

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.

- potentielle Energie des Wassers:

$$E_{\text{pot}} = 109 \text{ Wh}$$

- Pumpdauer über Energie:

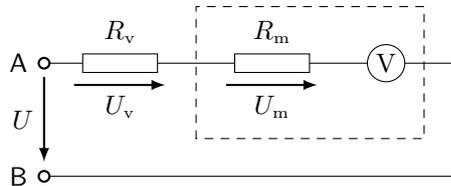
$$t = 4 \text{ min}$$

- Verlustenergie:

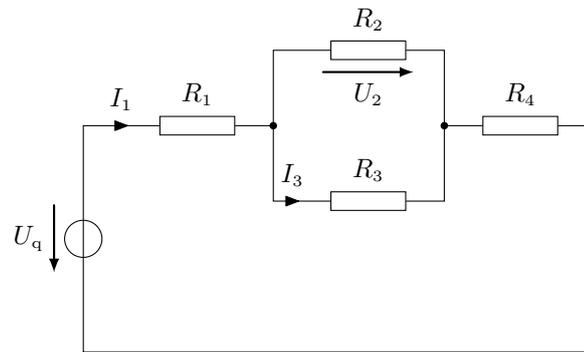
$$E_v = 28 \text{ Wh}$$

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.



$$R_v = 1,4 \text{ k}\Omega$$



Es gilt:

$$U_q = 60 \text{ V} \quad R_1 = 6 \Omega \quad R_2 = 20 \Omega \quad R_3 = 5 \Omega \quad R_4 = 10 \Omega$$

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

$$U_2 = 12 \text{ V}$$

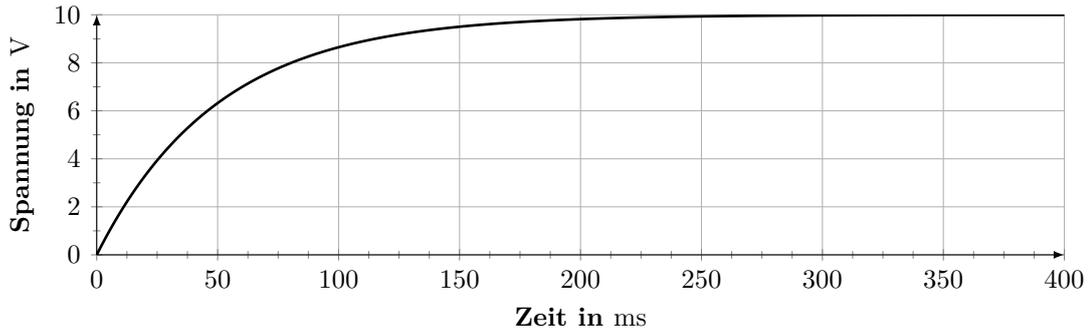
$$I_3 = 2,4 \text{ A}$$

- (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 >:

$$I_1 \quad \boxed{>} \quad I_{1,\text{neu}}$$

$$U_2 \quad \boxed{<} \quad U_{2,\text{neu}}$$

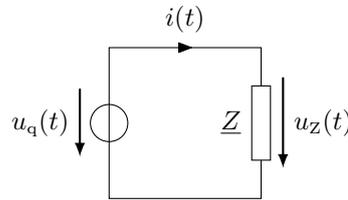
KF4) Gegeben ist der zeitliche Verlauf der Kondensatorspannung beim Einschalten einer RC-Reihenschaltung an einer Gleichspannungsquelle mit $U_q = 10 \text{ V}$. 3 P.



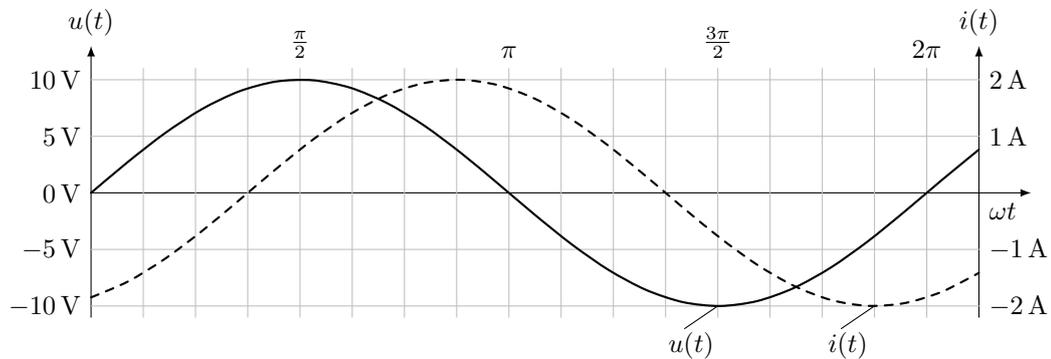
Markieren Sie die Zeitkonstante τ in dem Diagramm und bestimmen Sie den Wert des ohmschen Widerstandes R , wenn bekannt ist, dass die Kapazität 10 mF beträgt.

$$R = 5 \Omega$$

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:



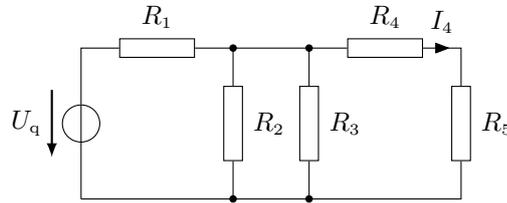
Bestimmen Sie den Phasenverschiebungswinkel φ zwischen Strom und Spannung, die Amplituden von Strom und Spannung sowie die unbekannte Impedanz \underline{Z} nach Betrag und Phase.

$$\begin{aligned} \varphi &= 67,5^\circ \\ \hat{u} &= 10 \text{ V} \\ \hat{i} &= 2 \text{ A} \\ \underline{Z} &= 5 \Omega \cdot e^{j67,5^\circ} \end{aligned}$$

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.

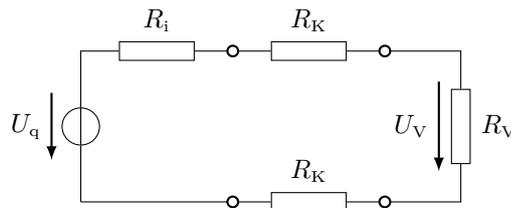


Für die Widerstände gilt:

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

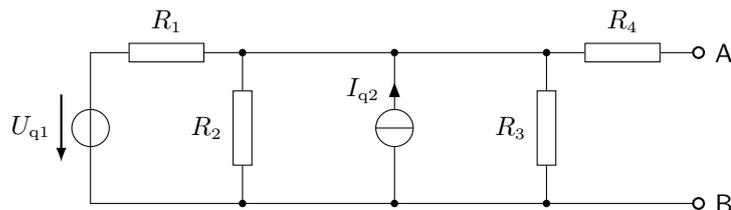
Bestimmen Sie den Strom I_4 durch den Widerstand R_4 der Schaltung.

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.

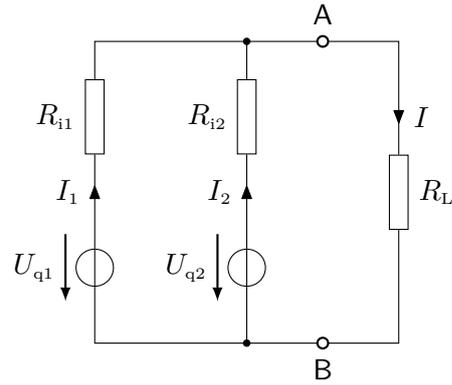


$$\begin{array}{llll} U_{q1} = 10\text{ V} & I_{q2} = 5\text{ A} & & \\ R_1 = 2\ \Omega & R_2 = 3\ \Omega & R_3 = 6\ \Omega & R_4 = 4\ \Omega \end{array}$$

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

Fortsetzung auf der nächsten Seite!

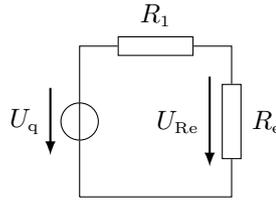
- GS5) Zwei reale Spannungsquellen mit den Quellspannungen $U_{q1} = U_{q2} = 12\text{ V}$ sowie den Innenwiderständen $R_{i1} = 1\ \Omega$ und $R_{i2} = 1,5\ \Omega$ werden parallel geschaltet. An die Klemmen A und B wird ein Lastwiderstand $R_L = 2,4\ \Omega$ angeschlossen. 6 P.



Berechnen Sie die in der Last R_L umgesetzte Leistung.

Endergebnisse und Kommentare

GS2) • Widerstände R_2 bis R_5 zu einem Ersatzwiderstand R_e zusammenfassen:



$$R_e = 16,22 \Omega$$

$$U_{Re} = 8,42 \text{ V}$$

$$I_4 = 140,33 \text{ mA}$$

GS3) **Vorgehen zur Lösung der Aufgabe:**

- allgemeine Gleichung für die Verlustleistung im Kabel aufstellen
- eine Gleichung für den fließenden Strom bestimmen und beide Gleichungen verknüpfen
- Berechnung der Querschnittsfläche erfolgt aus der verknüpften Gleichung

$$A = 10,06 \text{ mm}^2$$

GS4) **Hinweis:** Es empfiehlt sich, zunächst die Spannungsquelle in eine Stromquelle umzuwandeln, da beide Quellen parallel zueinander sind.

$$R_i = 5 \Omega$$

$$U_0 = 10 \text{ V}$$

$$I_K = 2 \text{ A}$$

GS5) • Zwischenergebnisse:

$$I_2 = 1,6 \text{ A}$$

$$I = 4 \text{ A}$$

- umgesetzte Leistung am Lastwiderstand R_L :

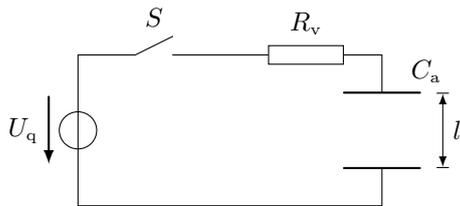
$$P_L = 38,4 \text{ W}$$

3. Elektrisches und magnetisches Feld (22 Punkte)

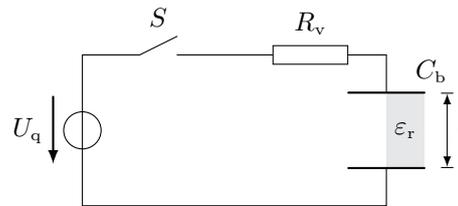
EM1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.

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.

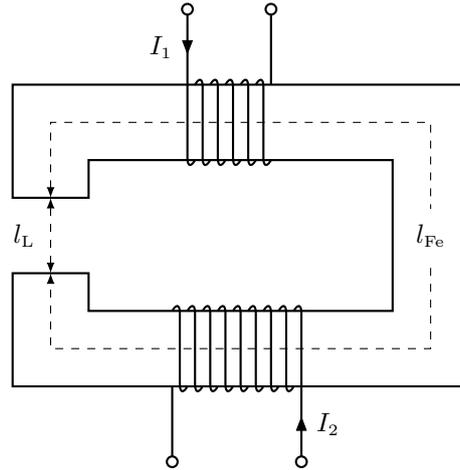
EM4) Berechnen Sie den Energieinhalt des Kondensators nach dem Ladevorgang. 1 P.

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.

Endergebnisse und Kommentare

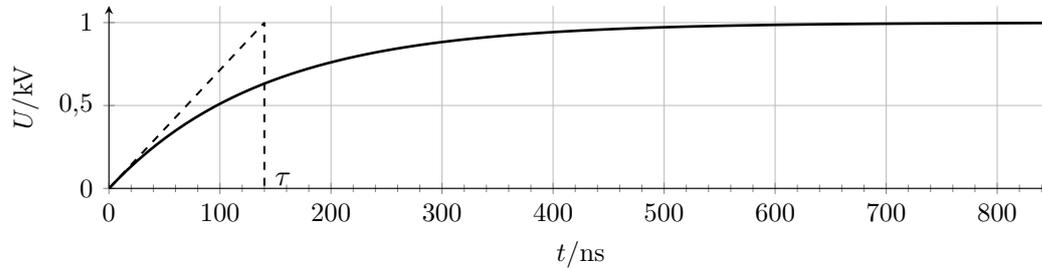
EM2) • max. Strom fließt im Moment des Schließens des Schalters:

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

EM3) • Zeitkonstante des Ladevorgangs:

$$\tau = 140 \text{ ns}$$

• Spannungsverlauf:



EM4) • Energieinhalt des Kondensators:

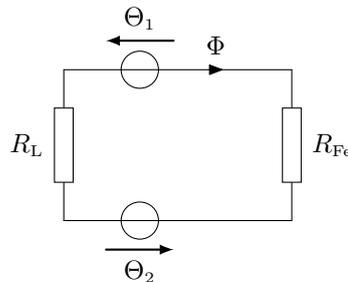
$$W = 70 \mu\text{J}$$

EM5) **Vorgehen zur Lösung der Aufgabe:**

- überlegen Sie, ob sich eine Reihen- oder Parallelschaltung ergibt
- leiten Sie eine Gleichung für die Ladung ab
- für die Kapazität der Anordnung ergibt sich:

$$C = 904 \text{ pF}$$

EM6) • elektrisches Ersatzschaltbild des magnetischen Kreises:



EM7) • Zwischenergebnisse:

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

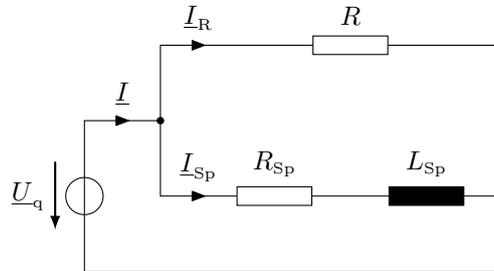
• magnetische Feldstärke im Luftspalt:

$$H_L = 2,2 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

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:

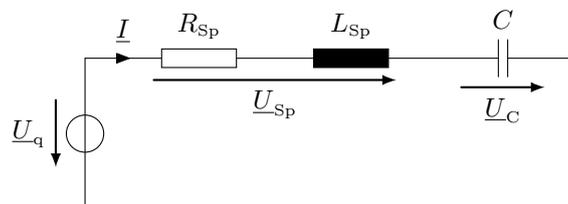
$$R = 100\ \Omega \qquad I_{Sp} = 500\ \text{mA} \qquad \frac{R_{Sp}}{X_{Sp}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

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:

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

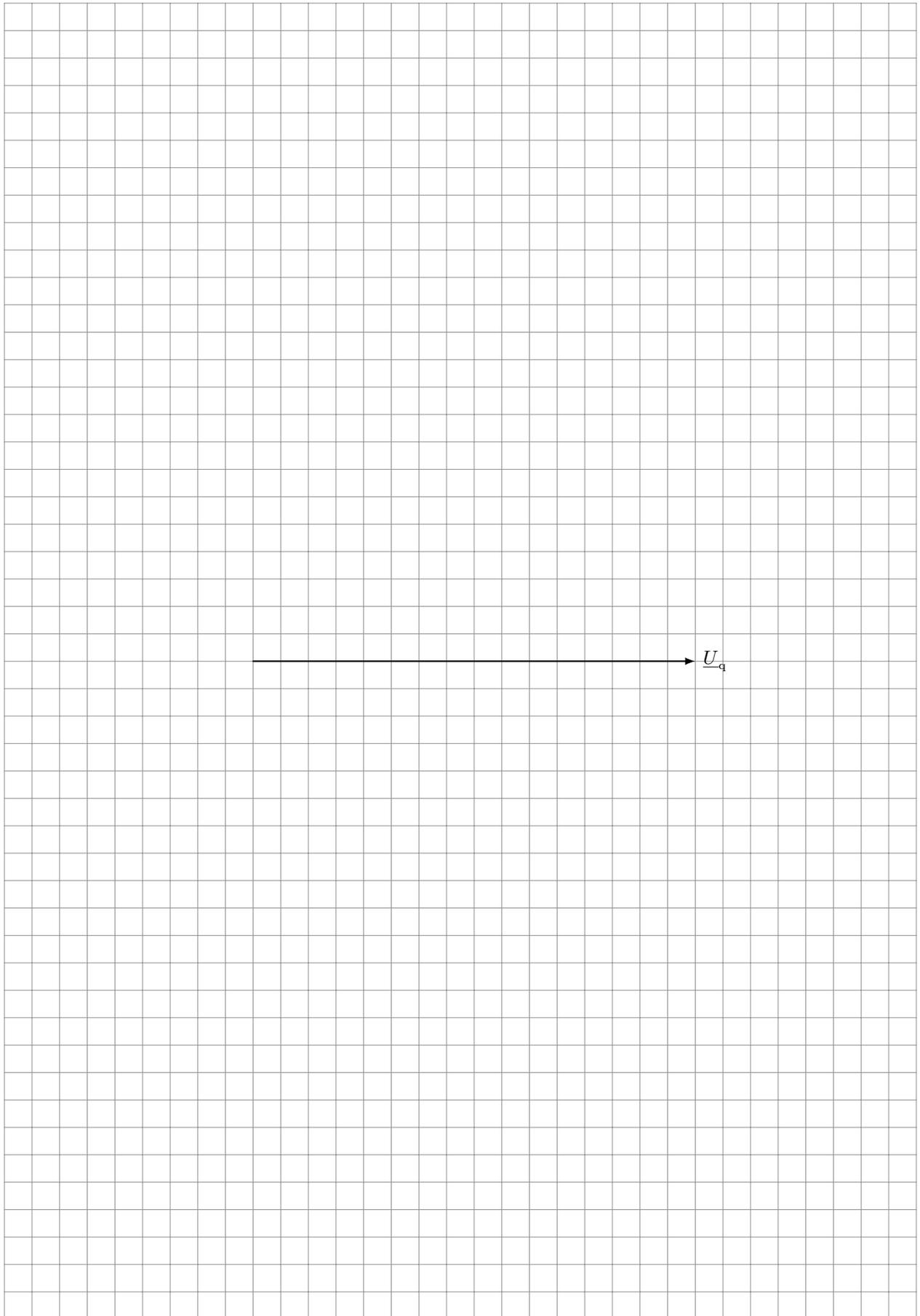
WS4) Bei einer Frequenz von $f = 100\text{ Hz}$ werden folgende Werte mit Weicheiseninstrumenten gemessen: 4 P.

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

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

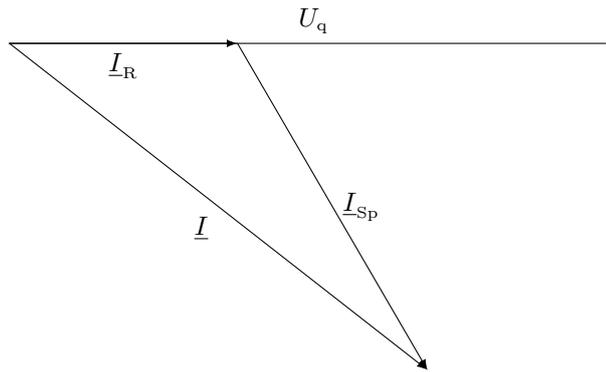
WS5) Die Frequenz der Quellspannung $U_q = 25\text{ V}$ wird nun erhöht, sodass sich ein Phasenwinkel zwischen \underline{U}_q und \underline{I} von 0° einstellt. Die Spannung am Kondensator beträgt $U_C = 36,97\text{ V}$. Berechnen Sie die Spannung an der Spule \underline{U}_{Sp} nach Betrag und Phase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

Zeigerbild zu Aufgabenteil WS2:



Endergebnisse und Kommentare

WS2) • Zeigerbild:



WS3) • Berechnung der Bauteilwerte aus der komplexen Impedanz:

$$\underline{Z}_{Sp} = 30 \Omega + j30\sqrt{3} \Omega$$

$$R_{Sp} = 30 \Omega$$

$$L_{Sp} = 165,4 \text{ mH}$$

• Strom der Quelle aus Knotengleichung bestimmen:

$$\underline{I} = 0,7 \text{ A} \cdot e^{-j38,21^\circ}$$

• Wirk- und Blindleistung:

$$P = 16,5 \text{ W}$$

$$Q = 12,99 \text{ var}$$

WS4) • ohmschen Spulenwiderstand und Phasenwinkel:

$$R_{Sp} = 549,98 \Omega$$

$$\varphi = -75,04^\circ$$

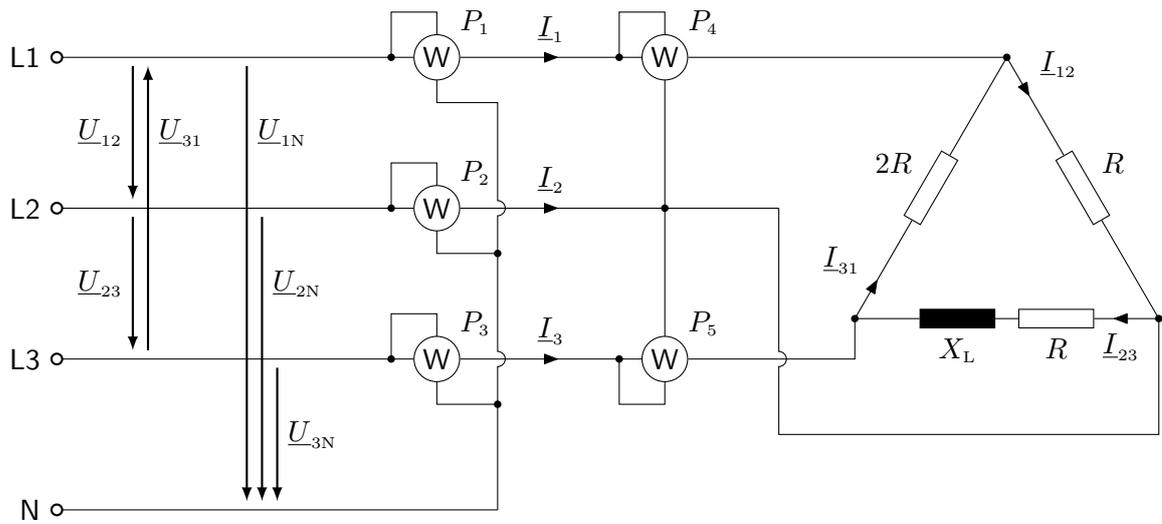
WS5) • Schaltung wird bei Phasenresonanzfrequenz betrieben

$$\underline{U}_{Sp} = 44,63 \text{ V} \cdot e^{j55,94^\circ}$$

$$f_{res} = 287,71 \text{ Hz}$$

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:

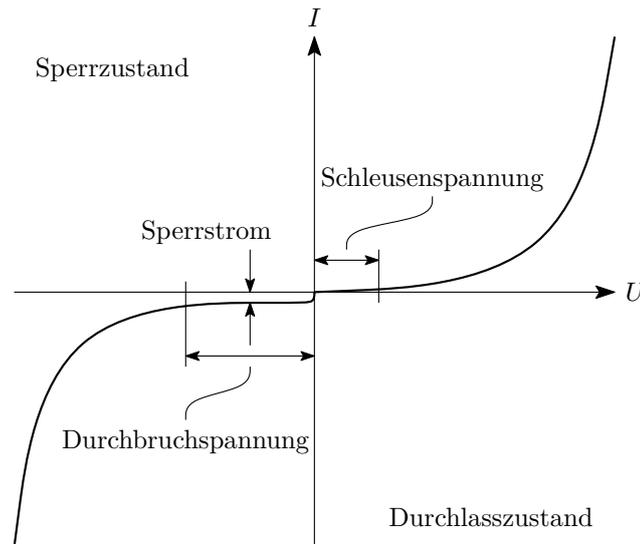
$$\frac{X_L}{R} = \sqrt{3}$$

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

$$P = 7000 \text{ W}$$

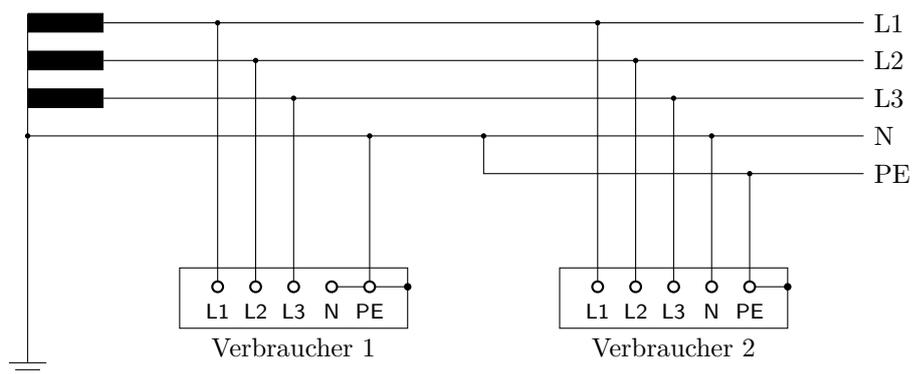
$$Q = 1732,05 \text{ var}$$

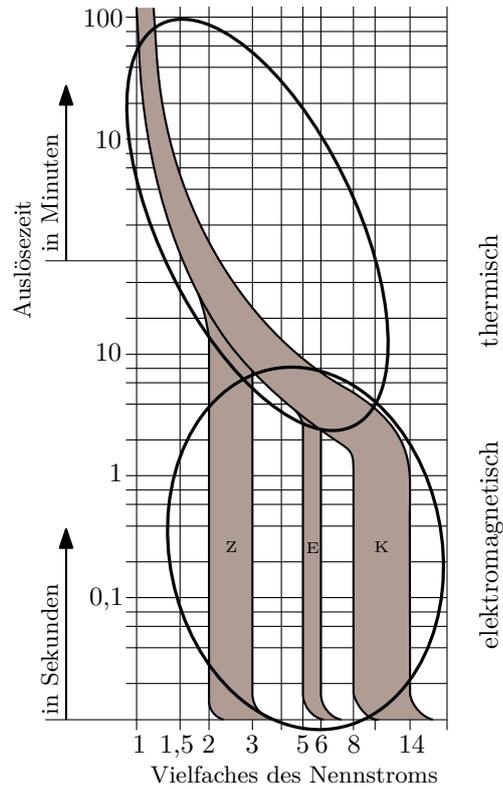
KF2) Zeichnen Sie die Strom-Spannungs-Kennlinie einer **realen** Diode in das gegebene Diagramm ein 2 P.
und benennen Sie die einzelnen Bereiche der Kennlinie.



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!





- Kennzeichnen Sie in den Kennlinien die Bereiche der beiden Auslösemechanismen und benennen Sie diese!
- 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?

Auslösezeitraum 1 min bis 6 min

- 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?

elektromagnetisches Auslösen bei mindestens 6-fachen Nennstrom $\rightarrow I_F \geq 36 \text{ A}$

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

- a) Wirbelstromverluste
- b) Streuverluste
- c) ohmsche Verluste im Kupfer

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

- Herausfiltern von Harmonischen
- frequenzabhängige Übertragung von Signalen oder von Energie
- Herausfiltern oder Verstärkung bestimmter Frequenzanteile
- Mittelwertbildner

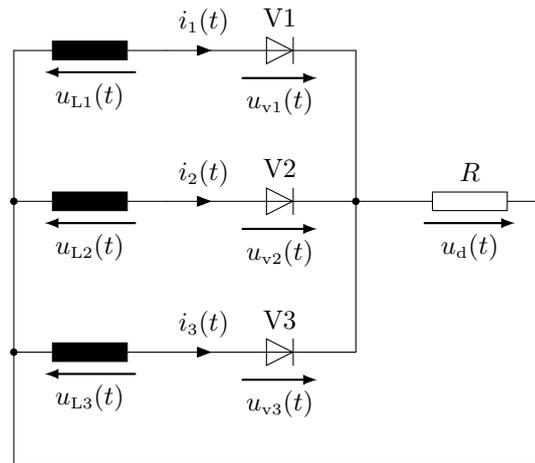
KF7) Was ist der Unterschied zwischen einem Hochpass und einem Tiefpass? 1 P.

Der Tiefpass hat seinen Durchlassbereich bei tiefen Frequenzen, während der Hochpass seinen Durchlassbereich bei hohen Frequenzen hat.

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

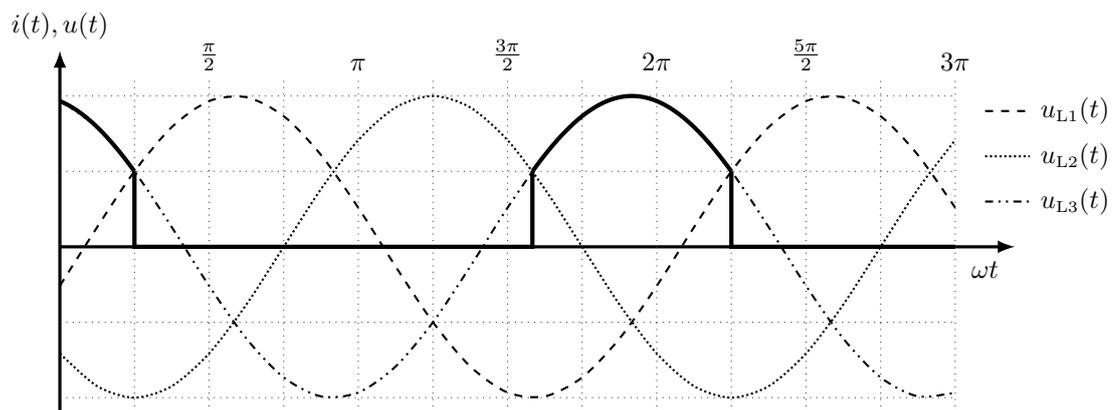
Nach Fourier kann jede periodische Funktion mit der Kreisfrequenz $\omega = \frac{2\pi}{T}$ zerlegt werden in einen Gleichanteil und eine Summe von Sinusanteilen mit den Frequenzen $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots$

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

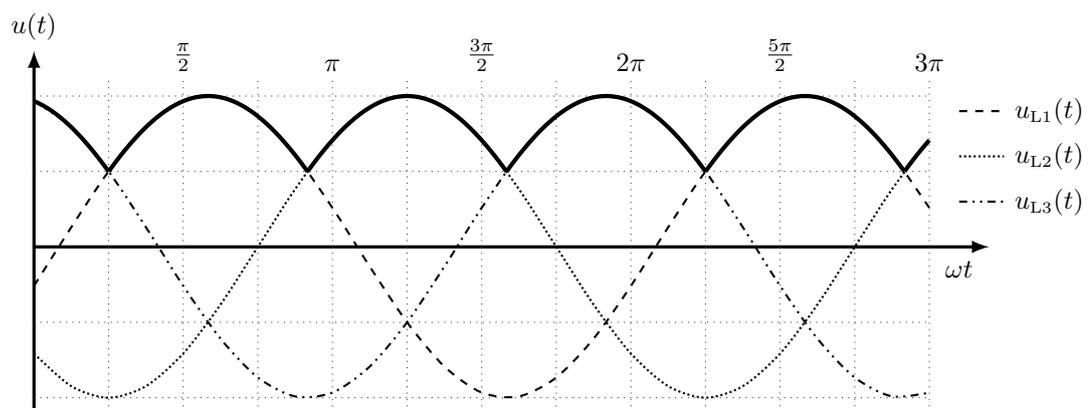


- a) Welche Ventile führen Strom, wenn gilt: $u_{L1}(t) < u_{L2}(t)$ und $u_{L3}(t) < u_{L2}(t)$
- | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> V1 und V2 | <input type="checkbox"/> V2 und V3 | <input checked="" type="checkbox"/> V2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

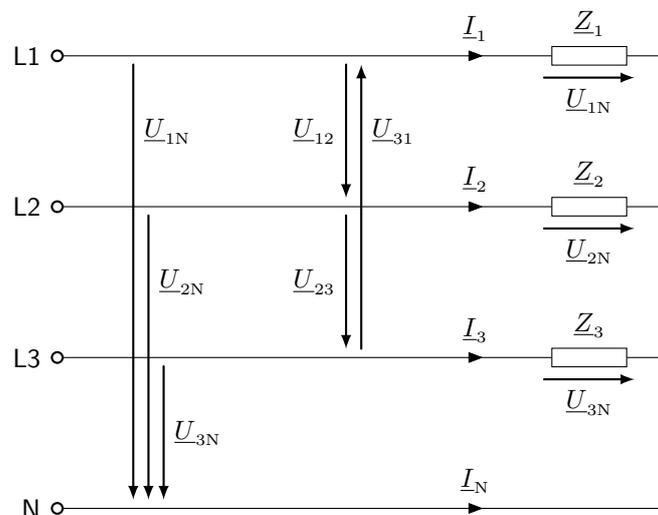
Für ein symmetrisches Drehspannungssystem (Erzeuger sind in Stern geschaltet) gelten folgende Spannungen:

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

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.

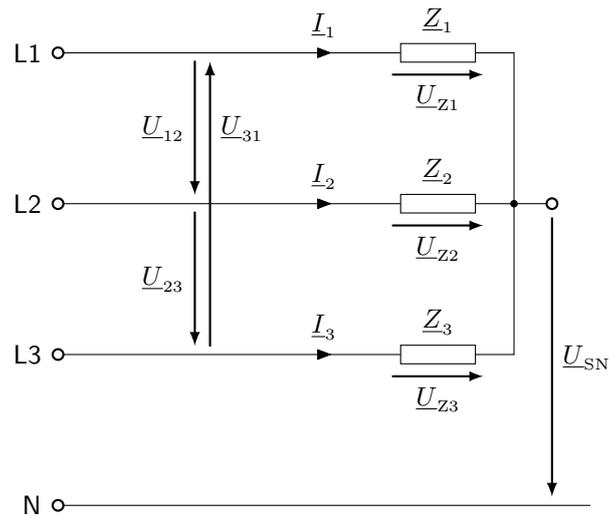
Nun wird eine symmetrische, ohmsch-induktive Last (RL-Reihenschaltung) untersucht. Hierzu werden in jeden Strang Impedanzen mit folgenden Bauteilwerten verbaut.

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

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.

Endergebnisse und Kommentare

DS2) • Ströme \underline{I}_1 und \underline{I}_3 :

$$\underline{I}_1 = 76,67 \text{ A}$$

$$\underline{I}_3 = 47,72 \text{ A} \cdot e^{j144,6^\circ}$$

• der Strom \underline{I}_2 wird aus der Leistungsgleichung und dem Wirkfaktor berechnet:

$$\underline{I}_2 = 100 \text{ A} \cdot e^{-j163,95^\circ}$$

DS3) • Kompensation mit Induktivität, da \underline{Z}_3 ohmsch-kapazitiver Verbraucher

$$L = 6,40 \text{ mH}$$

DS4) • Zwischenergebnisse:

$$\underline{Z} = 58,39 \Omega \cdot e^{j31,1^\circ}$$

$$I_L = 3,94 \text{ A}$$

• Leistungen:

$$P = 2,33 \text{ kW}$$

$$Q = 1,40 \text{ kvar}$$

$$S = 2,72 \text{ kVA}$$

DS5) • Sternpunktversatz (Spannungsfall im ESB beachten!):

$$\underline{U}_{\text{SN}} = 90,22 \text{ V} \cdot e^{-j143,72^\circ}$$

DS6) • Ströme:

$$\underline{I}_2 = 5,89 \text{ A} \cdot e^{-j141,72^\circ}$$

$$\underline{I}_1 = 6,68 \text{ A} \cdot e^{-j29,05^\circ}$$

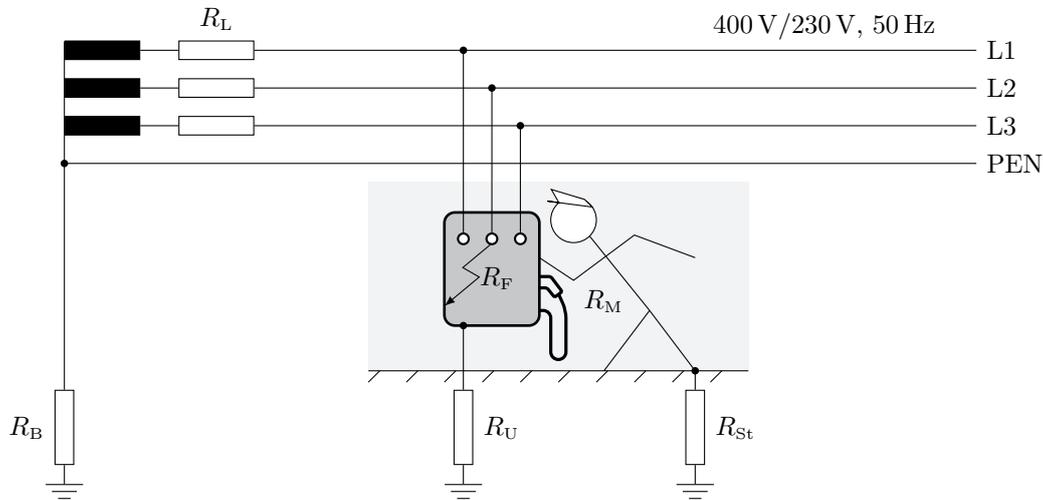
• Impedanzen:

$$\underline{Z}_1 = 46,02 \Omega \cdot e^{j39,05^\circ}$$

$$\underline{Z}_3 = 36,73 \Omega \cdot e^{-j0,22^\circ}$$

7. Schutzmaßnahmen (22 Punkte)

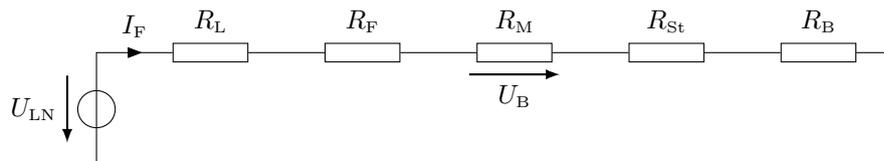
Eine Wallbox ist an ein Niederspannungsnetz dreiphasig angeschlossen. In Phase 2 liegt ein Gehäuseschluss mit dem Fehlerwiderstand R_F vor. Die Wallbox ist an einer isolierenden Betonwand, dessen Übergangswiderstand zur Erde R_U als unendlich groß angenommen wird, montiert. Die maximal zulässige Berührspannung 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.

Endergebnisse und Kommentare

SM2) Nein, ein RCD kann in dem dargestellten TN-C-Netz nicht verbaut werden, da durch die gemeinsame Verlegung des Neutral- und des Schutzleiters der gemeinsame Leiter auch im fehlerfreien Zustand einen Strom führen kann.

SM3) • Gesamtwiderstand:

$$R_{\text{ges}} = 8021 \Omega$$

• Fehlerstrom und Berührspannung:

$$I_{\text{F}} = 28,67 \text{ mA}$$

$$U_{\text{B}} = 86,01 \text{ V}$$

• der Mensch ist gefährdet, da $U_{\text{B}} = 86,01 \text{ V} > 50 \text{ V}$

SM4) • Gesamtwiderstand:

$$R_{\text{ges}} = 21 \Omega$$

• Fehlerstrom, Strom durch den Menschen und Berührspannung:

$$I_{\text{F}} = 10,95 \text{ A}$$

$$I_{\text{M}} = 5,47 \text{ mA}$$

$$U_{\text{B}} = 16,41 \text{ V}$$

• der Mensch ist nicht gefährdet, da $U_{\text{B}} = 16,41 \text{ V} < 50 \text{ V}$

SM5) • Schutzleiterwiderstand R_{PE} :

$$R_{\text{PE}} = 2,75 \Omega$$

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.

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

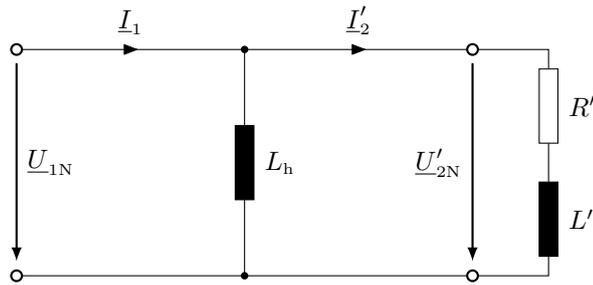
$$I_{1N} = 4 \text{ A}$$

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

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

Endergebnisse und Kommentare

TR2) ideales Ersatzschaltbild in verkoppelter Darstellung:



TR3) • sekundäre Spannung und Nennströme:

$$U_{2N} = 400 \text{ V}$$

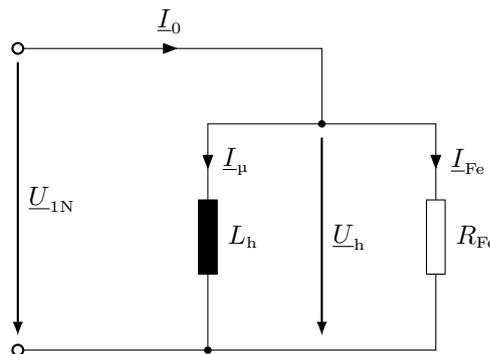
$$I_{1N} = 4 \text{ A}$$

$$I_{2N} = 200 \text{ A}$$

TR4) • Transformatorwurfsgleichung:

$$A_{\text{Fe}} = 100 \text{ cm}^2$$

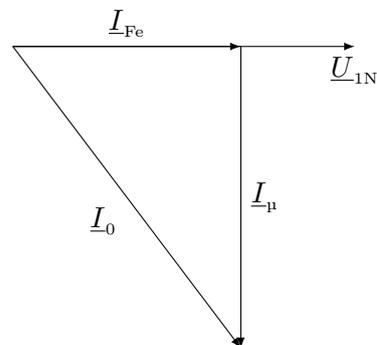
TR5) • vereinfachtes Ersatzschaltbild des Leerlaufversuchs:



• gültige Vereinfachungen:

- da kein Strom durch R_2 und $X_{\sigma 2}$ fließt, entfallen diese
- R_1 und $X_{\sigma 1}$ dürfen wegen $R_1 \ll R_{\text{Fe}}$ und $X_{\sigma 1} \ll X_h$ vernachlässigt werden

• Zeigerbild des Leerlaufversuchs:



TR6) • Spannungsabfälle am Wicklungswiderstand und der Streureaktanz:

$$U_{\text{RK}} = 150 \text{ V}$$

$$U_{\text{XK}} = 1793,74 \text{ V}$$

- für die Streureaktanzen gilt:

$$X_{\sigma 1} = 224,22 \Omega$$

$$X_{\sigma 2} = 89,7 \text{ m}\Omega$$

- relative Kurzschlussspannung:

$$u_{\text{K}} = 9 \%$$