

1. Kurzfragen zu Elektrotechnik 1 (18 Punkte)

KF1) Ein Elektrofahrzeug wird 30 min mit einer konstanten Leistung von $P = 50 \text{ kW}$ geladen. 4 P.

a) Wie teuer ist der Ladevorgang bei einem Preis von 40 ct/kWh?

$$E = 25 \text{ kWh}$$

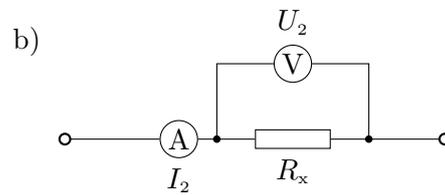
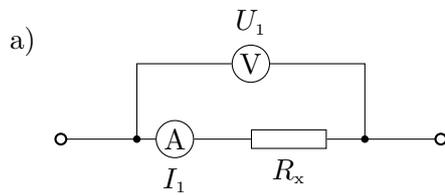
$$K = 10 \text{ €}$$

b) Ein Ladesäulenbetreiber möchte einen Minutenpreis anbieten. Er kauft seinen Strom für 32 ct/kWh ein, an seinen Ladesäulen kann mit einer konstanten Leistung von $P = 30 \text{ kW}$ geladen werden. Wie hoch sollte der Betreiber den Minutenpreis (in ct/min) mindestens ansetzen?

$$e = 0,5 \frac{\text{kWh}}{\text{min}}$$

$$K = 16 \text{ ct/min}$$

KF2) Ein unbekannter Widerstand wird a) stromrichtig und b) spannungsrichtig gemessen. Berechnen Sie für beide Fälle den unbekanntem Widerstand R_x . 4 P.



$$R_{i,A} = 10 \Omega$$

$$I_1 = 50 \text{ mA}$$

$$U_1 = 6 \text{ V}$$

$$R_{i,V} = 100 \Omega$$

$$I_2 = 60 \text{ mA}$$

$$U_2 = 2,8 \text{ V}$$

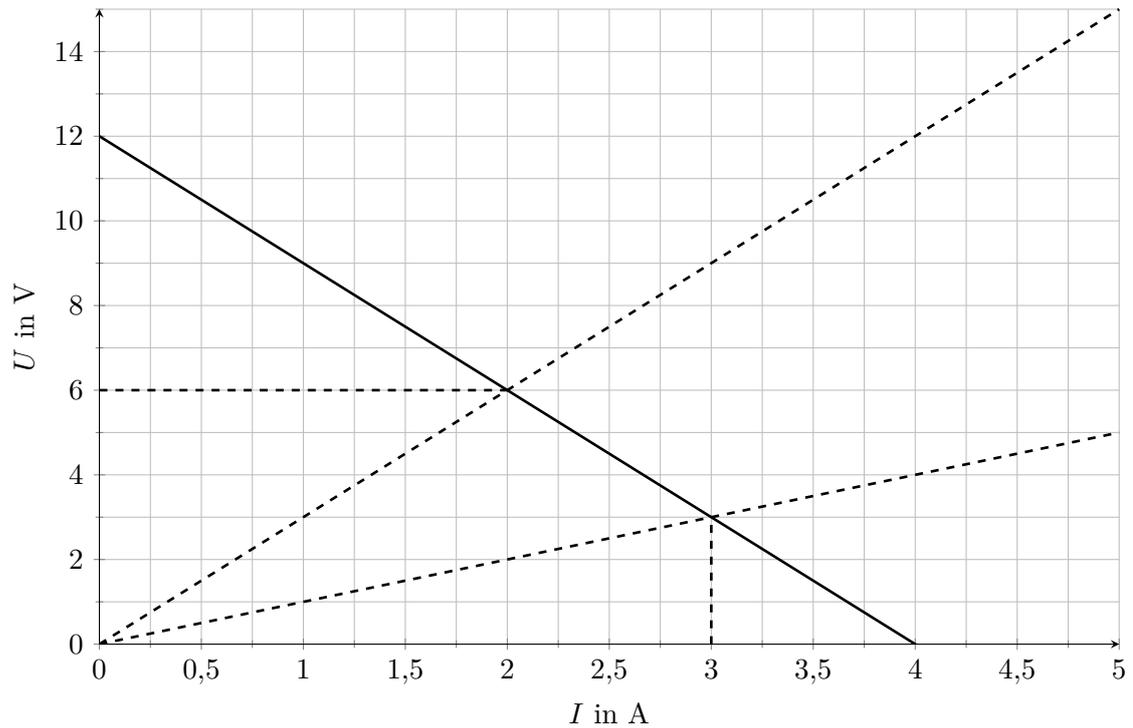
a) stromrichtige Messung:

$$R_{x,1} = 110 \Omega$$

b) spannungsrichtige Messung:

$$R_{x,2} = 87,5 \Omega$$

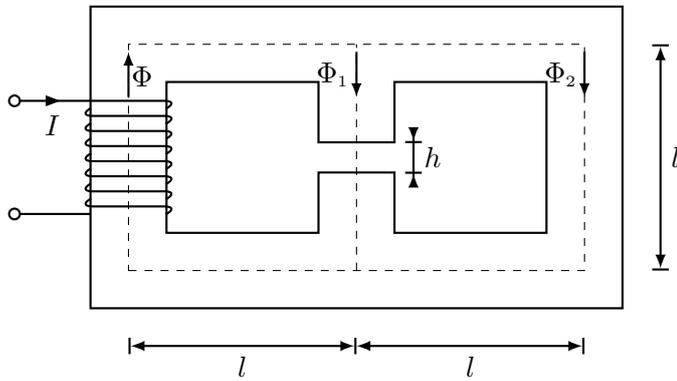
KF3) Gegeben ist eine unbekannte Spannungsquelle sowie zwei bekannte Lastwiderstände. Ist der erste Lastwiderstand $R_{L,1} = 3 \Omega$ an die Spannungsquelle angeschlossen, fällt eine Spannung von $U_{AP,1} = 6 \text{ V}$ ab. Ist der zweite Lastwiderstand $R_{L,2} = 1 \Omega$ angeschlossen, fließt ein Strom von $I_{AP,2} = 3 \text{ A}$. Bestimmen Sie mithilfe der Kennlinien der Lastwiderstände und der Kennlinie der Spannungsquelle die charakteristischen Werte der Spannungsquelle (U_0 , I_k und R_i). 3 P.



$$U_0 = 12 \text{ V}$$

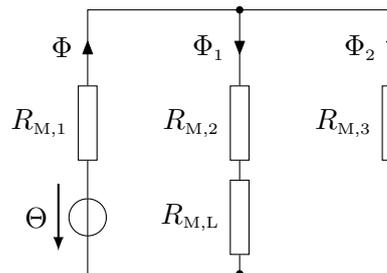
$$I_k = 4 \text{ A}$$

$$R_i = 3 \Omega$$



$$\begin{aligned}
 l &= 5 \text{ cm} \\
 h &= 1 \text{ cm} \\
 A_{\text{Fe}} &= 2,25 \text{ cm}^2 \\
 \mu_r &= 1000 \\
 N &= 8 \text{ Wdg.} \\
 I &= 8 \text{ A}
 \end{aligned}$$

- a) Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild des oben dargestellten magnetischen Kreises. Achten Sie auf eine vollständige Beschriftung.



- b) Vergleichen Sie die magnetischen Flüsse Φ_1 und Φ_2 mit =, < und >.

$$\Phi_1 \quad \boxed{<} \quad \Phi_2$$

- c) Berechnen Sie die magnetische Feldstärke im Luftspalt, wenn für den magnetischen Fluss $\Phi_1 = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Vs}$ gilt.

$$H = 17,68 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

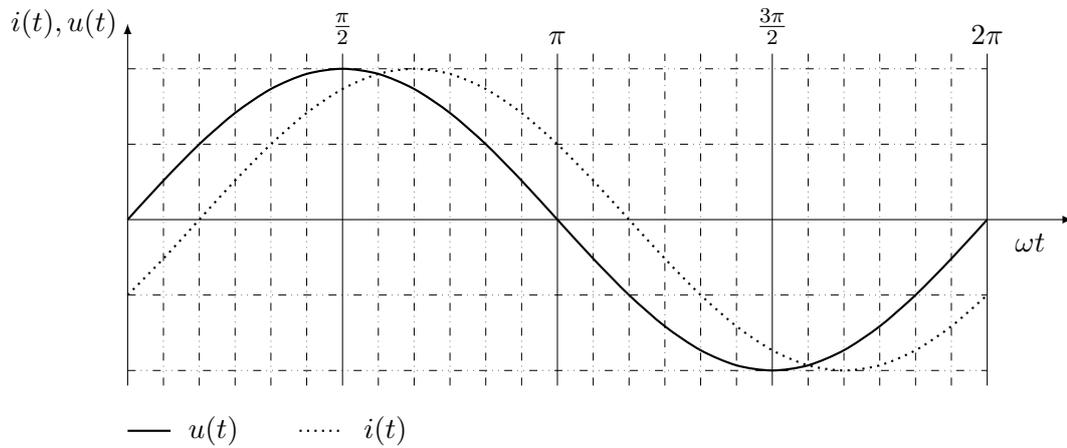
KF5) Gegeben ist eine Wechselspannungsquelle mit einer angeschlossenen RL-Reihenschaltung mit folgenden Werten: 2 P.

$$\underline{U} = 10 \text{ V}$$

$$R = 5,45 \, \Omega$$

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

a) Bestimmen Sie den Phasenwinkel aus dem gegebenen Diagramm.



$$\varphi = 30^\circ = \frac{\pi}{6}$$

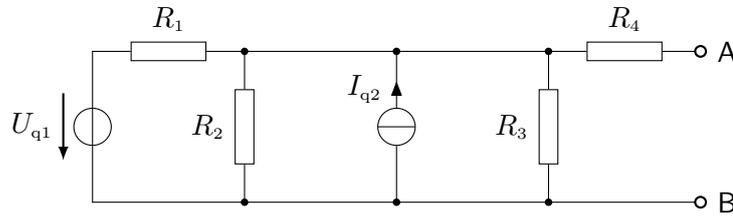
b) Berechnen Sie aus dem oben bestimmten Phasenwinkel die Induktivität der RL-Reihenschaltung.

$$L = 10 \text{ mH}$$

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 das folgende Netzwerk: 6 P.



$$U_{q1} = 10 \text{ V}$$

$$I_{q2} = 5 \text{ A}$$

$$R_1 = 2 \Omega$$

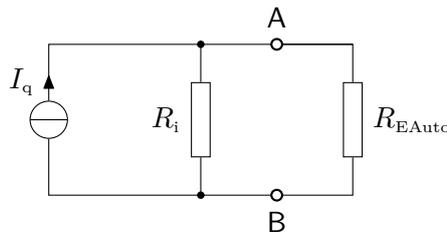
$$R_2 = 3 \Omega$$

$$R_3 = 6 \Omega$$

$$R_4 = 4 \Omega$$

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

GS3) Ein Elektrofahrzeug soll mit Gleichstrom mit einer konstanten Ladeleistung von $P_{\text{Lade}} = 50 \text{ kW}$ geladen werden. Gegeben ist dafür folgende Stromquelle: 3 P.

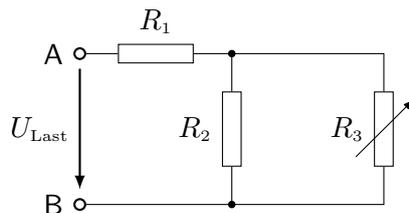


$$I_q = 285 \text{ A}$$

$$R_i = 2,5 \Omega$$

Bestimmen Sie den Ladestrom $I_{E\text{Auto}}$ und den Widerstand $R_{E\text{Auto}}$, damit das Elektrofahrzeug mit 50 kW bei 400 V geladen wird.

GS4) Gegeben ist eine Ersatzspannungsquelle mit $U_0 = 20 \text{ V}$, $I_k = 2 \text{ A}$ und $R_i = 10 \Omega$, welche an folgendes Widerstandsnetzwerk mit einem veränderlichen R_3 angeschlossen wird. 6 P.



$$R_1 = 7 \Omega$$

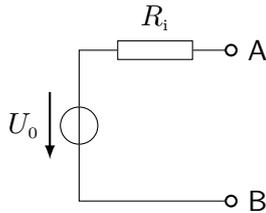
$$R_2 = 5 \Omega$$

Bestimmen Sie R_3 so, dass an der gesamten Last die maximale Leistung umgesetzt wird. Wie ändert sich die Leistung, wenn R_{Last} größer bzw. kleiner wird? Begründen Sie Ihre Antwort kurz.

GS5) Um die Ladeleistung zu erhöhen, muss mit höheren Strömen geladen werden. Dadurch wird das Kabel, mit dem die Stromquelle und das Elektrofahrzeug verbunden sind, stärker belastet. Begründen Sie anhand einer Formel, welche zwei Größen des Kabels wie verändert werden müssen, damit auch höhere Ströme übertragen werden können. 3 P.

Endergebnisse und Kommentare

GS2) • ESB und charakteristische Größen:



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

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

$$R_i = 5 \Omega$$

GS3) • Ladestrom und Widerstand Elektrofahrzeug:

$$I_{\text{EAuto}} = 125 \text{ A}$$

$$R_{\text{EAuto}} = 3,2 \Omega$$

GS4) • Leistungsanpassung:

$$R_3 = 7,5 \Omega$$

Leistungsänderung: P_{Last} wird in beiden Fällen kleiner. Die Leistungskurve einer Ersatzspannungsquelle ist eine nach unten geöffnete Parabel und hat ihren maximalen Wert bei einem Arbeitspunkt von $\frac{U_0}{2}$ und $\frac{I_K}{2}$.

GS5) höhere Ströme:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \rightarrow \text{kürzeres Kabel oder größerer Querschnitt}$$

oder:

$$R_{\vartheta} = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta) \rightarrow \text{anderes Material oder Kabel kühlen}$$

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.

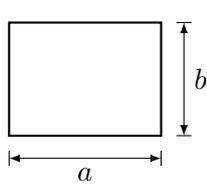


Abb. (a)

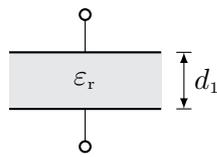


Abb. (b)

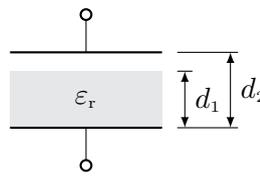


Abb. (c)

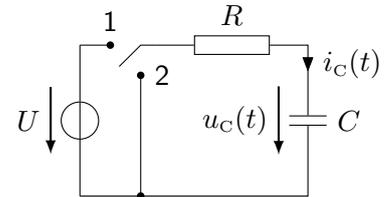


Abb. (d)

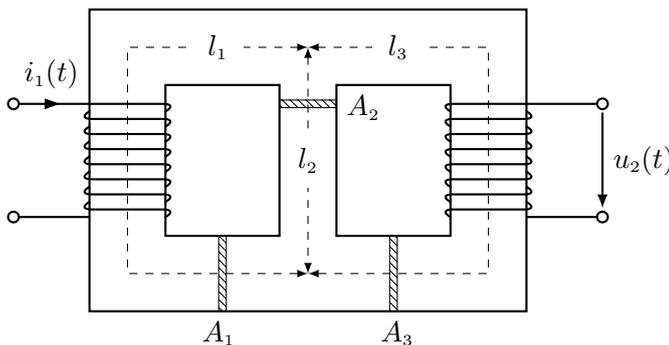
EM2) Gegeben ist ein Plattenkondensator mit rechteckiger Elektrodenfläche und Plattenabstand d . Leiten Sie eine allgemeine Formel zur Bestimmung der Kapazität mit den gegebenen Größen her (s. Abb. a). Vernachlässigen Sie alle Randeffekte und nehmen Sie das elektrische Feld zwischen den Elektroden als homogen an. 3 P.

EM3) Zwischen den Platten des Kondensators befindet sich ein Dielektrikum mit der Permittivität $\epsilon_r = 7$. Der Plattenabstand beträgt $d_1 = 0,5 \text{ mm}$ und die Plattenfläche beträgt $A = 10 \text{ cm}^2$. Der Kondensator ist auf eine Spannung von $U_1 = 100 \text{ V}$ aufgeladen (s. Abb. b). Wie groß ist die Kondensatorspannung U_2 , wenn der Plattenabstand auf $d_2 = 0,8 \text{ mm}$ vergrößert wird, die Stärke der Isolierstoffschicht aber unverändert $d_1 = 0,5 \text{ mm}$ bleibt (s. Abb. c)? 3 P.

Hinweis: Die relative Permittivität der Luft ist $\epsilon_{r,\text{Luft}} = 1$.

EM4) Nun wird ein anderer Plattenkondensator mit einer Kapazität von $C = 10 \text{ nF}$ über einen Vorwiderstand mit $R = 200 \Omega$ an einer Spannungsquelle mit $U = 500 \text{ V}$ aufgeladen (s. Abb. d - Schalterstellung 1). Nachdem der Kondensator vollständig aufgeladen wurde, wird dieser von der Spannungsquelle getrennt und über den Widerstand R entladen (s. Abb. d - Schalterstellung 2). Zeichnen Sie unter Berücksichtigung der Zeitkonstante den Verlauf des Kondensatorstromes $i_C(t)$ des Entladevorgangs in das vorgegebene Diagramm **auf der nächsten Seite** und kennzeichnen Sie die Zeitkonstante. Berechnen Sie auch den Startwert des Kondensatorstrom $i_C(t = 0 \text{ s})$ für den Entladevorgang. Beachten Sie die Zählpfeile im Ersatzschaltbild (s. Abb. d). 3 P.

EM5) Gegeben ist folgender magnetischer Kreis: 9 P.



$$A_1 = A_3 = 400 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 300 \text{ mm}^2$$

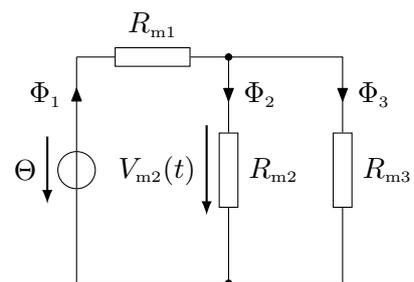
$$N_1 = 150$$

$$\mu_r = 3000$$

$$l_1 = l_3 = 0,2 \text{ m}$$

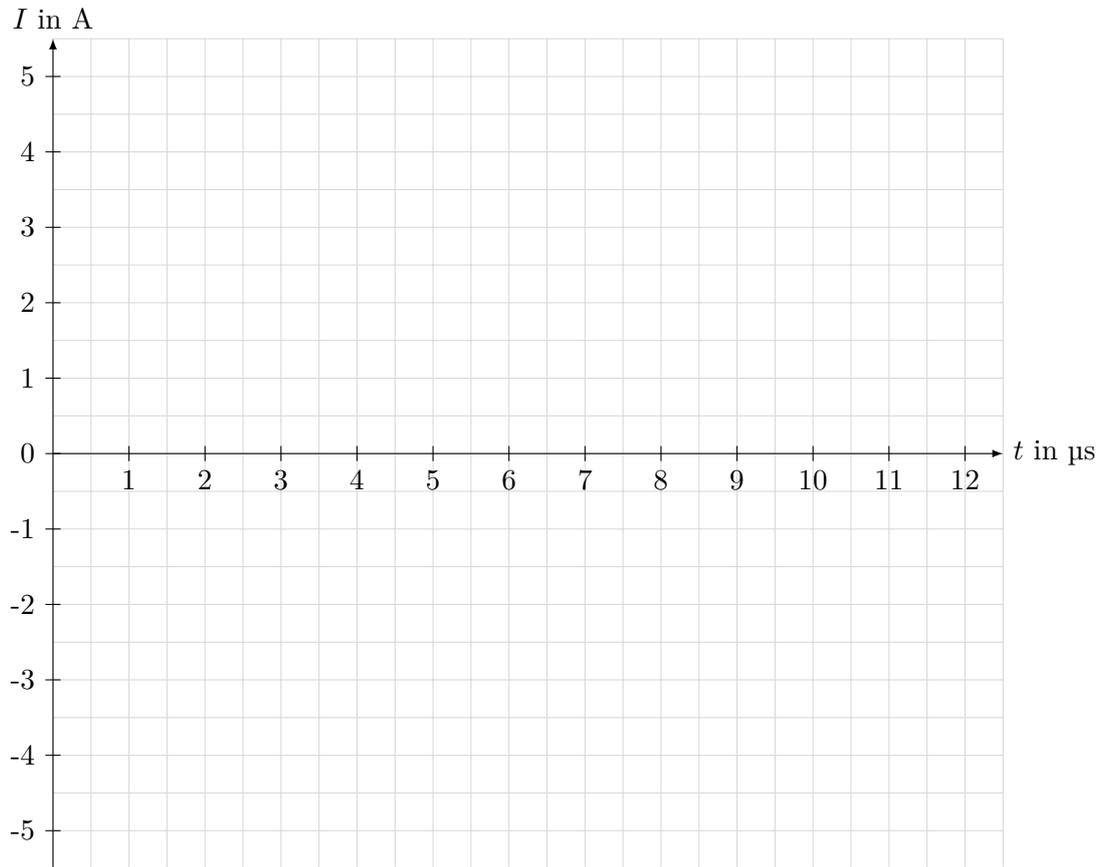
$$l_2 = 0,07 \text{ m}$$

$$N_2 = 500$$



Der dargestellte Eisenkern trägt auf dem linken und rechten Schenkel je eine Spule, wobei nur durch die linke Spule mit N_1 ein Strom von $i_1(t) = 360 \text{ mA} \cdot \sin(\omega t)$ fließt. Die Eisenquerschnitte, mittleren Eisenlängen und Permeabilitätszahl des Eisens sind angegeben. Berechnen Sie den magnetischen Fluss im Mittelschenkel $\Phi_2(t)$ und die induzierte Spannung $u_2(t)$ in der rechten Spule mit der Windungszahl N_2 .

Zeitverlauf des Kondensatorstromes für den Entladevorgang EM4:



Endergebnisse und Kommentare

EM2) • Kapazität des Plattenkondensators mit rechteckiger Plattenfläche:

$$C = \frac{ab\varepsilon}{d}$$

EM3) • Kapazität vor der Plattenabstandsänderung:

$$C = 123,96 \text{ pF}$$

• neuen Kapazität (Reihenschaltung aus C und Luftkondensator):

$$C_{\text{neu}} = 23,84 \text{ pF}$$

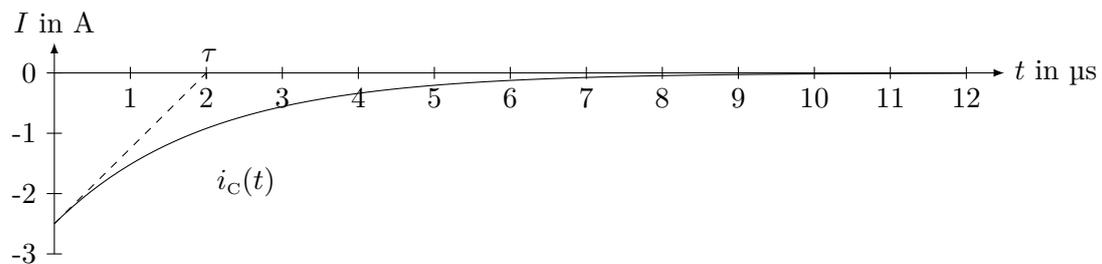
• Kondensatorspannung:

$$U_2 = 520 \text{ V}$$

EM4) • zeitlicher Verlauf des Kondensatorstromes:

$$\tau = 2 \text{ } \mu\text{s}$$

$$i_C(t=0) = -2,5 \text{ A}$$



EM5) • Gesamtwiderstand aus Sicht der linken Spule:

$$R_m = 174,83 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{Vs}}$$

• magnetischer Flüsse:

$$\Phi_1(t) = 3,09 \cdot 10^{-4} \text{ Vs} \cdot \sin(\omega t)$$

$$\Phi_2(t) = 2,11 \cdot 10^{-4} \text{ Vs} \cdot \sin(\omega t)$$

$$\Phi_3(t) = 0,98 \cdot 10^{-4} \text{ Vs} \cdot \sin(\omega t)$$

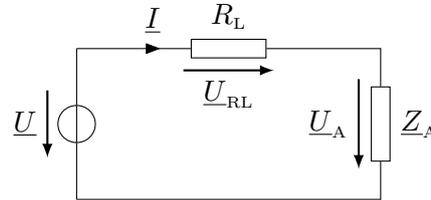
• induzierte Spannung in rechter Spule mit N_2 :

$$u_2(t) = 15,39 \text{ V} \cdot \cos(\omega t)$$

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.

Ein Elektroauto wird an einer Wallbox (ideale, einphasige Spannungsquelle) mit einer Spannung von $\underline{U} = 230 \text{ V}$ über eine Kupferleitung R_L (spez. Widerstand $\rho = 0,0172 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$, Leitungslänge 5 m, Querschnittsfläche 4 mm^2) geladen. Das Auto wird mit der Impedanz \underline{Z}_A modelliert.



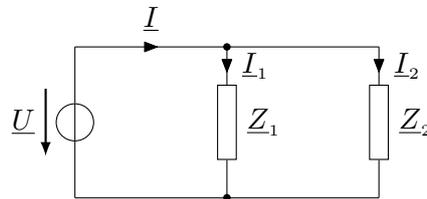
WS2) Berechnen Sie den Ladestrom \underline{I} und den Spannungsabfall \underline{U}_A des Elektroautos, wenn die Impedanz $\underline{Z}_A = 11 \Omega \cdot e^{j11,5^\circ}$ beträgt. 3 P.

Für die folgenden beiden Aufgabenteile verringert sich der Wirkfaktor des Elektrofahrzeuges von $\cos \varphi_A = 0,98$ (ind.) auf $\cos \varphi_A = 0,9$ (ind.) bei gleichbleibendem Betrag der Impedanz.

WS3) Wie ändert sich der Betrag des fließenden Ladestromes bei konstanter Quellspannung? Begründen Sie Ihre Antwort kurz! 1 P.

WS4) Zeichnen Sie für den vorliegenden Belastungsfall ein qualitatives Zeigerbild. Legen Sie dazu das obige Ersatzschaltbild zugrunde. 2 P.

An einer Wallbox in der Tiefgarage eines Einkaufszentrums werden zwei Elektroautos geladen, die durch die Impedanzen \underline{Z}_1 und \underline{Z}_2 modelliert werden. Um einen Teil der Blindleistung zu kompensieren, wird ein variabler Kondensator parallel zu den beiden Fahrzeugen geschaltet.

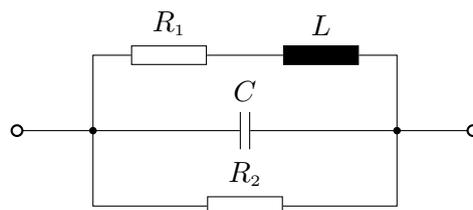


Folgende Werte sind gegeben:

$$\underline{U} = 230 \text{ V} \quad f = 50 \text{ Hz} \quad P_1 = 2,1 \text{ kW} \quad P_2 = 1,8 \text{ kW} \quad \cos \varphi_1 = 0,95 \quad \cos \varphi_2 = 0,92$$

WS5) Bestimmen Sie die Kapazität eines parallelgeschalteten Kondensators, der erforderlich ist, um den Wirkfaktor der Gesamtschaltung auf $\cos \varphi = 0,98$ (ind.) zu erhöhen. 6 P.

In der dargestellten Schaltung haben die ohmschen Widerstände die Werte $R_1 = 25 \Omega$ und $R_2 = 500 \Omega$. Die Induktivität L und Kapazität C sollen für die Frequenz $f = 100 \text{ Hz}$ so gewählt werden, dass die Gesamtimpedanz der Schaltung reell wird und den Wert $Y = \frac{1}{2} = 10 \text{ mS}$ annimmt.



WS6) Bestimmen Sie die Werte von L und C . 6 P.

Endergebnisse und Kommentare

WS2) • Ladestrom:

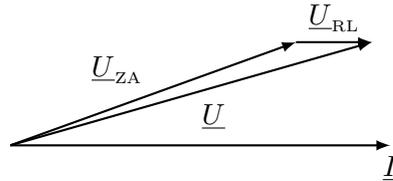
$$\underline{I} = 20,87 \text{ A} \cdot e^{-j11,48^\circ}$$

• Spannungsabfall über \underline{Z}_A :

$$\underline{U}_A = 229,56 \text{ V} \cdot e^{j0,02^\circ}$$

WS3) Der Betrag des fließenden Ladestroms ändert sich nicht. Der kleinere Leistungsfaktor bringt lediglich eine größere Phasenverschiebung mit sich.

WS4) Zeigerbild:



WS5) • Blindleistungsaufnahme ohne Kompensationskapazität:

$$Q_{\text{ges}} = 1457,04 \text{ var}$$

• Blindleistungsaufnahme mit Kompensationskapazität:

$$Q_{\text{neu}} = 791,93 \text{ var}$$

• Kapazität:

$$C = 40 \mu\text{F}$$

WS6) • Gesamtadmittanz:

$$\underline{Y} = \frac{R_1}{R_1^2 + (\omega L)^2} + \frac{1}{R_2} + j \left(-\frac{\omega L}{R_1^2 + (\omega L)^2} + \omega C \right)$$

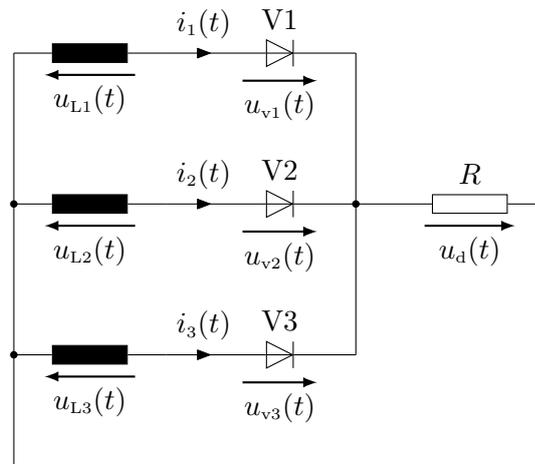
• L und C :

$$L = 79,58 \text{ mH}$$

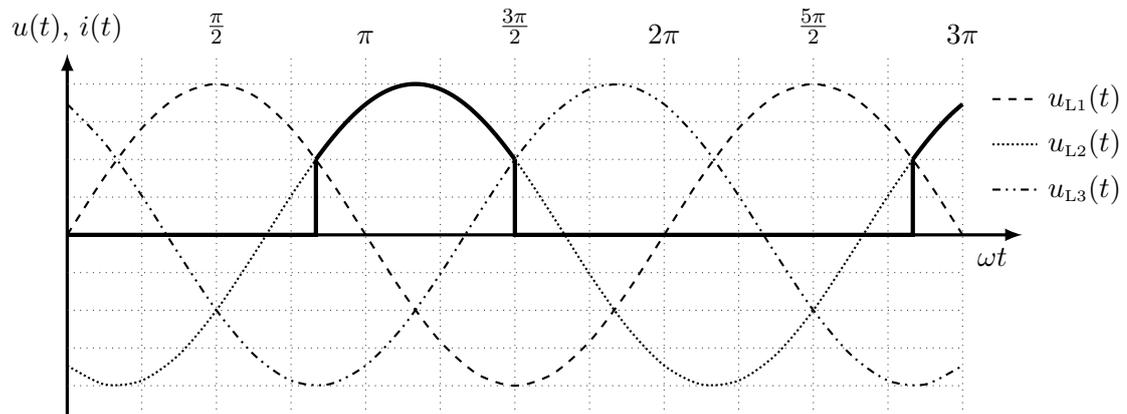
$$C = 25,46 \mu\text{F}$$

5. Kurzfragen zu Elektrotechnik 2 (18 Punkte)

KF1) Für die Bereitstellung der Gleichspannung in einer Gleichspannungslandesäule wird eine M3-Mittelpunktschaltung mit idealen Ventilen verwendet, die an einem gewöhnlichen Drehspannungssystem (400 V/230 V, 50 Hz) angeschlossen ist. 3 P.



- a) Tragen Sie den Verlauf des Strangstromes $i_2(t)$ der Phase L2 in das gegebene Diagramm ein. Es gilt: $R = 1 \Omega$.



- b) Geben Sie die Sperrspannung der Diode V2 als Funktion der Leiter-Neutralleiter-Spannungen an, wenn die Diode V3 leitend ist (im Durchlassbereich arbeitet).

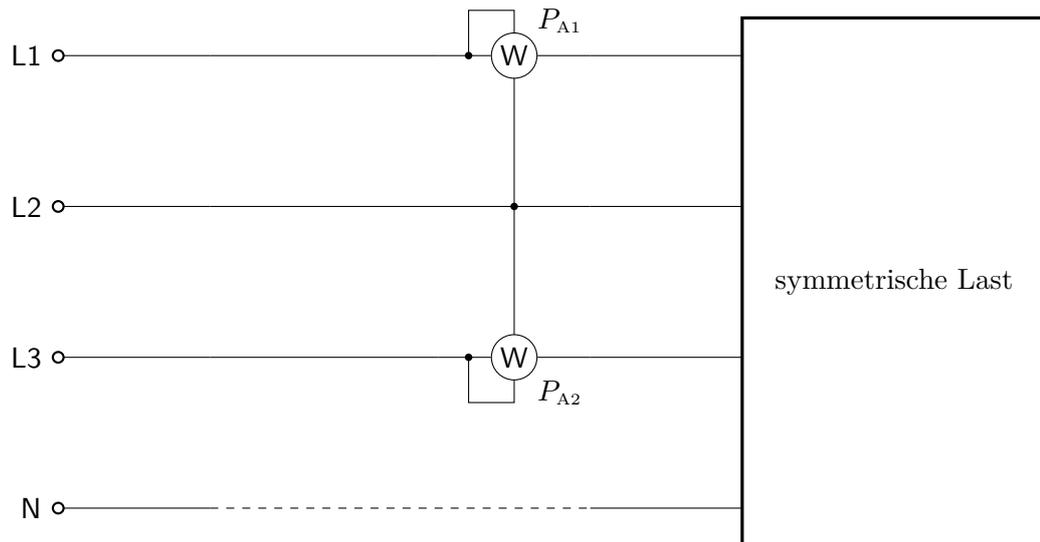
$$u_{V2}(t) = u_{L2}(t) - u_{L3}(t)$$

KF2) An einer symmetrischen Drehstromlast soll mittels der Aronschaltung die Blindleistung bestimmt werden. Die Last wird an einem Drehstromnetz mit einer Leiter-Neutralleiter-Spannung von $U_{LN} = 100 \text{ V}$ (50 Hz) betrieben. Die Messgeräte zeigen folgende Werte an: 4 P.

$$P_{A1} = 319 \text{ W}$$

$$P_{A2} = 1595 \text{ W}$$

- a) Zeichnen Sie die für die Messung erforderlichen Messgeräte in das gegebene Schaltbild ein. Achten Sie dabei auf eine vollständige Beschriftung.

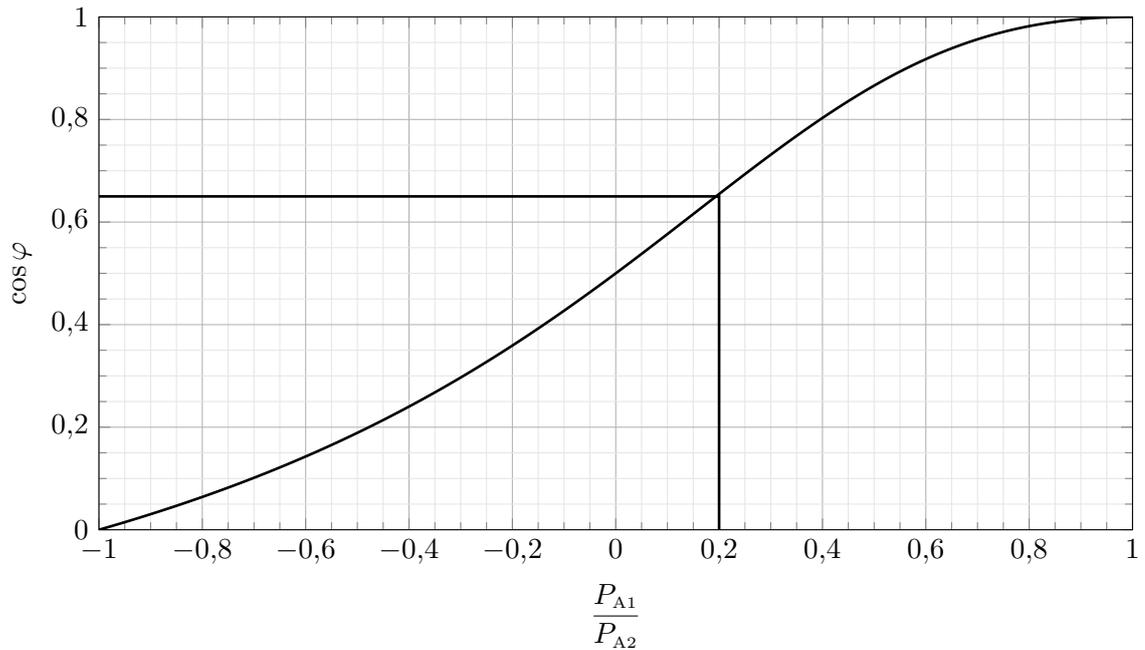


- b) Berechnen Sie aus den Messwerten der beiden Wattmeter die Blindleistungsaufnahme der symmetrischen Last.

$$Q = 2210,10 \text{ var}$$

Fortsetzung auf der nächsten Seite!

- c) Bestimmen Sie mit Hilfe des dargestellten Diagramms den Wirkfaktor $\cos \varphi = f\left(\frac{P_{A1}}{P_{A2}}\right)$ der symmetrischen Last. Markieren Sie auch Ihre Bezugspunkte.



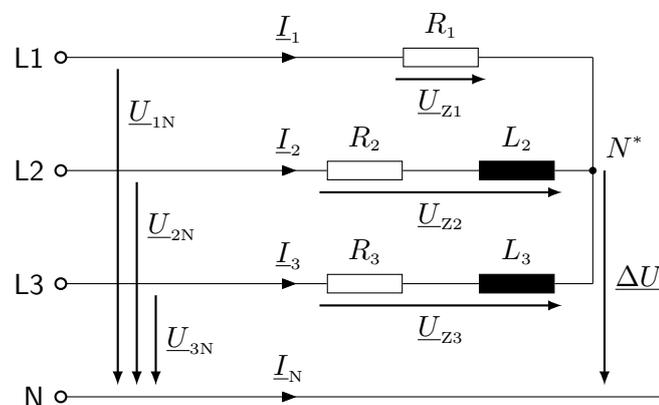
$$\cos \varphi = 0,65$$

- KF3) Gegeben ist eine unsymmetrische Last in Sternschaltung an einem gewöhnlichen Drehstromsystem (400 V/230 V, 50 Hz), wobei der Sternpunkt der Last nicht mit dem Neutralleiter des Netzes verbunden ist. 3 P.

Folgende Spannungen werden mit einem Digitalmultimeter gemessen:

$$U_{Z2} = 269,61 \text{ V}$$

$$\Delta U = 53,08 \text{ V}$$

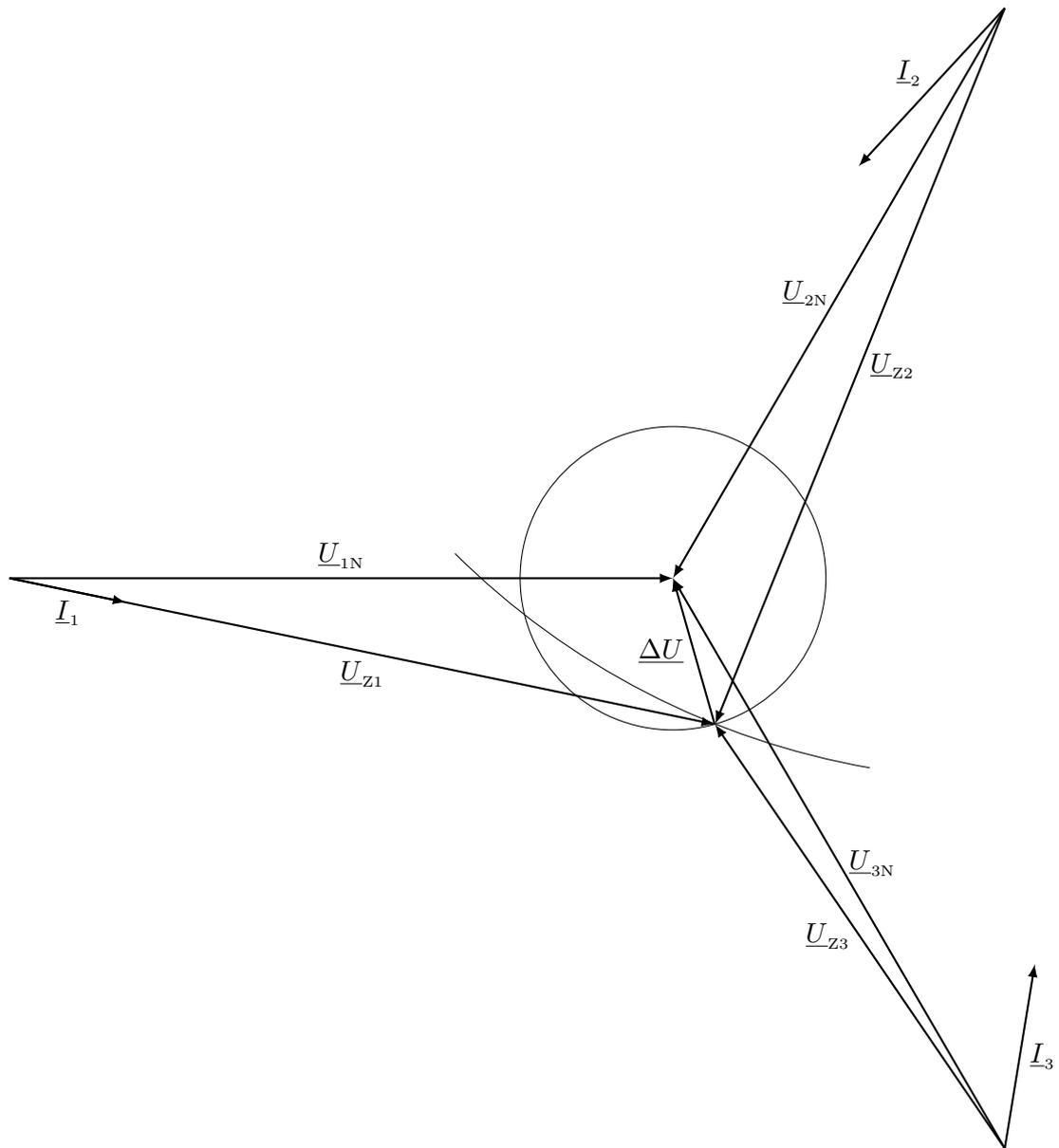


Bestimmen Sie zeichnerisch die Sternpunktverschiebung ΔU nach Betrag und Phase. Verwenden Sie dazu das abgebildete Zeigerbild auf der **nächsten Seite** als Hilfestellung (Maßstab: $25 \text{ V} \hat{=} 1 \text{ cm}$).

Hinweis: Der Radius des Kreises im Zeigerbild entspricht dem Betrag von ΔU .

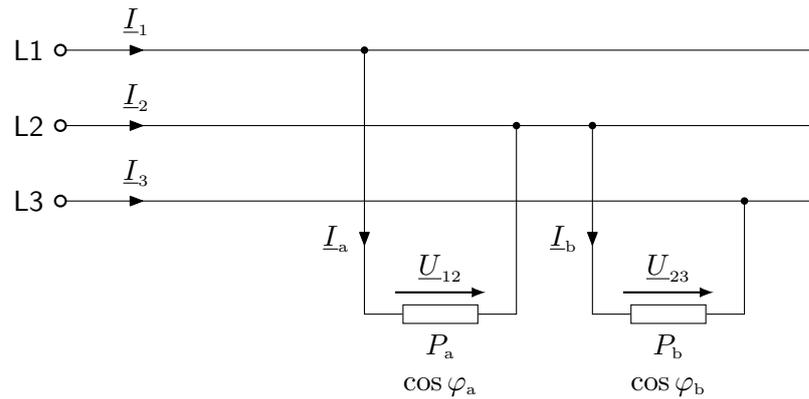
Hinweis: Beachten Sie die im Ersatzschaltbild gegebene Richtung von ΔU .

Zeigerbild zu KF3: (Maßstab: 25 V $\hat{=}$ 1 cm)



$$\underline{\Delta U} = 53,08 \text{ V} \cdot e^{j105,96^\circ}$$

- KF4) An einem Drehstromnetz (400 V/230 V, 50 Hz) sind zwei einphasige ohmsch-induktive Verbraucher angeschlossen. Die Impedanzen nehmen bei einem Wirkfaktor von $\cos \varphi_a = 0,86$ und $\cos \varphi_b = 0,78$ die Wirkleistungen $P_a = 1500$ W und $P_b = 1200$ W auf. Berechnen Sie den Leiterstrom \underline{I}_2 . 3 P.



Für die Spannungen gilt:

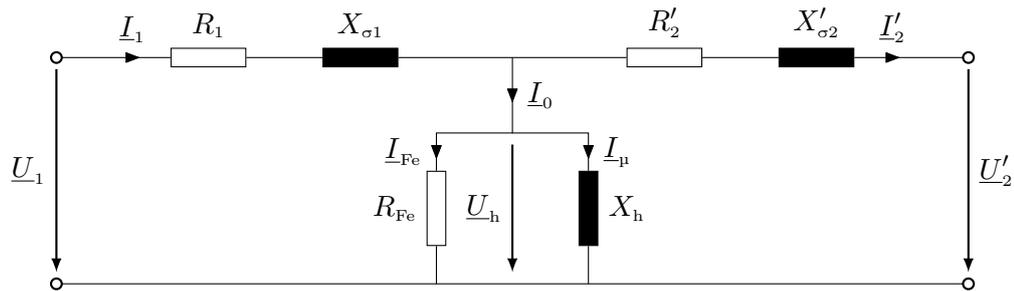
$$\underline{U}_{12} = 400 \text{ V} \cdot e^{j30^\circ}$$

$$\underline{U}_{23} = 400 \text{ V} \cdot e^{-j90^\circ}$$

$$\underline{U}_{31} = 400 \text{ V} \cdot e^{j150^\circ}$$

$$\underline{I}_2 = 7,38 \text{ A} \cdot e^{-j156,44^\circ}$$

- a) Zeichnen Sie das vollständige Ersatzschaltbild inkl. aller Ströme und Spannungen des Transformators und benennen Sie die unten stehenden Größen.



R_1, R'_2 – Primär- und Sekundärwicklungswiderstand

$X_{\sigma 1}, X'_{\sigma 2}$ – Primär- und Sekundärstreureaktanz

R_{Fe} – Eisenverlustwiderstand

X_h – Hauptfeldinduktivität

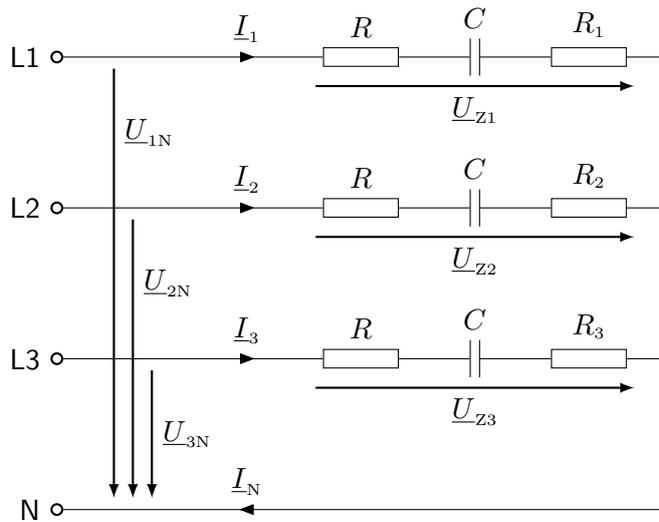
- b) Wie kann bei einem Transformator ein Wirkungsgrad von $\eta \rightarrow 1$ erreicht werden?

$$R_{Fe} \rightarrow \infty$$

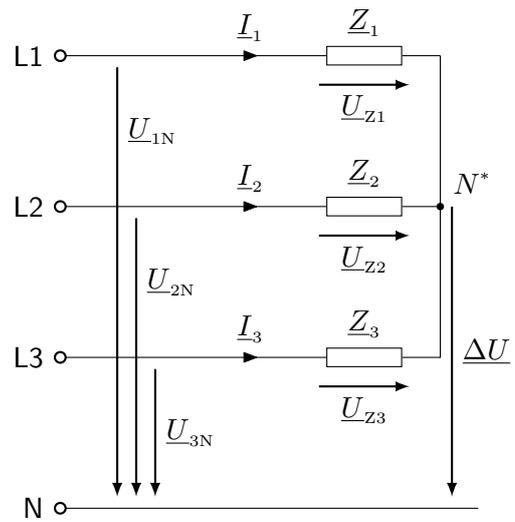
$$R_1, R'_2, X_{\sigma 1}, X'_{\sigma 2} \rightarrow 0$$

6. Drehstrom (22 Punkte)

Gegeben ist eine ohmsch-kapazitive Last in Sternschaltung an einem gewöhnlichen Drehstromsystem (400 V/230 V, 50 Hz).



Ersatzschaltbild für DS2 und DS3



Ersatzschaltbild für DS4

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.

Der ohmsche Widerstand R und die Kapazität C der Impedanz seien bekannt (s. linkes Ersatzschaltbild):

$$R = 100 \, \Omega$$

$$C = 40 \, \mu\text{F}$$

DS2) Berechnen Sie die Beträge aller Leiterströme, den Betrag des Neutralleiterstromes, den Phasenwinkel der Impedanz sowie die in der Last umgesetzte Wirk- und Blindleistung, wenn gilt: $R_1 = R_2 = R_3 = 50 \, \Omega$. (Beachten Sie die Impedanzen in den einzelnen Strängen!) 6 P.

DS3) Die Widerstände R_1 , R_2 und R_3 sind nun unbekannt, wobei gilt: $R_1 = R_2 \neq R_3$. Berechnen Sie die Widerstandswerte der Widerstände R_1 , R_2 und R_3 (beachten Sie die Impedanzen in den einzelnen Strängen!), wenn gilt: 6 P.

$$\underline{I}_1 = 1,07 \, \text{A} \cdot e^{j21,70^\circ}$$

$$\underline{I}_N = 0,20 \, \text{A} \cdot e^{-j20,42^\circ}$$

Für den folgenden Aufgabenteil wird der Sternpunkt des Verbrauchers vom Sternpunkt des Netzes getrennt (s. rechtes Ersatzschaltbild). Zwischen dem Sternpunkt des Verbrauchers und dem Neutralleiter des Netzes wird die Spannung $\underline{\Delta U}$ gemessen. Es gelten nun folgende Werte:

$$\underline{\Delta U} = 15,52 \, \text{V} \cdot e^{-j41,32^\circ}$$

$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = 215 \, \Omega \cdot e^{-j22^\circ}$$

$$\underline{Z}_3 = 262 \, \Omega \cdot e^{-j18^\circ}$$

DS4) Berechnen Sie die von der Last aufgenommene Wirkleistung. 6 P.

Endergebnisse und Kommentare

DS2) • Beträge der Leiterströme:

$$I_L = 1,35 \text{ A}$$

$$I_N = 0 \text{ A}$$

• Phasenwinkel der Impedanz:

$$\varphi = -27,95^\circ$$

• Wirk- und Blindleistung:

$$P_{\text{ges}} = 822,85 \text{ W}$$

$$Q_{\text{ges}} = -436,59 \text{ var}$$

DS3) • Zwischenergebnisse:

$$\underline{I}_2 = 1,07 \text{ A} \cdot e^{-j98,30^\circ}$$

$$\underline{I}_3 = 0,88 \text{ A} \cdot e^{j137,71^\circ}$$

• Widerstände R_1 , R_2 und R_3 :

$$R_1 = 99,72 \Omega$$

$$R_2 = 99,72 \Omega$$

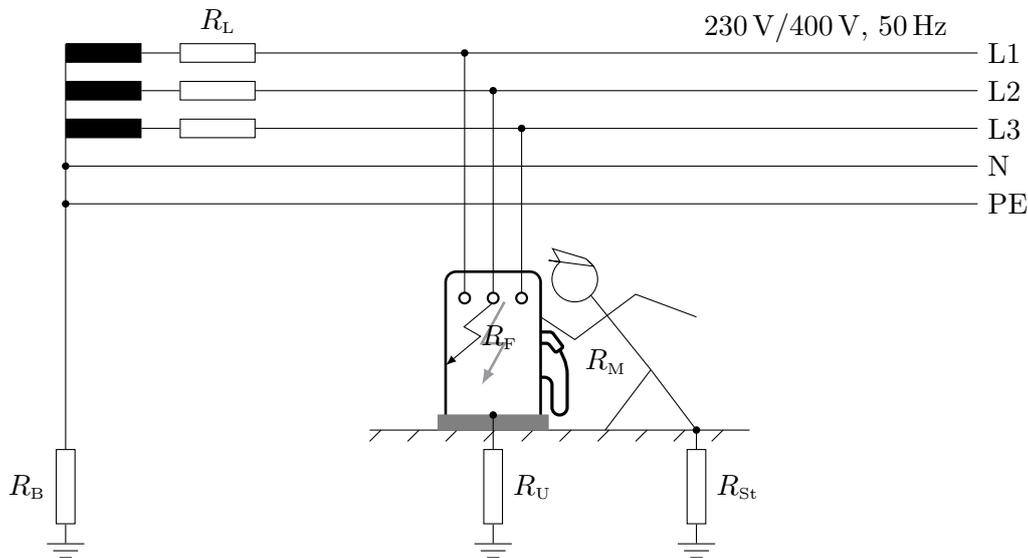
$$R_3 = 148,98 \Omega$$

DS4) • Wirkleistung:

$$P = 649,52 \text{ W}$$

7. Schutzmaßnahmen (22 Punkte)

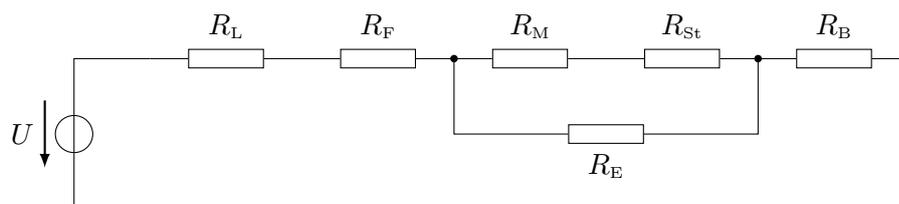
Eine Schnellladesäule mit $P_{\text{Lade}} = 150 \text{ kW}$ ist an ein Niederspannungsnetz dreiphasig angeschlossen. Aufgrund eines Gehäuseschlusses liegt ein Fehler auf Phase 2 vor. Die Ladesäule steht auf einem isolierenden Betonsockel, dessen Übergangswiderstand zur Erde mit R_U abgebildet wird. Die maximal zulässige Berührspannung über den Menschen, modelliert mit R_M , beträgt $U_B = 50 \text{ V}$.



$$R_L = 2 \Omega \qquad R_F = 15 \Omega \qquad R_M = 3000 \Omega$$

$$R_{St} = 5000 \Omega \qquad R_B = 4 \Omega$$

- 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) Die Ladesäule ist über einen Erdungswiderstand $R_E = 4 \Omega$ direkt geerdet. Für eine perfekte Isolierung des Betonsockels ($R_U \rightarrow \infty$) ergibt sich folgendes Ersatzschaltbild. Berechnen Sie den Gesamtwiderstand R_{ges} , den Fehlerstrom I_F und die Berührspannung U_B . Ist der Mensch gefährdet? Begründen sie Ihre Antwort. 6 P.



- SM3) Alternativ soll das Gefährdungspotential bei Verwendung des Schutzleiters untersucht werden. Dafür sei die Ladesäule nun über $R_{PE} = 8,1 \Omega$ an den PE-Leiter angeschlossen. Aufgrund von Regen sinken der Fehlerwiderstand auf $R_F = 0 \Omega$ und der Standortwiderstand auf $R_{St} = 5 \Omega$. Der Betonsockel ist weiterhin perfekt ($R_U \rightarrow \infty$). Bestimmen Sie, ob der Mensch nun gefährdet ist. Begründen Sie Ihre Aussage rechnerisch mit der Berührspannung. 6 P.
- SM4) Es soll eine Schutzmaßnahme so ausgelegt werden, dass auch bei Regen bei einem Fehlerwiderstand von $R_F = 3 \Omega$, einem Standortwiderstand von $R_{St} = 0 \Omega$ und einem Übergangswiderstand $R_U = 4 \Omega$ der Mensch geschützt ist. Um Wartungskosten zu reduzieren, soll dafür das Gehäuse der Ladesäule an den Schutzleiter des Netzes angeschlossen werden. 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) • Gesamtwiderstand:

$$R_{\text{ges}} = 25 \Omega$$

• Fehlerstrom:

$$I_{\text{F}} = 9,2 \text{ A}$$

• Strom durch den Menschen:

$$I_{\text{M}} = 4,6 \text{ mA}$$

• Berührspannung:

$$U_{\text{B}} = 13,8 \text{ V}$$

• Der Mensch ist nicht gefährdet, da $I_{\text{M}} = 4,6 \text{ mA} \leq 17 \text{ mA}$ und $U_{\text{B}} = 13,8 \text{ V} \leq 50 \text{ V}$.

SM3) • Gesamtwiderstand.

$$R_{\text{ges}} = 10 \Omega$$

• Fehlerstrom:

$$I_{\text{F}} = 23 \text{ A}$$

• Strom durch den Menschen:

$$I_{\text{M}} = 61,7 \text{ mA}$$

• Berührspannung:

$$U_{\text{B}} = 185,2 \text{ V}$$

• Der Mensch ist gefährdet, da $U_{\text{B}} = 185,2 \text{ V} \geq 50 \text{ V}$.

SM4) • Schutzleiterwiderstand R_{PE} :

$$R_{\text{PE}} = 7,40 \Omega$$

8. Transformator (22 Punkte)

An einer Autobahnraststätte soll ein Ladepark für Elektrofahrzeuge errichtet werden. Geplant sind Schnellladesäulen mit einer maximalen Ladeleistung von jeweils $P_{\text{Lade}} = 150 \text{ kW}$. Aufgrund der hohen Gesamtleistung soll der Ladepark über einen dreiphasigen Transformator an die Mittelspannung angeschlossen werden. Die Säulen werden auf der Sekundärseite des Transformators parallel zueinander angeschlossen. Die Nennleistung des Transformators ergibt sich aus der Summe der maximalen Ladeleistung der angeschlossenen Ladesäulen.

$$U_{1N} = 20 \text{ kV} \quad U_{2N} = 400 \text{ V} \quad N_1 = 1000 \text{ Wdg.} \quad \ddot{u} = 50 \quad f = 50 \text{ Hz}$$

Für alle Aufgabenteile ist das streu- und verlustbehaftete einphasige Ersatzschaltbild des Transformator zugrunde zu legen.

- 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) Bestimmen Sie den kleinstmöglichen Eisenquerschnitt des Transformators, sodass die maximale zulässige magnetische Induktion von $\hat{B} = 0,56 \text{ T}$ nicht überschritten wird. 2 P.
- TR3) Es sollen in der ersten Ausbaustufe zwei Ladesäulen errichtet werden. Der für den sekundären Nennstrom passend ausgewählte Transformator weist im primärseitig durchgeführten Leerlaufversuch folgende Werte auf: 6 P.

$$P_0 = 25 \text{ kW} \quad I_0 = 5,16 \text{ A}$$

Bestimmen Sie den Eisenverlustwiderstand R_{Fe} , die Hauptinduktivität L_h und den $\cos \varphi_0$.

- TR4) Für vier Ladesäulen soll ein für den sekundären Nennstrom passend ausgewählter Transformator mit folgenden im Kurzschlussversuch gemessenen Daten genutzt werden: 6 P.

$$\cos \varphi_k = 0,25 \quad u_k = 3\%$$

Bestimmen Sie die Wicklungswiderstände R_1 und R_2 sowie die Streuinduktivitäten $X_{\sigma 1}$ und $X_{\sigma 2}$.

- TR5) Langfristig sollen sechs Ladesäulen mit je 150 kW an die Sekundärseite des Transformators angeschlossen werden. Bestimmen Sie den notwendigen Leiterquerschnitt auf der Sekundärseite. Bestimmen Sie außerdem die Wicklungswiderstände R_1 und R_2 unter der Annahme: $R_1 \approx R_2'$ 4 P.

$$\rho_{\text{Cu},20} = 0,0172 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \quad d_w = 0,6 \text{ m} \quad S_{\text{max}} = 5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

Endergebnisse und Kommentare

TR2) • Eisenquerschnitt:

$$A = 0,16 \text{ m}^2$$

TR3) • Leerlaufversuch:

$$\cos \varphi_0 = 0,24$$

$$R_{\text{Fe}} = 16 \text{ k}\Omega$$

$$L_{\text{h}} = 12,73 \text{ H}$$

TR4) • Kurzschlussversuch:

$$R_1 = 2,5 \Omega$$

$$R_2 = 1 \text{ m}\Omega$$

$$X_1 = 9,68 \Omega$$

$$X_2 = 3,87 \text{ m}\Omega$$

TR5) • Leiterquerschnitt:

$$A_{\text{Cu},2} = 450 \text{ mm}^2$$

• Wicklungswiderstände:

$$R_2 = 1,44 \text{ m}\Omega$$

$$R_1 = 3,6 \Omega$$