

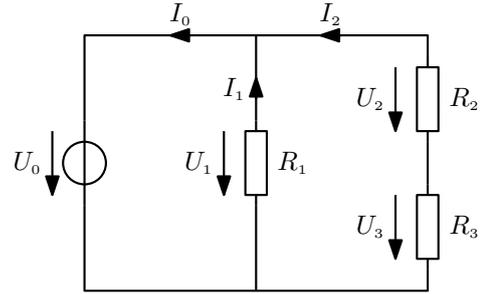
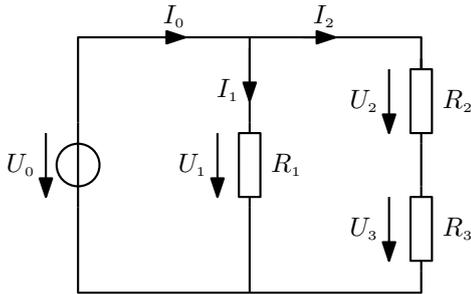
1. Kurzfragen zu Elektrotechnik 1 (18 Punkte)

KF1) In welchem Netzwerk wurde das Verbraucherzählpeilsystem angewendet?

1 P.

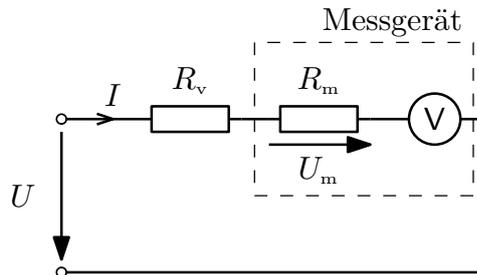
Netzwerk a

Netzwerk b



KF2) Ein gegebenes Voltmeter hat einen Messbereichsendwert von 5 V und einen Innenwiderstand R_m von 50Ω . Wie groß muss der Vorwiderstand R_v gewählt werden, damit eine Spannung von 50 V gemessen werden kann?

2 P.



$$R_v = 450 \Omega$$

KF3) Gegeben ist eine einlagige Zylinderspule mit 300 Windungen und einem Durchmesser von 5 cm. Der aufgewickelte Kupferdraht hat einen Leiterdurchmesser von 1 mm. Der spezifische Widerstand ρ_{20} des Kupfers beträgt $0,01786 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$, der Temperaturkoeffizient α_{20} beträgt $0,0039 \frac{1}{\text{K}}$.

3 P.

a) Berechnen Sie den ohmschen Widerstand der Spule bei 20°C !

$$R_{20} = 1,07 \Omega$$

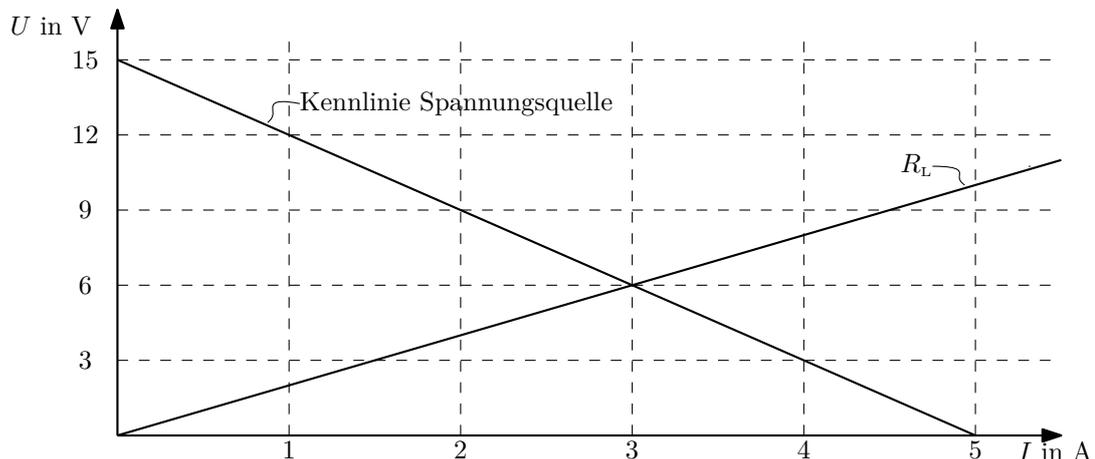
Für folgende Teilaufgabe gilt: $R_{20} = 3,05 \Omega$

b) Berechnen Sie den ohmschen Widerstand der Spule bei 100°C !

$$R_{100} = 4,00 \Omega$$

KF4) Gegeben sind folgende Kennlinien einer realen Spannungsquelle und eines Lastwiderstandes:

3 P.



a) Bestimmen Sie R_i , U_0 , I_k und R_L .

$$R_i = 3 \Omega$$

$$U_0 = 15 \text{ V}$$

$$I_k = 5 \text{ A}$$

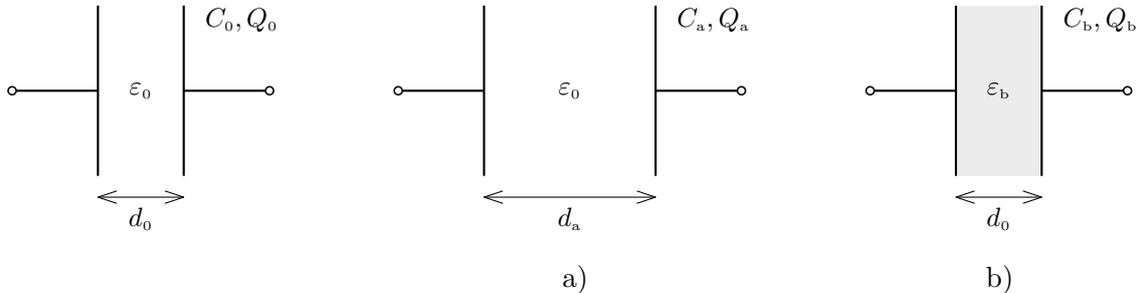
$$R_L = 2 \Omega$$

b) Bestimmen Sie den Arbeitspunkt (U_{AP} und I_{AP}).

$$U_{AP} = 6 \text{ V}$$

$$I_{AP} = 3 \text{ A}$$

KF5) Gegeben ist ein Plattenkondensator mit der Kapazität C_0 , der mit der Ladungsmenge Q_0 aufgeladen und anschließend von der Spannungsquelle getrennt wurde. 3 P.



a) Welche Auswirkung hat eine Erhöhung des Plattenabstandes ($d_a > d_0$) ...

i. ... auf die Kapazität?

$C_a < C_0$

$C_a = C_0$

$C_a > C_0$

ii. ... auf die Spannung?

$U_a < U_0$

$U_a = U_0$

$U_a > U_0$

iii. ... auf die Ladungsmenge?

$Q_a < Q_0$

$Q_a = Q_0$

$Q_a > Q_0$

b) Welche Auswirkung hat ein Dielektrikum mit einer höheren Permittivität ($\epsilon_b > \epsilon_0$) ...

i. ... auf die Kapazität?

$C_b < C_0$

$C_b = C_0$

$C_b > C_0$

ii. ... auf die Spannung?

$U_b < U_0$

$U_b = U_0$

$U_b > U_0$

iii. ... auf die Ladungsmenge?

$Q_b < Q_0$

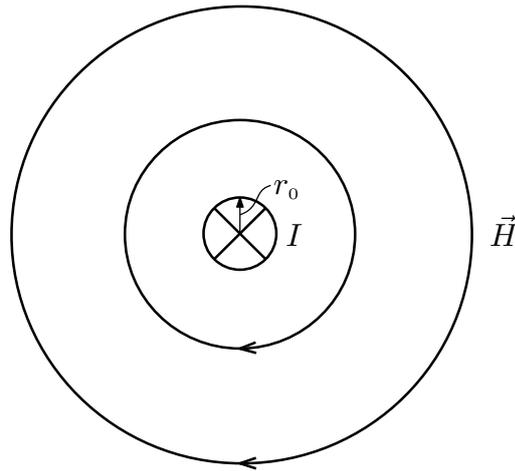
$Q_b = Q_0$

$Q_b > Q_0$

KF6) Gegeben ist ein gerader, runder, stromdurchflossener Leiter mit dem Radius r_0 .

3 P.

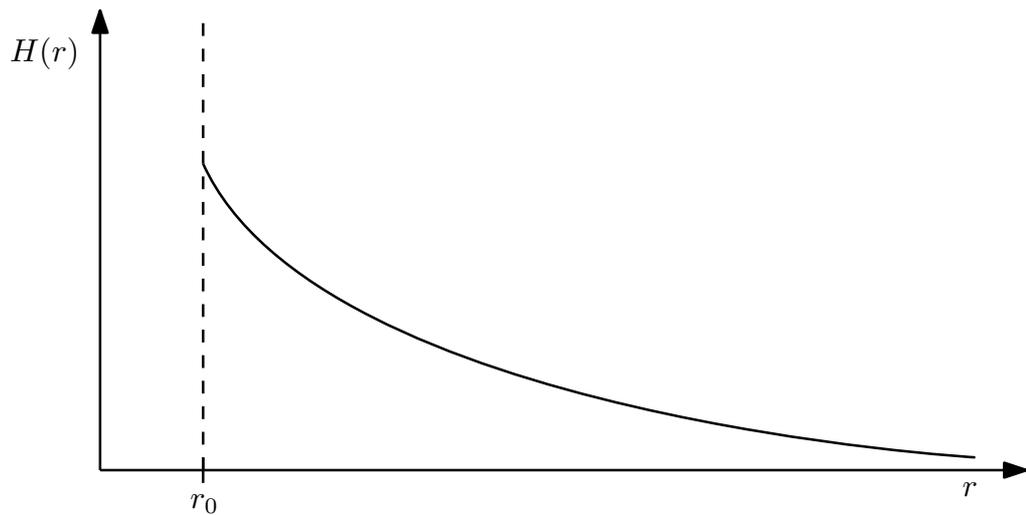
a) Zeichnen Sie die magnetischen Feldlinien inkl. deren Richtung ein!



b) Leiten Sie mit Hilfe des Durchflutungsgesetzes die magnetische Feldstärke **außerhalb des Leiters** ($r \geq r_0$) in Abhängigkeit des Abstands zur Leitermittellachse her.

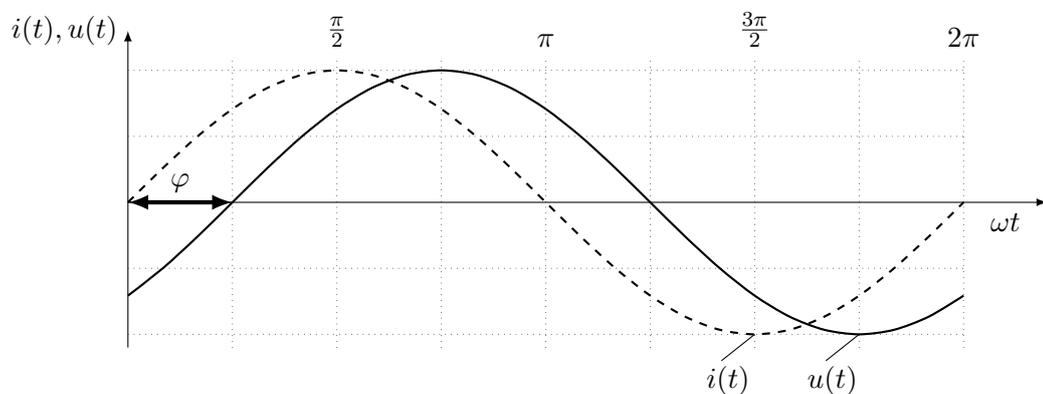
$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

c) Skizzieren Sie den Verlauf des Betrages der magnetischen Feldstärke **außerhalb des Leiters** ($r \geq r_0$) in Abhängigkeit des Abstands r zur Leitermittellachse.



KF7) Gegeben sind die folgenden zeitlichen Verläufe einer Spannung und eines Stroms.

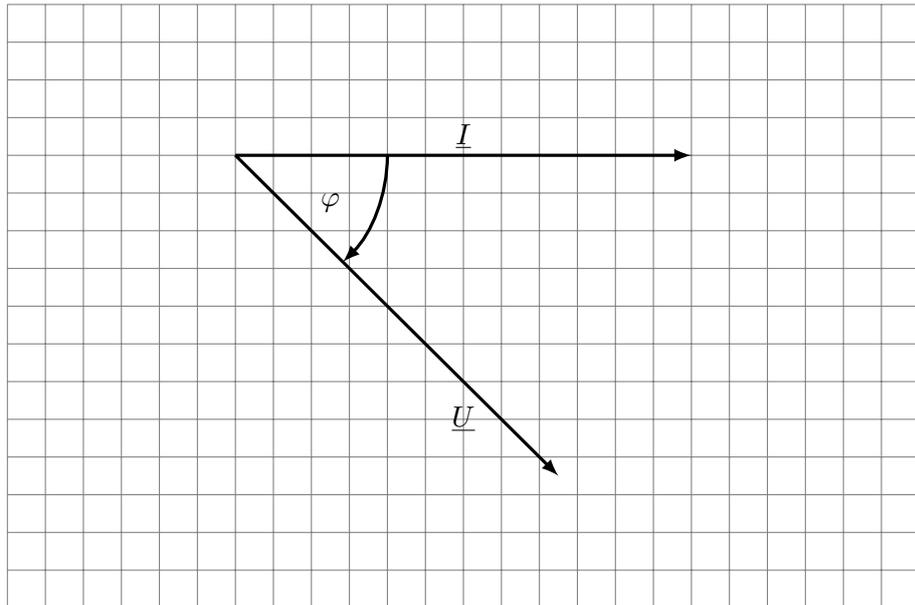
3 P.



a) Bestimmen Sie den Phasenwinkel φ und tragen Sie ihn in das obige Diagramm ein.

$$\varphi = -\frac{\pi}{4} = -45^\circ$$

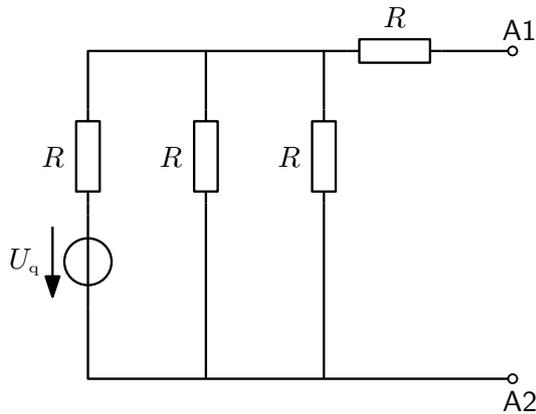
- b) Skizzieren Sie das zugehörige Zeigerbild im Zeitpunkt ($t = 0$), beschriften Sie alle Zeiger und kennzeichnen Sie den Phasenwinkel φ .



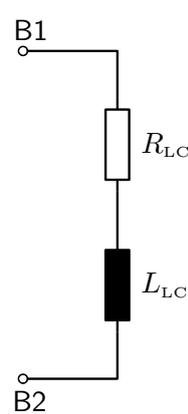
2. Gleichstrom (22 Punkte)

Gegeben sind folgende Netzwerke:

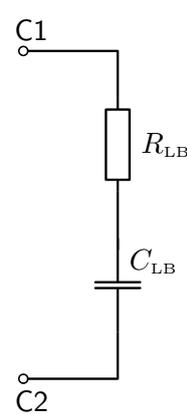
Netzwerk A



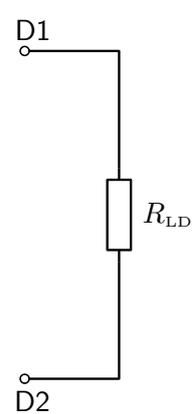
Netzwerk B



Netzwerk C



Netzwerk D



- GS1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.
- GS2) Wandeln Sie Netzwerk A in eine Ersatzspannungsquelle bezüglich der Klemmen A1 und A2 um. Geben Sie die charakteristischen Größen (R_i , U_0 und I_K) an und skizzieren Sie die Kennlinie und das Ersatzschaltbild. 5 P.

Verwenden Sie für die weiteren Aufgabenteile folgende Werte:

$$\begin{array}{llll}
 R_i = 1 \Omega & U_0 = 10 \text{ V} & I_K = 10 \text{ A} & R_{LB} = 1 \Omega \\
 R_{LC} = 1 \Omega & R_{LD} = 9 \Omega & C_{LB} = 5 \mu\text{F} & L_{LC} = 15 \text{ mH}
 \end{array}$$

Netzwerk A und Netzwerk B werden im Zeitpunkt $t = 0$ verbunden (Klemme A1 – Klemme B1 und Klemme A2 – Klemme B2). Zu Beginn ist die Spule **nicht** magnetisiert.

- GS3) Zeichnen und beschriften Sie das entsprechende Ersatzschaltbild (Ersatzspannungsquelle und Last) und berechnen Sie den Strom $i(t = 0)$ und $i(t \rightarrow \infty)$ ($t \rightarrow \infty$: alle Ausgleichsvorgänge sind abgeschlossen). 4 P.

Netzwerk A und Netzwerk C werden im Zeitpunkt $t = 0$ verbunden (Klemme A1 – Klemme C1 und Klemme A2 – Klemme C2). Zu Beginn ist der Kondensator **nicht** aufgeladen.

- GS4) Zeichnen und beschriften Sie das entsprechende Ersatzschaltbild (Ersatzspannungsquelle und Last) und berechnen Sie den Strom $i(t = 0)$ und $i(t \rightarrow \infty)$ ($t \rightarrow \infty$: alle Ausgleichsvorgänge sind abgeschlossen). 4 P.

Nachdem alle Ausgleichsvorgänge abgeschlossen sind, werden Netzwerk A und Netzwerk C wieder getrennt.

- GS5) Wie groß ist die Spannung am Kondensator, nachdem die Netzwerke A und C getrennt wurden? 1 P.

Anschließend werden Netzwerk C und Netzwerk D verbunden (Klemme C1 – Klemme D1 und Klemme C2 – Klemme D2).

- GS6) Zeichnen und beschriften Sie das entsprechende Ersatzschaltbild, skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf von Strom und Kondensatorspannung und geben Sie den Wert des maximalen Stromes an. 4 P.

Endergebnisse und Kommentare

GS2) Ersatzspannungsquelle:

- Innenwiderstand:

$$R_i = \frac{4}{3}R$$

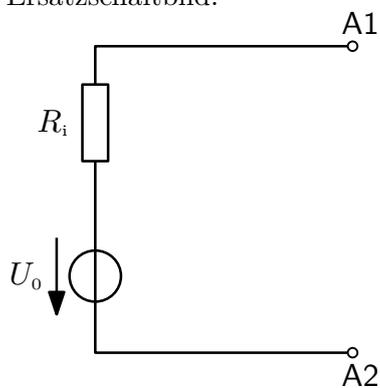
- Leerlaufspannung:

$$U_0 = \frac{1}{3}U_q$$

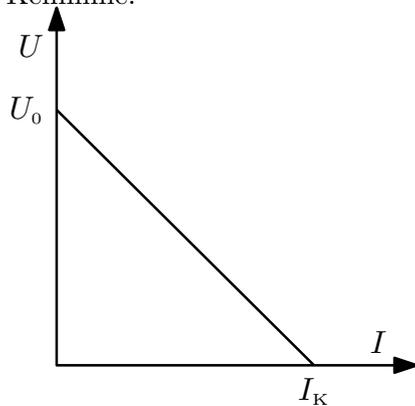
- Kurzschlussstrom:

$$I_K = \frac{U_q}{4R}$$

- Ersatzschaltbild:

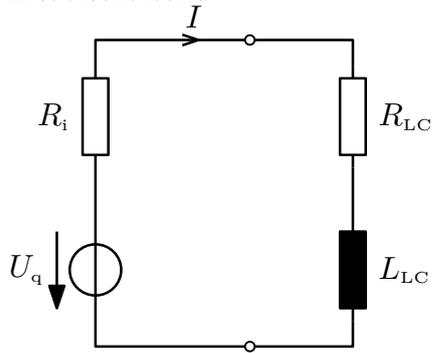


- Kennlinie:



GS3) Netzwerk A und B:

Ersatzschaltbild:

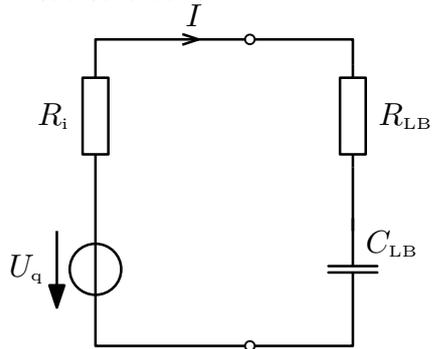


$$i(t = 0) = 0$$

$$i(t \rightarrow \infty) = 5 \text{ A}$$

GS4) Netzwerk A und C:

Ersatzschaltbild:



$$i(t = 0) = 5 \text{ A}$$

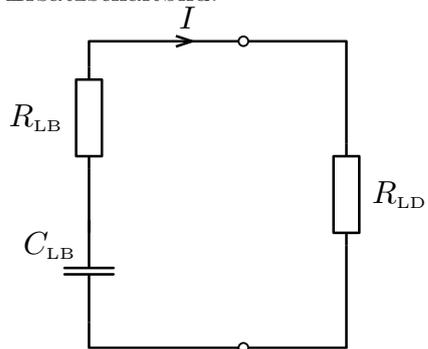
$$i(t \rightarrow \infty) = 0$$

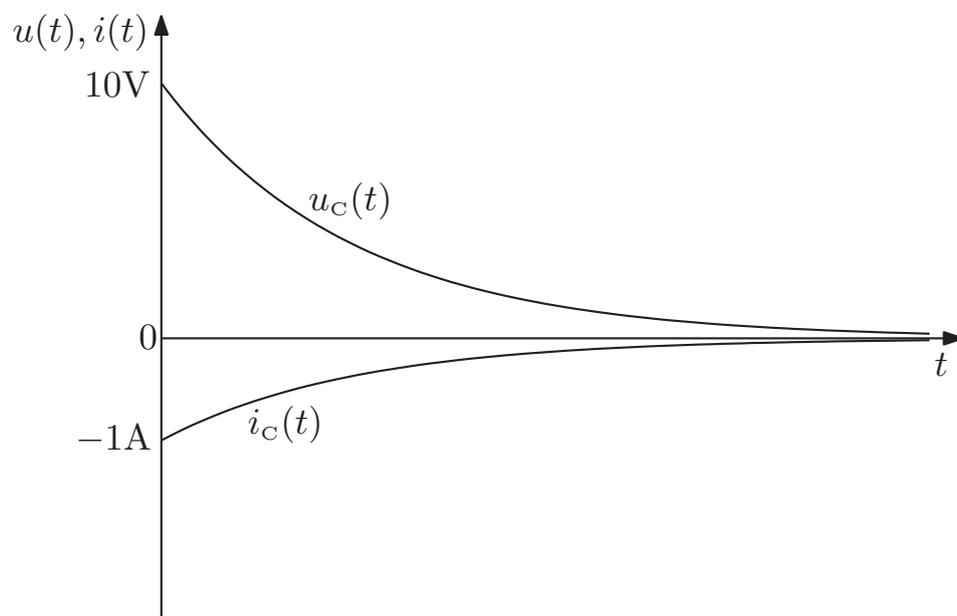
GS5) Kondensatorspannung:

$$U_C = 10 \text{ V}$$

GS6) Verlauf von Kondensatorspannung und Strom:

Ersatzschaltbild:



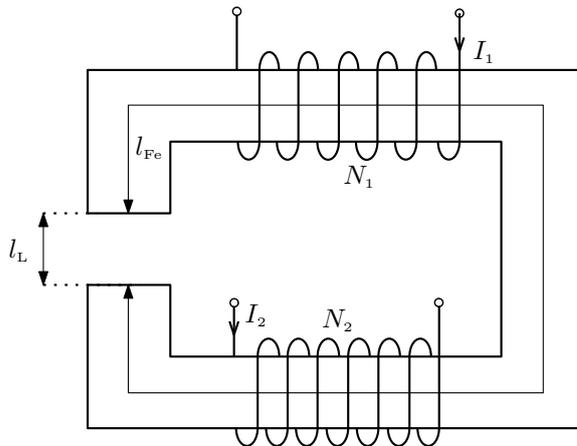


Maximalwert des Stromes:

$$I_{\max} = 1 \text{ A}$$

3. Elektrisches und magnetisches Feld (22 Punkte)

Gegeben ist der dargestellte Eisenkern mit zwei Erregerwicklungen. Der quadratische Querschnitt A des Eisenkerns ist an allen Stellen gleich. Die Streuung des Magnetfelds am Luftspalt sei vernachlässigbar.



Folgende Werte sind gegeben:

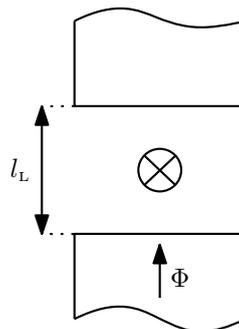
$$\begin{aligned} N_1 &= 1000 & N_2 &= 2000 \\ l_{\text{Fe}} &= 0,79 \text{ m} & l_{\text{L}} &= 1,57 \text{ mm} \\ A &= 2500 \text{ mm}^2 & \mu_r &= 500 \\ I_1 &= 3 \text{ A} & I_2 &= 1 \text{ A} \end{aligned}$$

- EM1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.
- EM2) Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild des magnetischen Kreises inklusive aller Beschriftungen. 3 P.
- EM3) Berechnen Sie den gesamten magnetischen Widerstand des magnetischen Kreises. 3 P.
- EM4) Berechnen Sie die gesamte Durchflutung Θ_{ges} und den magnetischen Fluss Φ . Beachten Sie dabei die Wicklungsrichtungen der Spulen. 2 P.

Für folgende Teilaufgabe gilt: $\Phi = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Vs}$

- EM5) Berechnen Sie die magnetische Flussdichte \vec{B} und die magnetische Feldstärke \vec{H} im Eisenkern. 2 P.

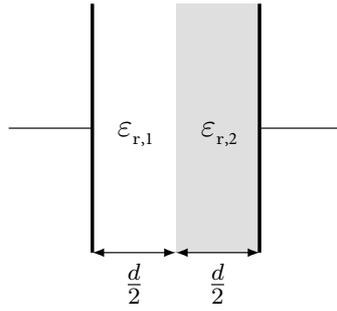
Nun wird ein Leiter in den Luftspalt gehängt, durch den ein Strom $I = 2 \text{ A}$ fließt.



- EM6) Zeichnen Sie in die obere Skizze die Richtung der magnetische Flussdichte \vec{B} und der Lorentzkraft \vec{F}_{L} ein. Berechnen Sie den Betrag der auf den Leiter wirkenden Kraft. 2 P.

Fortsetzung auf der nächsten Seite!

In die rechte Hälfte eines Luft-Plattenkondensators mit $C_1 = 10 \text{ nF}$ und $Q = 90 \text{ nC}$ wird ein Dielektrikum eingeschoben. Dadurch wird nun die Kapazität des Kondensators auf $C_2 = 18 \text{ nF}$ erhöht.

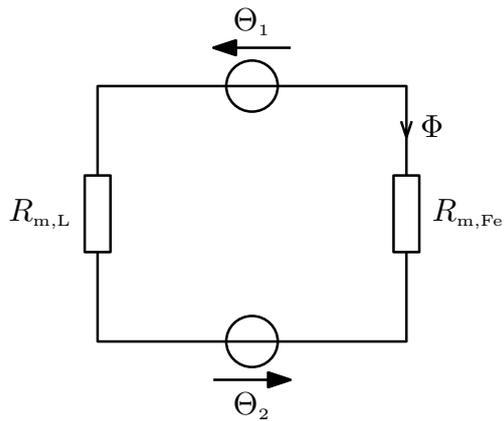


EM7) Bestimmen Sie die Permittivität $\epsilon_{r,2}$ des Dielektrikums. 4 P.

EM8) Bestimmen Sie die Spannung U_2 am Kondensator, nachdem das Dielektrikum eingeschoben wurde. 2 P.

Endergebnisse und Kommentare

EM2) Ersatzschaltbild



EM3) Magnetische Widerstände

- Eisenkern

$$R_{m,Fe} = 0,5 \cdot 10^6 \frac{A}{Vs}$$

- Luftspalt

$$R_{m,L} = 0,5 \cdot 10^6 \frac{A}{Vs}$$

- Gesamtwiderstand

$$R_{m,ges} = 1 \cdot 10^6 \frac{A}{Vs}$$

EM4) Durchflutung und Fluss

- Durchflutung

$$\Theta_{ges} = 5000 \text{ A}$$

- Magnetischer Fluss

$$\Phi = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Vs}$$

EM5) Flussdichte und Feldstärke

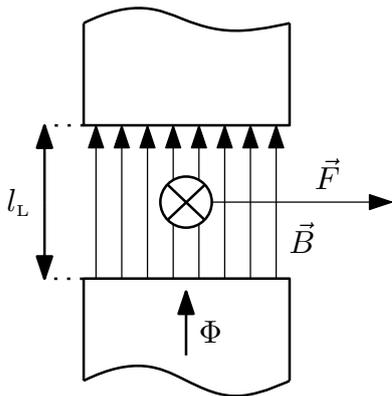
- Magnetische Flussdichte

$$B = 0,2 \text{ T}$$

- Magnetische Feldstärke im Eisenkern

$$H_{\text{Fe}} = 318,3 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

EM6) Lorentzkraft



- Kraft auf den Leiter

$$F_L = 0,02 \text{ N}$$

EM7) Berechnung $\varepsilon_{r,2}$:

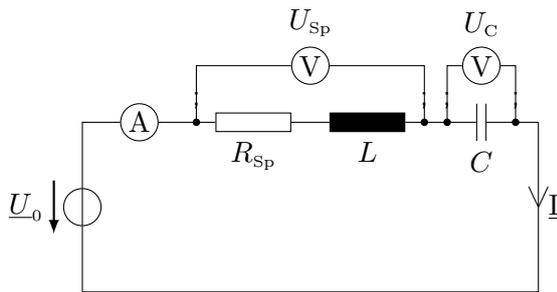
$$\varepsilon_{r,2} = 9$$

EM8) Spannung nach Einschoben des Dielektrikums:

$$U_2 = 5 \text{ V}$$

4. Wechselstrom (22 Punkte)

Gegeben ist die folgende Schaltung, in der jeweils der Spannungsabfall über eine verlustbehaftete Induktivität und einen Kondensator mittels Weicheisenmessgeräten gemessen wird.



Folgende Werte sind gegeben:

$$L = 450 \text{ mH}$$

$$C = 680 \text{ nF}$$

WS1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.

An einer Spannungsquelle mit $U_0 = 10 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ werden folgende Werte gemessen:

$$U_{Sp} = 1,25 \text{ V}$$

$$I = 2,2 \text{ mA}$$

WS2) Bestimmen Sie den ohmschen Widerstand der Spule, den Spannungsabfall an U_C sowie den Phasenwinkel der Schaltung. 6 P.

Nachfolgend soll für die obige Schaltung der Betragsresonanzfall untersucht werden. Mit dem im Messaufbau genutzten Messgeräten wird die Resonanzfrequenz experimentell durch $U_{Sp} = U_C$ ermittelt:

$$U_{Sp} = 11,1 \text{ V}$$

$$U_C = 11,1 \text{ V}$$

$$I = 12,2 \text{ mA}$$

WS3) Berechnen Sie die Resonanzfrequenz der Schaltung aus den angegebenen Bauteilwerten (ohne Berücksichtigung von R_{Sp}). 2 P.

WS4) Berechnen Sie die im Experiment ermittelte Resonanzfrequenz aus den gegebenen Messwerten und begründen Sie, warum sich nicht die in Teilaufgabe 3 ermittelte Frequenz ergibt. 4 P.

Die Frequenz der Eingangsspannung wird geändert, sodass sich für die Schaltung ein Phasenwinkel $\varphi = 0$ ergibt und sich folgende Werte einstellen:

$$U_{Sp} = 17,9 \text{ V}$$

$$U_C = 14,8 \text{ V}$$

$$I = 18,2 \text{ mA}$$

WS5) Zeichnen Sie das Zeigerbild (\underline{I} , \underline{U}_{Sp} , \underline{U}_C , \underline{U}_0) für diesen Fall. Bestimmen Sie ebenfalls rechnerisch den Phasenwinkel φ_L , der sich zwischen \underline{U}_{Sp} und \underline{I} einstellt und tragen Sie diesen im Zeigerdiagramm ein. Verwenden Sie als Maßstab $1 \text{ V} \hat{=} 0,5 \text{ cm}$ und $1 \text{ mA} \hat{=} 0,5 \text{ cm}$ 6 P.

Endergebnisse und Kommentare

WS2) Spulenwiderstand und Spannungsabfall über C sowie Phasenwinkel der Schaltung

$$R_{Sp} = 550 \Omega$$

$$U_C = 10,3 \text{ V}$$

$$\varphi = -83,1^\circ$$

WS3) Resonanzfrequenz aus Bauteilwerten:

$$f_{\text{res}} = 287,7 \text{ Hz}$$

WS4) Resonanzfrequenz aus Messwerten:

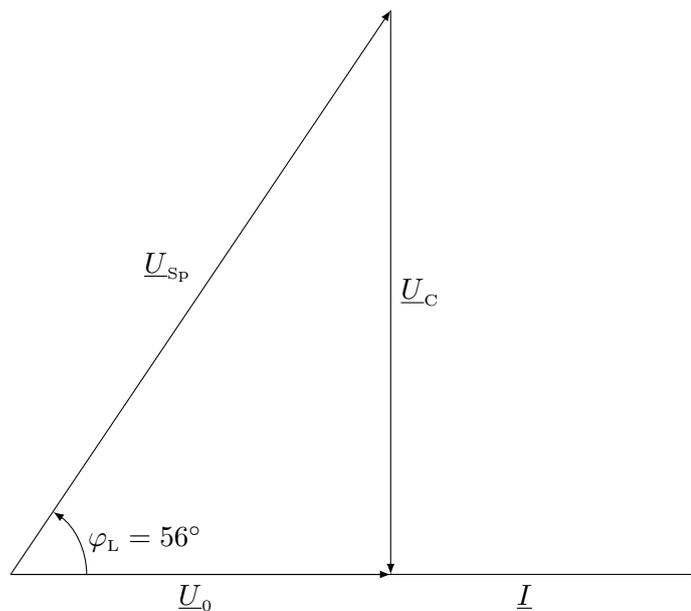
$$f_{\text{res, Betrag}} = 257 \text{ Hz}$$

Die ermittelte Resonanzfrequenz weicht vom Ergebnis aus WS3 ab, da in WS3 die Bedingung $U_L = U_C$ zugrunde liegt, im Experiment aber nur U_{Sp} ermittelt werden kann.

WS5) Zeigerbild

Rechnerische Bestimmung von φ_L :

$$\varphi_L = 56^\circ$$



5. Kurzfragen zu Elektrotechnik 2 (18 Punkte)

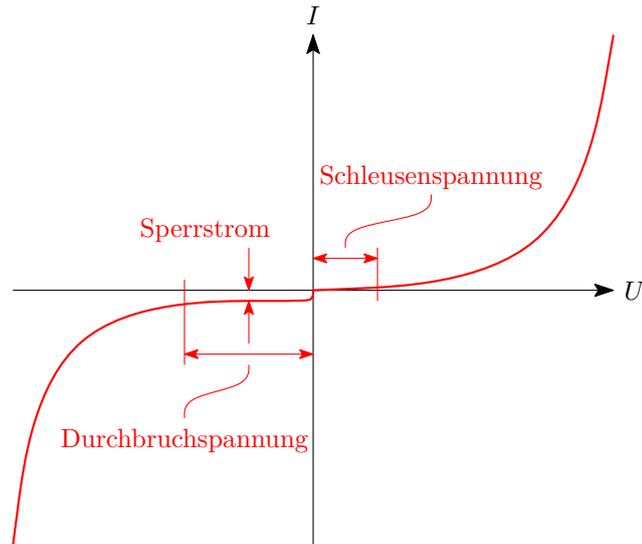
KF1) Nennen Sie die fünf Sicherheitsregeln in der richtigen Reihenfolge.

3 P.

- 1) Freischalten
- 2) Gegen Wiedereinschalten sichern
- 3) Spannungsfreiheit feststellen
- 4) Erden und Kurzschließen
- 5) benachbarte, unter Spannung stehende Teile abschirmen

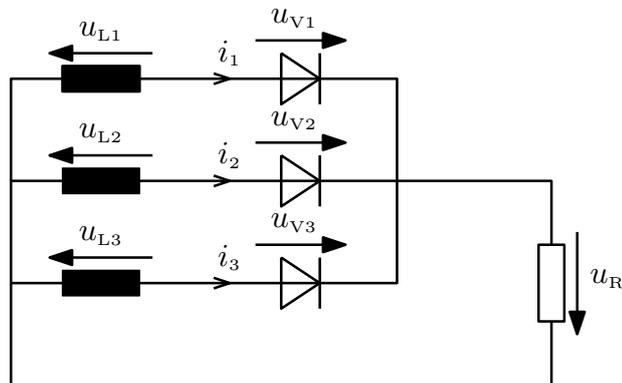
KF2) Zeichnen Sie die Kennlinie einer *realen* Diode in das vorgegebene Koordinatenkreuz, benennen Sie die einzelnen Bereiche der Kennlinie und beschriften Sie die Achsen.

2 P.



KF3) Gegeben ist folgende Gleichrichterschaltung mit idealen Ventilen:

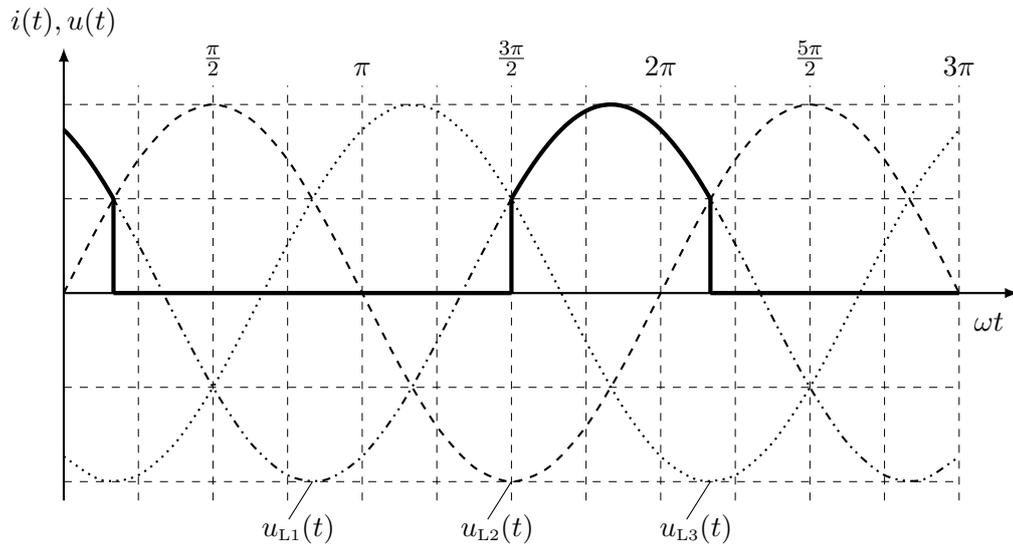
3 P.



a) Welche Ventile führen Strom, wenn gilt: $u_{L1} < u_{L2} < u_{L3}$?

- | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> V1 und V2 | <input type="checkbox"/> V1 | <input type="checkbox"/> V2 |
| <input type="checkbox"/> V1 und V3 | <input type="checkbox"/> V2 und V3 | <input checked="" type="checkbox"/> V3 |

b) Tragen Sie den Verlauf des Ventilstroms i_{v1} in das gegebene Diagramm ein.

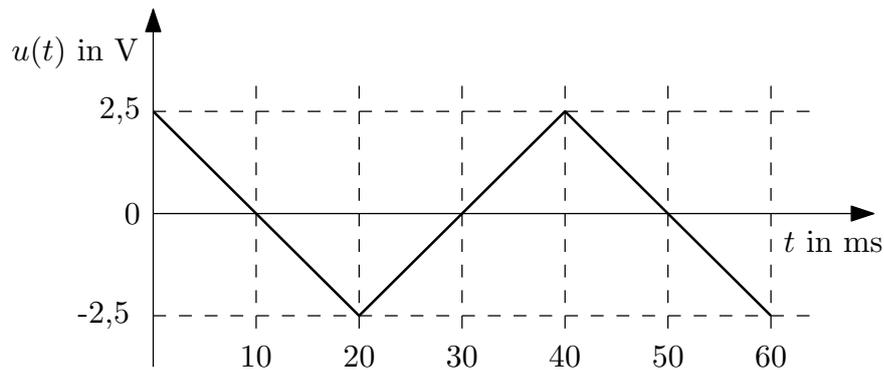


c) Geben Sie die Periodendauer (Pulsdauer) von u_d an.

$$\alpha_p = \frac{2\pi}{3} \quad \text{oder} \quad T_p = 6,7 \text{ ms}$$

KF4) Gegeben ist folgender Spannungsverlauf.

3 P.



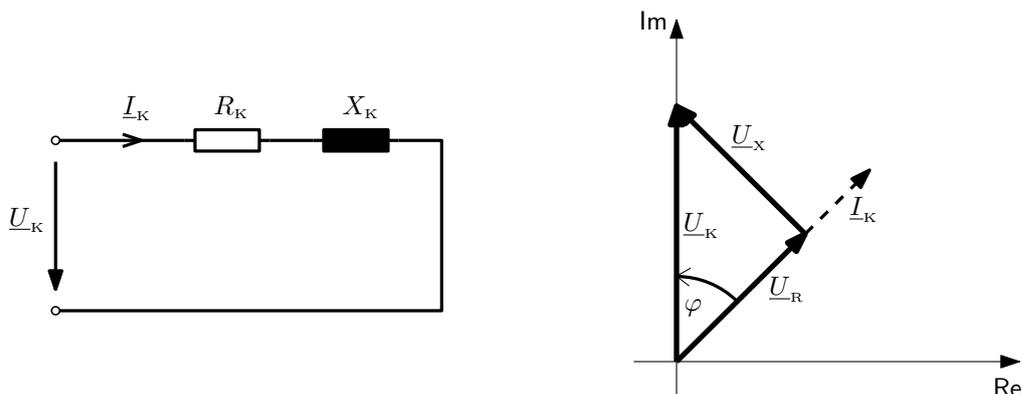
a) Geben Sie die Periodendauer T an.

$$T = 40 \text{ ms}$$

b) Berechnen Sie den Gleichrichtwert.

$$|\bar{u}(t)| = 1,25 \text{ V}$$

KF5) Zeichnen Sie das vereinfachte Ersatzschaltbild des Transformators für den Kurzschlussversuch und das zugehörige Zeigerbild aller Ströme und Spannungen. 4 P.



KF6) Welche Eigenschaft muss eine Funktion haben, um mit der Fourieranalyse in ihre Bestandteile zerlegt werden zu können? 1 P.

Die Funktion muss periodisch sein.

KF7) Welche trigonometrische Funktionen werden bei der Fourieranalyse benutzt? 1 P.

Sinus und Kotangens Sinus und Tangens Sinus und Kosinus

KF8) Welche Signale können eine Tiefpassschaltung passieren? 1 P.

Signale mit hohen Frequenzen Signale mit tiefen Frequenzen

6. Drehstrom (22 Punkte)

- DS1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.
- DS2) Zeichnen Sie an das unten gegebene symmetrische Drehstromnetz eine symmetrische ohmsch-induktive Last in Sternschaltung ohne angeschlossenen N-Leiter. Zeichnen Sie auch alle an der Last auftretenden Ströme und Spannungen ein und benennen Sie diese. 4 P.

L1 ○ —————

L2 ○ —————

L3 ○ —————

N ○ —————

- DS3) Der symmetrische Verbraucher in Sternschaltung ($|\underline{U}_{LN}| = 230 \text{ V}$) nimmt eine Leistung $P = 42 \text{ kW}$ mit einem $\cos \varphi = 0,93$ (ind.) auf. Berechnen Sie den Leiterstrom \underline{I}_{1N} und die Strangimpedanz \underline{Z}_{1N} nach Betrag und Phase. 2 P.
- DS4) Bei einer symmetrischen Last in Sternschaltung, die an einem symmetrischen Drehstromnetz angeschlossen ist, werden folgende Werte gemessen: 6 P.

$$\underline{U}_{12} = 400 \text{ V} \cdot e^{j30^\circ}$$

$$\underline{I}_{1N} = 0,8 \text{ A} \cdot e^{j25,84^\circ}$$

Berechnen Sie die Lastimpedanz \underline{Z}_{1N} , die Leistungen P_{ges} , Q_{ges} und S_{ges} sowie den Wirkfaktor $\cos \varphi$. Handelt es sich bei der Last um eine ohmsche, ohmsch-induktive oder ohmsch-kapazitive Last? Begründen Sie Ihre Antwort.

Gegeben ist ein symmetrisches Drehstromnetz mit $\underline{U}_{1N} = 230 \text{ V} \cdot e^{j0^\circ}$ und $f = 50 \text{ Hz}$. In einer angeschlossenen symmetrischen Last in Dreiecksschaltung werden $P_{\text{ges}} = 800 \text{ W}$ und $Q_{\text{ges}} = 180 \text{ var}$ umgesetzt.

- DS5) Die induktive Blindleistung soll in einer parallel geschalteten Blindleistungskompensationsanlage in Dreiecksschaltung kompensiert werden. Bestimmen Sie die notwendige Kapazität je Kondensator. 3 P.
- DS6) Die symmetrische Last wird gegen eine unsymmetrische Last in Dreiecksschaltung ausgetauscht. Die Last setzt sich aus folgenden Impedanzen zusammen: 3 P.

$$\underline{Z}_{12} = 20 \Omega \cdot e^{j25^\circ}$$

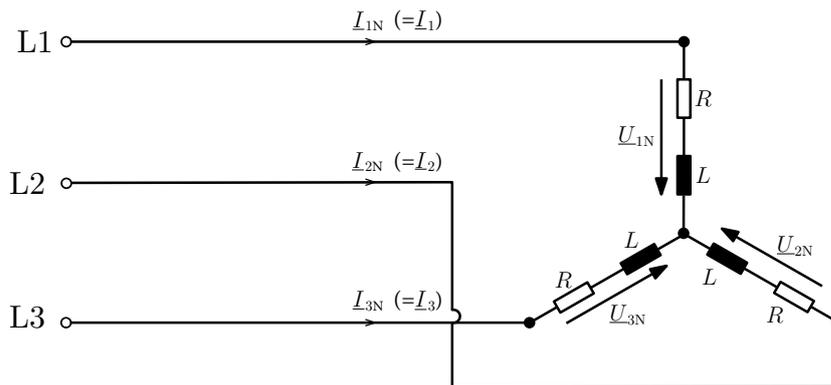
$$\underline{Z}_{23} = 40 \Omega \cdot e^{j10^\circ}$$

$$\underline{Z}_{31} = 12 \Omega + j10,6 \Omega$$

Berechnen Sie alle in der Last auftretenden Ströme \underline{I}_{12} , \underline{I}_{23} und \underline{I}_{31} nach Betrag und Phase.

Endergebnisse und Kommentare

DS2) • Symmetrische ohmsch-induktive Sternschaltung:



DS3) • Leiterstrom und Strangimpedanz:

$$\underline{I}_{1N} = 65,45 \text{ A} \cdot e^{-j21,6^\circ}$$

$$\underline{Z}_{1N} = 3,51 \Omega \cdot e^{j21,6^\circ}$$

DS4) • Strangimpedanz:

$$\underline{Z}_{1N} = 287,5 \Omega \cdot e^{-j25,84^\circ}$$

• Wirkfaktor:

$$\cos \varphi = 0,9$$

• Leistungen:

$$P_{\text{ges}} = 496,8 \text{ W}$$

$$Q_{\text{ges}} = -240,6 \text{ var}$$

$$S_{\text{ges}} = 552 \text{ VA}$$

• ohmsch-kapazitive Last

DS5) • notwendige Kapazitäten:

$$C = 1,2 \mu\text{F}$$

DS6) • Strangströme:

$$\underline{I}_{12} = 20 \text{ A} \cdot e^{j5^\circ}$$

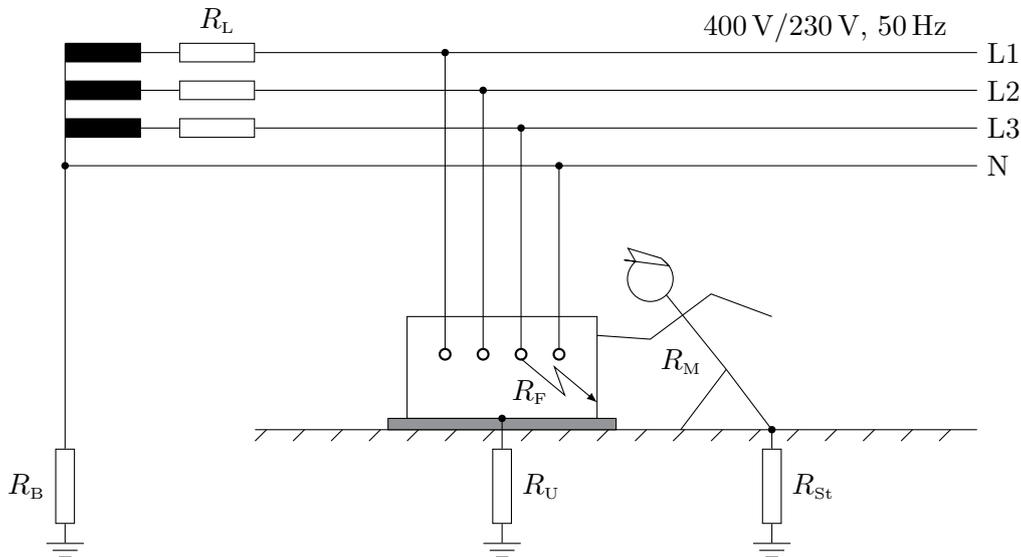
$$\underline{I}_{23} = 10 \text{ A} \cdot e^{-j100^\circ}$$

$$\underline{I}_{31} = 25 \text{ A} \cdot e^{j108,5^\circ}$$

7. Schutzmaßnahmen (22 Punkte)

Eine Maschine hat einen Gehäuseschluss des Leiters L3. Die Maschine ist nicht eingeschaltet ($R_V \rightarrow \infty$) und steht auf isoliertem Untergrund ($R_U \rightarrow \infty$).

Nehmen Sie an, dass alle berührbaren Teile der Maschine aus einem gut leitenden Material bestehen. Die maximal zulässige Berührspannung über den Menschen, modelliert mit R_M , beträgt $U_B = 50 \text{ V}$.



Folgende Werte sind gegeben:

$$\begin{array}{lll}
 R_L = 2 \Omega & R_F = 10 \Omega & R_M = 3 \text{ k}\Omega \\
 R_{St} = 500 \Omega & R_B = 1 \Omega &
 \end{array}$$

SM1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.

SM2) Zeichnen Sie das einphasige Ersatzschaltbild des Fehlerstromkreises und tragen Sie in dieses den Fehlerstrom I_F sowie die Berührspannung U_B ein. Bestimmen Sie den Gesamtwiderstand R_{ges} , den Fehlerstrom I_F und die Berührspannung U_B . Ist der Mensch gefährdet? Begründen Sie Ihre Antwort anhand der gültigen Grenzwerte. 6 P.

Als Schutzmaßnahme wird nun die „Schutzerdung“ genutzt. Dazu wird die Maschine am Standort mit einem Erdungswiderstand R_E direkt geerdet. Der Untergrund ist weiterhin isolierend ($R_U \rightarrow \infty$).

SM3) Erläutern Sie die Wirkungsweise der Schutzerdung. In welcher Größenordnung sollte der Erdungswiderstand liegen? 2 P.

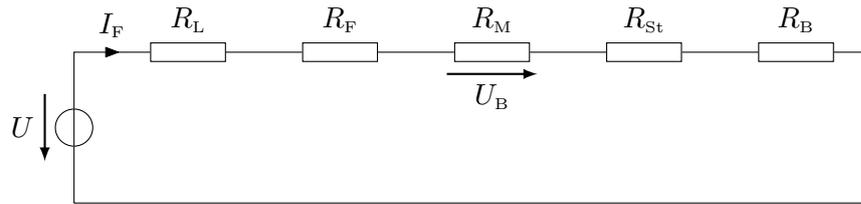
SM4) Legen Sie den Erdungswiderstand R_E so aus, sodass im Fehlerfall der Strom durch den Menschen $I_{M,max} = 10 \text{ mA}$ nicht überschreitet. 4 P.

Als Schutzmaßnahme wird im Folgenden **nicht** mehr die Schutzerdung betrachtet, sondern die Maschine an den Schutzleiter des Netzes mit dem Widerstand R_{PE} angeschlossen (TN-S-Netz).

SM5) Durch einen Defekt der Isoliermatte hat die Maschine nun einen Übergangswiderstand zur Erde von $R_U = 1000 \Omega$. Legen Sie den Schutzleiterwiderstand R_{PE} so aus, sodass für den vorliegenden Fehlerfall der Strom durch den Menschen weiterhin $I_{M,max} = 10 \text{ mA}$ nicht überschreitet. 6 P.

Endergebnisse und Kommentare

SM2) • Ersatzschaltbild:



• Gesamtwiderstand:

$$R_{\text{ges}} = 3513 \Omega$$

• Fehlerstrom I_F :

$$I_F = 65,47 \text{ mA}$$

• Berührspannung:

$$U_B = 196,41 \text{ V}$$

• Der Mensch ist gefährdet, da $U_B = 196,41 \text{ V} > 50 \text{ V}$.

SM3) Der Erdungswiderstand bildet mit dem Körperwiderstand des Menschen R_M und dem Standortwiderstand R_{St} eine Parallelschaltung, sodass sich der Fehlerstrom nach der Stromteilerregel entsprechend der Verhältnisse der Widerstände aufteilt. Je kleiner die Schutzerdung ist, desto kleiner ist der Strom durch den Menschen ($R_E \ll R_M$). Üblicherweise ist R_E nur wenige Ohm groß.

SM4) • Erdungswiderstand:

$$R_E = 2,33 \Omega$$

SM5) • Schutzleiterwiderstand:

$$R_{PE} = 2,16 \Omega$$

8. Transformator (22 Punkte)

Ein einphasiger Transformator soll ausgelegt werden, der die Primärspannung $U_1 = 230 \text{ V}$ auf $U_2 = 11,5 \text{ V}$ und $I_2 = 10 \text{ A}$ bei $f = 50 \text{ Hz}$ heruntersetzt. Aufgrund der maximalen Baugröße kann der Eisenkern nur 10 cm hoch und 10 cm breit gebaut werden. Auf der Sekundärseite wird eine Spule mit $N_2 = 250$ Windungen und einem mittleren Windungsdurchmesser von $d_w = 3 \text{ cm}$ verwendet.

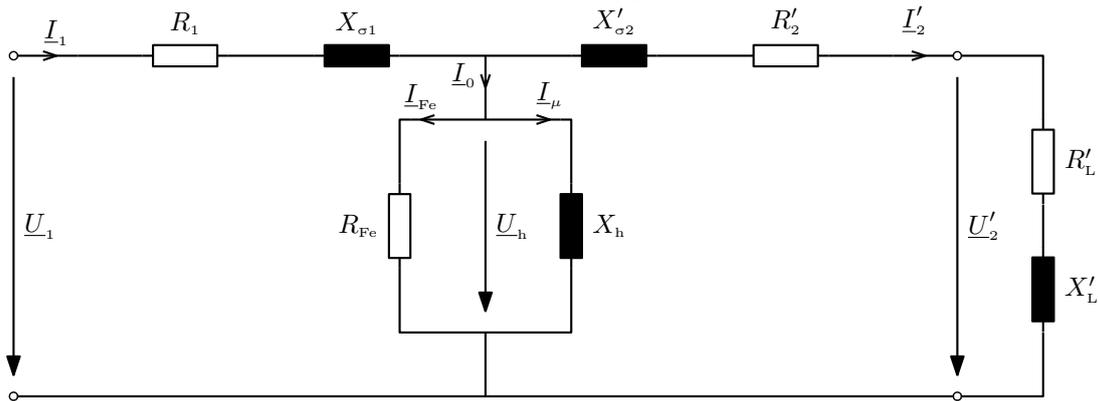
- TR1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.
- TR2) Zeichnen und beschriften Sie das vollständige Ersatzschaltbild des belasteten Transformators mit angeschlossener ohmsch-induktiver Last. Zeichnen Sie auch alle Ströme und Spannungen ein. 2 P.
- TR3) Berechnen Sie unter der Annahme eines idealen Transformators das benötigte Übersetzungsverhältnis \hat{u} , die primäre Windungszahl N_1 , den Primärstrom I_1 sowie die zu übertragende Scheinleistung S . 4 P.
- TR4) Bestimmen Sie den notwendigen Eisenquerschnitt A_{Fe} , damit die zulässige magnetische Induktion von $\hat{B} = 0,5 \text{ T}$ nicht überschritten wird. 2 P.
- TR5) Bestimmen Sie den auf der Sekundärseite notwendigen Leiterquerschnitt $A_{\text{Cu},2}$, den sekundären Wicklungswiderstand R_2 (bei 20°C , $\rho_{\text{Cu},20} = 0,0172 \Omega\text{mm}^2\text{m}^{-1}$) sowie den gesamten Wicklungswiderstand $R = R_1 + R'_2$, wenn die maximal zulässige Stromdichte der Wicklungen $S_{\text{max}} = 2 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$ beträgt. 4 P.
- TR6) Beim Leerlaufversuch des Transformators wurden folgende Daten gemessen: 6 P.

$$P_0 = 14 \text{ W} \qquad I_0 = 100 \text{ mA}$$

Berechnen Sie den Eisenverlustwiderstand R_{Fe} und die Hauptfeldinduktivität L_h .

Endergebnisse und Kommentare

TR2) Ersatzschaltbild mit ohmsch-induktiver Belastung



TR3) Übersetzungsverhältnis, primäre Windungszahl, Nennstrom und Scheinleistung

$$\ddot{u} = 20$$

$$N_1 = 5000 \text{ Wdg.}$$

$$I_1 = 0,5 \text{ A}$$

$$S = 115 \text{ VA}$$

TR4) Eisenquerschnitt

$$A_{Fe} = 4,14 \text{ cm}^2$$

TR5) Wicklungsquerschnitt und -widerstand auf der Sekundärseite, gesamter Wicklungswiderstand

$$A_{Cu2} = 5 \text{ mm}^2$$

$$R_2 = 0,081 \Omega$$

$$R = 64,8 \Omega$$

TR6) Eisenverluste und Hauptinduktivität

$$R_{Fe} = 3778,6 \Omega$$

$$L_h = 9,23 \text{ H}$$