

Klausurbedingungen

Die Prüfung wird unter Einhaltung der Allgemeine Prüfungsordnung (APO) der TU Clausthal in ihrer jeweils gültigen Fassung und den aktuell geltenden universitätsinternen infektionspräventiven Schutzmaßnahmen zur Eindämmung des Coronavirus SARS-Cov-2 und dessen Varianten durchgeführt.

Prüfungsfähigkeit

- Mit Ihrer Unterschrift auf dem Deckblatt erklären Sie sich einverstanden und gesundheitlich in der Lage, an der Prüfung teilzunehmen.

Punktevergabe - Allgemein

- Die Bewertung der einzelnen Aufgaben und Teilschritte erfolgt anhand des in der Musterlösung vorgeschlagenen und definierten Punkteschlüssels. Dabei sind neben dem einfachsten und schnellsten Lösungsweg auch Alternativlösungswege aufgeführt, die wiederum einen Punkteschlüssel mit gleicher Punktzahl beinhalten.
- Musterlösung und Punkteschlüssel können während der Klausureinsicht eingesehen werden.
- Die Bewertung Ihres Lösungsweges erfolgt ohne Berücksichtigung der formalen Richtigkeit des Lösungsweges, sodass auch ein formal falscher aber nachvollziehbarer Lösungsweg, mit den in der Musterlösung angegebenen Punkten bewertet wird.
- Nicht nachvollziehbare Ergebnisse werden mit 0 P. bewertet.

Punktevergabe der formalen Bewertung

- Die Anzahl an erreichbaren Punkten zur Bewertung der formalen Richtigkeit einer Aufgabe richtet sich nach den erreichbaren Punkten der bearbeiteten Teilaufgaben. Eine Teilaufgabe gilt als bearbeitet, wenn ein zu der Aufgabenstellung passender Ansatz notiert wurde. Die Punkte zur Bewertung der formalen Richtigkeit sind wie folgt gestaffelt:
 - $\leq 4 \text{ P.} \Rightarrow \text{max. } 1 \text{ P.}$
 - $\leq 8 \text{ P.} \Rightarrow \text{max. } 2 \text{ P.}$
 - $\leq 12 \text{ P.} \Rightarrow \text{max. } 3 \text{ P.}$
 - $\leq 18 \text{ P.} \Rightarrow \text{max. } 4 \text{ P.}$

Beispiel:

Wurden zwei Teilaufgaben eines Aufgabenblocks mit einer Gesamtpunktzahl von 6 P. angefangen zu bearbeiten, können für diesen Aufgabenblock nach obigem Schlüssel max. 2 P. für die Bewertung der formale Richtigkeit erreicht werden.

- Jeder formale Fehler führt zu einer Nichtvergabe von 1 P. bei der Bewertung. Die minimale Punktzahl ist 0 P. (für die formale Bewertung).
- Für jeden Aufgabenblock gibt es einen Toleranzfehler, sodass erst ab dem zweiten Fehler Punkte bei der Bewertung der formalen Richtigkeit nicht gegeben werden können.

1. Kurzfragen zu Elektrotechnik 1 (18 Punkte)

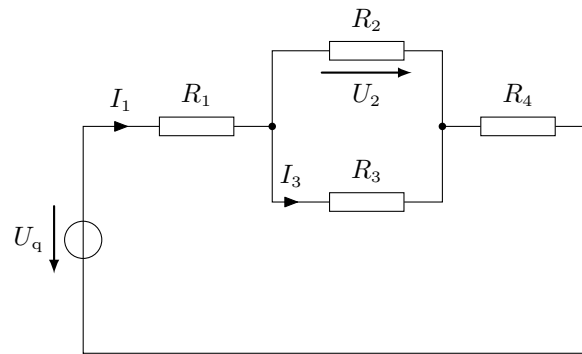
KF1) Eine Pumpe mit einer (elektrischen) Nennleistung $P_n = 2 \text{ kW}$ und dem Wirkungsgrad $\eta = 0,8$ soll eine Wassermenge ($\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$) von 8 m^3 um 5 m anheben. 3 P.

Hinweis: Es gilt: $1 \text{ J} = 1 \frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^2} = 1 \text{ Ws}$

- (a) Berechnen Sie die potentielle Energie, die durch die Pumpe aufgewendet werden muss. Für die Schwerebeschleunigung gilt: $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- (b) Berechnen Sie die Dauer des Pumpvorgangs sowie die Verlustenergie, die dabei entsteht.

KF2) Ein Drehspulinstrument mit einem Innenwiderstand $R_m = 100 \Omega$ und einem Messbereichsendwert $U_m = 10 \text{ V}$ soll als Spannungsmesser mit dem Messbereichsendwert $U = 150 \text{ V}$ eingesetzt werden. 3 P.

Zeichnen Sie ein Ersatzschaltbild und legen Sie den erforderlichen Vorwiderstand aus.



Es gilt:

$$U_q = 60 \text{ V}$$

$$R_1 = 6 \Omega$$

$$R_2 = 20 \Omega$$

$$R_3 = 5 \Omega$$

$$R_4 = 10 \Omega$$

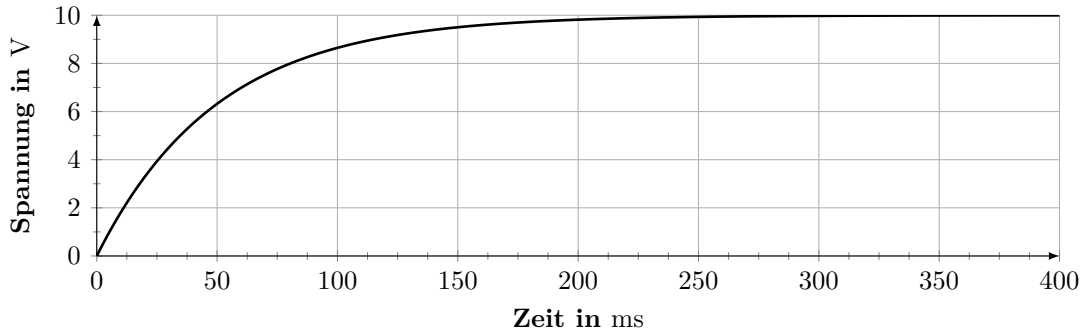
- (a) Berechnen Sie die Spannung U_2 der Parallelschaltung und den Strom I_3 durch den Widerstand R_3 .

- (b) Nun wird der Widerstand R_3 aus der Schaltung entfernt. Vergleichen Sie den Gesamtstrom der Schaltung I_1 sowie die Spannung U_2 am Widerstand R_2 vor und nach dem Entfernen von R_3 mit $=$, $<$ und $>$:

$$I_1 \quad \square \quad I_{1,\text{neu}}$$

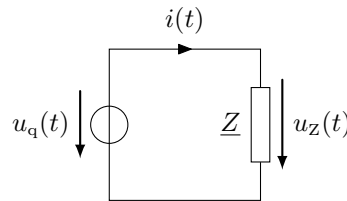
$$U_2 \quad \square \quad U_{2,\text{neu}}$$

KF4) Gegeben ist der zeitliche Verlauf der Kondensatorspannung beim Einschalten einer RC-Reihenschaltung an einer Gleichspannungsquelle mit $U_q = 10\text{ V}$. 3 P.

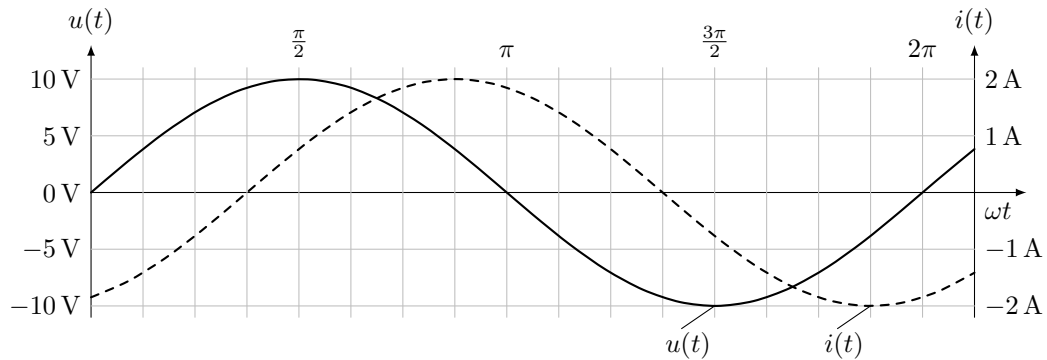


Markieren Sie die Zeitkonstante τ in dem Diagramm und bestimmen Sie den Wert des ohmschen Widerstandes R , wenn bekannt ist, dass die Kapazität 10 mF beträgt.

KF5) Gegeben ist das folgende Netzwerk aus einer idealen Wechselspannungsquelle und einer unbekannten Impedanz \underline{Z} . 4 P.



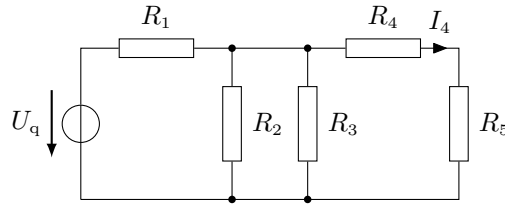
Die zeitlichen Verläufe von Spannung und Strom sind in folgendem Diagramm gegeben:



Bestimmen Sie den Phasenverschiebungswinkel φ zwischen Strom und Spannung, die Amplituden von Strom und Spannung sowie die unbekannte Impedanz \underline{Z} nach Betrag und Phase.

2. Gleichstrom (22 Punkte)

- 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) Gegeben ist die folgende Schaltung, die aus einer Gleichspannungsquelle mit $U_q = 24\text{ V}$ gespeist wird: 4 P.

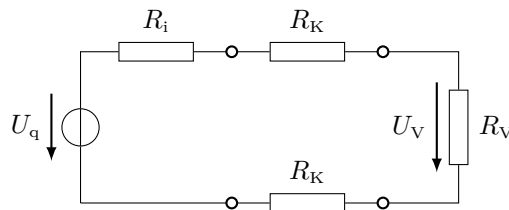


Für die Widerstände gilt:

$$R_1 = 30\ \Omega \quad R_2 = 50\ \Omega \quad R_3 = 40\ \Omega \quad R_4 = 50\ \Omega \quad R_5 = 10\ \Omega$$

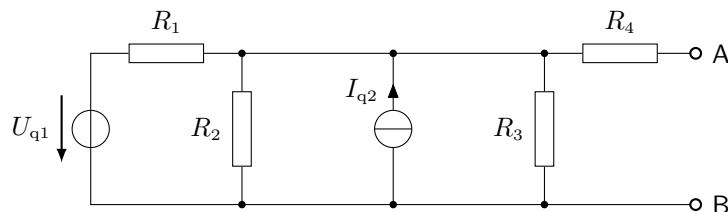
Bestimmen Sie den Strom I_4 durch den Widerstand R_4 der Schaltung.

- GS3) Ein Verbraucher nimmt bei der Spannung $U_V = 500\text{ V}$ die Leistung $P_V = 25\text{ kW}$ auf. Dieser ist über eine Leitung an eine Spannungsquelle U_q mit dem Innenwiderstand $R_i = 1,5\ \Omega$ angeschlossen. Hin- und Rückleiter haben jeweils eine Länge von $l = 200\text{ m}$. Die Leiter (jeweils dargestellt durch R_K) bestehen aus Kupfer mit dem spezifischen Widerstand $\rho_{\text{Cu}} = 0,0176\ \Omega\text{mm}^2/\text{m}$. 2 P.



Bestimmen Sie den Querschnitt A der Leitungsadern (R_K), damit die in der gesamten Leitung auftretende Verlustleistung nicht größer als $p = 7\%$ von P_V wird.

- GS4) Gegeben ist das folgende Netzwerk: 6 P.

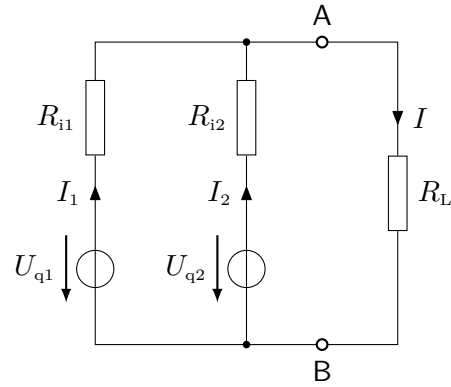


$$\begin{array}{llll} U_{q1} = 10\text{ V} & I_{q2} = 5\text{ A} & & \\ R_1 = 2\ \Omega & R_2 = 3\ \Omega & R_3 = 6\ \Omega & R_4 = 4\ \Omega \end{array}$$

Bestimmen Sie die Ersatzspannungsquelle bezüglich der Klemmen A und B. Geben Sie auch das Ersatzschaltbild der Ersatzquelle an.

Fortsetzung auf der nächsten Seite!

- GS5) Zwei reale Spannungsquellen mit den Quellspannungen $U_{q1} = U_{q2} = 12\text{ V}$ sowie den Innenwiderständen $R_{i1} = 1\ \Omega$ und $R_{i2} = 1,5\ \Omega$ werden parallel geschaltet. An die Klemmen A und B wird ein Lastwiderstand $R_L = 2,4\ \Omega$ angeschlossen. 6 P.



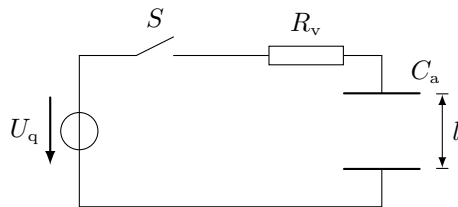
Berechnen Sie die in der Last R_L umgesetzte Leistung.

3. Elektrisches und magnetisches Feld (22 Punkte)

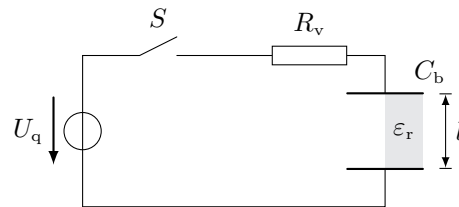
EM1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.

Gegeben ist die dargestellte Reihenschaltung aus einem ohmschen Widerstand ($R_v = 1 \text{ k}\Omega$) und einem Plattenkondensator. Die Kondensatorplatten sind kreisrund ausgeführt mit einem Durchmesser von $d = 100 \text{ cm}$. Der Plattenabstand beträgt $l = 5 \text{ cm}$. Die Gleichspannungsquelle liefert eine Spannung $U_q = 1 \text{ kV}$.

Hinweis: Für die Kreisfläche gilt: $A = \pi r^2$.



(a) Kondensator ohne Dielektrikum



(b) Kondensator mit Dielektrikum

Zunächst wird die Anordnung ohne Dielektrikum (s. Abb. a) betrachtet. Der Kondensator besitzt in diesem Fall eine Kapazität von $C_a = 140 \text{ pF}$. Der Schalter S wird geschlossen und der Kondensator wird durch die Spannungsquelle vollständig aufgeladen.

EM2) Berechnen Sie den maximalen Strom, der während des Aufladevorgangs fließt. 1 P.

EM3) Zeichnen Sie den Verlauf der Kondensatorspannung für den Ladevorgang in ein geeignetes Diagramm. Achten Sie auf eine vollständige Achsenbeschriftung. Markieren Sie auch die Zeitkonstante τ . Das Diagramm soll den gesamten Umladevorgang zeigen. 3 P.

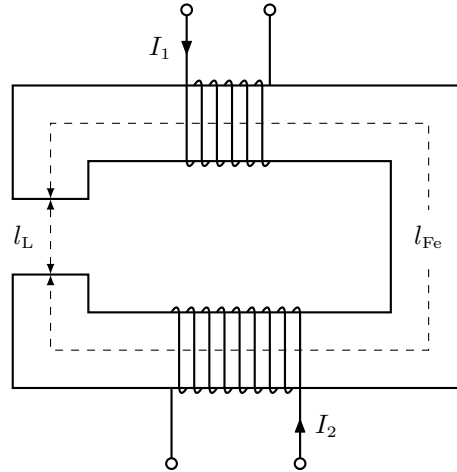
EM4) Berechnen Sie den Energieinhalt des Kondensators nach dem Ladevorgang. 1 P.

Nun wird der Schalter S wieder geöffnet und der Raum zwischen den Kondensatorplatten zur Hälfte mit Aktivkohle ($\epsilon_r = 12$) ausgefüllt (s. Abb. b).

EM5) Leiten Sie eine allgemeine Gleichung für die Kapazität des Kondensators mit Dielektrikum in Abhängigkeit der gegebenen Größen (l , d , ϵ_0 und ϵ_r) her **und** berechnen Sie die Kapazität des Kondensators. 6 P.

Fortsetzung auf der nächsten Seite!

Gegeben ist der dargestellte Eisenkern mit zwei Erregerwicklungen mit den Windungszahlen N_1 und N_2 , die von den Strömen I_1 und I_2 durchflossen werden. Der Querschnitt A des Eisenkerns ist an allen Stellen gleich. Die Streuung des Magnetfeldes am Luftspalt sei vernachlässigbar.



Folgende Werte sind gegeben:

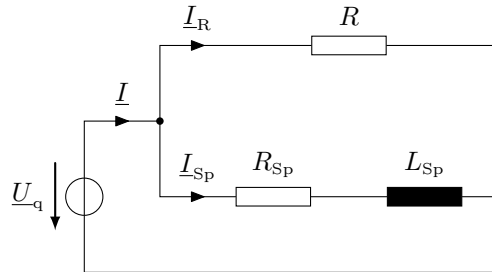
$$N_1 = 2000 \quad N_2 = 5000 \quad l_L = 1,256 \text{ mm} \quad A = 400 \text{ mm}^2$$

- EM6) Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild des magnetischen Kreises und beschriften Sie es vollständig. Beachten Sie dabei die Wicklungsrichtungen der Spulen und verwenden Sie das Verbraucherzählpeilsystem. 2 P.
- EM7) In Spule 1 fließt ein Strom $I_1 = 3 \text{ A}$ und in Spule 2 fließt ein Strom $I_2 = 1 \text{ A}$. Der magnetische Widerstand des Eisenkerns beträgt $R_{m,Fe} = 7,5 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{Vs}}$. Berechnen Sie den gesamten magnetischen Widerstand $R_{m,ges}$, den magnetischen Fluss Φ im Eisenkern sowie die magnetische Feldstärke im Luftspalt H_L . Beachten Sie dabei die Wicklungsrichtungen der Spulen! 5 P.

4. Wechselstrom (22 Punkte)

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.

Gegeben ist eine Parallelschaltung aus einer technischen Induktivität (R_{Sp} und L_{Sp}) und einem ohmschen Widerstand R . Die Quellspannung beträgt $\underline{U}_q = 30\text{ V}$ mit $f = 50\text{ Hz}$.



Weiterhin gilt:

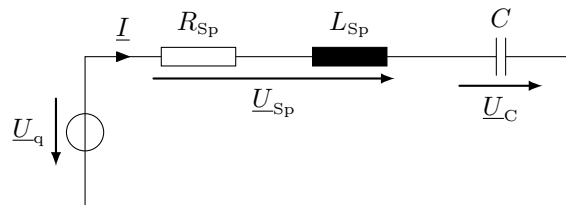
$$R = 100\ \Omega \qquad I_{Sp} = 500\ \text{mA} \qquad \frac{R_{Sp}}{X_{Sp}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

WS2) Zeichnen Sie in das **vorgegebene Zeigerdiagramm** auf der **nächsten Seite** das qualitative Stromzeigerdiagramm ein. Beachten Sie dabei den vorgegebenen Bezugszeiger. 3 P.

WS3) Berechnen Sie die Werte R_{Sp} und L_{Sp} der technischen Induktivität. Berechnen Sie außerdem die Wirk- und Blindleistung, welche die **gesamte** Last aufnimmt. 8 P.

Hinweis: Legen Sie den Bezugszeiger mit einem Phasenwinkel von 0° in die reelle Achse.

Gegeben ist die folgende Reihenschaltung aus einer technischen Induktivität (R_{Sp} und L_{Sp}) und einer Kapazität C an einer Spannungsquelle mit $U_q = 25\text{ V}$.



Die Induktivität und Kapazität sind bekannt:

$$L_{Sp} = 450\ \text{mH} \qquad C = 680\ \text{nF}$$

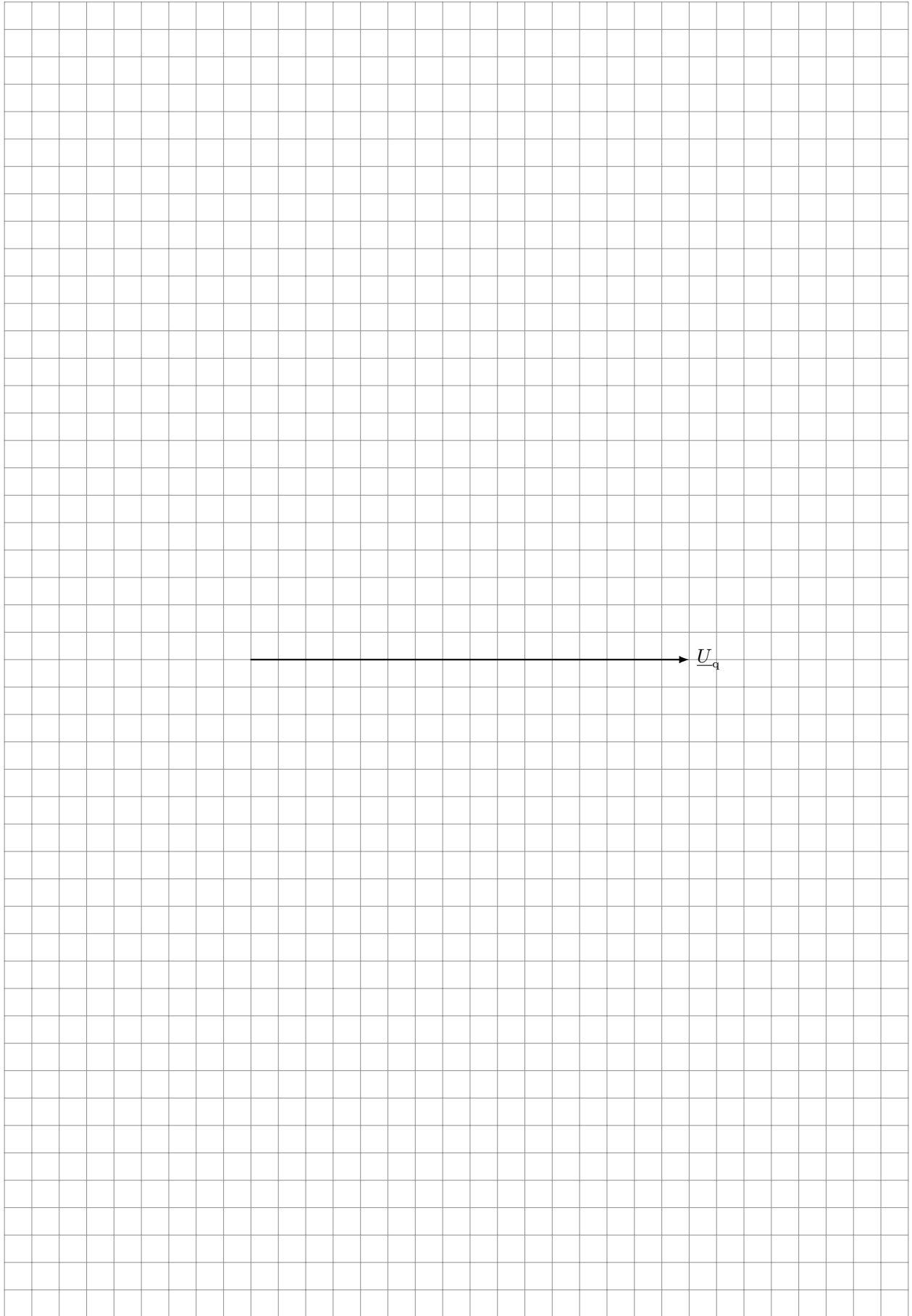
WS4) Bei einer Frequenz von $f = 100\text{ Hz}$ werden folgende Werte mit Weicheiseninstrumenten gemessen: 4 P.

$$U_{Sp} = 7,26\ \text{V} \qquad I = 11,74\ \text{mA}$$

Bestimmen Sie den ohmschen Widerstand der Spule R_{Sp} sowie den Phasenwinkel der Schaltung.

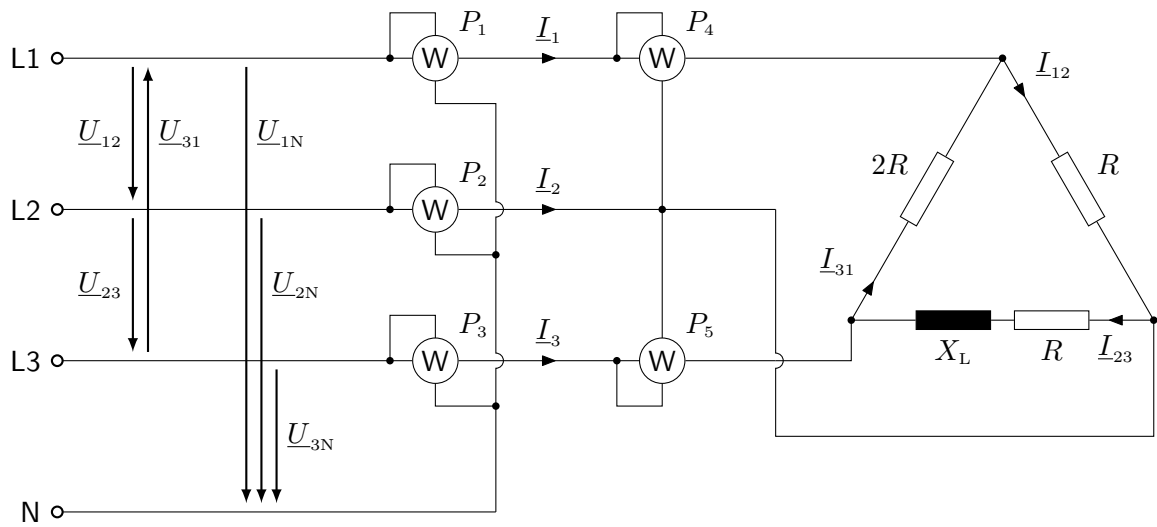
WS5) Die Frequenz der Quellspannung $U_q = 25\text{ V}$ wird nun erhöht, sodass sich ein Phasenwinkel zwischen \underline{U}_q und \underline{I} von 0° einstellt. Die Spannung am Kondensator beträgt $U_C = 36,97\text{ V}$. Berechnen Sie die Spannung an der Spule \underline{U}_{Sp} nach Betrag und Phase sowie die Frequenz der Quellspannung \underline{U}_q . 3 P.

Zeigerbild zu Aufgabenteil WS2:



5. Kurzfragen zu Elektrotechnik 2 (18 Punkte)

KF1) Gegeben ist eine unsymmetrische Last in Dreieckschaltung an einem symmetrischen Drehspannungssystem (400 V/230 V, 50 Hz). 3 P.



Gegeben sind folgende Größen:

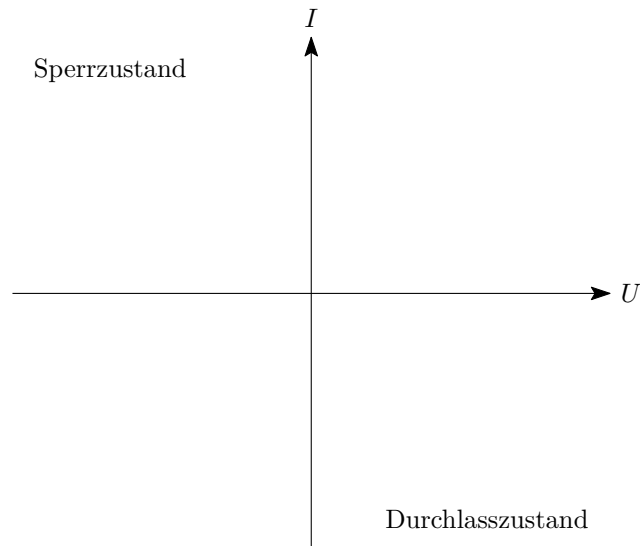
$$\begin{array}{llll}
 \underline{U}_{12} = 400 \text{ V} \cdot e^{j30^\circ} & I_{12} = 10 \text{ A} & P_1 = 3000 \text{ W} & P_4 = 5000 \text{ W} \\
 \underline{U}_{23} = 400 \text{ V} \cdot e^{-j90^\circ} & I_{23} = 5 \text{ A} & P_2 = 3000 \text{ W} & P_5 = 2000 \text{ W} \\
 \underline{U}_{31} = 400 \text{ V} \cdot e^{j150^\circ} & I_{31} = 5 \text{ A} & P_3 = 1000 \text{ W} &
 \end{array}$$

Weiterhin gilt:

$$\frac{X_L}{R} = \sqrt{3}$$

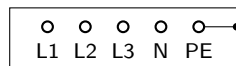
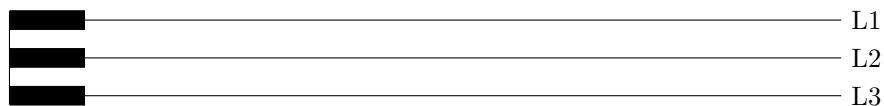
Bestimmen Sie die von der Last aufgenommene Wirk- und Blindleistung.

KF2) Zeichnen Sie die Strom-Spannungs-Kennlinie einer **realen** Diode in das gegebene Diagramm ein 2 P.
und benennen Sie die einzelnen Bereiche der Kennlinie.

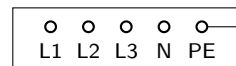


KF3) Gegeben sei folgender Erzeuger und zwei Verbraucher. Ergänzen Sie die gegebene Abbildung 2 P.
 so, dass ein TN-C-S-Netz entsteht und ein Verbraucher im S-Teil und ein Verbraucher im C-Teil
 des Netzes angeschlossen ist.

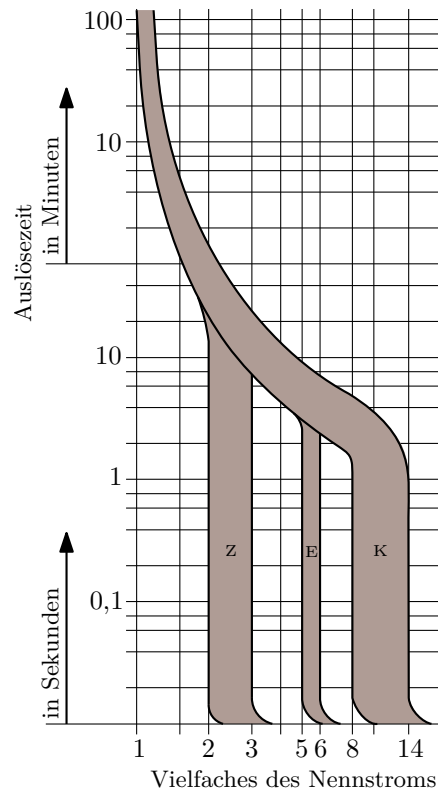
Hinweis: Beachten Sie die Bezeichnung der Anschlüsse!



Verbraucher 1



Verbraucher 2



- a) Kennzeichnen Sie in den Kennlinien die Bereiche der beiden Auslösemechanismen und benennen Sie diese!
- b) In einem TT-Netz sind Sicherungen mit Z-Charakteristik und einem Nennstrom $I_N = 8 \text{ A}$ verbaut. Bei einem Fehler fließt ein Fehlerstrom von $I_F = 12 \text{ A}$. In welchem Zeitbereich löst die Sicherung aus?
- c) Die Sicherung soll gegen eine Sicherung mit E-Charakteristik und einem Nennstrom von $I_N = 6 \text{ A}$ getauscht werden. Wie groß müsste der Fehlerstrom I_F mindestens sein, damit die Sicherung elektromagnetisch auslöst?

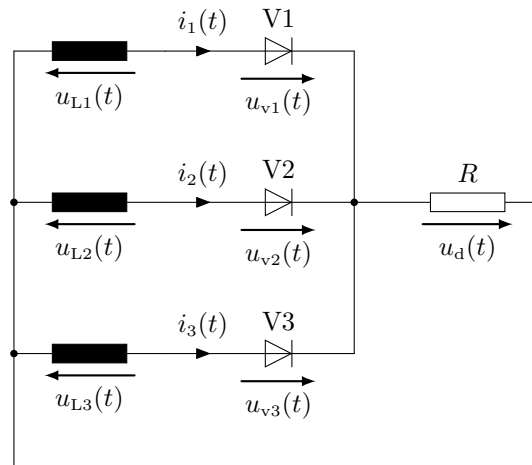
KF5) Nennen Sie zwei Verluste, die in einer realen (technischen) Spule auftreten. 2 P.

KF6) Wozu werden in der Elektrotechnik Filterschaltungen verwendet? Nennen Sie ein Beispiel. 1 P.

KF7) Was ist der Unterschied zwischen einem Hochpass und einem Tiefpass? 1 P.

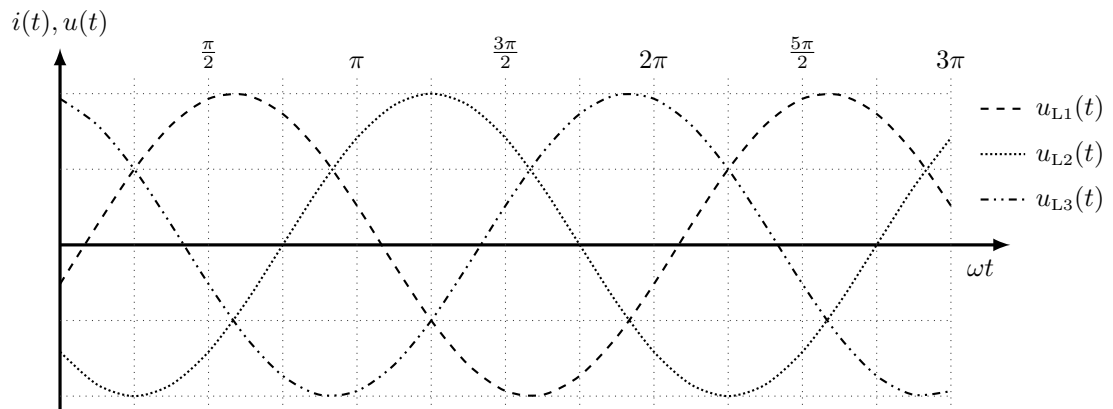
KF8) Was ist das Ziel der Fourieranalyse? 1 P.

KF9) Gegeben ist folgende Gleichrichterschaltung mit idealen Ventilen, die an einem gewöhnlichen 3P. Drehspannungssystem (400 V/230 V, 50 Hz) angeschlossen ist:

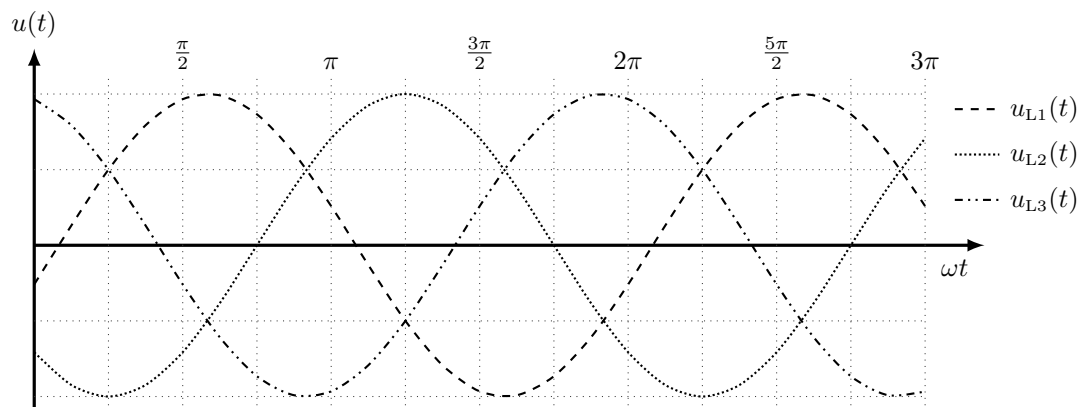


- a) Welche Ventile führen Strom, wenn gilt: $u_{L1}(t) < u_{L2}(t)$ und $u_{L3}(t) < u_{L2}(t)$
- | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| <input type="checkbox"/> V1 und V2 | <input type="checkbox"/> V2 und V3 | <input type="checkbox"/> V2 |
| <input type="checkbox"/> V1 und V3 | <input type="checkbox"/> V1 | <input type="checkbox"/> V3 |

- b) Tragen Sie den Verlauf des Ventilstroms $i_{v3}(t)$ in das gegebene Diagramm ein! Es gilt: $R = 1 \Omega$.



- c) Tragen Sie den Verlauf der Spannung $u_d(t)$ in das gegebene Diagramm ein!



6. Drehstrom (22 Punkte)

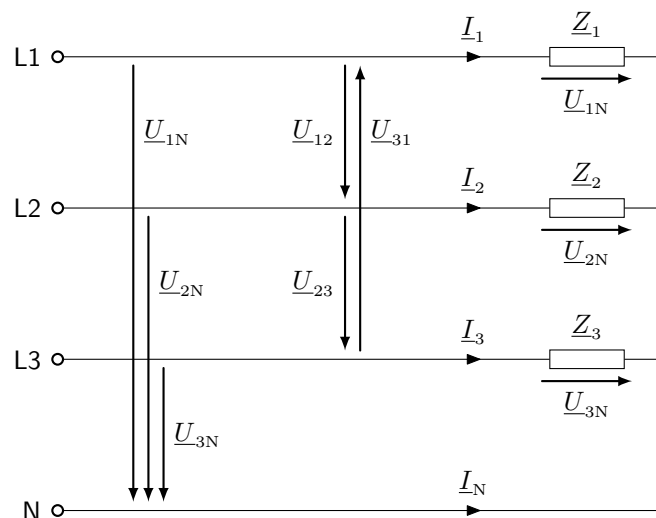
Für ein symmetrisches Drehspannungssystem (Erzeuger sind in Stern geschaltet) gelten folgende Spannungen:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{1N} &= 230 \text{ V} \cdot e^{j0^\circ} & \underline{U}_{2N} &= 230 \text{ V} \cdot e^{-j120^\circ} & \underline{U}_{3N} &= 230 \text{ V} \cdot e^{j120^\circ} \\ \underline{U}_{12} &= 400 \text{ V} \cdot e^{j30^\circ} & \underline{U}_{23} &= 400 \text{ V} \cdot e^{-j90^\circ} & \underline{U}_{31} &= 400 \text{ V} \cdot e^{j150^\circ} \end{aligned}$$

Verwenden Sie die gegebenen Spannungen für die gesamte Drehstromaufgabe!

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.

Gegeben ist eine Sternschaltung an einem gewöhnlichen (symmetrischen) Drehspannungssystem (400 V/230 V, 50 Hz).



Zunächst wird eine unsymmetrische Last untersucht. Hierzu sind die Impedanzen \underline{Z}_1 und \underline{Z}_3 , sowie die an der Impedanz \underline{Z}_2 umgesetzte Scheinleistung und deren Wirkfaktor gegeben:

$$\underline{Z}_1 = 3 \Omega \quad \underline{Z}_3 = 4,82 \Omega \cdot e^{-j24,6^\circ} \quad S_2 = 23 \text{ kVA} \quad \cos \varphi_2 = 0,72 \text{ (ind.)}$$

DS2) Berechnen Sie die Leiterströme \underline{I}_1 , \underline{I}_2 und \underline{I}_3 nach Betrag und Phase. 5 P.

DS3) Die Blindleistung in Strang 3 durch \underline{Z}_3 soll vollständig kompensiert ($\cos \varphi_3 = 1$) werden. Das Bauteil für die Kompensation wird der Impedanz \underline{Z}_3 in Reihe geschaltet. Bestimmen Sie die Größe des erforderlichen Bauteils. 2 P.

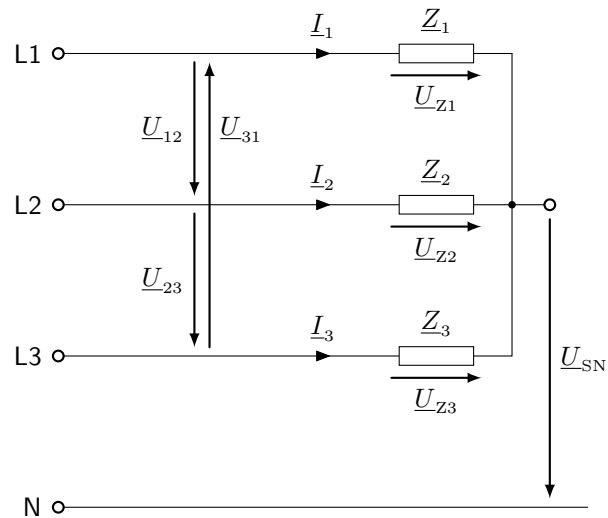
Nun wird eine symmetrische, ohmsch-induktive Last (RL-Reihenschaltung) untersucht. Hierzu werden in jeden Strang Impedanzen mit folgenden Bauteilwerten verbaut.

$$R = 50 \Omega \quad L = 96 \text{ mH}$$

DS4) Berechnen Sie die Strangimpedanz sowie die Wirk-, Blind- und Scheinleistung, die in der Last umgesetzt werden. 5 P.

Fortsetzung auf der nächsten Seite!

Ein unsymmetrischer, in Stern geschalteter dreiphasiger Verbraucher (ohne angeschlossenen Neutralleiter) wird an einem symmetrischen Drehspannungssystem (400 V/230 V, 50 Hz) betrieben.



Gegeben sind folgende Größen:

$$\underline{U}_{Z1} = 307,4 \text{ V} \cdot e^{j10^\circ}$$

$$\underline{Z}_2 = 26 \Omega \cdot e^{j35^\circ}$$

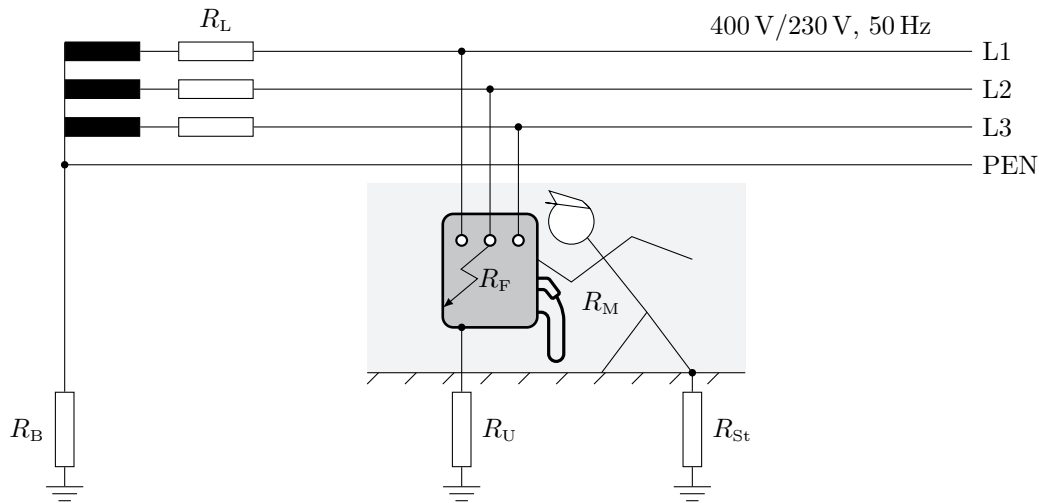
$$\underline{I}_3 = 7 \text{ A} \cdot e^{j100^\circ}$$

DS5) Berechnen Sie die Potentialdifferenz \underline{U}_{SN} des Verbrauchersternpunktes zum Neutralleiter des Netzes. 1 P.

DS6) Berechnen Sie die Ströme \underline{I}_1 und \underline{I}_2 sowie die Impedanzen \underline{Z}_1 und \underline{Z}_3 . 5 P.

7. Schutzmaßnahmen (22 Punkte)

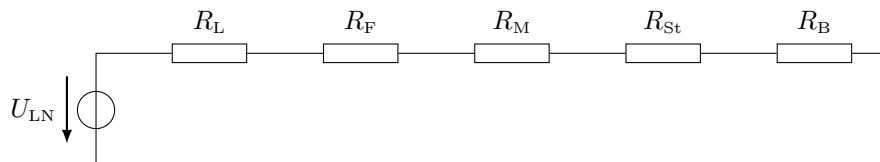
Eine Wallbox ist an ein Niederspannungsnetz dreiphasig angeschlossen. In Phase 2 liegt ein Gehäuseschluss mit dem Fehlerwiderstand R_F vor. Die Wallbox ist an einer isolierenden Betonwand, dessen Übergangswiderstand zur Erde R_U als unendlich groß angenommen wird, montiert. Die maximal zulässige Berührspannung für den Menschen, modelliert mit R_M , beträgt $U_B = 50\text{ V}$.



Folgende Werte sind gegeben:

$$R_L = 2\ \Omega \quad R_F = 15\ \Omega \quad R_M = 3\ \text{k}\Omega \quad R_{St} = 5\ \text{k}\Omega \quad R_B = 4\ \Omega$$

- 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) Kann in der dargestellten Netzform ein RCD (Fehlerstrom-Schutzschalter) verbaut werden? Begründen Sie Ihre Antwort. 1 P.
- SM3) Für den oben dargestellten Fehlerfall mit perfekter Isolierung der Betonwand ($R_U \rightarrow \infty$) ergibt sich folgendes Ersatzschaltbild: 5 P.



Tragen Sie in das Ersatzschaltbild den Fehlerstrom I_F und die Berührspannung U_B ein. Berechnen Sie außerdem den Gesamtwiderstand R_{ges} , den Fehlerstrom I_F sowie die Berührspannung U_B und bewerten Sie, ob der Mensch gefährdet ist. Begründen Sie Ihre Aussage!

Hinweis: Es wird im Folgenden empfohlen ein Ersatzschaltbild zugrunde zu legen, auch wenn die Aufgabenstellungen dies nicht explizit fordern.

- SM4) Als Schutzmaßnahme soll das Gehäuse der Maschine an den Schutzleiter über einen Widerstand $R_{PE} = 4\ \Omega$ angeschlossen werden. Weiterhin ist die Betonwand als perfekt isolierend anzunehmen ($R_U \rightarrow \infty$). Berechnen Sie den Gesamtwiderstand R_{ges} , den Fehlerstrom I_F sowie die Berührspannung U_B und bewerten Sie, ob der Mensch gefährdet ist. Begründen Sie Ihre Antwort. 6 P.
- SM5) Es soll eine Schutzmaßnahme so ausgelegt werden, dass auch bei Regen bei einem Fehlerwiderstand von $R_F = 3\ \Omega$, einem Standortwiderstand von $R_{St} = 100\ \Omega$ und einem Übergangswiderstand $R_U = 10\ \Omega$ der Mensch geschützt ist. Das Gehäuse der Wallbox ist weiterhin mit dem Schutzleiter des Netzes verbunden. Wie groß darf der Schutzleiterwiderstand R_{PE} höchstens sein, damit am Menschen die maximal zulässige Berührspannung U_B anliegt? 6 P.

8. Transformator (22 Punkte)

Gegeben ist ein einphasiger Transformator mit folgenden Daten:

$$U_{1N} = 20 \text{ kV}$$

$$S_N = 80 \text{ kVA}$$

$$f_N = 50 \text{ Hz}$$

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{9000}{180}$$

$$\hat{B} = 1 \text{ T}$$

$$l_{\text{Fe}} = 2 \text{ m}$$

- 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 Sie das Ersatzschaltbild eines idealen Transformators in verkoppelter Darstellung. Der Transformator wird mit einer RL-Reihenschaltung belastet. Benennen Sie alle Bauteile und geben Sie alle Ströme und Spannungen an. 2 P.
- TR3) Berechnen Sie die sekundäre Spannung U_{2N} sowie den primären und sekundären Nennstrom I_{1N} und I_{2N} . Gehen Sie von einem idealen Transformator aus und geben Sie die gültige Annahme an. 4 P.
- TR4) Bestimmen Sie den mindestens erforderlichen Eisenquerschnitt A_{Fe} , damit die zulässige magnetische Induktion \hat{B} nicht überschritten wird. Nehmen Sie dabei einen idealen Transformator an! 2 P.
- TR5) An die Sekundärseite des Transformators wird ein Voltmeter angeschlossen. Zeichnen Sie für diesen Versuch das vereinfachte Ersatzschaltbild eines verlustbehafteten Transformators und erläutern Sie kurz, welche Vereinfachungen Sie annehmen dürfen und warum. Skizzieren Sie außerdem das zugehörige vollständige Zeigerdiagramm. 4 P.
- TR6) Bei der Durchführung eines Kurzschlussversuchs werden folgende Daten gemessen: 6 P.

$$U_{1K} = 1800 \text{ V}$$

$$I_{1N} = 4 \text{ A}$$

$$P_K = 600 \text{ W}$$

Bestimmen Sie die Streureaktanzen $X_{\sigma 1}$ und $X_{\sigma 2}$, sowie die relative Kurzschlussspannung des Transformators.