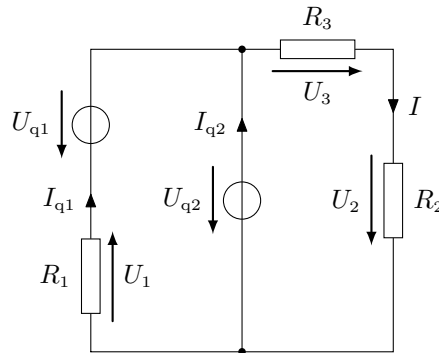


1. Kurzfragen zu Elektrotechnik 1 (18 Punkte)

KF1) Zeichnen Sie im gegebenen Ersatzschaltbild die Zählpfeile der Spannungen U_{q2} , U_1 und U_2 sowie die der Ströme I_{q1} , I_{q2} und I gemäß Verbraucherzählpfeilsystem ein. Beachten Sie dabei die gegebenen Richtungen der Spannungen U_{q1} und U_3 .



KF2) Ein elektrischer Tauchsieder mit einer Leistungsaufnahme $P_{el} = 1000 \text{ W}$ benötigt $t = 6 \text{ min}$ für die Erwärmung von $m = 1 \text{ kg}$ Wasser von $\vartheta_1 = 15^\circ\text{C}$ auf $\vartheta_2 = 100^\circ\text{C}$. Die spezifische Wärmekapazität des Wassers beträgt $c_p = 4190 \text{ J}/(\text{kgK})$.

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

- Berechnen Sie die aufgenommene elektrische Energie des Tauchsieders sowie die erforderliche Energie für die Erwärmung des Wassers.
- Berechnen Sie mit den zuvor berechneten Größen den Wirkungsgrad des Erwärmungsvorgangs.

- aufgenommene elektrische Energie des Tauchsieders:

$$E_{el} = 100 \text{ Wh}$$

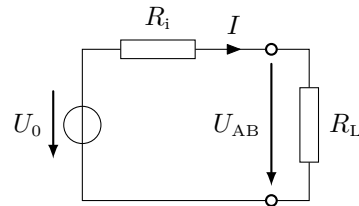
- notwendige Energie für die Erwärmung des Wassers:

$$E_w = 98,93 \text{ Wh}$$

- Wirkungsgrad:

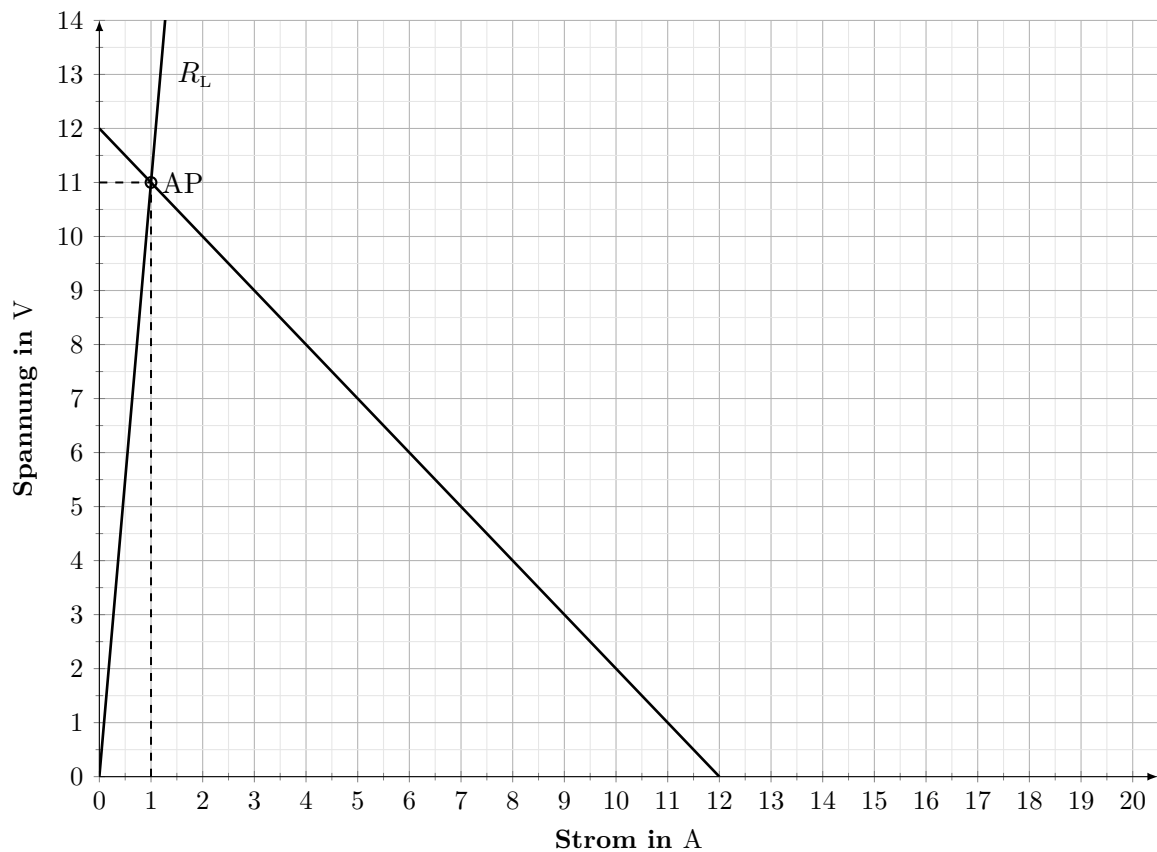
$$\eta = 98,93 \%$$

KF3) Gegeben ist eine reale Spannungsquelle mit der Leerlaufspannung $U_0 = 12\text{ V}$. Der Innenwiderstand R_i und der Kurzschlussstrom I_k der Quelle sind unbekannt. 3 P.



Bei Belastung liefert die Spannungsquelle einen Strom $I = 1\text{ A}$ und an den Klemmen liegt eine Spannung von $U_{AB} = 11\text{ V}$ an.

Konstruieren Sie aus den gegebenen Größen die Kennlinie des Belastungswiderstandes R_L und die Kennlinie der Spannungsquelle in dem gegebenen Diagramm. Markieren Sie auch den Arbeitspunkt (AP).



Bestimmen Sie mit Hilfe des Diagramms die fehlenden charakteristischen Größen der Spannungsquelle (R_i und I_k) sowie den Wert des Belastungswiderstandes R_L . Nutzen Sie hierfür die gegebene Tabelle.

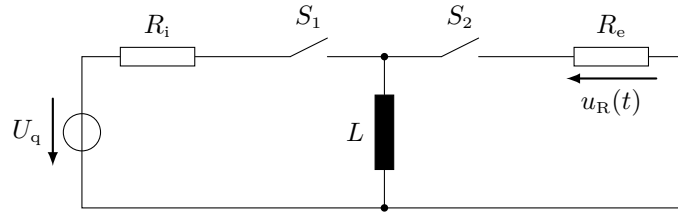
R_i in Ω	I_k in A	R_L in Ω
1	12	11

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

$$R_i = 3 \Omega$$

$$R_e = 1,5 \Omega$$

$$L = 150 \text{ mH}$$

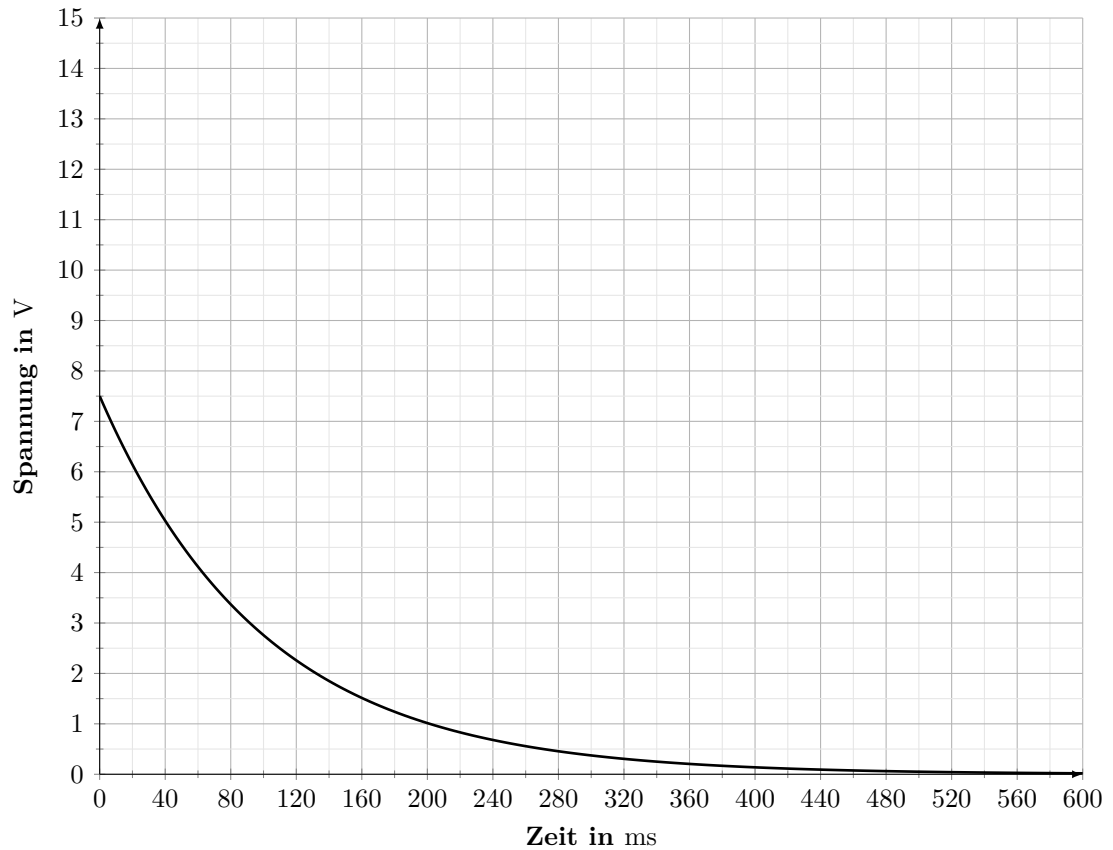


Zunächst ist der Schalter S_1 geschlossen und die Induktivität mit der Spannungsquelle U_q verbunden (Schalter S_2 ist geöffnet). Nachdem diese vollständig aufgeladen wurde, wird der Schalter S_1 geöffnet und der Schalter S_2 geschlossen, sodass sich die Induktivität über den Widerstand R_e entladen kann.

- a) Berechnen Sie die Zeitkonstante τ_e für den Entladevorgang.

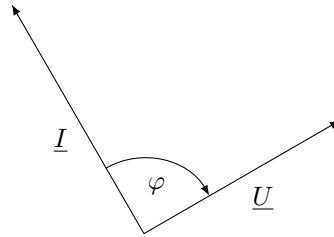
$$\tau = 100 \text{ ms}$$

- b) Zeichnen Sie in das vorgegebene Diagramm den Spannungsverlauf $u_R(t)$ am Widerstand R_e des Entladevorgangs. Tragen Sie auch die Zeitkonstante in das Diagramm ein!



KF5) Gegeben ist das folgende Zeigerdiagramm:

1 P.



Geben Sie zunächst eine allgemeine Bestimmungsgleichung für das Verhältnis von Blind- zu Scheinleistung (Q/S) an und berechnen Sie anschließend dieses Verhältnis.

Für die beiden Zeiger gilt:

$$\underline{U} = U \cdot e^{j\varphi_U}$$

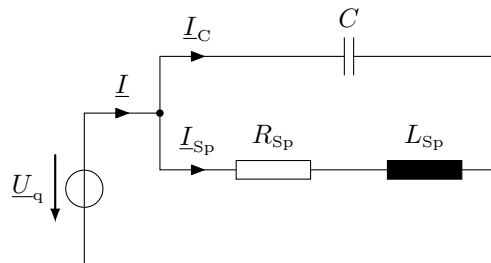
$$\underline{I} = I \cdot e^{j\varphi_I}$$

- die beiden Zeiger stehen senkrecht aufeinander, daher gilt: $\varphi = -90^\circ$

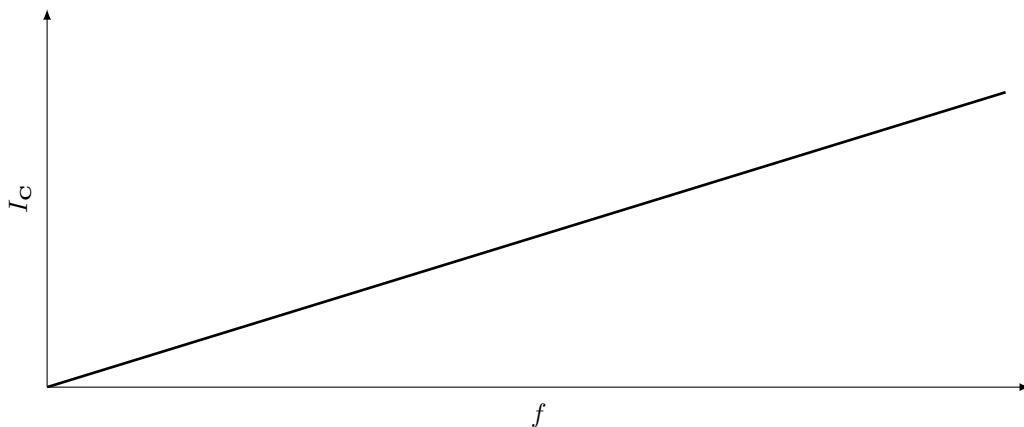
$$\frac{Q}{S} = \sin \varphi = -1$$

KF6) Gegeben ist eine RLC-Parallelschaltung mit technischer Induktivität.

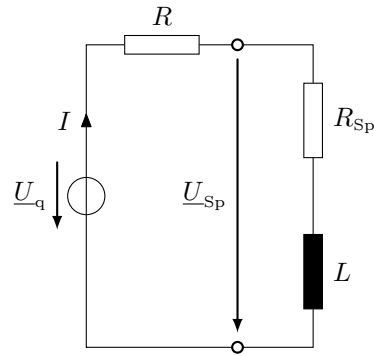
1 P.



Zeichnen Sie in das gegebene Diagramm qualitativ den Verlauf des Stromes $|I_C|$ als Funktion der Frequenz der Quellspannung U_q ein.



KF7) Gegeben ist eine technische Induktivität mit $L = 50 \text{ mH}$ und $R_{\text{Sp}} = 150 \Omega$, die in Reihe mit einem Widerstand R an einer Spannungsquelle mit $U_{\text{q}} = 48 \text{ V}$ und $f = 800 \text{ Hz}$ angeschlossen ist. 4 P.



Legen Sie den Widerstand R so aus, dass die Spannung $U_{\text{Sp}} = 30 \text{ V}$ beträgt.

Hinweis: Beachten Sie, dass in der Aufgabenstellung nur Beträge der Größen gegeben sind.

- Zwischenwerte:

$$Z_{\text{Sp}} = 292,69 \Omega$$

$$Z = 468,74 \Omega$$

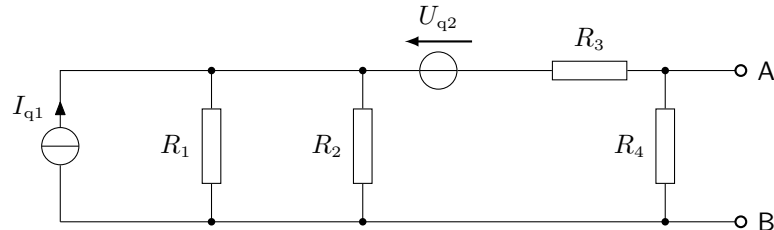
- Widerstand R :

$$R = 245,67 \Omega$$

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) Wandeln Sie das dargestellte Netzwerk mit den gegebenen Werten in eine äquivalente Ersatzspannungsquelle bezüglich der Klemmen A und B um und bestimmen Sie die charakteristischen Größen (U_0 , R_i und I_k) der Ersatzquelle. Geben Sie auch das Ersatzschaltbild und die qualitative Strom-Spannungs-Kennlinie an. Achten Sie auf eine vollständige Beschriftung des Ersatzschaltbildes und der Kennlinie. 8 P.



$$I_{q1} = 3 \text{ A}$$

$$U_{q2} = 12 \text{ V}$$

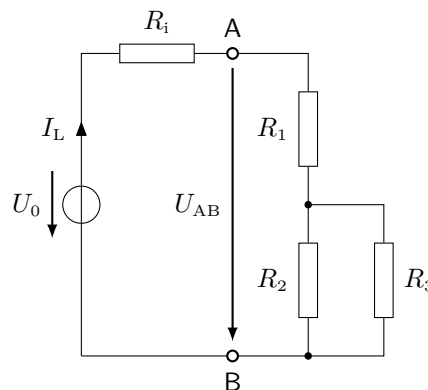
$$R_1 = 5 \Omega$$

$$R_2 = 20 \Omega$$

$$R_3 = 2 \Omega$$

$$R_4 = 6 \Omega$$

GS3) Gegeben ist eine Spannungsquelle mit der Leerlaufspannung U_0 und dem Innenwiderstand R_i , an dessen Klemmen A und B ein Widerstandsnetzwerk mit den gegebenen Werten angeschlossen ist: 6 P.



$$U_0 = 60 \text{ V}$$

$$R_i = 3 \Omega$$

$$R_1 = 1 \Omega$$

$$R_2 = 10 \Omega$$

- (a) Legen Sie den Widerstand R_3 so aus, dass die Klemmenspannung U_{AB} der halben Leerlaufspannung U_0 entspricht. Bestimmen Sie auch den Laststrom I_L , der sich für diesen Belastungsfall einstellt.
- (b) Wie heißt dieser Betriebsfall **und** wie ändert sich die am Widerstandsnetzwerk umgesetzte Leistung, wenn R_3 größer oder kleiner wird?

GS4) Ein elektrischer Widerstand R nimmt bei einer Temperatur von 20°C an einer Gleichspannung von $U = 160 \text{ V}$ eine Leistung $P_1(\vartheta = 20^\circ\text{C}) = 256 \text{ W}$ auf. Bei einer Umgebungstemperatur von 270°C sinkt die Leistungsaufnahme auf die Hälfte. 4 P.

Bestimmen Sie den Temperaturkoeffizienten α des Materials des Widerstandes. Handelt es sich bei dem Widerstand um einen Kalt- oder einen Heißeiter? Begründen Sie Ihre Antwort kurz.

Endergebnisse und Kommentare

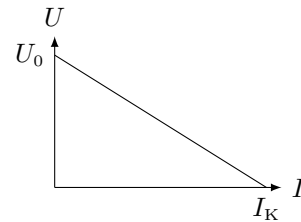
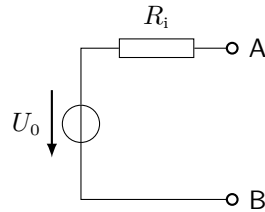
GS2) • charakteristischen Größen der Ersatzquelle:

$$R_i = 3 \Omega$$

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

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

• ESB und Strom-Spannungs-Kennlinie:



GS3) • Betriebsfall: Leistungsanpassung

$$R_3 = 2,5 \Omega$$

• Leistung wird bei Änderung des Lastwiderstandes in beiden Fällen kleiner

$$I_L = 10 \text{ A}$$

GS4) • Temperaturkoeffizient des Materials:

$$\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$$

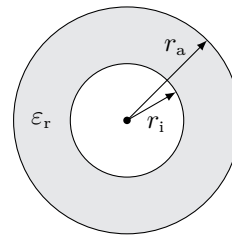
• es handelt sich um einen Kaltleiter, da der Temperaturkoeffizient positiv ist

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.

EM2) Gegeben ist ein Zylinderkondensator der Höhe h mit folgenden Daten: 6 P.

$$\begin{aligned} r_i &= 1 \text{ cm} \\ r_a &= 5 \text{ cm} \\ h &= 0,25 \text{ m} \\ \varepsilon_r &= 10 \end{aligned}$$



(Draufsicht)

Leiten Sie eine allgemeine Gleichung für die Kapazität eines Zylinderkondensators in Abhängigkeit der gegebenen Größen her **und** berechnen Sie diese.

EM3) Gegeben ist ein Plattenkondensator mit einer Kapazität $C = \varepsilon A/d = 10 \text{ nF}$ mit Luft als Dielektrikum (s. Abb. a). Dieser wird mit einer Spannungsquelle $U_q = 20 \text{ V}$ über einen ohmschen Widerstand $R = 2 \Omega$ aufgeladen. Nachdem alle Ausgleichsvorgänge abgeschlossen sind, wird der Kondensator von der Spannungsquelle getrennt, der Plattenabstand halbiert und ein Dielektrikum mit $\varepsilon_r = 5$ eingeschoben (s. Abb. b). 6 P.

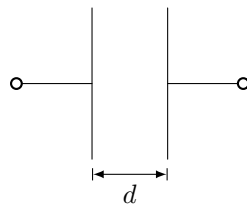


Abb. (a)

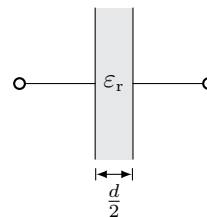
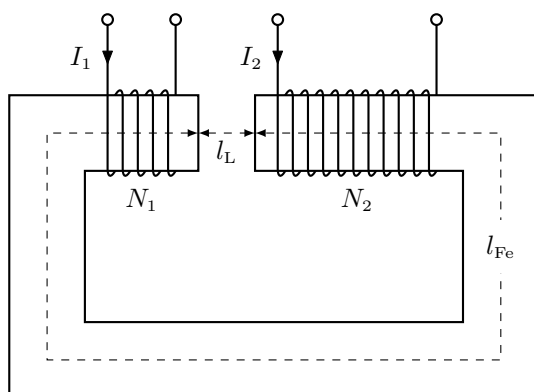


Abb. (b)

Berechnen Sie den Wert ΔW , um den sich der Energieinhalt des Kondensators nach dem Einschoben des Dielektrikums ändert.

EM4) Gegeben ist der dargestellte Eisenkern mit zwei Erregerwicklungen N_1 und N_2 , die jeweils von einem Strom I_1 und I_2 durchflossen werden. Die Streuung am Luftspalt sei vernachlässigbar. Der Eisenquerschnitt A_{Fe} ist an allen Stellen gleich. 6 P.



$$\begin{aligned} N_1 &= 100 & N_2 &= 500 \\ I_1 &= 5 \text{ A} & I_2 &= 1 \text{ A} \\ l_{Fe} &= 256,6 \text{ mm} & l_L &= 1 \text{ mm} \\ \mu_r &= 1000 & \mu_0 &= 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \\ A_{Fe} &= 1 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Für den magnetischen Widerstand des Eisenkerns gilt: $R_{m,Fe} = 2,042 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{Vs}}$.

Zeichnen Sie das vollständige elektrische Ersatzschaltbild des magnetischen Kreises inkl. magnetischem Fluss und Durchflutung **und** berechnen Sie die magnetische Feldstärke H_L im Luftspalt.

Endergebnisse und Kommentare

EM2) • Kapazität des Zylinderkondensators:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r \cdot 2\pi h}{\ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)} = 86,4 \text{ pF}$$

EM3) • Energieinhalt des Luftkondensators und des neuen Kondensators:

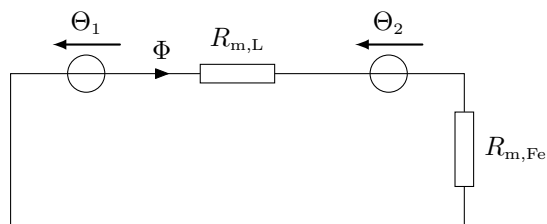
$$W_1 = 2 \text{ }\mu\text{J}$$

$$W_2 = 0,2 \text{ }\mu\text{J}$$

• Differenz der Energieinhalte ΔW :

$$\Delta W = -1,8 \text{ }\mu\text{J}$$

EM4) • elektrisches Ersatzschaltbild des magnetischen Kreises:



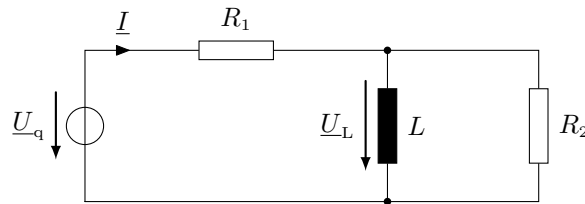
• magnetische Feldstärke im Luftspalt:

$$H_L = 795,8 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

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.

WS2) Gegeben ist folgendes Ersatzschaltbild: 5 P.

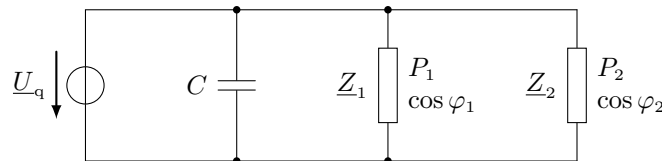


$$\underline{U}_q = 100 \text{ V} \cdot e^{j30^\circ} \quad f = 50 \text{ Hz} \quad R_1 = 10 \Omega \quad R_2 = 20 \Omega \quad L = 100 \text{ mH}$$

Bestimmen Sie die Spannung \underline{U}_L an der RL-Parallelschaltung und den Phasenverschiebungswinkel φ zwischen dem Strom \underline{I} und der Spannung \underline{U}_q .

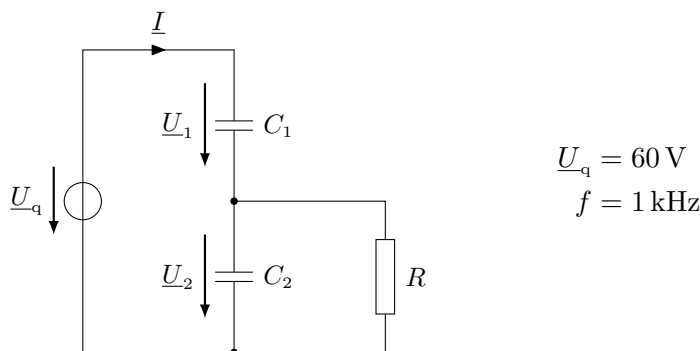
WS3) Zwei ohmsch-induktive Verbraucher sind parallel an einer Spannungsquelle mit $\underline{U}_q = 230 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ angeschlossen. Die Verbraucher \underline{Z}_1 und \underline{Z}_2 nehmen bei den Leistungsfaktoren $\cos \varphi_1 = 0,75$ (ind.) und $\cos \varphi_2 = 0,88$ (ind.) die Wirkleistungen $P_1 = 1,4 \text{ kW}$ und $P_2 = 1,1 \text{ kW}$ auf. Durch das Zuschalten eines Kondensators mit der Kapazität C , parallel zu der Spannungsquelle und den beiden Impedanzen, soll eine Blindleistungskompensation vorgenommen werden. Dadurch vergrößert sich der Gesamt-Leistungsfaktor auf $\cos \varphi' = 0,94$ (induktiv).

Hinweis: Es wird nur die Blindleistung kompensiert. Die Wirkleistungsaufnahme der Last ändert sich nicht.



Bestimmen Sie die Kapazität des parallel geschalteten Kondensators C , der erforderlich ist, um den gewünschten Gesamt-Wirkfaktor zu erreichen.

Für die Teilaufgaben WS4 und WS5 ist der folgende kapazitive Spannungsteiler gegeben:



$$\underline{U}_q = 60 \text{ V} \\ f = 1 \text{ kHz}$$

WS4) Die Werte der Kapazitäten C_1 und C_2 sowie des Widerstandes R sind zunächst unbekannt. Zeichnen Sie das qualitative, vollständige Spannungs-Zeigerdiagramm für diese Schaltung. Beachten Sie die im Ersatzschaltbild gegebenen Größen. 2 P.

WS5) Nun sind folgende Werte gegeben: 4 P.

$$C_1 = 5 \text{ nF} \quad C_2 = 45 \text{ nF} \quad R = 10 \text{ k}\Omega$$

Bestimmen Sie den Wert der Spannung \underline{U}_2 nach Betrag und Phase.

Endergebnisse und Kommentare

WS2) • Spannung an der RL -Parallelschaltung:

$$\underline{U}_L = 65,29 \text{ V} \cdot e^{j41,98^\circ}$$

• Phasenverschiebungswinkel:

$$\varphi = 20,50^\circ$$

WS3) • Zwischenergebnisse:

$$Q_1 = 1234,68 \text{ var}$$

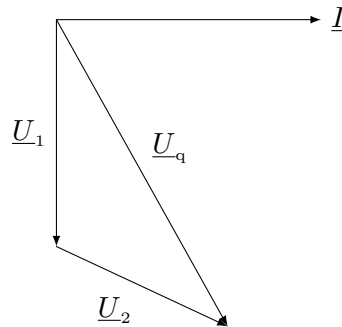
$$Q_2 = 593,72 \text{ var}$$

$$Q_{\text{neu}} = 907,38 \text{ var}$$

• Kapazität:

$$C = 55,42 \mu\text{F}$$

WS4) • qualitatives Zeigerbild:



WS5) • Spannungsteiler:

$$\underline{U}_2 = 5,71 \text{ V} \cdot e^{j17,66^\circ}$$

5. Kurzfragen zu Elektrotechnik 2 (18 Punkte)

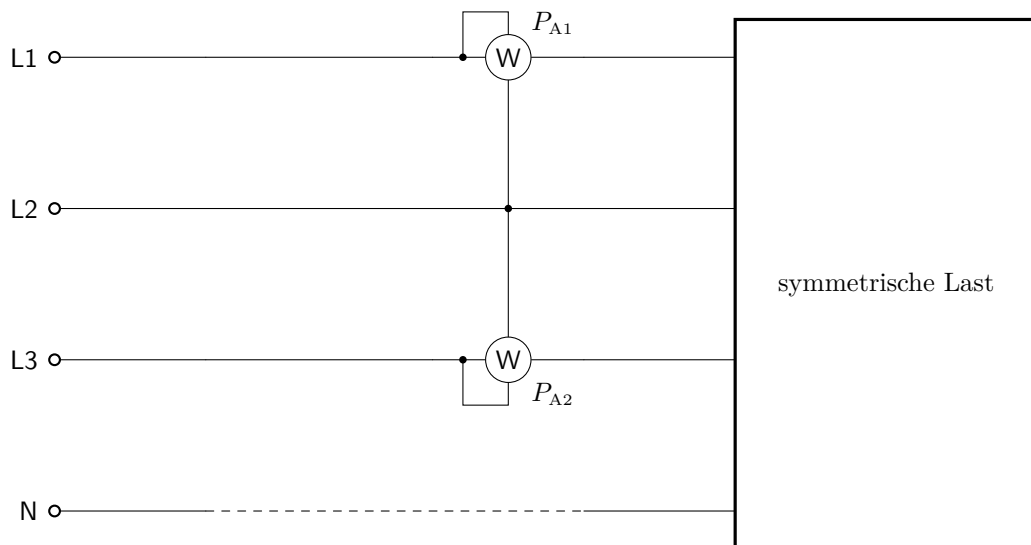
KF1) An einer symmetrischen Drehstromlast soll mittels der Aronschaltung die Blindleistung bestimmt werden. Die Last wird an einem Drehstromnetz mit einer Leiter-Neutralleiter-Spannung von $U_{LN} = 100 \text{ V}$ (50 Hz) betrieben. 5 P.

Die Messgeräte zeigen folgende Werte an:

$$P_{A1} = 375 \text{ W}$$

$$P_{A2} = 1500 \text{ W}$$

- (a) Zeichnen Sie die für die Messung erforderlichen Messgeräte in das gegebene Schaltbild ein. Achten Sie dabei auf eine vollständige Beschriftung, durch die die gegebenen Leistungen den Wattmetern eindeutig zugeordnet werden.

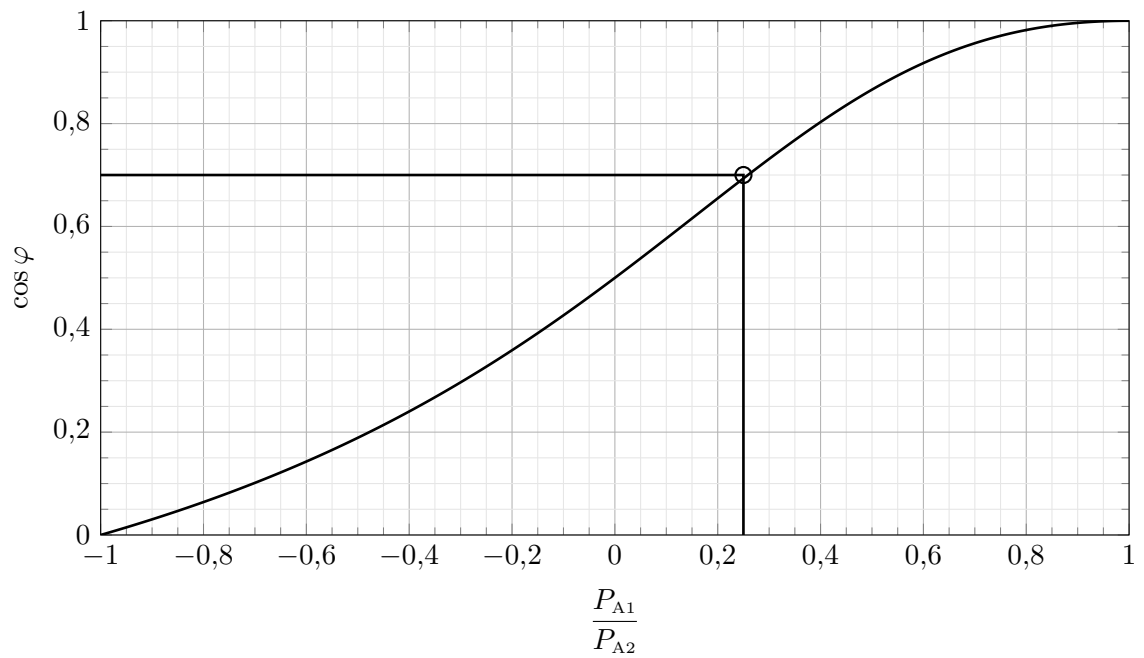


- (b) Berechnen Sie aus den Messwerten der beiden Wattmeter die Blindleistungsaufnahme der symmetrischen Last.

$$Q = 1948,56 \text{ var}$$

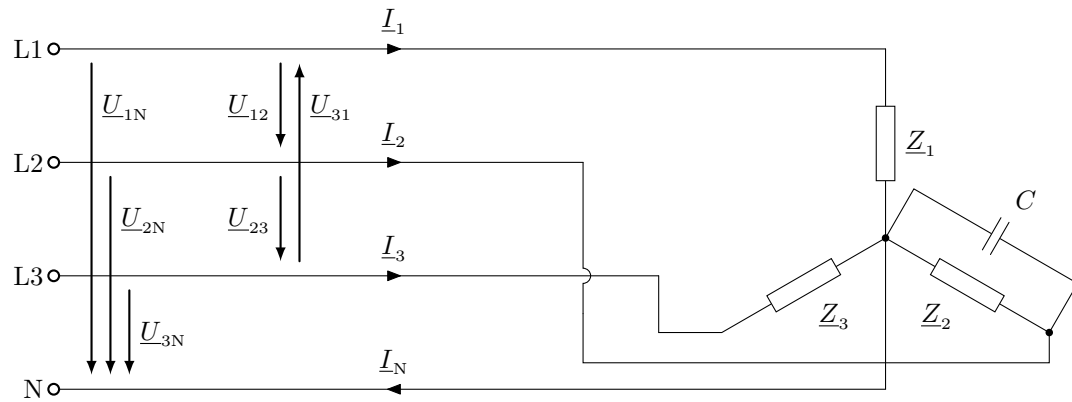
Fortsetzung auf der nächsten Seite!

- (c) Der Wirkfaktor einer symmetrischen Drehstromlast ist als Funktion der Leistungen der beiden Wattmeter definiert.
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.



$$\cos \varphi = 0,7$$

KF2) An einem Drehstromnetz (400 V/230 V, 50 Hz) ist eine unsymmetrische Last in Sternschaltung angeschlossen. 4 P.
angeschlossen.



Folgende Werte sind gegeben:

$$\underline{Z}_1 = 100 \Omega$$

$$\underline{Z}_2 = 125 \Omega \cdot e^{j18,31^\circ}$$

$$\underline{Z}_3 = 150 \Omega$$

Die Blindleistung in Phase 2 soll mit einem parallel geschalteten Bauteil vollständig kompensiert werden. Legen Sie dieses Bauteil aus und zeichnen Sie es in das obige Ersatzschaltbild ein.

- induktiven Blindleistung in Strang 2:

$$-Q_C = Q_L = 132,95 \text{ var}$$

- Kapazität des Kondensators:

$$C_2 = 8 \mu\text{F}$$

KF3) Gegeben ist ein idealer Transformator mit folgenden Daten:

3 P.

$$U_{1N} = 400 \text{ V}$$

$$N_2 = 60 \text{ Wdg.}$$

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

An einem ohmschen Lastwiderstand $R_L = 20 \Omega$ auf der Sekundärseite soll im Nennbetrieb eine Leistung $P_L = 80 \text{ W}$ umgesetzt werden. Bestimmen Sie das Übersetzungsverhältnis sowie die notwendige Windungszahl auf der Primärseite N_1 .

$$\ddot{u} = 10$$

$$N_1 = 600 \text{ Wdg.}$$

KF4) Nennen Sie die „5 Sicherheitsregeln“ nach DIN VDE 0105-100:

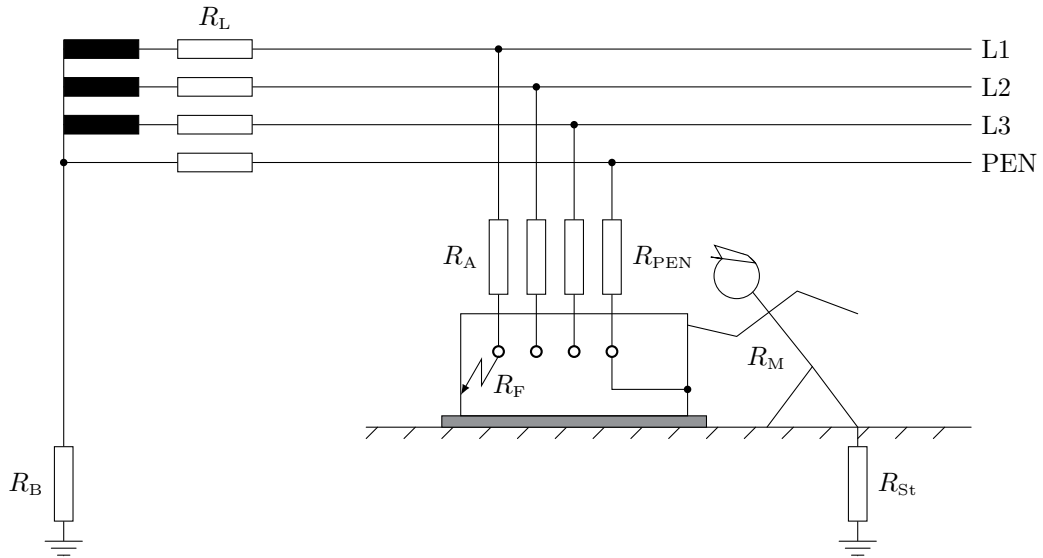
3 P.

- (1) Freischalten
- (2) gegen Wiedereinschalten sichern
- (3) Spannungsfreiheit feststellen
- (4) Erden und kurzschließen
- (5) benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschränken

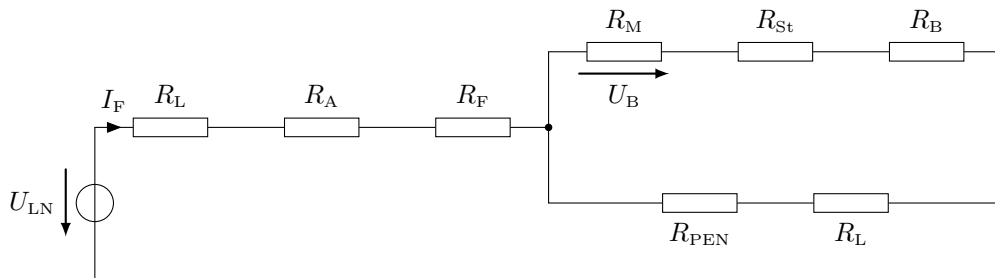
Welche Besonderheit gilt bei Niederspannungsanlagen mit einer Nennspannung unter 1000 V (Wechselspannung) oder 1500 V (Gleichspannung)?

- Die Regel (4) und (5) dürfen vernachlässigt werden.

KF5) Gegeben ist eine Maschine, welche auf einem isolierten Untergrund steht und an ein Drehstromnetz mit geerdetem Erzeuger angeschlossen ist. Ein Mensch (Widerstand R_m) steht auf leitendem Untergrund (Widerstand R_{St}) und berührt das Gehäuse im Fehlerfall. 3 P.



(a) Zeichnen Sie das vollständige einphasige Ersatzschaltbild inklusive aller Widerstände für den vorliegenden Fehlerfall. Tragen Sie auch den Fehlerstrom I_F und die Berührspannung U_B ein.



(b) Nennen Sie die vorliegende Netzform.

TN-C-Netz

(c) Kann in der Zuleitung zur Maschine eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) verbaut werden? Begründen Sie Ihre Antwort!

Nein. In TN-C-Systemen ist die Benutzung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen grundsätzlich untersagt, da der PEN-Leiter auch im fehlerfreien Zustand einen Strom führen kann.

6. Drehstrom (22 Punkte)

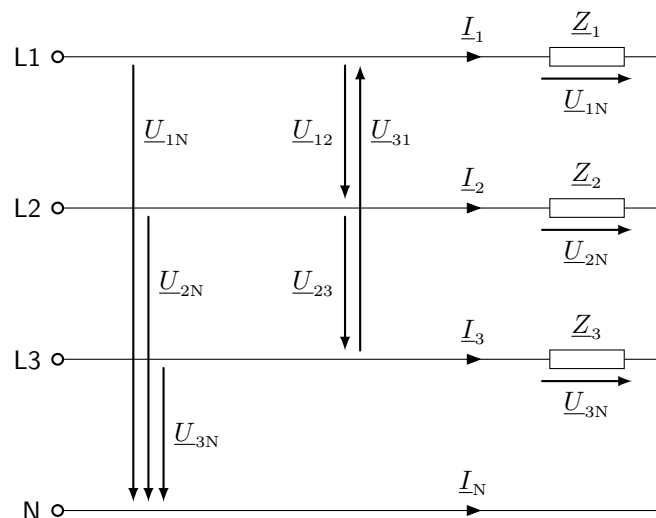
Für ein symmetrisches Drehspannungssystem (Erzeuger sind in Stern geschaltet) gelten folgende Spannungen:

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

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.

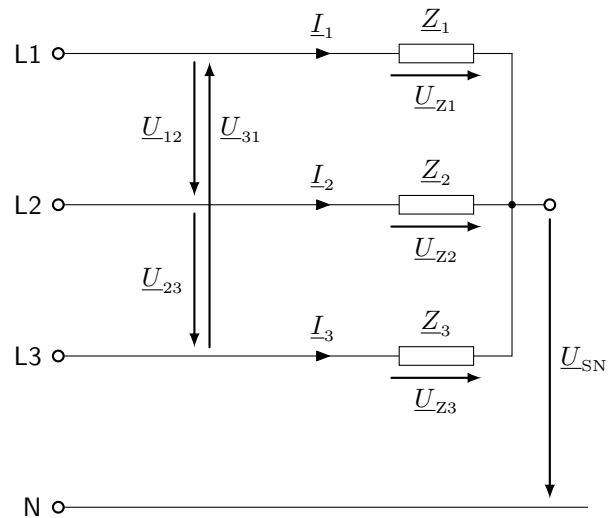
Nun wird eine symmetrische, ohmsch-induktive Last (RL-Reihenschaltung) untersucht. Hierzu werden in jeden Strang Impedanzen mit folgenden Bauteilwerten verbaut.

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

DS4) Berechnen Sie die Strangimpedanz sowie die gesamte Wirk-, Blind- und Scheinleistung, die an der Gesamtlast 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!):

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

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:

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

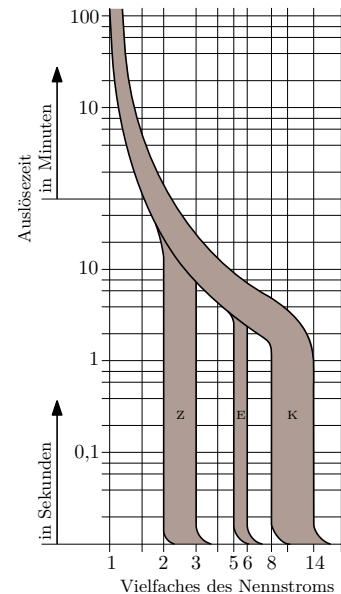
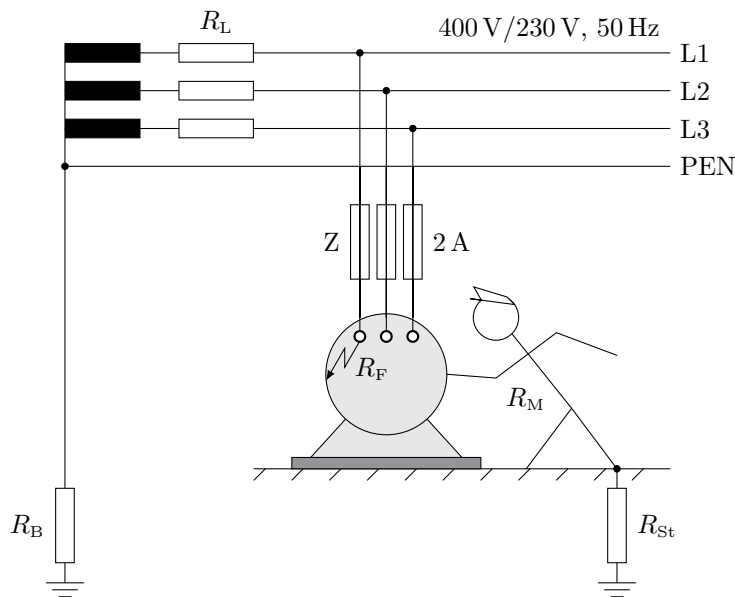
$$\underline{Z}_3 = 36,73 \Omega \cdot e^{-j0,22^\circ}$$

7. Schutzmaßnahmen (22 Punkte)

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.

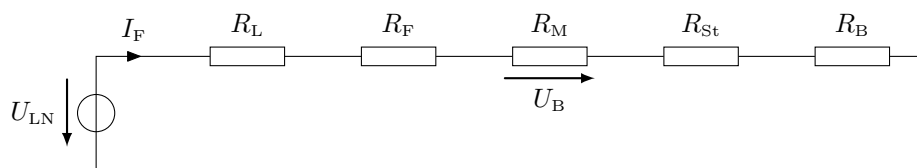
Gegeben ist eine Maschine, welche auf einem isolierten Untergrund steht und an ein Drehstromnetz mit geerdetem Erzeuger angeschlossen ist. Ein Mensch (Widerstand R_M) steht auf leitendem Untergrund (Widerstand R_{St}) und berührt das Gehäuse im Fehlerfall. Der Nennstrom der Sicherungen (Z-Charakteristik) beträgt 2 A. Der Neutral- und Schutzleiter sind als PEN-Leiter ausgeführt.

Hinweis: Es wird immer empfohlen ein Ersatzschaltbild zugrunde zu legen, auch wenn die Aufgabenstellung dies nicht explizit fordert.



$$R_L = 2 \Omega \quad R_F = 5 \Omega \quad R_M = 3000 \Omega \quad R_{St} = 2000 \Omega \quad R_B = 1 \Omega$$

SM2) Für den dargestellten Fehlerfall ergibt sich folgendes Ersatzschaltbild: 6 P.



Tragen Sie in das Ersatzschaltbild den Fehlerstrom I_F und die Berührungsspannung U_B ein. Berechnen Sie außerdem den Gesamtwiderstand R_{ges} , den Fehlerstrom I_F sowie die Berührungsspannung U_B und bewerten Sie, ob der Mensch gefährdet ist. Löst die Sicherung in der Zuleitung der Maschine aus (beachten Sie die gegebenen Auslösekennlinien)? Begründen Sie Ihre Aussagen!

SM3) Als Schutzmaßnahme soll das Gehäuse der Maschine an den Schutzleiter über einen Widerstand $R_{PE} = 3 \Omega$ angeschlossen werden. Berechnen Sie den Gesamtwiderstand R_{ges} , den Fehlerstrom I_F sowie die Berührungsspannung U_B und bewerten Sie, ob der Mensch gefährdet ist. Begründen Sie Ihre Aussage. 6 P.

SM4) Um die Gefährdung des Menschen zu verhindern, soll das Gehäuse der Maschine ausschließlich über einen Erdungswiderstand R_E direkt geerdet werden. Wie groß darf der Erdungswiderstand maximal sein, damit die Sicherung (Z-Charakteristik) im Fehlerfall unverzüglich (elektromagnetisch) auslöst? Berechnen Sie hierzu zunächst den zulässigen Fehlerstrom I_F . Ist der Mensch gefährdet, wenn die Sicherung aufgrund eines Defekts doch nicht auslöst? Begründen Sie Ihre Antwort. 6 P.

Endergebnisse und Kommentare

SM2) • Gesamtwiderstand, Fehlerstrom und Berührspannung:

$$R_{\text{ges}} = 5008 \Omega$$

$$I_{\text{F}} = 45,93 \text{ mA}$$

$$U_{\text{B}} = 137,78 \text{ V}$$

- der Mensch ist gefährdet, da $U_{\text{B}} = 137,78 \text{ V} > 50 \text{ V}$
- die Sicherung löst nicht aus, da $I_{\text{F}} = 45,93 \text{ mA} < I_{\text{N}} = 2 \text{ A}$

SM3) • Gesamtwiderstand, Fehlerstrom, Strom durch den Menschen und Berührspannung:

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

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

$$I_{\text{M}} = 13,8 \text{ mA}$$

$$U_{\text{B}} = 41,4 \text{ V}$$

- der Mensch ist nicht gefährdet, da $U_{\text{B}} = 41,4 \text{ V} < 50 \text{ V}$

SM4) • Bedingung: $I_{\text{F}} \geq 6 \text{ A}$

- Erdungswiderstand:

$$R_{\text{E}} \leq 30,52 \Omega$$

- der Mensch ist bei defekter Sicherung gefährdet, da $I_{\text{M}} = 36,4 \text{ mA} > 17 \text{ mA}$

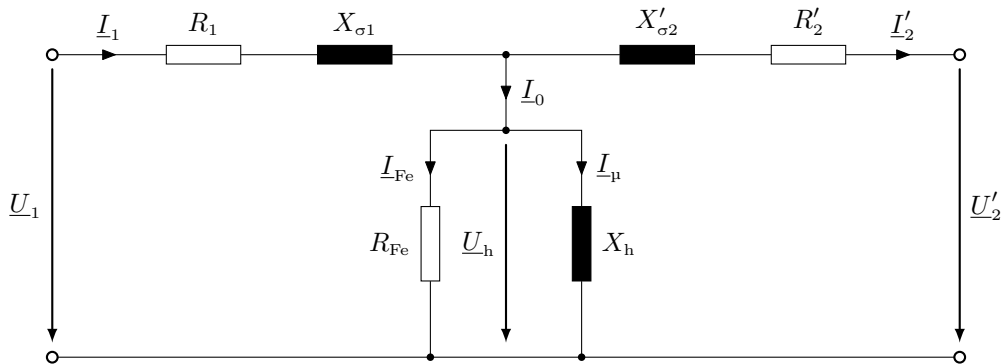
8. Transformator (22 Punkte)

Der Triebkopf eines Intercity-Express (ICE 401) besitzt zur Umspannung der Fahrdrachtspannung von der Oberleitung auf den Antrieb einen einphasigen Wechselstromtransformator mit folgenden Daten:

$$S_N = 5220 \text{ kVA} \qquad N_1 = 1250 \qquad f_N = 16,7 \text{ Hz}$$

$$U_{1N} = 15 \text{ kV} \qquad N_2 = 100$$

Hinweis: Beachten Sie die Nennfrequenz des Transformators! Für den Transformator wird das vollständige Ersatzschaltbild zugrunde gelegt:



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) Berechnen Sie unter der Annahme des idealen Transformators die Nennspannung der Sekundärseite U_{2N} , sowie den primären und sekundären Nennstrom I_{1N} und I_{2N} . 3 P.

Bei der Durchführung des Leerlaufversuchs werden auf der Primärseite folgende Werte gemessen:

$$I_1 = 14 \text{ A} \qquad P_0 = 45,4 \text{ kW}$$

TR3) Zeichnen Sie das für diesen Versuch gültige (qualitative) Zeigerdiagramm. 2 P.

TR4) Berechnen Sie den Eisenverlustwiderstand R_{Fe} und die Hauptfeldreaktanz X_h . 4 P.

Bei der Durchführung des Kurzschlussversuchs werden folgende Daten ermittelt:

$$I_1 = 348 \text{ A} \qquad P_K = 272,4 \text{ kW} \qquad \cos \varphi_K = 0,6$$

TR5) Berechnen Sie den Wicklungswiderstand R_2 und die Streureaktanz $X_{\sigma 2}$ der Sekundärseite des Transformators. 7 P.

TR6) Berechnen Sie die relative Kurzschlussspannung u_K des Transformators. 2 P.

Endergebnisse und Kommentare

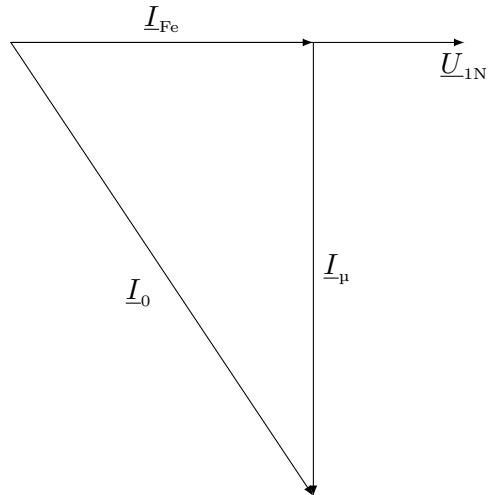
TR2) Nenngrößen des Transformators:

$$U_{2N} = 1200 \text{ V}$$

$$I_{1N} = 348 \text{ A}$$

$$I_{2N} = 4350 \text{ A}$$

TR3) • Zeigerdiagramm zum Leerlaufversuch:



TR4) • Eisenverlustwiderstand und Hauptfeldreaktanz:

$$R_{Fe} = 4955,95 \Omega$$

$$X_h = 1097,29 \Omega$$

TR5) • Wicklungswiderstand R_2 und Streureaktanz $X_{\sigma 2}$:

$$R_2 = 7,2 \text{ m}\Omega$$

$$X_{\sigma 2} = 9,6 \text{ m}\Omega$$

TR6) • relative Kurzschlussspannung:

$$u_{K} = 8,7 \%$$