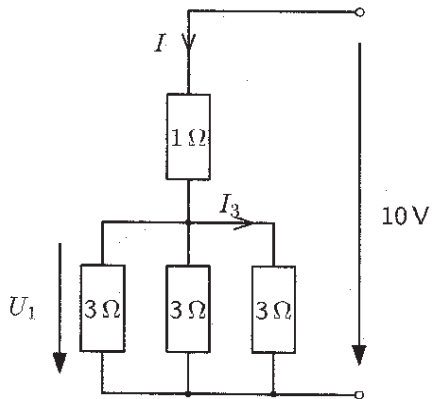


1. Kurzfragen zu Elektrotechnik 1 (15 Punkte)

KF1) Gegeben ist die folgende Schaltung. Bestimmen Sie die daneben stehenden Werte!

4P



$$R_{\text{ges}} = 2\Omega$$

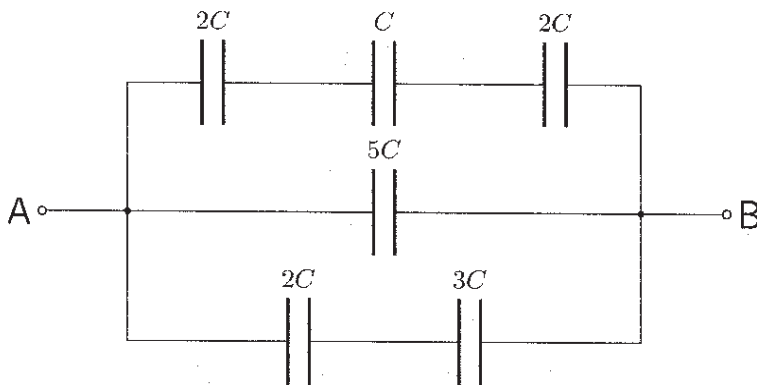
$$I = 5A$$

$$I_3 = \frac{5}{3}A$$

$$U_1 = 5V$$

KF2) Bestimmen Sie die Gesamtkapazität zwischen den Klemmen A und B!

2P



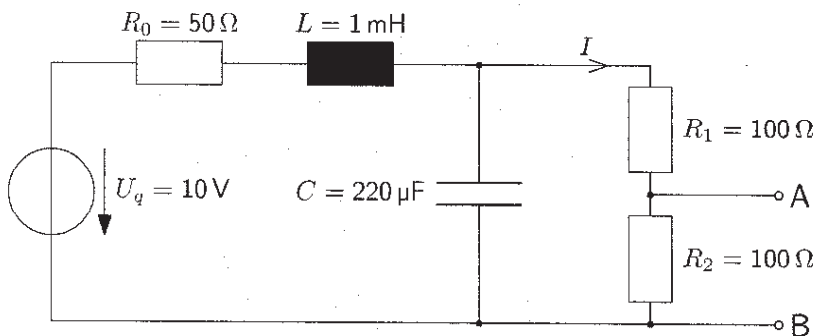
$$C_1 = \frac{1}{2}C$$

$$C_2 = 5C$$

$$C_3 = 1,2C$$

$$C_{\text{ges}} = C_1 + C_2 + C_3 = 6,7C$$

KF3) An folgendem Netzwerk liegt die Gleichspannung $U_q = 10V$ an. Bestimmen Sie den Strom I , der sich eingestellt hat, wenn sämtliche Ausgleichsvorgänge abgeschlossen sind!

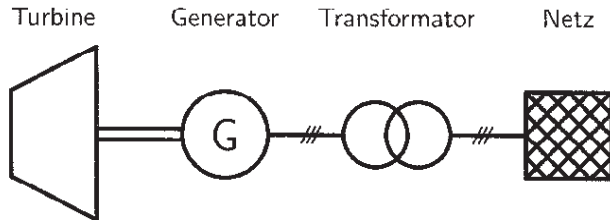


$$R_{\text{ges}} = R_0 + R_1 + R_2 = 50\Omega + 100\Omega + 100\Omega = 250\Omega$$

$$I = \frac{U_q}{R_{\text{ges}}} = \frac{10V}{250\Omega} = 40mA$$

KF4) In einem Wasserkraftwerk wird die mechanische Leistung der Turbine von einem Generator 2 P in elektrische Leistung gewandelt und über einen Transformator in das elektrische Versorgungsnetz eingespeist.

Welche Energiemenge speist das Wasserkraftwerk über einen Tag in das Netz ein, wenn die Turbine im Dauerbetrieb eine konstante Leistung von $P = 15 \text{ MW}$ abgibt und die Wirkungsgrade von Generator und Transformator $\eta_G = 87,5\%$ und $\eta_T = 95,2\%$ betragen?

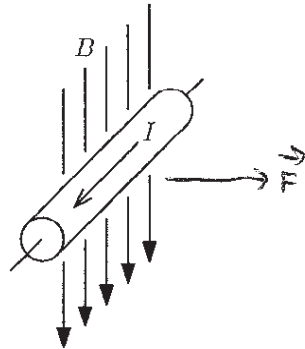


$$P_N = \eta_T \cdot \eta_G \cdot P = 0,952 \cdot 0,875 \cdot 15 \text{ MW} = 12495 \text{ kW}$$

$$W = t \cdot P = 24 \text{ h} \cdot 12495 \text{ kW} = 299880 \text{ kWh}$$

KF5) Ein mit dem Gleichstrom $I = 50 \text{ A}$ durchflossener Leiter der Länge $l = 30 \text{ cm}$ befindet sich in 1 P einem homogenen Magnetfeld mit der Flussdichte $B = 1,2 \text{ T}$.

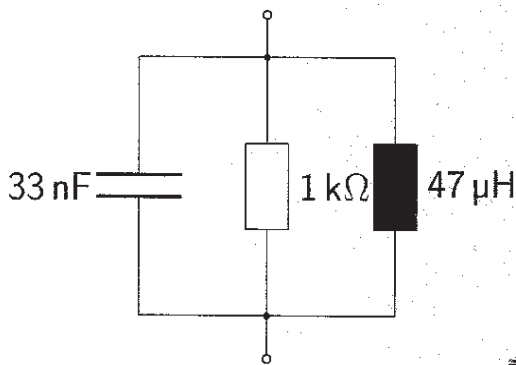
Wie groß ist die Kraft F , die auf den Leiter wirkt? Zeichnen Sie die Kraft ein!



$$\vec{F} = I (\vec{l} \times \vec{B}) \Rightarrow F = I \cdot l \cdot B$$

$$F = 50 \text{ A} \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ T} = 18 \text{ N}$$

KF6) Wie groß ist die Resonanzfrequenz f_R folgender Schaltung? Wie groß ist die Gesamtimpedanz Z bei Resonanz? 2 P.



$$Y = \frac{1}{1k\Omega} + \frac{1}{j\omega 47\mu H} + \frac{1}{-j\omega 33nF}$$

$$= \frac{1}{1k\Omega} - j\frac{1}{\omega 47\mu H} + j\omega 33nF$$

Resonanz bedingung: $\text{Im}\{Y\} = 0$

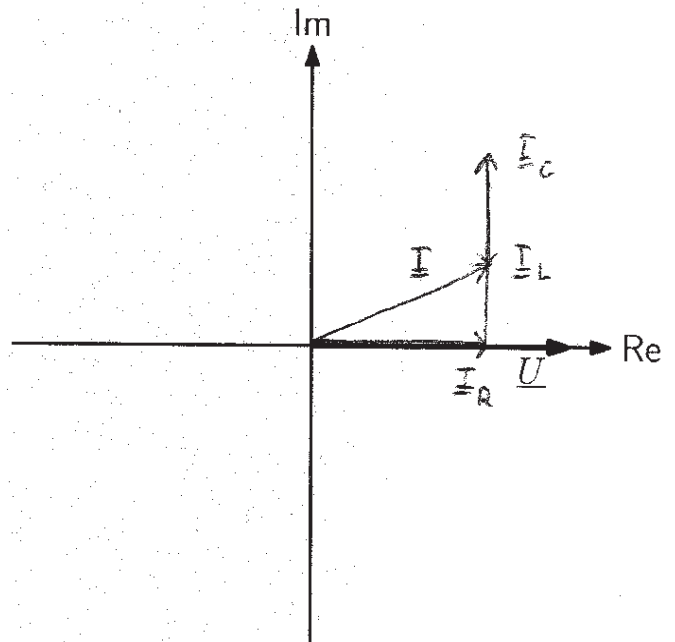
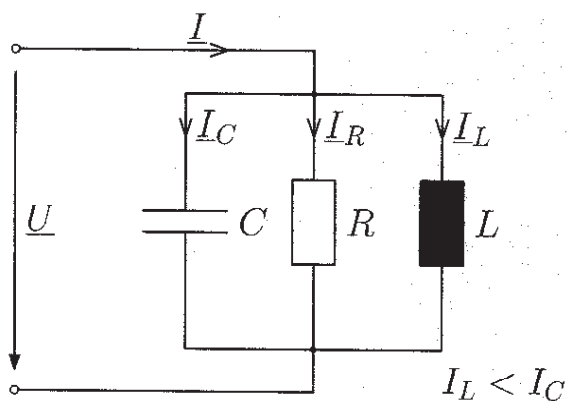
$$\Rightarrow \frac{1}{\omega_R \cdot 47\mu H} + \omega_R \cdot 33nF = 0$$

$\Rightarrow Z_R = 1k\Omega$

$$\Rightarrow \omega_R = \frac{1}{\sqrt{47\mu H \cdot 33nF}} = 802960 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

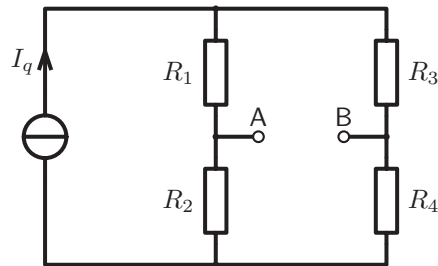
$$\Rightarrow f_R = \frac{\omega_R}{2\pi} = 127795 \text{ Hz}$$

KF7) Zeichnen Sie sämtliche Ströme aus der abgebildeten Schaltung qualitativ in das vorgegebene 2P Zeigerdiagramm ein! Beachten Sie, dass $I_L < I_C$ sein soll!



2. Gleichstrom (15 Punkte)

Gegeben ist folgende Brückenschaltung, zu der Sie die Ersatzspannungsquelle bezüglich der Klemmen A und B bilden sollen:

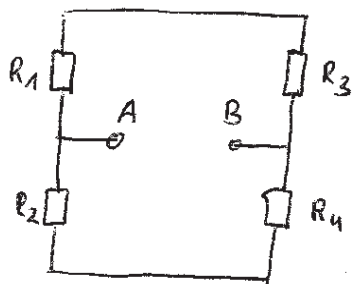


$$I_q = 10 \text{ mA}, R_1 = 1000 \Omega, R_2 = 2000 \Omega, R_3 = 4000 \Omega, R_4 = 3000 \Omega$$

Aufgaben:

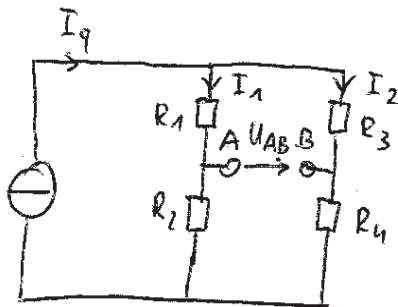
- GS1) Bestimmen Sie den Innenwiderstand R_i der Ersatzspannungsquelle! 2 P
- GS2) Bestimmen Sie die ideale Quellenspannung U_q ! 6 P
- GS3) Bestimmen Sie den Kurzschlussstrom I_k ! 1 P
- GS4) Skizzieren Sie die Ersatzspannungsquelle und benennen Sie die charakteristischen Elemente! 1 P
- GS5) Zeichnen Sie die Kennlinie der Ersatzspannungsquelle! Beschriften Sie die Achsen und tragen Sie die charakteristischen Größen ein!
(Empfohlener Maßstab: $1 \text{ V} \hat{=} 1 \text{ cm}$, $0,2 \text{ mA} \hat{=} 1 \text{ cm}$) 2 P
- GS6) An die Klemmen der Ersatzspannungsquelle wird nun ein Widerstand $R_L = 2,5 \text{ k}\Omega$ angeschlossen. Bestimmen Sie grafisch den Arbeitspunkt, der sich in diesem Fall einstellt! Zeichnen Sie dazu die Widerstandskennlinie in die Zeichnung aus der vorherigen Teilaufgabe ein! Geben Sie zusätzlich die Spannung U_{AP} und den Strom I_{AP} für den Arbeitspunkt an! 2 P
- GS7) Ist die ursprüngliche Brückenschaltung abgeglichen? Begründen Sie Ihre Antwort! 1 P

GS1)



$$\begin{aligned} \Rightarrow R_i &= (R_1 + R_3) \parallel (R_2 + R_4) \\ &= (1000\Omega + 4000\Omega) \parallel (2000\Omega + 3000\Omega) \\ &= \frac{5000\Omega \cdot 5000\Omega}{10000\Omega} = 2500\Omega \end{aligned}$$

GS2)



$$U_q = U_{AB} = U_{R2} - U_{R4} = I_1 \cdot R_2 - I_2 \cdot R_4$$

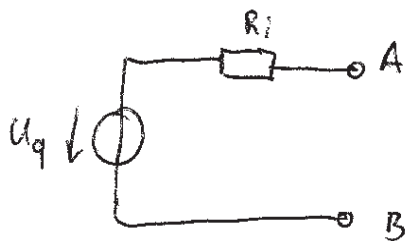
$$\begin{aligned} I_1 &= I_q \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = 10\text{mA} \cdot \frac{7000\Omega}{10000\Omega} \\ &= 7\text{mA} \end{aligned}$$

$$I_2 = I_q - I_1 = 10\text{mA} - 7\text{mA} = 3\text{mA}$$

$$\Rightarrow U_q = 7\text{mA} \cdot 2000\Omega - 3\text{mA} \cdot 3000\Omega = 5\text{V}$$

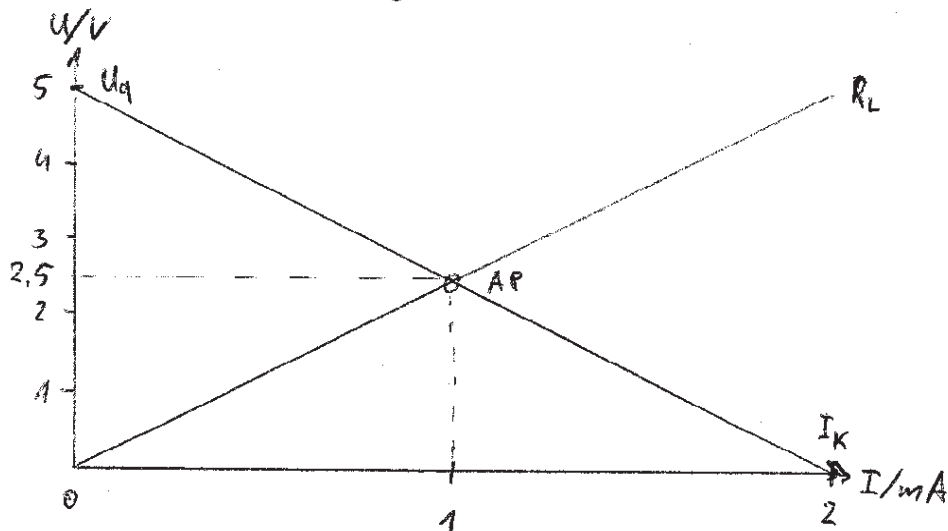
$$GS3) I_K = \frac{U_q}{R_i} = \frac{5\text{V}}{2500\Omega} = 2\text{mA}$$

GS4)



GS5)

GS6)



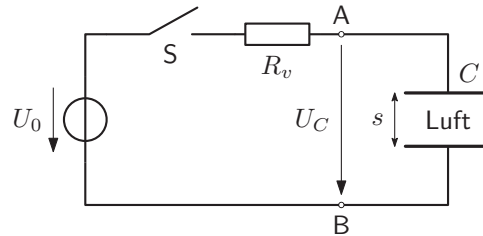
$$U_{AP} = 2,5\text{V}$$

$$I_{AP} = 1\text{mA}$$

GS7) Nein, die Brücke ist nicht abgeglichen, da $\frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{2} \neq \frac{4}{3} = \frac{R_3}{R_4}$.

3. Elektrisches Feld (15 Punkte)

Gegeben ist folgende Schaltung mit einem Plattenkondensator. Die Kondensatorplatten sind rund ausgeführt und haben einen Durchmesser von $d = 100 \text{ mm}$. Der Plattenabstand beträgt $s = 1 \text{ mm}$. Außerdem sind die Größen $U_0 = 10 \text{ V}$ und $R_v = 1 \text{ k}\Omega$ bekannt.

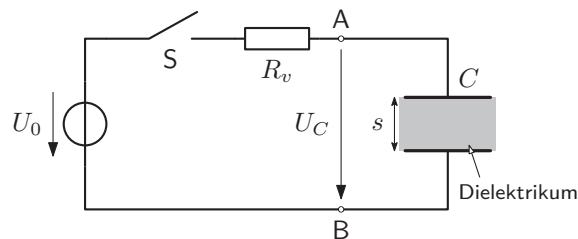


Aufgaben:

EF1) Berechnen Sie die Kapazität C des Kondensators!

2 P

Für die weitere Untersuchung wird nun der Schalter S geschlossen und damit der Plattenkondensator durch die Gleichspannungsquelle U_0 aufgeladen. Nach dem vollständigen Aufladen des Kondensators wird der Schalter wieder geöffnet. Bei geöffnetem Schalter wird anschließend, wie unten dargestellt, ein festes Dielektrikum mit der relativen Permittivität $\epsilon_{r,\text{Dielektrikum}} = 3,33$ vollständig zwischen die Kondensatorplatten geschoben.



EF2) Berechnen Sie die Spannung U_C zwischen den Klemmen A und B nach dem Einschieben des Dielektrikums! (Wenn Sie in EF1 die Kapazität nicht bestimmen konnten rechnen Sie mit $C = 69,5 \text{ pF}$ weiter.) 5 P

EF3) Berechnen Sie die Energieinhalte im Kondensator vor und nach dem Einschieben des Dielektrikums! (Wenn Sie in EF2 die Spannung nicht bestimmen konnten rechnen Sie mit $U_C = 3 \text{ V}$ weiter.) 4 P

Nachdem das Dielektrikum zwischen die Platten geschoben wurde, wird der Schalter S wieder geschlossen.

EF4) Welche Ladungsmenge ist zusätzlich auf die Kondensatorplatten geflossen, nachdem der Schalter S wieder geschlossen wurde und sämtliche Ausgleichsvorgänge abgeschlossen sind? 4 P

EF1)

$$D = \epsilon \cdot E$$

$$Q = D \cdot A = \epsilon \cdot E \cdot A$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$U = E \cdot s$$

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon \cdot E \cdot A}{E \cdot s} = \frac{\epsilon \cdot A}{s} = \frac{\epsilon_0 \cdot \frac{\pi}{4} d^2}{s}$$

$$= \frac{8,854 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0,1m)^2}{1 \cdot 10^{-3}m} = 69,5pF$$

EF2)

$$C_{neu} = \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{\pi}{4} d^2}{s} = \epsilon_r \cdot C = 3,33 \cdot 69,5pF = 231pF$$

$$Q = C \cdot U = 69,5pF \cdot 10V = 695pC$$

$$C_{neu} = \frac{Q}{U_{neu}} \Rightarrow U_{neu} = \frac{Q}{C_{neu}} = \frac{695pC}{231pF} = 3V$$

EF3)

$$W = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} Q \cdot U = \frac{1}{2} \cdot 695pC \cdot 10V = 3,48nJ$$

$$W_{neu} = \frac{1}{2} Q \cdot U_{neu} = \frac{1}{2} \cdot 695pC \cdot 3V = 1,04nJ$$

EF4)

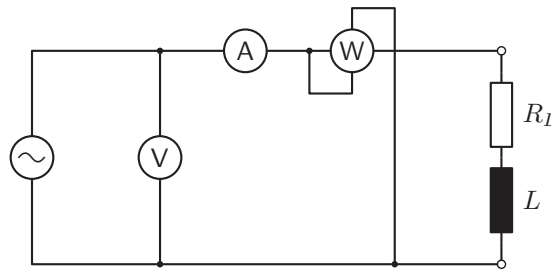
$$Q_{neu} = C_{neu} \cdot U = 231pF \cdot 10V = 2,31nC$$

$$\Delta Q = Q_{neu} - Q = 2,31nC - 695pC = 1,615nC$$

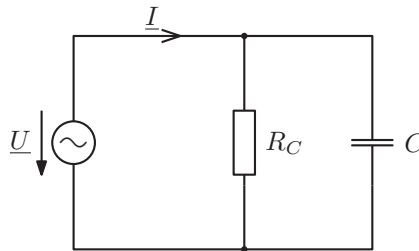
4. Wechselstrom (15 Punkte)

Aufgaben:

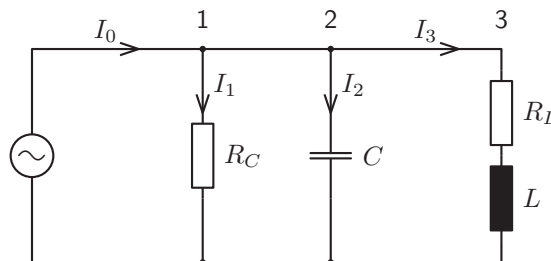
- WS1) Eine Spule wird aufgrund ihres Wicklungswiderstandes im Ersatzschaltbild oft als Reihenschaltung aus idealer Induktivität und ohmschem Widerstand dargestellt. Berechnen Sie anhand der unten abgebildeten Messschaltung und der Messwerte $f = 50 \text{ Hz}$, $U = 100 \text{ V}$, $I = 1 \text{ A}$ und $P = 10 \text{ W}$ den Induktivitätswert L und den Wicklungswiderstand R_L der verwendeten Spule! 5 P



- WS2) Ein Kondensator wird aufgrund seines Isolationswiderstandes im Ersatzschaltbild oft als Parallelschaltung aus idealer Kapazität und ohmschem Widerstand dargestellt. Berechnen Sie anhand der unten abgebildeten Schaltung und der bekannten Größen $f = 10 \text{ kHz}$, $\underline{U} = (10 + j5) \text{ V}$ und $\underline{I} = (1 + j2) \text{ A}$ den Kapazitätswert C und den Isolationswiderstand R_C des verwendeten Kondensators! (Tipp: Rechnen Sie über den Leitwert.) 5 P



- WS3) Aus einer Spule und einem Kondensator wurde nun der unten abgebildete Parallelschwingkreis aufgebaut. Bestimmen Sie allgemein den komplexen Leitwert $\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}}$ eines solchen Schwingkreises nach Real- und Imaginärteil! Bestimmen Sie dazu zunächst die Leitwerte der Stränge 1 bis 3! 5 P



$$\text{WS1)} \quad P = I^2 \cdot R_L \Rightarrow R_L = \frac{P}{I^2} = \frac{10 \text{ W}}{(1 \text{ A})^2} = 10 \Omega$$

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{100 \text{ V}}{1 \text{ A}} = 100 \Omega$$

$$Z^2 = R_L^2 + X_L^2 \Rightarrow X_L = \sqrt{Z^2 - R_L^2} = \sqrt{(100 \Omega)^2 - (10 \Omega)^2} = 99,5 \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{99,5 \Omega}{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz}} = 317 \text{ mH}$$

$$\text{WS2)} \quad \underline{Y} = \frac{\underline{I}}{\underline{U}} = \frac{1 \text{ A} + j 2 \text{ A}}{10 \text{ V} + j 5 \text{ V}} = (0,16 + j 0,12) \frac{1}{\Omega}$$

$$Y = \underline{Y}_R + \underline{Y}_C = \frac{1}{R_C} + \frac{1}{-j \omega C} = \frac{1}{R_C} + j \omega C$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_C} = 0,16 \frac{1}{\Omega} \Rightarrow R_C = 6,25 \Omega$$

$$\Rightarrow \omega C = 0,12 \frac{1}{\Omega} \Rightarrow C = \frac{0,12 \frac{1}{\Omega}}{2 \cdot \pi \cdot 10 \text{ kHz}} = 1,9 \mu\text{F}$$

$$\text{WS3)} \quad \underline{Y}_1 = \frac{1}{R_C}$$

$$\underline{Y}_2 = \frac{1}{-j \omega C} = j \omega C$$

$$\underline{Y}_3 = \frac{1}{R_L + j \omega L} = \frac{R_L - j \omega L}{R_L^2 + (\omega L)^2}$$

$$\underline{Y} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 = \frac{1}{R_C} + j \omega C + \frac{R_L - j \omega L}{R_L^2 + (\omega L)^2}$$

$$= \left(\frac{1}{R_C} + \frac{R_L}{R_L^2 + (\omega L)^2} \right) + j \left(\omega C - \frac{\omega L}{R_L^2 + (\omega L)^2} \right)$$

5. Kurzfragen zu Elektrotechnik 2 (15 Punkte)

KF1) Nennen Sie je zwei Isolatoren, Halbleiter und Leiter (Materialien)!

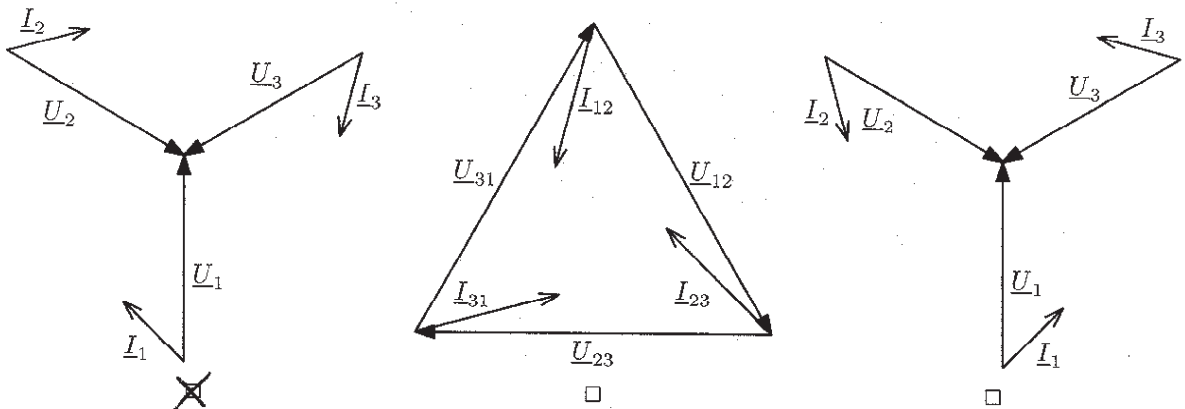
3 P

Isolatoren: Glas, Keramik, ...

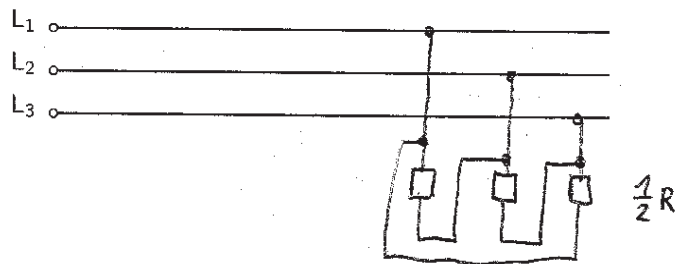
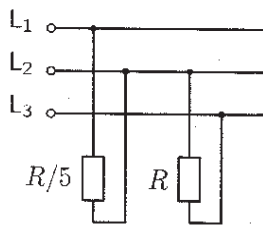
Halbleiter: Silizium, Germanium, ...

Leiter: Kupfer, Aluminium, ...

KF2) Welches ist das richtige Zeigerbild der Strangspannungen und Strangströme für eine symmetrische, ohmsch-kapazitive Last in Sternschaltung mit einem R/X -Verhältnis von -1 ? 1 P



KF3) An ein symmetrisches Drehstromsystem ($U_{12} = U_{23} = U_{31}$) ist eine unsymmetrische Last angeschlossen. Zeichnen Sie eine leistungsgleiche symmetrische Schaltung! 3 P



$$P_1 = \frac{U_{12}^2}{R} = \frac{5 \cdot U^2}{R}$$

$$P_2 = \frac{U_{23}^2}{R} = \frac{U^2}{R}$$

$$P = P_1 + P_2 = \frac{5U^2}{R} + \frac{U^2}{R} = \frac{6U^2}{R}$$

$$P = 3 \cdot \frac{U^2}{R_{\text{neu}}}$$

$$\Rightarrow R_{\text{neu}} = \frac{3U^2}{P} = \frac{3U^2}{\frac{6U^2}{R}} = \frac{1}{2} R$$

KF4) Welche Größen des Transformatorersatzschaltbildes werden mit dem Kurzschlussversuch ermittelt? Welche Größen muss man dazu messen? 2 P

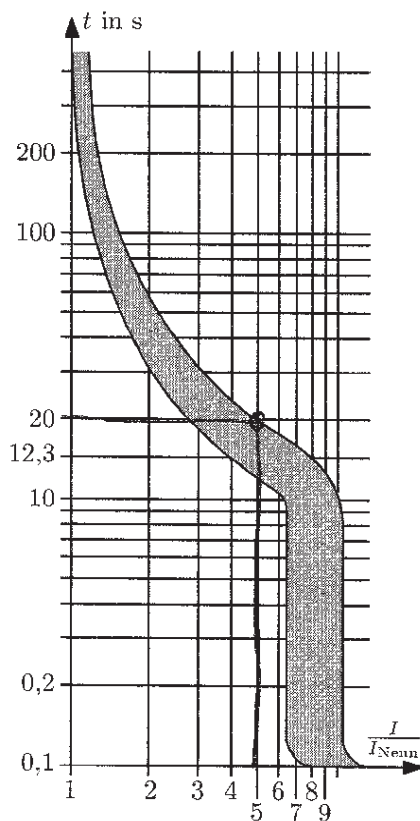
Ermittelte Größen: Wicklungswiderstand ($R_1 + R_2'$ bzw. R_K)
 Streuinduktivität ($X_{12} + X_{22}'$ bzw. X_{K2})

Zu messen: Kurzschlussspannung U_{1K}
 Kurzschlussstrom $I_{1K} = I_{1N}$
 Kurzschlussleistung P_K

KF5) Warum haben Transformatoren statt massiver Eisenkerne solche aus Dynamoblech? 1 P
 Weil dadurch ...

- ... der Kern elastischer wird.
- ... die Hystereseverluste verringert werden.
- ... die Wicklungsverluste kleiner sind.
- ... die Wirbelstromverluste verringert werden.
- ... das Transformatorbrummen unterdrückt wird.

KF6) Dargestellt ist die Kennlinie eines K10-Sicherungsautomaten ($I_N = 10$ A). Der Automat wird von einem Strom der Stärke 50 A durchflossen. Nach welcher Zeit löst der Automat *spätestens* aus? Markieren Sie die Stelle im Diagramm, an der Sie den Wert abgelesen haben! 1 P

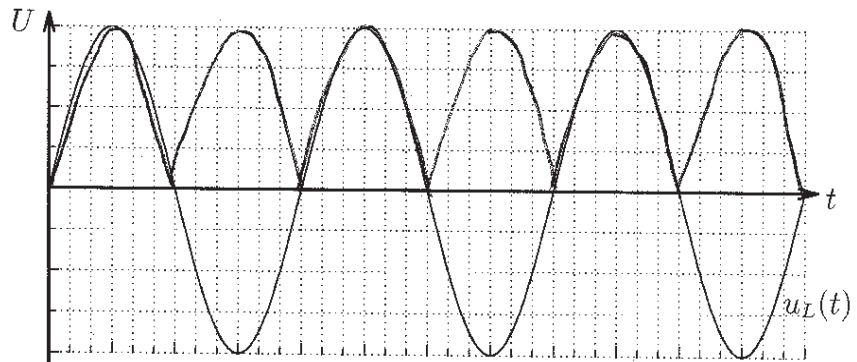
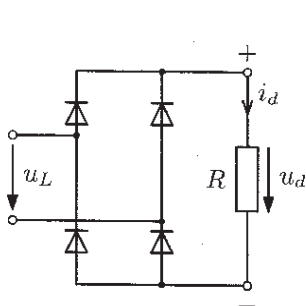


Der Automat löst
 spätestens nach 20s
 aus.

KF7) Nennen Sie die fünf Sicherheitsregeln, die beim Freischalten von elektrischen Anlagen beachtet werden müssen in der *richtigen Reihenfolge*! 3 P

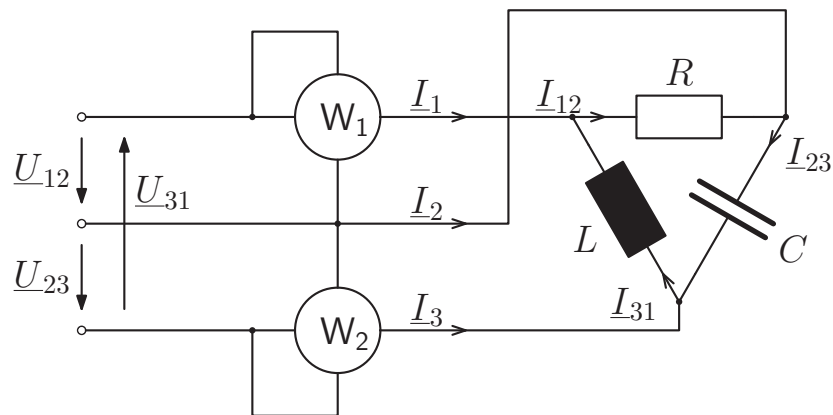
- 1) Freischalten
- 2) Gegen Wiedereinschalten sichern
- 3) Spannungsfreiheit feststellen
- 4) Erden und Kurzschließen
- 5) Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken und abschranken

KF8) Gegeben ist das Schaltbild einer B2-Brückenschaltung mit ohmscher Belastung und der Eingangswchselspannung u_L . Zeichnen Sie den aus dem Verlauf der Eingangswchselspannung resultierenden zeitlichen Spannungsverlauf $u_d(t)$ in das Diagramm ein! 1 P



6. Drehstrom (15 Punkte)

Gegeben ist die folgende Schaltung.



Folgende Werte sind bekannt:

$$\underline{U}_{12} = 230 \text{ V}, \quad \underline{U}_{23} = 230 \text{ V} \cdot e^{-j120^\circ}, \quad \underline{U}_{31} = 230 \text{ V} \cdot e^{j120^\circ}, \quad f = 50,145 \text{ Hz},$$

$$R = 26,56 \Omega, \quad L = 146 \text{ mH}, \quad C = 69 \mu\text{F}$$

Aufgaben:

- DS1) Berechnen Sie die Impedanzen \underline{Z}_R , \underline{Z}_L und \underline{Z}_C nach Betrag und Phase! 1 P
- DS2) Berechnen Sie die Strangströme \underline{I}_{12} , \underline{I}_{23} und \underline{I}_{31} nach Real- und Imaginärteil! 3 P
- DS3) Berechnen Sie die Leiterströme \underline{I}_1 und \underline{I}_3 nach Betrag und Phase! 2 P
- DS4) Ermitteln Sie die an Widerstand, Kondensator und Induktivität jeweils umgesetzten Wirk- und Blindleistungen! 6 P
- DS5) Welche Schaltung bilden die Wattmeter? 1 P
- DS6) Berechnen Sie die Leistungen, die von den Instrumenten einzeln und als Summe angezeigt werden! 2 P

$$DS1) \underline{Z}_R = R = 26,56 \Omega$$

$$\underline{Z}_L = j\omega L = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50,145 \text{ Hz} \cdot 0,146 \text{ H} = j46 \Omega = 46 \Omega \cdot e^{j30^\circ}$$

$$\underline{Z}_C = -j \frac{1}{\omega C} = -j \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50,145 \text{ Hz} \cdot 69 \mu\text{F}} = -j46 \Omega = 46 \Omega \cdot e^{-j30^\circ}$$

$$DS2) \underline{I}_{12} = \frac{U_{12}}{\underline{Z}_R} = \frac{230 \text{ V}}{26,56 \Omega} = 8,66 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{23} = \frac{U_{23}}{\underline{Z}_C} = \frac{230 \text{ V} \cdot e^{-j120^\circ}}{46 \Omega \cdot e^{-j90^\circ}} = 5 \text{ A} \cdot e^{-j30^\circ} = 4,33 \text{ A} - j2,5 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{31} = \frac{U_{31}}{\underline{Z}_L} = \frac{230 \text{ V} \cdot e^{j120^\circ}}{46 \Omega \cdot e^{j90^\circ}} = 5 \text{ A} \cdot e^{j30^\circ} = 4,33 \text{ A} + j2,5 \text{ A}$$

$$DS3) \underline{I}_1 = \underline{I}_{12} - \underline{I}_{31} = 8,66 \text{ A} - 4,33 \text{ A} - j2,5 \text{ A} = 4,33 \text{ A} - j2,5 \text{ A} \\ = 5 \text{ A} \cdot e^{-j30^\circ}$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_{31} - \underline{I}_{23} = 4,33 \text{ A} + j2,5 \text{ A} - 4,33 \text{ A} + j2,5 \text{ A} = j5 \text{ A} \\ = 5 \text{ A} \cdot e^{j90^\circ}$$

$$DS4) P_R = \frac{U_{12}^2}{R} = \frac{(230 \text{ V})^2}{26,56 \Omega} = 1992 \text{ W}$$

$$P_L = 0$$

$$P_C = 0$$

$$Q_R = 0$$

$$Q_L = \frac{U_{31}^2}{X_L} = \frac{(230 \text{ V})^2}{46 \Omega} = 1150 \text{ var}$$

$$Q_C = \frac{U_{23}^2}{X_C} = \frac{(230 \text{ V})^2}{-46 \Omega} = -1150 \text{ var}$$

DS5) Aaronschaltung

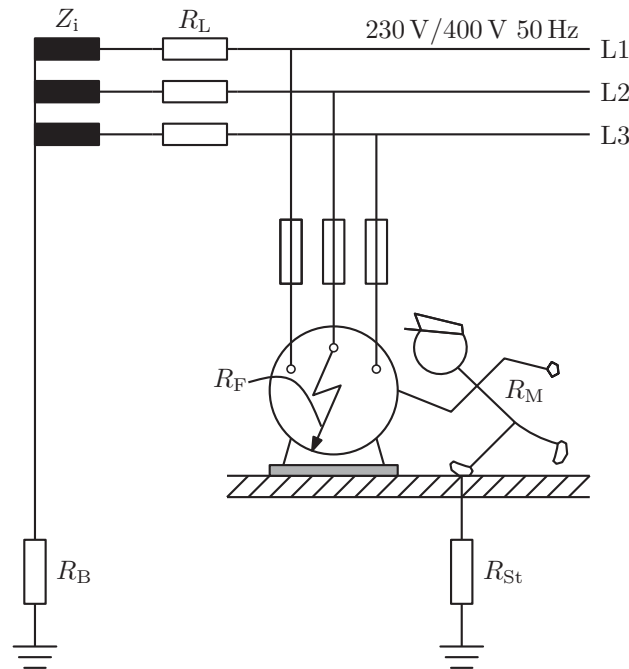
$$DS6) S_1 = U_{12} \cdot \underline{I}_1^* = 230 \text{ V} \cdot 5 \text{ A} \cdot e^{j30^\circ} = 996 \text{ W} + 575 \text{ var}$$

$$S_2 = -U_{23} \cdot \underline{I}_3^* = 230 \text{ V} \cdot e^{j60^\circ} \cdot 5 \text{ A} \cdot e^{-j90^\circ} = 996 \text{ W} - 575 \text{ var}$$

$$\Rightarrow P_1 = 996 \text{ W}, P_2 = 996 \text{ W}, P_{\text{ges}} = P_1 + P_2 = 1992 \text{ W}$$

7. Schutzmaßnahmen (15 Punkte)

In dem dargestellten Drehstromnetz (230 V/400 V, 50 Hz) hat eine Drehstrommaschine einen Gehäuseschluss des Leiters L2. Die Maschine ist nicht eingeschaltet ($R_V \rightarrow \infty$). Die Grundplatte der Drehstrommaschine ist isoliert, der Mensch steht auf leitendem Untergrund.



$$R_F = 60 \Omega, \quad R_M = 3000 \Omega, \quad R_{ST} = 4000 \Omega, \quad R_B = 0,5 \Omega, \quad R_L = 3 \Omega$$

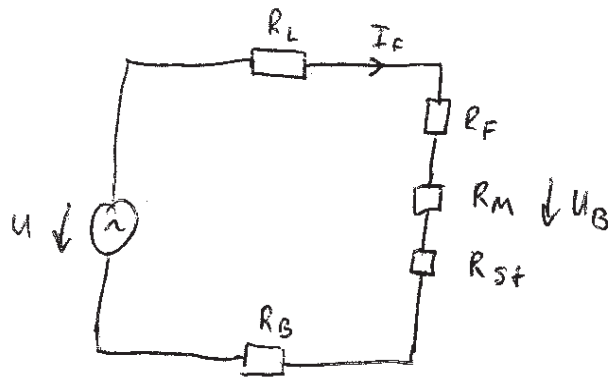
Aufgaben:

- SM1) Zeichnen Sie das einphasige Ersatzschaltbild des Fehlerfalls und tragen Sie den Fehlerstrom I_F sowie die am Menschen abfallende Berührungsspannung U_B ein! 4 P
- SM2) Berechnen Sie den Fehlerstrom I_F ! 2 P
- SM3) Berechnen Sie die Berührungsspannung U_B ! 1 P
- SM4) Ist der Mensch gefährdet? Begründen Sie Ihre Antwort! 1 P

Nun soll derselbe Fehlerfall unter Anwendung der Schutzmaßnahme „Schutzerdung“ betrachtet werden. Dazu soll die Maschine am Standort geerdet werden, wobei der Erdungswiderstand $R_E = 3 \Omega$ betrage.

- SM5) Zeichnen Sie das um den Erdungswiderstand R_E erweiterte einphasige Ersatzschaltbild des Fehlerfalls und tragen Sie wiederum den Fehlerstrom I_F sowie die am Menschen abfallende Berührungsspannung U_B ein! 2 P
- SM6) Berechnen Sie den Fehlerstrom I_F ! 2 P
- SM7) Berechnen Sie die Berührungsspannung U_B ! 2 P
- SM8) Wie sieht es nun mit der Gefährdung des Menschen aus? Begründen Sie Ihre Antwort! 1 P

SM 1)



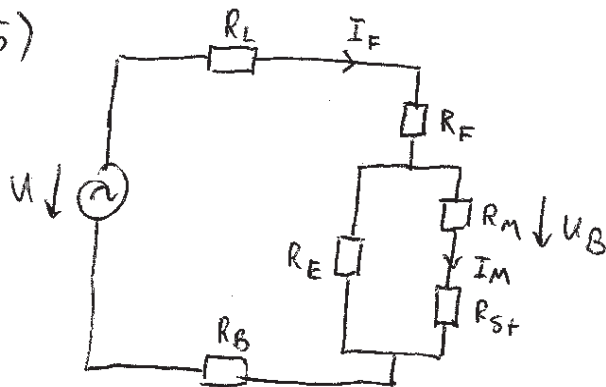
$$SM 2) I_F = \frac{U}{R_{ges}} = \frac{U}{R_L + R_F + R_M + R_{St} + R_B} = \frac{230V}{3\Omega + 60\Omega + 3000\Omega + 4000\Omega + 0,5\Omega}$$

$$= 32,6 \text{ mA}$$

$$SM 3) U_B = I_F \cdot R_M = 32,6 \text{ mA} \cdot 3000\Omega = 97,8 \text{ V}$$

SM 4) Der Mensch ist gefährdet, da $U_B = 97,8 \text{ V} > 50 \text{ V}$!

SM 5)



$$SM 6) R_E \parallel (R_M + R_{St}) = 3\Omega \parallel (3000\Omega + 4000\Omega) = \frac{3\Omega \cdot 7000\Omega}{3\Omega + 7000\Omega} \approx 3\Omega$$

$$R_{ges} = R_L + R_F + \underbrace{R_E \parallel (R_M + R_{St})}_{3\Omega} + R_B$$

$$= 3\Omega + 60\Omega + 3\Omega + 0,5\Omega = 66,5\Omega$$

$$I_F = \frac{U}{R_{ges}} = \frac{230V}{66,5\Omega} = 3,46 \text{ A}$$

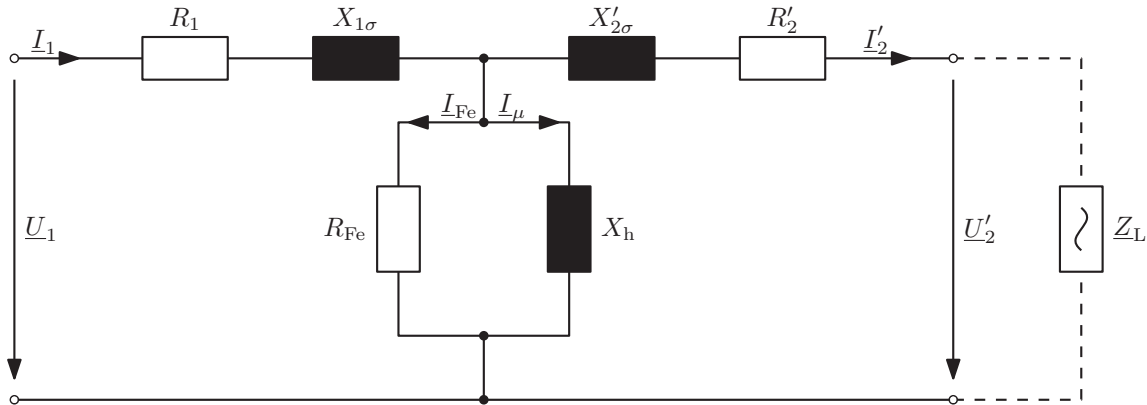
$$SM 7) U_B = R_M \cdot I_M = 3000\Omega \cdot 1,5 \text{ mA} = 4,5 \text{ V}$$

$$I_M = I_F \cdot \frac{R_E}{R_E + R_M + R_{St}} = 3,46 \text{ A} \cdot \frac{3\Omega}{3\Omega + 3000\Omega + 4000\Omega} = 1,5 \text{ mA}$$

SM 8) Der Mensch ist nicht gefährdet, da $U_B = 4,5 \text{ V} < 50 \text{ V}$
bzw. $I_M = 1,5 \text{ mA} < 17 \text{ mA}$.

8. Transformator (15 Punkte)

In der folgenden Abbildung ist das elektrische Ersatzschaltbild eines verlustbehafteten Transformators bei Belastung durch die Lastimpedanz Z_L dargestellt.



Der Transformator hat die nachfolgend aufgelisteten technischen Daten:

$$U_{1N} = 230 \text{ V}$$

Aufgaben:

- TR1) Betrachten Sie den Transformator zunächst als ideal (verlustfrei). Als Lastimpedanz Z_L wird ein rein ohmscher Widerstand von $R_L = 8 \Omega$ angeschlossen, an welchem eine Leistung von $P_2 = 2,645 \text{ W}$ umgesetzt werden soll. Berechnen Sie die primäre Windungszahl N_1 , wenn die sekundäre Windungszahl $N_2 = 50$ beträgt! 3 P
- TR2) Erläutern Sie kurz die dargestellten Größen des oben dargestellten Ersatzschaltbildes (R_1 und R'_2 , $X_{1\sigma}$ und $X'_{2\sigma}$, R_{Fe} sowie X_h)! 2 P
- TR3) In einem Versuch wird eine Lastimpedanz $|Z_L| \rightarrow \infty$ an den oben dargestellten verlustbehafteten Transformator angeschlossen und an der Primärseite Nennspannung angelegt. Zeichnen Sie für diesen Versuch das vereinfachte Ersatzschaltbild und skizzieren Sie qualitativ das zugehörige Zeigerdiagramm! 4 P
- TR4) Erläutern Sie, um welchen Versuch es sich hierbei handelt und welche Elemente des Ersatzschaltbildes hiermit ermittelt werden können! 1 P
- TR5) Beim Versuch aus der vorherigen Aufgabe wurden die folgenden Größen gemessen: 5 P

$$P_{\text{Versuch}} = 176,33 \text{ W}, \quad I_{\text{Versuch}} = 3,066 \text{ A}, \quad U_{\text{Versuch}} = U_N = 230 \text{ V}$$

Berechnen Sie den $\cos \varphi_{\text{Versuch}}$, R_{Versuch} , alle auftretenden Ströme und X_{Versuch} !

TR1) Betrachtung als idealer Transformator (verlustfrei).

$$P_2 = \frac{U_2^2}{R_2} = \frac{U_2^2}{R_L} \Rightarrow U_2 = \sqrt{P_2 \cdot R_L} = \sqrt{2,645 \text{ W} \cdot 8 \Omega} = 4,6 \text{ V}$$

$$\bar{u} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} \Rightarrow N_1 = N_2 \cdot \frac{U_1}{U_2} = 50 \cdot \frac{230 \text{ V}}{4,6 \text{ V}} = 2500$$

TR2) R_1, R_2' : Kupferverluste

X_{12}, X_{22}' : Streureaktanzen

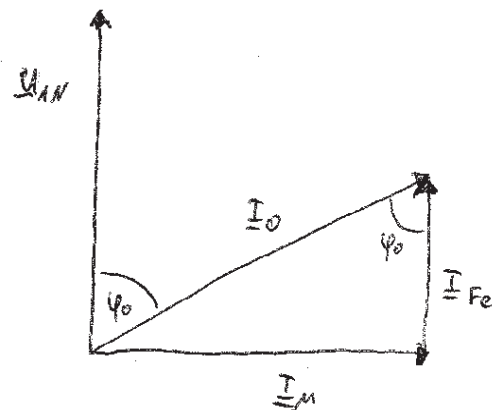
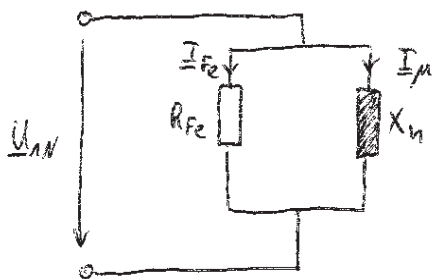
R_{Fe} : Eisenverluste

X_m : Hauptfeldreaktanzen

TR3) Beim Anschluss einer Lastimpedanz $|Z_L| \rightarrow \infty$ wird der Stromfluss auf der Sekundärseite gesperrt ($I_2 = I_2' = 0$). Somit handelt es sich um den Leerlaufversuch.

Ersatzschaltbild:

Zeigerbild:



TR4) Es handelt sich um den Leerlaufversuch.

Es können die Eisenverluste (R_{Fe}) und die Hauptfeldreaktanzen (X_m) bestimmt werden.

$$TR4) \quad \cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P_{\text{versuch}}}{U_{\text{versuch}} \cdot I_{\text{versuch}}} = \frac{176,33 \text{ W}}{230 \text{ V} \cdot 3,066 \text{ A}} = 0,25$$

$$\Rightarrow \cos \varphi_{\text{versuch}} = 0,25$$

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{(U_{\text{versuch}})^2}{P_{\text{versuch}}} = \frac{(230 \text{ V})^2}{176,33 \text{ W}} = 300 \Omega$$

$$\Rightarrow R_{\text{versuch}} = 300 \Omega$$

$$I_{\text{Fe}} = \cos \varphi_{\text{versuch}} \cdot I_{\text{versuch}} = 0,25 \cdot 3,066 \text{ A} = 0,7665 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{\mu} &= \sin \varphi_{\text{versuch}} \cdot I_{\text{versuch}} = \sin(\arccos(\cos \varphi_{\text{versuch}})) \cdot I_{\text{versuch}} \\ &= \sin(\arccos(0,25)) \cdot 3,066 \text{ A} = 2,969 \text{ A} \end{aligned}$$

$$X_{\text{versuch}} = X_{\text{h}} = \frac{U_{\text{versuch}}}{I_{\mu}} = \frac{230 \text{ V}}{2,969 \text{ A}} = 77,4672 \Omega$$