



Name: Vorname:
Matr.-Nr.: Studiengang:

Bearbeitungszeit:

80 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel:

Stifte, Lineal/Geodreieck, Taschenrechner (nicht programmierbar)

Wichtiger Hinweis:



Geben Sie bei allen Berechnungen stets den *vollständigen Rechenweg* inklusive *Formeln mit eingesetztten Zahlenwerten* an!

Weitere Hinweise:

- ➡ Bitte schalten Sie Ihre Mobiltelefone aus!
- ➡ *Der Einsatz von Handys, Smartphones, Tablets o. Ä. gilt als Täuschungsversuch!*
- ➡ Bitte legen Sie Ihren Studierendenausweis und Ihren Personalausweis auf den Tisch!
- ➡ Bitte schreiben Sie Ihren Namen und Ihre Matrikelnummer *oben rechts* auf jedes verwendete Blatt!
- ➡ Bitte schreiben Sie *nicht* mit Bleistift oder Rotstift!
- ➡ Bitte verwenden Sie für die Kurzfragen die ausgeteilten Aufgabenblätter!
- ➡ Bitte verwenden Sie für die Rechenaufgaben ausschließlich das ausgehändigte Rechenpapier!
- ➡ Bitte machen Sie Ihre Aufgaben auf dem Rechenpapier mit Aufgabennummern kenntlich!
- ➡ Bitte legen Sie bei Abgabe Ihrer Klausur die Aufgabenblätter in die Doppelbögen ein!

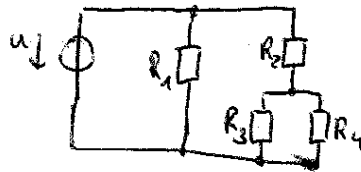
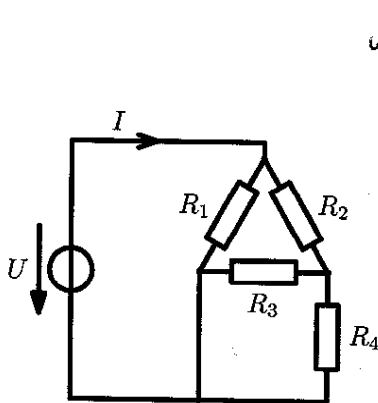
Klausureinsicht:

Die Klausureinsicht findet am *24.03.2014* und am *14.04.2014* statt. Zusätzliche Einsichtstermine werden nicht angeboten. Weitere Informationen hierzu finden Sie auf der Insitutshomepage.

Aufgabe:	KF1	GS	MF	WS	gesamt
Punkte:	18	18	18	19	73
Erreicht:					

1. Kurzfragen zu Elektrotechnik 1 (18 Punkte)

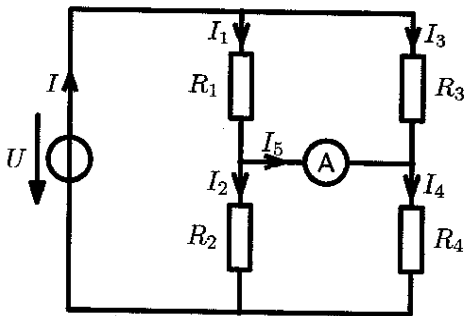
KF1) Bestimmen Sie den Strom I in der skizzierten Schaltung, der sich einstellt, wenn $U = 10V$, $R_1 = R_3 = R_4 = 2\Omega$ und $R_2 = 1\Omega$ sind!



$$\begin{aligned}
 R_{ges} &= R_1 \parallel (R_2 + R_3 \parallel R_4) \\
 &= 2\Omega \parallel (1\Omega + 2\Omega \parallel 2\Omega) \\
 &= 2\Omega \parallel (1\Omega + 1\Omega) \\
 &= 2\Omega \parallel 2\Omega \\
 &= 1\Omega
 \end{aligned}$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10V}{1\Omega} = 10A$$

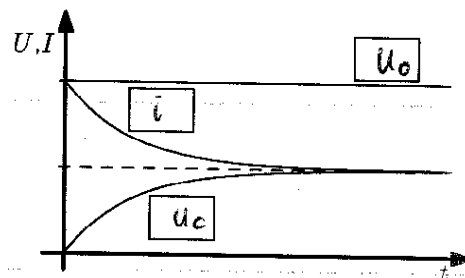
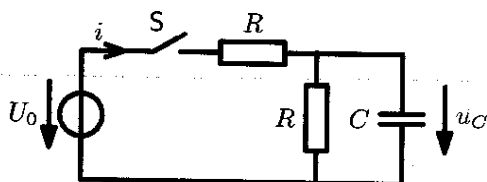
KF2) Welche Bedingung ist erfüllt, wenn die dargestellte Wheatstone-Brücke abgeglichen ist? 1P



$$I_5 = 0$$

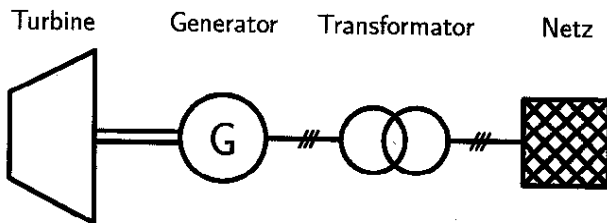
KF3) In der dargestellten Schaltung ist der Schalter S zunächst geöffnet. Der Kondensator C ist noch vollständig entladen. Zum Zeitpunkt $t = 0$ wird der Schalter dann geschlossen.

Beschriften Sie die Verläufe im Diagramm des Schaltvorgangs mit den entsprechenden Größen des Schaltbildes!



KF4) In einem Wasserkraftwerk wird die mechanische Leistung der Turbine von einem Generator in elektrische Leistung gewandelt und über einen Transformator in das elektrische Versorgungsnetz eingespeist. 1P

Welche Energiemenge speist das Wasserkraftwerk über einen Tag in das Netz ein, wenn die Turbine im Dauerbetrieb eine konstante Leistung von $P = 120\text{ MW}$ abgibt und die Wirkungsgrade von Generator und Transformator $\eta_G = 0,91$ und $\eta_T = 0,98$ betragen?

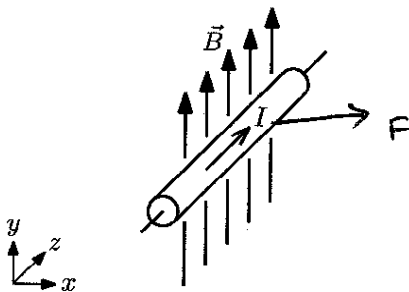


$$P_{ab} = P \cdot \eta_G \cdot \eta_T = 120\text{ MW} \cdot 0,91 \cdot 0,98 = 107\text{ MW}$$

$$E = P_{ab} \cdot t = 107\text{ MW} \cdot 24\text{ h} = 2568\text{ MWh}$$

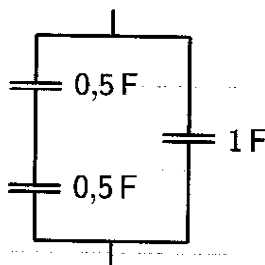
KF5) Ein mit dem Gleichstrom $I = 5\text{ A}$ durchflossener Leiter der Länge $l = 4\text{ cm}$ befindet sich in einem homogenen Magnetfeld mit der Flussdichte $B = 0,5\text{ T}$. 2P

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

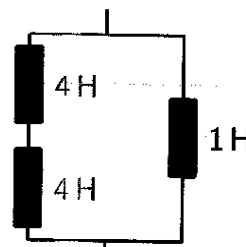


$$F_L = I \cdot l \cdot B = 5\text{ A} \cdot 0,04\text{ m} \cdot 0,5\text{ T} = 0,1\text{ N}$$

KF6) Gegeben sind die beiden Schaltungen. Bestimmen Sie die Gesamtkapazität C_{ges} und die Gesamtinduktivität L_{ges} ! 2P

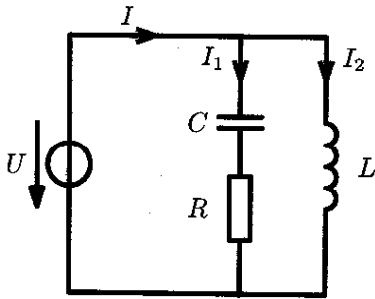


$$C_{ges} = 1,25\text{ F}$$



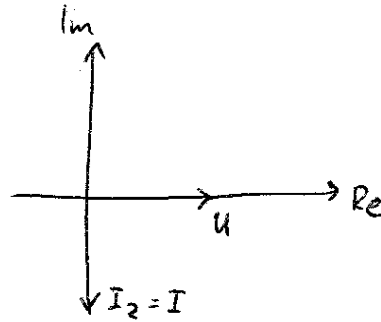
$$L_{ges} = 0,89\text{ H}$$

KF7) Geben Sie für die nachstehende Schaltung für die Werte $R = 10\Omega$, $C = 0$; $L = 10\text{mH}$; $U = 10\text{V}$ und $f = 15,92\text{Hz}$ die Beträge der Impedanzen der beiden Schaltungszeige an und skizzieren Sie das zugehörige Zeigerdiagramm!



$$Z_1 = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} \rightarrow \infty \text{ für } C \rightarrow 0 \Rightarrow I_1 = 0$$

$$Z_2 = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 15,92\text{Hz} \cdot 10 \cdot 10^{-3}\text{H} = 1\Omega$$



KF8) Bestimmen Sie den Phasenwinkel φ zwischen der Spannung $\underline{U} = (10 + j5)\text{V}$ und dem Strom $\underline{I} = (1 + j2)\text{A}$! Geben Sie außerdem den Leistungsfaktor $\lambda = \cos\varphi$ an und ob dieser kapazitiv oder induktiv ist!

$$\underline{U} = (10 + j5)\text{V} = 11,18\text{V} \cdot e^{j26,6^\circ}$$

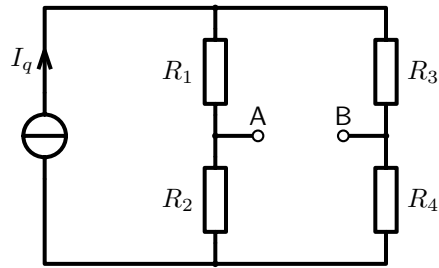
$$\underline{I} = (1 + j2)\text{A} = 2,24\text{A} \cdot e^{j63,4^\circ}$$

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i = 26,6^\circ - 63,4^\circ = -36,8^\circ$$

$$\lambda = \cos\varphi = \cos(-36,8^\circ) = 0,8 \quad \text{kapazitiv, da } \varphi < 0$$

2. Gleichstrom (18 Punkte)

Gegeben ist folgendes Netzwerk, zu dem Sie die Ersatzspannungsquelle bezüglich der Klemmen A und B bilden sollen:



$$I_q = 10 \text{ A}, R_1 = 1 \Omega, R_2 = 2 \Omega, R_3 = 3 \Omega, R_4 = 4 \Omega$$

Aufgaben:

- GS1) Bestimmen Sie den Innenwiderstand R_i der Ersatzspannungsquelle! 3 P
- GS2) Bestimmen Sie die ideelle Quellenspannung U_q ! 3 P
- GS3) Skizzieren Sie die Ersatzspannungsquelle und geben Sie die charakteristischen Größen Quellenspannung U_q , Innenwiderstand R_i und Kurzschlussstrom I_k an. 2 P
- GS4) Zeichnen Sie die Kennlinie der Ersatzspannungsquelle! Bestimmen Sie grafisch den Arbeitspunkt, der sich einstellt, wenn ein Widerstand $R_L = 1,5 \Omega$ an die Klemmen der Ersatzspannungsquelle angeschlossen wird! 5 P
- GS5) Bestimmen Sie den Arbeitspunkt rechnerisch für $R_L = 10 \Omega$! 5 P

GS1) Bestimmung des Innenwiderstandes:

$$R_i = \frac{(R_1 + R_3) \cdot (R_2 + R_4)}{R_1 + R_3 + R_2 + R_4} = \frac{(1\Omega + 3\Omega) \cdot (2\Omega + 4\Omega)}{1\Omega + 3\Omega + 2\Omega + 4\Omega} = \frac{(4\Omega) \cdot (6\Omega)}{10\Omega} = 2,4\Omega$$

GS2) Bestimmung von U_q :

$$U_q = U_{AB} = U_{R_3} - U_{R_1}$$

$$U_{R_3} = R_3 \cdot I_{R_3} = R_3 \cdot I_q \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$U_{R_3} = 3\Omega \cdot 10A \cdot \frac{1\Omega + 2\Omega}{1\Omega + 2\Omega + 3\Omega + 4\Omega} = 9V$$

$$U_{R_1} = R_1 \cdot I_{R_1} = R_1 \cdot I_q \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$U_{R_1} = 1\Omega \cdot 10A \cdot \frac{3\Omega + 4\Omega}{1\Omega + 2\Omega + 3\Omega + 4\Omega} = 7V$$

$$U_q = U_{R_3} - U_{R_1} = 9V - 7V = 2V$$

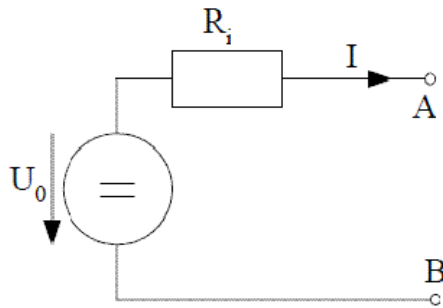
GS3) Daten:

$$U_q = 2V$$

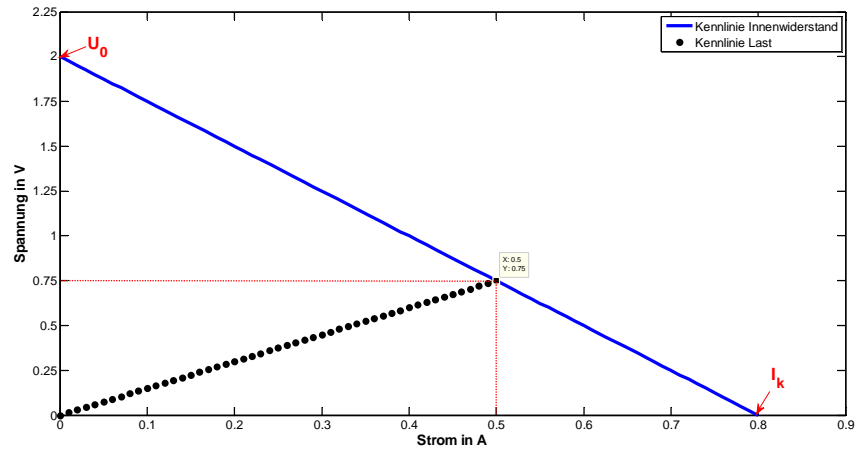
$$R_i = 2,4\Omega$$

$$I_k = \frac{U_q}{R_i} = \frac{2V}{2,4\Omega} = 0,8A$$

ESB:



GS4) Kennlinie der Ersatzspannungsquelle:



Aus Zeichnung abgelesen:

$$U = 0,75V$$

$$I = 0,5A$$

GS5) Berechnung des Arbeitspunktes bei $R_L = 10\Omega$:

Arbeitspunkt ist der Schnittpunkt der beiden Geraden:

$$y = -2,5 \frac{V}{A} x + 2V \quad \text{Gleichung des Innenwiderstandes}$$

$$y = 10 \frac{V}{A} x \quad \text{Gleichung des Lastwiderstandes}$$

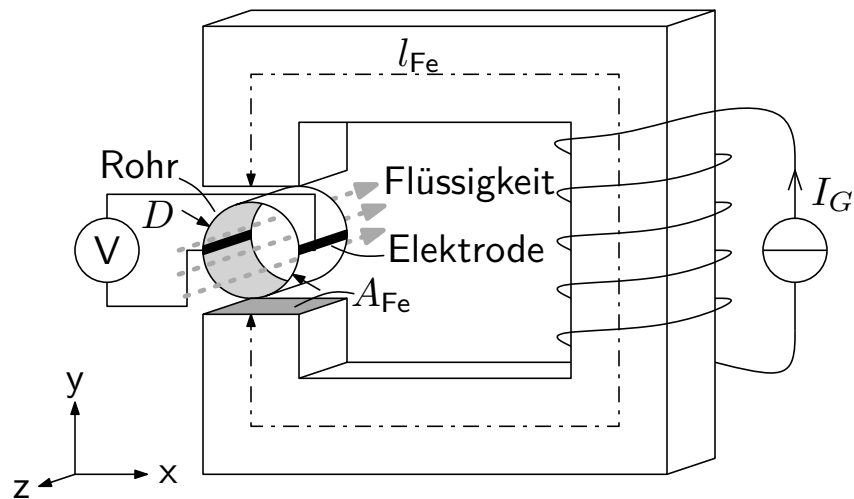
Gleichungen gleichsetzen:

$$10 \frac{V}{A} x = -2,5 \frac{V}{A} x + 2V \Leftrightarrow x = \frac{2V}{12,5 \frac{V}{A}} = 0,16A$$

$$y = 10 \frac{V}{A} (0,16A) = 1,6V$$

3. Magnetisches Feld (18 Punkte)

Zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit einer leitfähigen Flüssigkeit in einem Rohr soll ein induktiver Durchflussmesser verwendet werden. Der Messaufbau sieht folgendermaßen aus:



Das Rohr, in dem die Flüssigkeit strömt, ist aus einem magnetisch nicht leitenden Material gefertigt und hat den Durchmesser $D = 2 \text{ cm}$. Es befindet sich im Luftspalt eines Eisenkerns. In die Seiten des Rohres sind zwei Elektroden eingelassen, an die ein Voltmeter angeschlossen ist.

Der Eisenkern trägt auf einem Schenkel eine Kupferwicklung mit $n = 100$ Windungen. An die Wicklung ist eine Stromquelle angeschlossen, die den konstanten Strom $I_G = 5 \text{ A}$ liefert. Die Querschnittsfläche und die mittlere Länge des Eisenkerns sind mit $A_{\text{Fe}} = 4 \text{ cm}^2$ und $l_{\text{Fe}} = 30 \text{ cm}$ angegeben. Das Eisen hat die relative Permeabilität $\mu_{r,\text{Fe}} = 99\,500$.

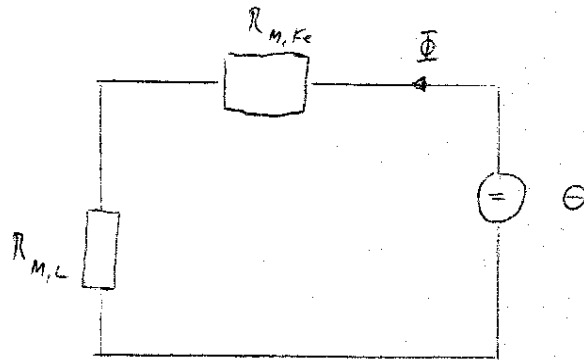
Durch den Stromfluss in der Wicklung wird ein magnetisches Feld im Eisenkern aufgebaut, das auch das Rohr im Luftspalt durchsetzt. Das Magnetfeld im Rohr und in den Luftspalten sei homogen.

Aufgaben:

- MF1) Skizzieren Sie das magnetische Ersatzschaltbild zu dem dargestellten Messaufbau! Der magnetische Widerstand des Rohres und der Luftspalte kann zu $R_{\text{M,L}}$ zusammengefasst werden. 4 P
- MF2) Berechnen Sie die magnetische Durchflutung der Spule sowie den magnetischen Fluss im magnetischen Kreis! Das Rohr und die darüber und darunter befindlichen Luftspalte haben zusammen den magnetischen Widerstand $R_{\text{M,L}} = 14\,000 \text{ A}/(\text{V s})$. 5 P
- MF3) Skizzieren Sie in der x-y-Ebene den Verlauf der magnetischen Feldlinien in den Luftspalten und im Rohr für den gegebenen Messaufbau! 2 P
- MF4) Wie groß ist die magnetische Flussdichte zwischen den Elektroden im Rohr? 2 P
- MF5) Berechnen Sie die Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit im Rohr, für den Fall, dass das Voltmeter eine Spannung $U = 1 \text{ V}$ anzeigt! 5 P

Hilfestellung: Überlegen Sie sich, welche Querschnittsfläche (x-z-Ebene) die Flüssigkeit dem magnetischen Fluss zwischen den Elektroden bietet und wie sich diese Fläche abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit zeitlich verhält. Das Induktionsgesetz lautet: $U = \frac{d\phi}{dt}$.

MF1)



MF2)

$$\Theta = n \cdot I = \underline{500 \text{ A}}$$

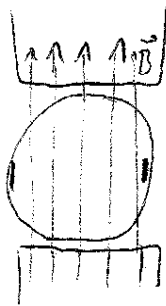
$$R_{M,Fe} = \frac{l}{\mu_0 \mu_r \cdot A} = \frac{0,3 \text{ m}}{99500 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,0004 \text{ m}^2} = \underline{5998,3 \frac{\text{Vs}}{\text{A}}}$$

$$\Phi = \frac{\Theta}{R_{M,Fe} + R_{M,L}} = \frac{500}{5998,3 + 14000} \text{ Vs} = \underline{0,025 \text{ Vs}}$$

MF3)

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{0,025 \text{ Vs}}{0,0004 \text{ m}^2} = \underline{62,505 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}}$$

MF4)



MF5)

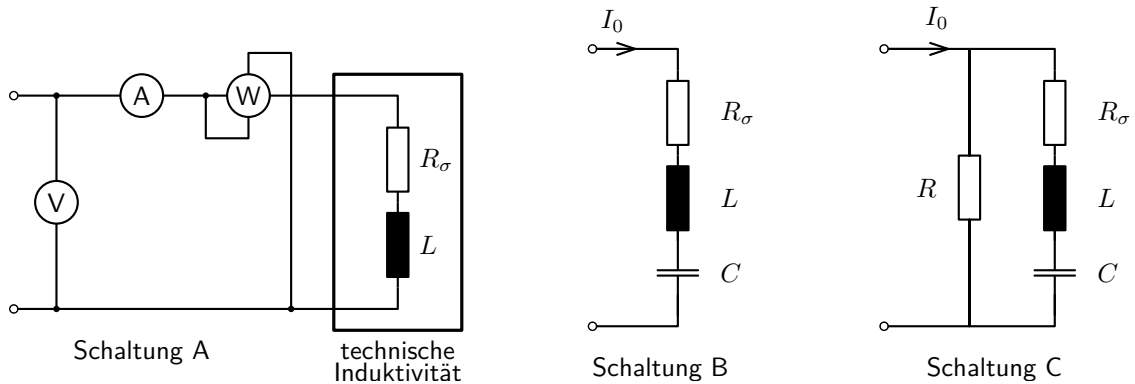
$$u = \frac{d\Phi}{dt} \quad \Delta\Phi = B \cdot dA \quad \frac{d\Phi}{dt} = B \cdot D \cdot v$$

$$\Rightarrow u = B \cdot D \cdot v \quad \text{oder über } Q \cdot \vec{v} \times \vec{B} = E \cdot Q$$

$$\Rightarrow v = \frac{u}{B \cdot D} = \underline{0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

4. Wechselstrom (19 Punkte)

Eine technische Induktivität berücksichtigt im Gegensatz zur idealen Induktivität den ohmschen Widerstand ihrer Wicklung. Es wird eine Leitung mittels einer technischen Induktivität beschrieben.



$$U = 100 \text{ V}, \quad I = 1 \text{ A}, \quad P = 10 \text{ W}, \quad f = 50 \text{ Hz}$$

Aufgaben:

WS1) Berechnen Sie mit der oben abgebildeten Messschaltung (Schaltung A) die Induktivität L 8 P und den Wicklungswiderstand R_σ !

Durch mechanische Belastung kommt es zum Bruch der Leitung. Die Bruchstelle soll nun wie eine Kapazität behandelt werden (Schaltung B).

WS2) Leiten Sie die Resonanzfrequenz eines Reihenschwingkreises aus der Resonanzbedingung her. 4 P Berechnen Sie die Resonanzfrequenz f_r der Schaltung (Schaltung B) unter der Annahme, dass die Kapazität einen Wert von $C = 22,2 \mu\text{F}$ besitzt. Wenn Sie in der vorherigen Teilaufgabe keine Lösung erzielen konnten, nehmen Sie im weiteren Verlauf der Aufgabe folgende Werte an: $R_\sigma = 10 \Omega$, $L = 634 \text{ mH}$, $C = 11,1 \mu\text{F}$.

WS3) Die technische Induktivität wird nun im amerikanischen Netz (Schaltung B) ($f = 60 \text{ Hz}$) 2 P verwendet. Beschreiben Sie kurz den Einfluss auf den Strom I_0 und nennen Sie den Namen dieses speziellen Betriebsfalls. Falls Sie in der vorherigen Teilaufgabe kein Ergebnis erzielen konnten, gehen Sie von einer Resonanzfrequenz $f_r = 60 \text{ Hz}$ aus.

WS4) Durch weitere mechanische Beanspruchung und die scharfen Kanten der Bruchstelle kommt es 5 P zur Beschädigung der Isolation der Leitung. Diese kann mithilfe eines parallelen Übergangswiderstandes R modelliert werden (Schaltung C). Der Gesamtstrom ergibt sich bei einer Spannung von $\underline{U} = 100 \text{ V} \cdot e^{j0^\circ}$ zu $\underline{I}_0 = 1,14 \text{ A} \cdot e^{j71,3^\circ}$. Berechnen Sie die Gesamtimpedanz \underline{Z} nach Betrag und Phase. Geben Sie ebenfalls $\text{Re}\{\underline{Z}\}$ und $\text{Im}\{\underline{Z}\}$ von \underline{Z} an!

WS1)

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

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R_\sigma$$

$$R_\sigma = \frac{10 \text{ W}}{(1 \text{ A})^2} = 10 \Omega$$

$$|\underline{Z}|^2 = X_L^2 + R_\sigma^2$$

$$X_L = \sqrt{|\underline{Z}|^2 - R_\sigma^2} = 99,5 \Omega$$

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

WS2)

$$\text{Im}\{\underline{Z}\} = X_L + X_C \stackrel{!}{=} 0$$

$$\Leftrightarrow X_L \stackrel{!}{=} -X_C$$

$$\Leftrightarrow \omega \cdot L \stackrel{!}{=} \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$\Leftrightarrow \omega^2 \stackrel{!}{=} \frac{1}{L \cdot C}$$

$$\Leftrightarrow f \stackrel{!}{=} \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} = f_r$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{317 \text{ mH} \cdot 22,2 \mu\text{F}}}$$
$$= \frac{1}{2\pi\sqrt{634 \text{ mH} \cdot 11,1 \mu\text{F}}} = 60 \text{ Hz}$$

WS3)

I_0 wird maximal, nur noch durch R_σ begrenzt.

→ Saugkreis

WS4)

$$\underline{Z} = \frac{U}{\underline{I}_0} = \frac{100 \text{ V} \cdot e^{j0^\circ}}{1,14 \text{ A} \cdot e^{j71,3^\circ}} = 87,7 \Omega \cdot e^{-j71,3^\circ}$$

$$= 87,7 \Omega \cdot (\cos(-71,3^\circ) + j\sin(-71,3^\circ))$$

$$= 28,12 \Omega - j83,07 \Omega$$

$$\text{Im}\{\underline{Z}\} = -83,07 \Omega$$

$$\text{Re}\{\underline{Z}\} = 28,12 \Omega$$