen $\varepsilon_1$ sowie $\varepsilon_2$ angepasst werden, damit sich die Kapazität der Kondensatoranordnung durch die Verlängerung nicht verändert? Begründen Sie Ihre Antwort mithilfe einer Rechnung. (2 Punkte)

## 2 Gleichstromnetzwerk

**Punkte: 16**

Gegeben sei eine **reale** Spannungsquelle mit $U_{01} = 10\,\mathrm{V}$ an der Sie einen Kurzschlussstrom von $I_K = 25\,\mathrm{A}$ messen.

a) Welche weitere charakteristische Größe einer realen Spannungsquelle können Sie anhand der gegebenen Werte bestimmen? Welchen Wert hat diese Größe in dem hier gegebenen Beispiel? (1 Punkt)

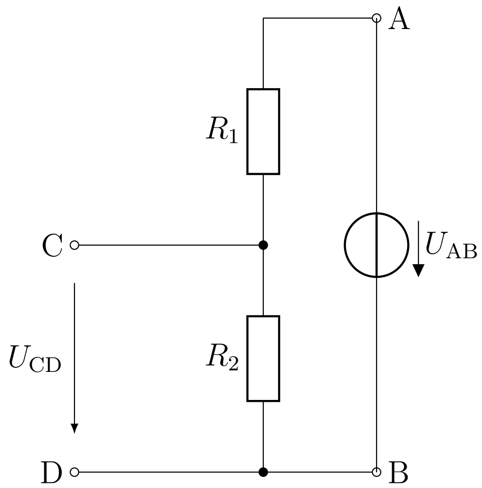
b) An die **reale** Spannungsquelle soll nun eine Glühlampe (modelliert als $R_L$) angeschlossen werden. Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild dieser Schaltung und benennen Sie relevante Größen. (0,5 Punkte)

c) Zeichnen Sie Ihre Schaltung aus Teilaufgabe b) ein weiteres Mal. Wandeln Sie hierbei Ihre Spannungsquelle $U_{01}$ in eine **reale** Stromquelle $I_{01}$ um und benennen Sie relevante Größen. (0,5 Punkte)

d) Es sei $R_L = 600\,\mathrm{m\Omega}$. Welche Leistung wird an der Glühlampe umgesetzt? Welchen Wirkungsgrad hat die Schaltung? (2 Punkte)

$\Longrightarrow$ **Die Aufgabenteile e) bis g) können unabhängig von den übrigen Aufgabenteilen gelöst werden.**

e) Wie wird die im Folgenden gegebene Schaltung bezeichnet? (0,5 Punkte)



f) In welchem Verhältnis müssen die Widerstände in der in Aufgabenteil e) gegebenen Schaltung dimensioniert werden, damit $U_{\mathrm{CD}} \stackrel{!}{=} \frac{1}{3} \cdot U_{\mathrm{AB}}$ gilt? (1 Punkt)

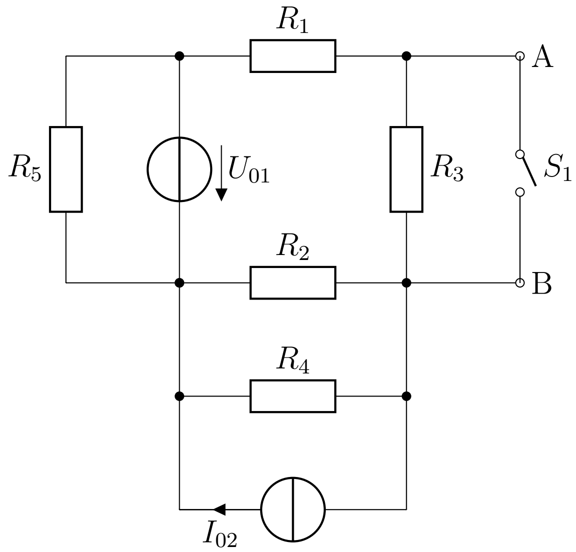
g) Es sei nun $R_1 = R_2 = 100\,\Omega$. Berechnen Sie mit diesen Werten den Innenwiderstand der in Aufgabenteil e) gegebenen Schaltung. (1 Punkt)

$\Longrightarrow$ **Der Aufgabenteil h) kann unabhängig von den übrigen Aufgabenteilen gelöst werden.**

h) Bestimmen Sie für das unten stehende Netzwerk mit Hilfe des Superpositionsverfahrens die Spannung $U_{AB}$ für den Leerlauffall. Fertigen Sie für jeden Fall, den Sie betrachten, eine gesonderte Skizze an, in der Sie relevante Größen eintragen. (5 Punkte)

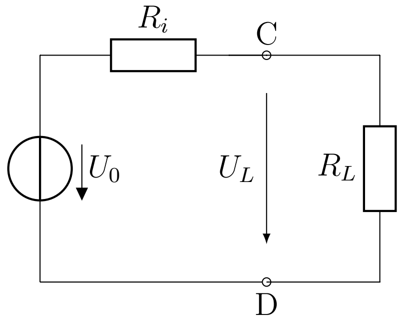
*Hinweis:* Nutzen Sie wenn möglich Strom- oder Spannungsteiler.

*Hinweis:* Der Schalter $S_1$ sei die ganze Zeit geöffnet.



$\Longrightarrow$ **Der Aufgabenteil i) kann unabhängig von den übrigen Aufgabenteilen gelöst werden.**

i) Zeigen Sie anhand der unten abgebildeten Schaltung, dass für $R_L = R_i$ die Leistung am Widerstand $R_L$ maximal wird. (4,5 Punkte)



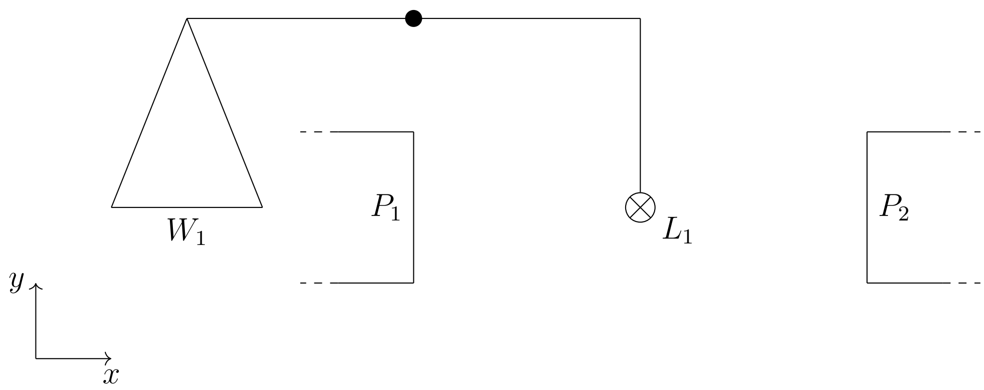

*Hinweis:*

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Partielle Integration:* | $\int f'(x)g(x)dx$ | $\longmapsto$ | $f(x)g(x) - \int f(x)g'(x)dx$ |
| *Integration d. Substitution:* | $\int f(x)dx$ | $\longmapsto$ | $\int f(\varphi(u)) \cdot \varphi'(u)du$ |
| *Produktregel:* | $f(x) = g(x) \cdot h(x)$ | $\longmapsto$ | $f'(x) = g'(x) \cdot h(x) + g(x) \cdot h'(x)$ |
| *Quotientenregel:* | $f(x) = \frac{g(x)}{h(x)}$ | $\longmapsto$ | $f'(x) = \frac{g'(x) \cdot h(x) - g(x) \cdot h'(x)}{(h(x))^2}$ |
| *Kettenregel:* | $f(x) = g(h(x))$ | $\longmapsto$ | $f'(x) = g'(h(x)) \cdot h'(x)$ |

# 3 Magnetfeld

**Punkte: 16**

Gegeben ist ein unendlich langer, unendlich dünner, gewichtsloser Leiter $L_1$ zwischen zwei magnetischen Polen $P_1$ und $P_2$ gemäß folgender Darstellung. Der Leiter $L_1$ wird von dem Gleichstrom $I_1$ entsprechend der eingezeichneten Fließrichtung durchflossen. Mit dem Leiter $L_1$ ist eine masselose Waagschale $W_1$ über den dargestellten Hebelarm verbunden, sodass eine auf die Waagschale in negative $y$-Richtung wirkende Gewichtskraft zu einer gleichgroßen, jedoch entgegengesetzt wirkenden Kraft am Leiter $L_1$ führt. Die Erdanziehung wirkt in negative $y$-Richtung und soll mit $10\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ angenommen werden. Das Koordinatensystem ist rechtshändig.




Die magnetischen Pole $P_1$ und $P_2$ und das von ihnen erzeugte Magnetfeld sollen zunächst außer Acht gelassen werden.

a) Fertigen Sie eine Skizze des von dem Leiter $L_1$ erzeugten Magnetfelds an. Kennzeichnen Sie den Verlauf und die Richtung des Magnetfelds. (1 Punkt)

Die magnetischen Pole $P_1$ und $P_2$ werden im Weiteren berücksichtigt, sodass ein von ihnen erzeugtes Magnetfeld vorhanden ist. Im Folgenden soll der Verlauf und die Stärke der magnetischen Flussdichte so bestimmt werden, dass auf den Leiter $L_1$ eine Kraft wirkt, die die Gewichtskraft eines in der Waagschale $W_1$ platzierten Gegenstands mit der Masse $m$ ausgleicht und die Waage im Gleichgewicht hält.

b) Nennen Sie zunächst die Lorentzkraft sowohl in der Formulierung für Punktladungen als auch in der Formulierung für stromdurchflossene Leiter in vektorieller Darstellung. (1 Punkt)

c) Das Magnetfeld zwischen den Polen $P_1$ und $P_2$ ist so beschaffen, dass auf den Leiter $L_1$ eine Kraft nach unten, in negative $y$-Richtung wirkt. Fertigen Sie eine Skizze des entsprechenden Magnetfelds zwischen den Polen $P_1$ und $P_2$ an und begründen Sie Ihre Antwort. Kennzeichnen Sie $P_1$ und $P_2$ entsprechend jeweils entweder als Nordpol oder als Südpol. (1 Punkt)

d) Die magnetische Flussdichte beträgt 0,1 T, die relative Permeabilität des den Leiter umgebenden Gases beträgt 1,25 $\frac{\mathrm{H}}{\mathrm{m}}$ und die Länge des Leiters im Magnetfeld beträgt 10 cm. Berechnen Sie die Stromstärke $I_1$, die erforderlich ist, um die Gewichtskraft einer 100 g schweren Schokoladentafel auf der Waagschale $W_1$ auszugleichen. Lösen Sie die Aufgabe zunächst analytisch mit Symbolen und setzen Sie erst am Schluss Zahlenwerte ein! (2,5 Punkte)

e) Wie verändert sich die für die Gleichgewichtserhaltung benötigte Stromstärke mit den in Teilaufgabe d) gegebenen Werten, wenn das Gewicht in der Waagschale verdoppelt wird? Wie ändert sie sich, wenn die magnetische Flussdichte halbiert wird? Wie ändert sie sich, wenn die Länge des Leiters in dem Magnetfeld verdoppelt wird? (1 Punkt)

In den folgenden Teilaufgaben wird der Effekt eines gegenüber dem ursprünglichen Aufbau gedrehten Magnetfelds betrachtet. Beachten Sie die Tabelle auf der folgenden Seite.

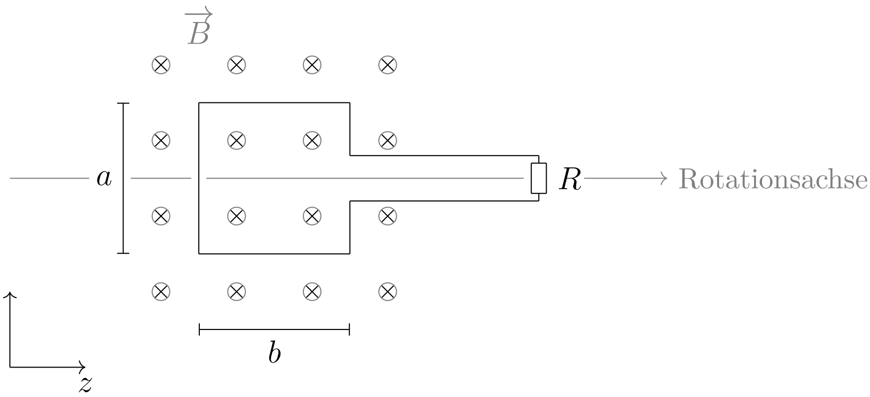
f) Welchen Wert muss die Stromstärke $I_1$ annehmen, um die Gewichtskraft der Schokoladentafel auszugleichen, wenn die Magnetfeldlinien nicht mehr parallel zur $x$-Achse verlaufen, sondern um 30° gedreht – im mathematisch positiven Sinn um die **$y$-Achse**? Die anderen Werte, insbesondere die Länge des Leiters im Magnetfeld, bleiben, wie in Aufgabenteil d) gegeben. Begründen Sie Ihre Antwort! (2 Punkte)

g) Welchen Wert muss die Stromstärke $I_1$ annehmen, um die Gewichtskraft der Schokoladentafel auszugleichen, wenn die Magnetfeldlinien nicht mehr parallel zur $x$-Achse verlaufen, sondern um 30° gedreht – im mathematisch positiven Sinn um die **$z$-Achse**? Die anderen Werte, insbesondere die Länge des Leiters im Magnetfeld, bleiben, wie in Aufgabenteil d) gegeben. Begründen Sie Ihre Antwort! (1,5 Punkte)

| $\alpha$ | $\sin(\alpha)$ | $\cos(\alpha)$ | $\tan(\alpha)$ | $\cot(\alpha)$ |
|---|---|---|---|---|
| $30°$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}\sqrt{3}$ | $\frac{1}{3}\sqrt{3}$ | $\sqrt{3}$ |
| $60°$ | $\frac{1}{2}\sqrt{3}$ | $\frac{1}{2}$ | $\sqrt{3}$ | $\frac{1}{3}\sqrt{3}$ |
| $-30°$ | $\frac{-1}{2}$ | $\frac{1}{2}\sqrt{3}$ | $\frac{-1}{3}\sqrt{3}$ | $-\sqrt{3}$ |

$\Longrightarrow$ **Die Aufgabenteile h) bis k) können unabhängig von den vorhergehenden Aufgabenteilen gelöst werden.**

In ein als homogen angenommenes Magnetfeld wird eine Leiterschleife mit der Höhe $a$ und der Breite $b$ gemäß der folgenden Darstellung eingebracht und ab dem Zeitpunkt $t_0 = 0$ mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega$ im mathematisch positiven Sinne um ihre Rotationsachse rotiert.




h) Bestimmen Sie den magnetischen Fluss $\Phi(t)$ durch die Leiterschleife analytisch mit Symbolen mit den in der Darstellung gegebenen Größen. (1 Punkt)

i) Bestimmen Sie die in der Leiterschleife induzierte Spannung $u_{\text{ind}}$ analytisch mit Symbolen mit den in der Darstellung gegebenen Größen. (1,5 Punkte)

j) Nennen und erläutern Sie die Lenz'sche Regel. Skizzieren Sie die Richtung des in der Leiterschleife induzierten Stroms. (1,5 Punkte)

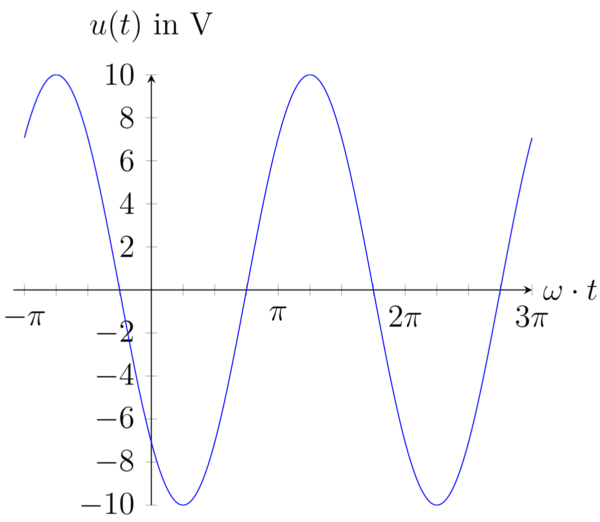
k) Die Leiterschleife ist $a = 5\,\text{cm}$ hoch und $b = 7\,\text{cm}$ breit und dreht sich mit einer Winkelgeschwindigkeit von $2\pi\,\frac{1}{\text{s}}$, die magnetische Flussdichte beträgt $0{,}1\,\text{T}$, der Widerstand am Ende der Leiterschleife beträgt $R = 0{,}035\pi\,\Omega$. Berechnen Sie die Stärke des induzierten Stroms zum Zeitpunkt $t = 1{,}25\,\text{s}$. (2 Punkte)

# 4 Komplexe Wechselstromrechnung **Punkte: 27**

$\Longrightarrow$ **Bei den Teilaufgaben a) bis d) handelt es sich um Verständnisfragen. Sie lassen sich unabhängig von den übrigen Teilaufgaben lösen.**

a) Nennen Sie zwei allgemeine Voraussetzungen zur Anwendung der komplexen Wechselstromrechnung? (1 Punkt)

b) Sie haben den zeitlichen Verlauf einer Wechselspannung $u(t)$ gemäß der nachfolgenden Abbildung gemessen. Zeigen Sie mithilfe des dargestellten zeitlichen Verlaufs, dass für die Darstellung als Spannungszeiger $\underline{U} = -5\,\mathrm{V} - \mathrm{j}\cdot 5\,\mathrm{V}$ gilt. Berechnen Sie hierzu $\underline{U}$ als ruhenden <u>*Effektivwert*</u>zeiger in trigonometrischer Darstellung als Real- und Imaginärteil zum Zeitpunkt $t = 0$. (2 Punkte)




*Hinweis*:

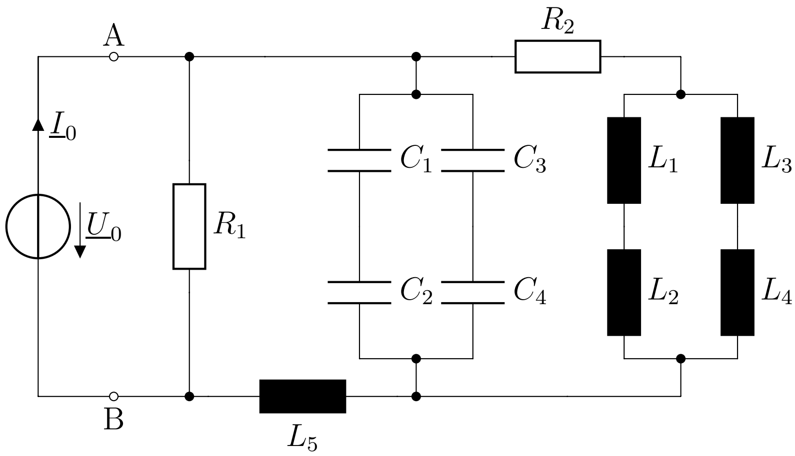
| $\alpha$ im Bogenmaß | $-\pi$ | $-\frac{3\cdot\pi}{4}$ | $-\frac{\pi}{2}$ | $-\frac{\pi}{4}$ | $0$ | $\frac{\pi}{4}$ | $\frac{\pi}{2}$ | $\frac{3\cdot\pi}{4}$ | $\pi$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\sin(\alpha)$ | $0$ | $-\frac{1}{\sqrt{2}}$ | $-1$ | $-\frac{1}{\sqrt{2}}$ | $0$ | $\frac{1}{\sqrt{2}}$ | $1$ | $\frac{1}{\sqrt{2}}$ | $0$ |
| $\cos(\alpha)$ | $-1$ | $-\frac{1}{\sqrt{2}}$ | $0$ | $\frac{1}{\sqrt{2}}$ | $1$ | $\frac{1}{\sqrt{2}}$ | $0$ | $-\frac{1}{\sqrt{2}}$ | $-1$ |

c) Erläutern Sie das Prinzip der Blindleistungskompensation mit Hilfe eines Zeigerdiagramms und einer kurzen Erläuterung. Sie können dafür zum Beispiel einen Spannungszeiger $\underline{U}_0 = 10\,\mathrm{V} + \mathrm{j}\,5\,\mathrm{V}$ und einen Stromzeiger $\underline{I}_0 = 3\,\mathrm{A} + \mathrm{j}\,0\,\mathrm{A}$ verwenden. (2 Punkte)

d) In einem komplexen Wechselspannungsnetzwerk mit der Gesamtimpedanz $\underline{Z}$, der Versorgungsspannung $\underline{U}_0$ und dem die Gesamtimpedanz durchfließenden Strom $\underline{I}_0$ wird die Spannung $\underline{U}_0$ der Wechselspannungsquelle verdoppelt. Zeigen Sie rechnerisch, dass für die Scheinleistung $S$ in diesem Fall gilt: $S_{\text{neu}} = 4 \cdot S_{\text{alt}}$. Lässt sich eine Aussage darüber machen, welche Auswirkungen eine Verdoppelung der Kreisfrequenz $\omega$ auf die Scheinleistung $S$ hat? Begründen Sie in einem Satz. (3 Punkte)

$\Longrightarrow$ **Die Teilaufgabe e) lässt sich unabhängig von den übrigen Teilaufgaben lösen.**

Eine Wechselspannungsquelle $\underline{U}_0$ speist das unten dargestellte Netzwerk aus mehreren kapazitiven, induktiven sowie ohmschen Impedanzen.

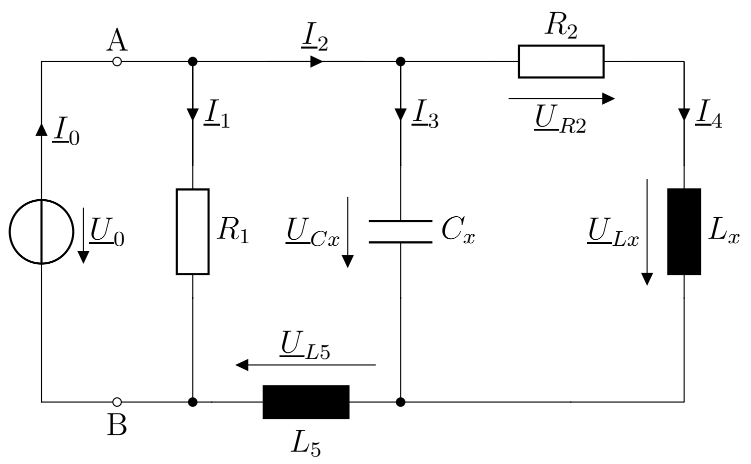



Gegeben: $L_1 = L_2 = 4\,\text{mH}$, $L_3 = L_4 = 8\,\text{mH}$, $C_1 = C_2 = 200\,\mu\text{F}$, $C_3 = C_4 = 100\,\mu\text{F}$

e) Für die weiteren Berechnungen soll das gegebene Netzwerk vereinfacht werden. Dazu wird für die Induktivitäten $L_1$, $L_2$, $L_3$ und $L_4$ eine Ersatzinduktivität $L_x$ sowie für die Kapazitäten $C_1$, $C_2$, $C_3$ und $C_4$ eine Ersatzkapazität $C_x$ verwendet. Berechnen Sie die Größe von $L_x$ und $C_x$. (2 Punkte)

$\Longrightarrow$ **Die Teilaufgaben f) bis h) lassen sich unabhängig von den übrigen Teilaufgaben lösen.**

Das vereinfachte Netzwerk ergibt sich wie im Folgenden dargestellt und soll für alle nachfolgenden Teilaufgaben verwendet werden.




Die Schaltung wird mit einer festen Kreisfrequenz $\omega$ betrieben. Dabei wird über $L_x$ eine Spannung $\underline{U}_{L_x} = 2\,\mathrm{V} + \mathrm{j}\,2\,\mathrm{V}$ gemessen. Es gelte weiterhin:

$$R_1 = 1\,\Omega,\ R_2 = 5\,\Omega,\ L_x = 4\,\mathrm{mH},\ L_5 = 5\,\mathrm{mH},\ C_x = 200\,\mathrm{\mu F} \text{ und } \omega = 1000\,\mathrm{s}^{-1}.$$

f) Berechnen Sie den Strom $\underline{I}_4$, der durch die Induktivität $L_x$ fließt, sowie die aus dem Strom resultierende Spannungen $\underline{U}_{R_2}$. (2 Punkte)

g) Berechnen Sie die Spannung $\underline{U}_{Cx}$ und den Strom $\underline{I}_3$, der durch die Kapazität $C_x$ fließt. (2 Punkte)

h) Berechnen Sie den Strom $\underline{I}_2$ und die daraus resultierende Spannung $\underline{U}_{L5}$. (2 Punkte)

$\Longrightarrow$ **Die Teilaufgabe i) lässt sich unabhängig von den übrigen Teilaufgaben lösen.**

Es gelten unabhängig von den zuvor berechneten Spannungen die folgenden Vorgaben:

$$\underline{U}_{Lx} = 2\,\mathrm{V} \cdot e^{\mathrm{j}\,0^\circ},\ |\underline{U}_{R2}| = 2\,\mathrm{V},\ \underline{U}_{L5} = 6{,}7\,\mathrm{V} \cdot e^{\mathrm{j}\,20^\circ}$$

i) Konstruieren Sie das Zeigerdiagramm mit allen Spannungen (*Maßstab*: $1\,\mathrm{V} \mathrel{\hat{=}} 1\,\mathrm{cm}$). Aus dem Zeigerdiagramm sollen die im Netzwerk auftretenden Maschen nachvollziehbar sein. Wählen Sie $\underline{U}_{Lx}$ als Bezugszeiger. (4 Punkte)

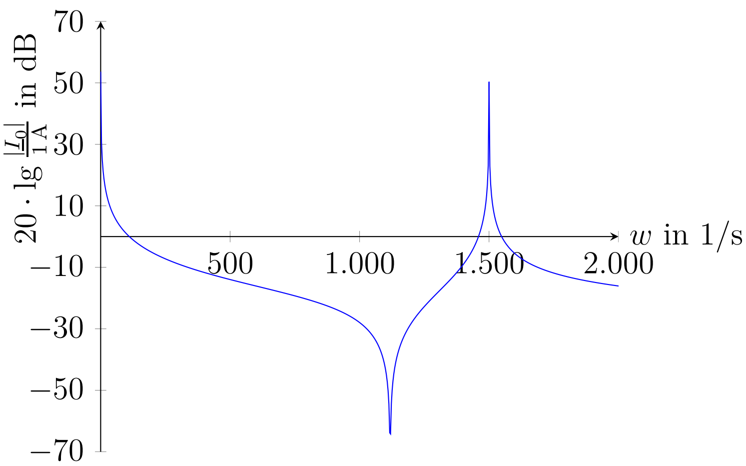
$\Longrightarrow$ **Die Teilaufgaben j) bis n) lassen sich unabhängig von den übrigen Teilaufgaben lösen.**

Das vereinfachte Netzwerk wird zwischen den Klemmen A und B als Schwingkreis aufgefasst und mit der *variablen* Kreisfrequenz $\omega$ betrieben. Es gelten die folgenden Werte:

$$R_1 = R_2 = 4\,\Omega$$

j) Bestimmen Sie für den *verlustbehafteten* Schwingkreis den Betrag $|\underline{Z}_{\mathrm{AB}}|$ der Impedanz des gegebenen Netzwerkes zwischen den Klemmen A und B für die beiden Grenzfälle $\omega = 0$ und $\omega \to \infty$. (1 Punkt)

In der nachstehenden Abbildung ist der Betrag des Stromes $|\underline{I}_0|$ für den *verlustlosen* Schwingkreis logarithmisch als Funktion der Kreisfrequenz $\omega$ aufgetragen. Die zwei Resonanzkreisfrequenzen bei $\omega_{0,1} \approx 1180\,\mathrm{s}^{-1}$ und $\omega_{0,2} = 1500\,\mathrm{s}^{-1}$ lassen auf zwei im Netzwerk enthaltene Teilschwingkreise schließen.




k) Um welche Schwingkreistypen handelt es sich bei den Resonanzen bei $\omega_{0,1}$ und $\omega_{0,2}$? (1 Punkt)

l) Welche frequenzabhängigen Bauteile sind an den beiden Teilschwingkreisen jeweils beteiligt? (1 Punkt)

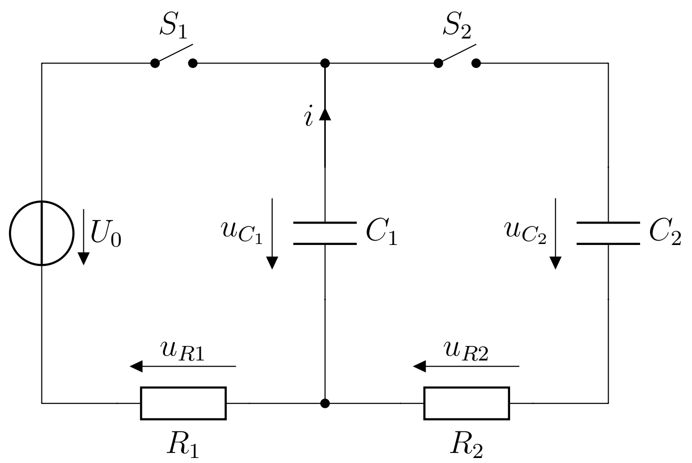
m) Zeigen Sie, dass für die Impedanz zwischen den Klemmen $A$ und $B$ unter Vernachlässigung von $R_1$ ($R_1 \to \infty$) und $R_2$ ($R_2 = 0$) gilt: (2 Punkte)

$$\underline{Z}_{AB} = \mathrm{j}\frac{\omega^3 L_x L_5 C_x - \omega(L_x + L_5)}{\omega^2 L_x C_x - 1}$$

n) Bestimmen Sie ausgehend von der Impedanz $\underline{Z}_{AB}$ die Kennkreisfrequenzen $w_{0,1}$ und $w_{0,2}$ des Parallel- beziehungsweise Reihenteilschwingkreises in *symbolischer* Form.
**Hinweis**: *Überlegen Sie, was für den Zähler bzw. den Nenner des Bruchs im jeweiligen Resonanzfall gilt.* (2 Punkte)

## 5 Schaltvorgänge bei Kondensatoren **Punkte: 19**

Das unten dargestellte Netzwerk wird bei $\omega = 0$ betrieben. Der Schalter $S_2$ sei geöffnet und der Schalter $S_1$ sei für sehr lange Zeit geschlossen. $C_2$ ist vollständig entladen. Nachdem das Netzwerk eingeschwungen ist, wird der Schalter $S_1$ geöffnet. Danach wird der Schalter $S_2$ zum Zeitpunkt $t = 0$ geschlossen.




a) Stellen Sie die Maschengleichung für das Netzwerk nach dem Schließen von Schalter $S_2$ auf. (0,5 Punkte)

b) Formen Sie die Maschengleichung so um, dass Sie die homogene Differentialgleichung für den Strom $i(t)$ erhalten. (3 Punkte)

c) Zeigen Sie, dass $i(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{1}{R_2}(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2})\cdot t}$ eine Lösung der Differentialgleichung aus Teilaufgabe b) ist. (1 Punkt)

$\Longrightarrow$ **Die folgenden Teilaufgaben lassen sich unabhängig von den Teilaufgaben a) bis c) lösen. Nutzen Sie für die folgenden Teilaufgaben $i(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{1}{R_2}(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2})\cdot t}$.**

d) Bestimmen Sie $u_{C1}(t = 0)$, $u_{C2}(t = 0)$, $u_{R1}(t = 0)$ sowie $u_{R2}(t = 0)$ direkt nach dem Schließen von Schalter $S_2$ und begründen Sie Ihre Lösungen. (3,5 Punkte)

e) Lösen Sie das Anfangswertproblem für $i(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{1}{R_2}(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2})\cdot t}$. (1 Punkt)

f) Bestimmen Sie $u_{C1}(t)$ ausgehend von $i(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{1}{R_2}(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2})\cdot t}$. Lösen Sie Doppelbrüche auf und kürzen Sie wenn möglich. (2 Punkte)

g) Bestimmen Sie $u_{C2}(t)$. (1 Punkt)

h) Bestimmen Sie für $C_1 = 2 \cdot C_2$ die Endwerte von $i(t)$, $u_{C1}(t)$, $u_{C2}(t)$ und $u_{R2}(t)$. (3 Punkte)

i) Zeichnen Sie für $C_1 = 2 \cdot C_2$ qualitativ den zeitlichen Verlauf der Spannungen $u_{C_1}(t)$, $u_{C_2}(t)$ und $u_{R2}(t)$ für $t \geq 0$. Geben Sie Kenngrößen an.
(3 Punkte)

j) Zeichnen Sie qualitativ den zeitlichen Verlauf des Stroms $i(t)$ für $t \geq 0$. Geben Sie Kenngrößen an. (1 Punkt)

# 6 Maxwell'sche Gleichungen **Punkte: 4**

a) Nennen Sie die Formeln der vier Maxwell'schen Gleichungen in integraler Darstellung, wie aus der Vorlesung bekannt. (4 Punkte)