Grundgebiete der Elektrotechnik II - Übungsklausur **15.07.2006**

Aufgabe 1 **(15 Punkte)**

Gegeben sei folgendes Zweitor:

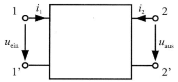


Abbildung 1: Zweitor

Zunächst sei der interne Aufbau des Zweitors unbekannt. Es werden nun zwei Messungen durchgeführt um diesen zu bestimmen. Zu Beginn der Messungen ist keine Energie im Zweitor gespeichert.

Messung 1: An den Eingangsklemmen wird zum Zeitpunkt $t = 0$ sec eine konstante Spannung U_{ein} von 10 V angelegt und der Verlauf der Ausgangsspannung $u_{aus}(t)$ wird gemessen. Der Verlauf der Ausgangsspannung $u_{aus}(t)$ ist in Abbildung 2 dargestellt.

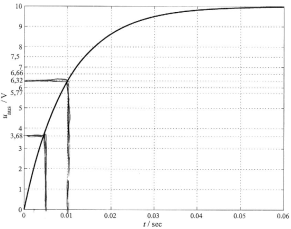


Abbildung 2: $u_{aus}(t)$

Messung 2: An den Ausgangsklemmen wird ein Widerstand $R_{Last} = 50\ \Omega$ angeschlossen. Wieder wird zum Zeitpunkt $t = 0$ sec eine konstante Spannung U_{ein} von 10 V an den Eingangsklemmen angelegt. Nach sehr langer Zeit ($t \rightarrow \infty$) wird die Spannung über dem Widerstand R_{Last} gemessen. Sie beträgt 2 V.

Fortsetzung auf der nächsten Seite

1.1 Zeichnen Sie in Abbildung 1 das einfachste Netzwerk aus passiven Bauelementen, mit dem man das Verhalten des Zweitors nachbilden kann (Hinweis: Zwei passive Bauelemente reichen hierzu aus) und berechnen Sie dessen Elemente. **(3 Punkte)**

1.2 Bestimmen Sie basierend auf der Annahme, es handle sich tatsächlich um das in Unterpunkt 1.1 bestimmte Netzwerk, folgende Werte für Messung 2 (Widerstand R_{Last} angeschlossen): $i_2(t = 0+)$ und $i_2(t \to \infty)$

(2 Punkte)

1.3 Nun wird Messung 2 wiederholt und zusätzlich die Zeitkonstante τ des Systems– mit angeschlossenem Widerstand R_{Last} – bestimmt. Sie beträgt 3,5 ms. Berechnen Sie die erwartete Zeitkonstante τ der Schaltung für Messung 2. Belegt oder widerlegt diese Messung die in Unterpunkt 1.1 gemachten Annahmen?

(2 Punkte)

1.4 Bestimmen Sie welche/s der in Abbildung 3 dargestellten Netzwerke sich, basierend auf **allen** gemachten Messungen, hinter dem Zweitor verbergen kann/können. Schließen Sie hierzu alle anderen Netzwerke aus und begründen Sie für jedes ausgeschlossene Netzwerk, wieso es nicht das vermessene Zweitor sein kann.

(3 Punkte)

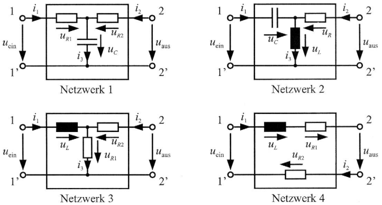


Abbildung 3

Der folgende Unterpunkt kann unabhängig von allen vorherigen Unterpunkten gelöst werden.

Im Folgenden wird ein NEUES Zweitor betrachtet, dessen innerer Aufbau bekannt ist. Es handelt sich dabei um das Netzwerk 2 aus Abbildung 3.

1.5 Es werden nun die Ausgangsklemmen kurzgeschlossen ($u_{\text{aus}} = 0$ V). Stellen Sie für die entstandene Schaltung die Differentialgleichung für den Strom in der Induktivität $i_3(t)$ auf. Gehen Sie dabei wie folgt vor:

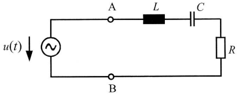
1. Bauteilgleichungen aufstellen.
2. Knoten- und Maschengleichungen aufstellen.
3. Einsetzen und Umformen.

(5 Punkte)

Grundgebiete der Elektrotechnik II - Übungsklausur **15.07.2006**

Aufgabe 2

Gegeben sei folgende Wechselstromschaltung bestehend aus einer sinusförmigen Spannungsquelle $u(t)$ und der angegebenen Last:



Im Folgenden sollen alle Ergebnisse in Abhängigkeit von den Werten von R, L und C sowie Effektivwert $\underline{U}$ und Kreisfrequenz ω der Spannungsquelle $u(t)$ bestimmt werden, die als bekannt vorausgesetzt werden.

2.1 Bestimmen Sie die Impedanz $\underline{Z}$ der Last getrennt nach Real- und Imaginärteil. (1 Punkt)

2.2 Wie groß sind die an der Last abgegebene Scheinleistung, Wirkleistung und Blindleistung? (3 Punkte)

2.3 Geben Sie den Leistungsfaktor der Last an. (1 Punkt)

Der Wert des Kondensators C soll so geändert werden, dass die Quelle keine Blindleistung abgibt.

2.4 Geben Sie den neuen Wert des Kondensators an. (1 Punkt)

2.5 Wie groß ist nun die von der Quelle abgegebene Wirkleistung? (1 Punkt)

Der Kondensator C wird nun durch einen Kurzschluss ersetzt. Stattdessen wird ein idealer Kondensator C_2 zwischen die Klemmen A und B parallel zur ohmsch-induktiven Last geschaltet.

2.6 Bestimmen Sie den Betrag des Effektivwerts der Spannung $|\underline{U}_L|$ an der Induktivität. (3 Punkte)

2.7 Bestimmen Sie die Blindleistung Q_L an der Induktivität. (1 Punkt)

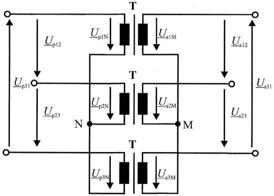
2.8 Wie muss der Wert des Kondensators C_2 gewählt werden, damit die Blindleistung vollständig kompensiert wird? (2 Punkte)

2.9 Ist die Kapazität des Kondensators C_2 nun kleiner als bei dem Kondensator C bei der Reihenkompensation gemäß 2.4? Begründen Sie Ihre Antwort. (2 Punkte)

Grundgebiete der Elektrotechnik II - Übungsklausur **15.07.2006**

Aufgabe 3 **(15 Punkte)**

Gegeben sei ein Dreiphasentransformator, der aus drei einzelnen Einphasentransformatoren T aufgebaut ist:



Folgende Werte sind bekannt:

$\underline{U}_{p12} = 10\ \text{kV}$ $\qquad \underline{U}_{p23} = \underline{a}\ 10\ \text{kV}$ $\qquad \underline{U}_{p31} = \underline{a}^2\ 10\ \text{kV}$

$U_{s12} = 400\ \text{V}$ $\qquad S_N = 400\ \text{kVA}$ $\qquad f_N = 50\ \text{Hz}$

$\underline{Z}_{1\sigma} = R_1 + \text{j}\, X_{1\sigma} = 5\ \Omega\ e^{j45°}$

Weiterhin gilt: $X_{1\sigma} = X'_{2\sigma} << X_h$ **und** $R_{1\sigma} = R'_{2\sigma} << R_{Fe}$

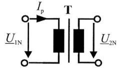
3.1 Zeichnen Sie das primärseitig bezogene einphasige T-Ersatzschaltbild (inklusive Übertrager) und beschriften Sie dessen Elemente. Bezeichnen Sie die Spannungen auf der Primär- und Sekundärseite. Berechnen Sie diese Spannungen betragsmäßig. (3 Punkte)

3.2 Berechnen Sie die Wicklungswiderstände R_1 und R'_2 sowie die Streuinduktivitäten $L_{1\sigma}$ und $L'_{2\sigma}$. (2 Punkte)

3.3 Bestimmen Sie die aufgenommene Wirkleistung des Dreiphasentransformators im Leerlauffall in Abhängigkeit von der Nennspannung U_{p12}, dem Leerlaufstrom I_0 und dem Leistungsfaktor $\cos\varphi_0$. Geben Sie weiterhin allgemein eine Formel ebenfalls in Abhängigkeit von U_{p12}, I_0 und $\cos\varphi_0$ zur Berechnung von R_{Fe} an. **Hinweis**: In diesem Aufgabenunterpunkt sind keine Zahlenwerte verlangt! (4 Punkte)

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Nun wird ein Einphasentransformator T betrachtet.



Von diesem Transformator sind folgende Werte bekannt:

$R_1 = R'_2 = 2\ \Omega$	$X_{1\sigma} = X'_{2\sigma} = 5\ \Omega$	$f_N = 50$ Hz
$R_{Fe} = 500\Omega$	$X_h = 700\ \Omega$	
$U_{1N} = 400$ V	$U_{2N} = 800$ V	$S_N = 10$ kVA

Die Kernverluste dürfen bei diesem Transformator gegenüber den Verlusten in den Wicklungen nicht vernachlässigt werden.

3.4 Welche Leistung wird in einem an die Sekundärseite angeschlossenen Lastwiderstand $R_L = 100\ \Omega$ umgesetzt, wenn an die Primärseite eine Gleichstromquelle angeschlossen wird, die einen konstanten Strom von $I = 1$ A liefert? (1 Punkt)

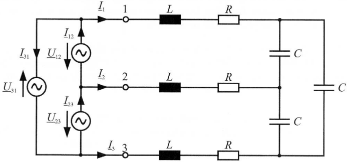
3.5 An den Transformator wird sekundärseitig eine Impedanz $\underline{Z}_L = 10\ \Omega\ e^{j15°}$ angeschlossen. An die Primärseite wird die Nennspannung U_{1N} gelegt. Berechnen Sie den Betrag des Stromes I_p, der auf der Primärseite in den Transformator hineinfließt. (4 Punkte)

3.6 Ist der Betriebsfall aus Aufgabenpunkt 3.5 zulässig? Begründen Sie Ihre Antwort. (1 Punkt)

Grundgebiete der Elektrotechnik II - Übungsklausur **15.07.2006**

Aufgabe 4 **(15 Punkte)**

Gegeben ist das symmetrische Drehstromsystem einer Industrieanlage.



Folgende Werte sind bekannt:

$U_0 = 230$ V	$f = 50$ Hz	$\omega = 2\,\pi f$
$\underline{U}_{12} = U_0$	$\underline{U}_{23} = U_0 \cdot e^{-j120°}$	$\underline{U}_{31} = U_0 \cdot e^{+j120°}$
$L = 127{,}3$ mH	$R = 30\ \Omega$	$C = 42{,}44\ \mu$F

4.1 Zeichnen Sie das einphasige Ersatzschaltbild mit Angabe aller Werte der passiven und aktiven Elemente. (3 Punkte)

4.2 Berechnen Sie die vom **gesamten** System abgegebene Scheinleistung $\underline{S}$ und den Effektivwert des Stroms $\underline{I}_1$. (3 Punkte)

An einem heißen Tag ist der Betreiber des Drehstromsystems aufgrund einer Überlastung der Übertragungsleitungen gezwungen das Netz an Punkt 3 aufzutrennen.

4.3 Berechnen Sie für diesen Fall (offene Klemmen an Punkt 3) die Ströme $\underline{I}_1$ und $\underline{I}_{12}$ nach Betrag und Phase. Gehen Sie bei Ihren Berechnungen davon aus, dass alle 3 Spannungsquellen identische Innenwiderstände haben, die gegenüber den Belastungswiderständen vernachlässigbar klein sind. (3 Punkte)

4.4 Welche Auswirkung hat das Auftrennen des Netzes an Punkt 3 auf den Effektivwert der Ströme $\underline{I}_1$ und $\underline{I}_2$. Begründen Sie Ihre Antwort. (1 Punkt)

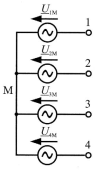
Fortsetzung auf der nächsten Seite

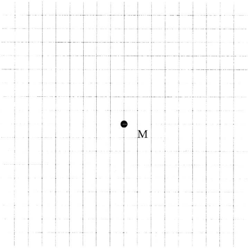
Vor der erneuten Inbetriebnahme überlegt sich der Betreiber die Verluste auf den Übertragungsleitungen zu reduzieren indem er die Systemfrequenz f so modifiziert, dass die Spannungsquellen nach der Wiederinbetriebnahme reine Wirkleistung abgeben.

4.5 Berechnen Sie die Frequenz f bei der die Spannungsquellen reine Wirkleistung abgeben (**Beachten Sie**: Das System ist in Punkt 3 wieder verbunden). (1 Punkt)

Durch Expansion der Industrieanlage vergrößert sich die benötigte Wirkleistung weiter, so dass das alte Drehstromsystem nicht mehr die gesamte Industrieanlage versorgen kann. Der Betreiber will daher das alte Drehstromsystem durch ein neues im Stern verkettetes symmetrisches Vierphasensystem ersetzen.

4.6 Die einzelnen Spannungsquellen des Vierphasensystems sollen eine Strangspannung $\underline{U}_{xM}$ (x = 1...4) von 400 V haben. Zeichnen Sie die Spannungszeiger des in **Gegenuhrzeigersinn** drehenden Systems (Maßstab 100 V ⇔ 1 cm) in das vorgegebene Diagramm. (2 Punkte)

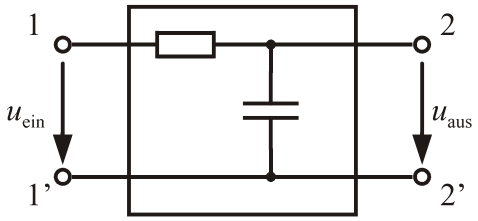




4.7 Welche unterschiedlichen Spannungs-**Effektivwerte** kann man als Außenleiterspannung in diesem Vierphasensystem erhalten? (2 Punkte)

Musterlösung zur Aufgabe 1, H05

1.1



(1 Punkt)

Nach Messung 1 könnte es auch eine *RL*-Schaltung sein. Für eine *RL*-Schaltung würde aber bei Messung 2 ($t \to \infty$) die gesamte Spannung über dem Widerstand R_{Last} abfallen.

$$u_{\text{aus}} = \frac{R_{\text{Last}}}{R_{\text{Last}} + R} \cdot u_{\text{ein}} \Rightarrow R = \frac{R_{\text{Last}} \cdot (u_{\text{ein}} - u_{\text{aus}})}{u_{\text{aus}}} = 200\ \Omega$$

(2 Punkte)

$$\tau = 0{,}01\,\text{sec} = RC \Rightarrow C = \frac{\tau}{R} = 50\ \mu\text{F}$$

1.2 $i_2(t = 0+) = 0$ A **(1 Punkt)**
$i_2(t \to \infty) = -0{,}04$ A **(1 Punkt)**

1.3 $\tau = C \cdot (R \| R_{\text{Last}}) = C \cdot \dfrac{R \cdot R_{\text{Last}}}{R + R_{\text{Last}}} = 2\ \text{ms}$ **(1 Punkt)**

Nein, da sich die Zeitkonstanten unterscheiden. **(1 Punkt)**

1.4 Netzwerk 1: Kann es sein
Netzwerk 2: Kann es nicht sein, da dort bei Messung 1 die Ausgangsspannung bei $t = 0$ ihren Maximalwert (10 V) hätte und dann auf 0 V sinken würde. **(1 Punkt)**
Netzwerk 3: Kann es nicht sein, da die in Messung 2 gemessene Zeitkonstante kleiner als die aus Messung 1 ist und bei einer *RL*-Schaltung der Gesamtwiderstand – er wird durch den zusätzlich angeschlossenen Widerstand kleiner – zur Berechnung der Zeitkonstante im Nenner steht. **(1 Punkt)**
Netzwerk 4: Bei Messung 1 kann kein Strom fließen und so würde in Netzwerk 4 die Eingangsspannung direkt am Ausgang ablesbar sein. **(1 Punkt)**

1.5 $i_1(t) = C \cdot \dfrac{\mathrm{d}u_C(t)}{\mathrm{d}t} \quad u_L(t) = L \cdot \dfrac{\mathrm{d}i_3(t)}{\mathrm{d}t} \quad i_2 = \dfrac{u_R}{R}$ **(1 Punkt)**

I $u_{\text{ein}} = u_C + u_L$
II $u_L = -u_R$ Maschengleichungen 1 Punkt, Knotengleichung 1 Punkt **(2 Punkte)**
III $i_1 + i_2 = i_3$

$$u_{\text{ein}} = u_C + u_L = \frac{1}{C} \cdot \int_0^t i_1(t)\,\mathrm{d}t + L \cdot \frac{\mathrm{d}i_3(t)}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{C} \cdot \int_0^t i_3(t) - i_2(t)\,\mathrm{d}t + L \cdot \frac{\mathrm{d}i_3(t)}{\mathrm{d}t}$$

$$= \frac{1}{C} \cdot \int_0^t i_3(t) - \frac{-u_L}{R}(t)\,\mathrm{d}t + L \cdot \frac{\mathrm{d}i_3(t)}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{C} \cdot \int_0^t i_3(t) \ + L \cdot \frac{\mathrm{d}i_3(t)}{R \cdot \mathrm{d}t}\,\mathrm{d}t + L \cdot \frac{\mathrm{d}i_3(t)}{\mathrm{d}t}$$

$$u_{\text{ein}} = L \cdot \frac{\mathrm{d}i_3(t)}{\mathrm{d}t} + \frac{L}{R \cdot C} \cdot i_3(t) + \frac{1}{C} \cdot \int_0^t i_3(t)\,\mathrm{d}t$$

Ansatz richtig ≈ erste Zeile 1 Punkt, Lösung richtig 1 Punkt **(2 Punkte)**

Musterlösung zur Aufgabe 2, H05

2.1

$$\underline{Z} = R + \mathrm{j}\omega L + \frac{1}{\mathrm{j}\omega C}$$

$$\underline{Z} = R + \mathrm{j}\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

$$\mathrm{Re}(\underline{Z}) = R$$

$$\mathrm{Im}(\underline{Z}) = \omega L - \frac{1}{\omega C}$$

2.2

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = \underline{U} \cdot \frac{\underline{U}^*}{\underline{Z}^*} \cdot = \frac{U^2}{\underline{Z}} = \frac{U^2}{R - \mathrm{j}\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} = \frac{U^2 \cdot \left(R + \mathrm{j}\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)\right)}{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

$$P = \mathrm{Re}(\underline{S}) = \frac{U^2 \cdot R}{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

$$Q = \mathrm{Im}(\underline{S}) = \frac{U^2 \cdot \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

2.3

$$\cos\varphi = \frac{P}{|\underline{S}|} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

oder

$$\tan\varphi = \frac{Q}{P}\textbf{;}\ \cos\varphi = \cos\left(\arctan\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}\right) \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

2.4

$$\mathrm{Im}(\underline{Z}) = \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \Rightarrow C = \frac{1}{\omega^2 L} \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

2.5

$$P = \frac{U^2}{R} \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

Fortsetzung auf der nächsten Seite

2.6 Komplexer Spannungsteiler:

$$\left|\underline{U}_L\right| = \left|\frac{U}{\underline{Z}_{RL}} \cdot \underline{Z}_L\right| = \left|\frac{U}{R + \mathrm{j}\omega L} \cdot \mathrm{j}\omega L\right| \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

Konjugiert komplex erweitern:

$$\left|\underline{U}_L\right| = \left|\frac{U}{R + \mathrm{j}\omega L} \cdot \mathrm{j}\omega L \cdot \frac{R - \mathrm{j}\omega L}{R - \mathrm{j}\omega L}\right| = \left|\frac{U \cdot \left(\mathrm{j}\omega L R + (\omega L)^2\right)}{R^2 + (\omega L)^2}\right| \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

Betrag bilden:

$$\left|\underline{U}_L\right| = \frac{U \cdot \omega L}{R^2 + (\omega L)^2} \cdot \left|\mathrm{j}R + \omega L\right| = \frac{U \cdot \omega L}{R^2 + (\omega L)^2} \cdot \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \frac{U \cdot \omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

Oder:

Spannungsteiler und dann direkt den Betrag bilden:

$$\left|\underline{U}_L\right| = \left|\frac{U}{\underline{Z}_{RL}} \cdot \underline{Z}_L\right| = \left|\frac{U}{R + \mathrm{j}\omega L} \cdot \mathrm{j}\omega L\right| \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

$$\left|\underline{U}_L\right| = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \cdot \omega L \qquad \textbf{(2 Punkte)}$$

Oder:

Bauteilgleichungen: $U_L = \omega L \cdot I$; $U_R = R \cdot I$

$\underline{U}_R$ und $\underline{U}_L$ stehen senkrecht aufeinander, U ist die Vektorsumme der beiden.

Daraus folgt mit Pythagoras: $U_L^{\,2} + U_R^{\,2} = U^2$ **(1 Punkt)**

Nun Bauteilgleichungen geschickt einsetzen:

$$U_L^{\,2} + (R \cdot I)^2 = U^2 \Leftrightarrow U_L^{\,2} + \left(R \cdot \frac{U_L}{\omega L}\right)^2 = U^2 \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

$$\left|\underline{U}_L\right| = \frac{U \cdot \omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

2.7

$$Q_L = \frac{U_L^{\,2}}{\omega L} = \frac{U^2 \cdot \omega L}{R^2 + (\omega L)^2} \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

2.8

$$-Q_C = Q_L \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

$$\frac{U^2}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U^2 \cdot \omega L}{R^2 + (\omega L)^2} \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

$$C_2 = \frac{L}{R^2 + (\omega L)^2}$$

2.9 **Ja, denn:**

$$C_2 < C$$

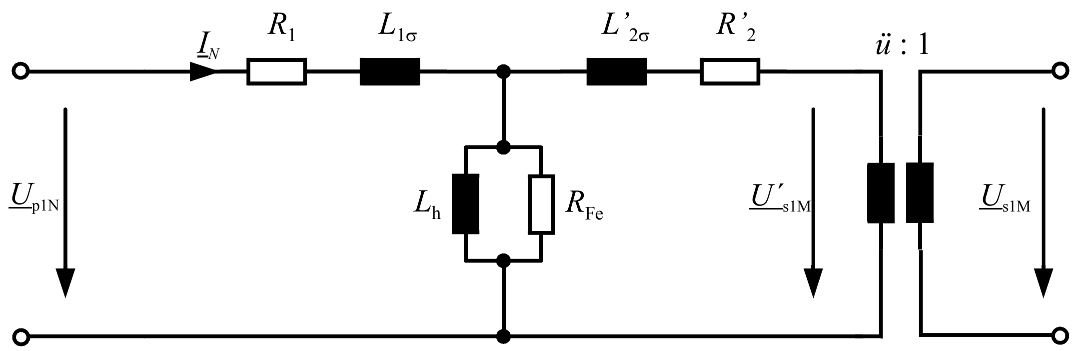
$$\frac{L}{R^2 + (\omega L)^2} < \frac{1}{\omega^2 L}$$

$$0 < R^2$$

(2 Punkte; ohne Begründung: 0 Punkte)

Musterlösung zur Aufgabe 3, H05

3.1



richtig gezeichnet **1 Punkt**
richtige Bauteilbezeichnung **1 Punkt**

$$U_{p1N} = \frac{U_{p12}}{\sqrt{3}} = 5{,}77\,\text{kV}$$

beide Spannungen richtig: 1 Punkt

$$U_{s1M} = \frac{U_{s12}}{\sqrt{3}} = 230{,}9\,\text{V}$$

3.2 $\underline{Z}_{1\sigma} = \underline{Z}'_{2\sigma} = R_1 + \text{j}\,X_{1\sigma} = 5\,\Omega\,\text{e}^{\text{j}45°} = (3{,}54 + \text{j}\,3{,}54)\,\Omega$

$\Rightarrow$ $R_1 = R'_2 = 3{,}54\,\Omega$ und $X_{1\sigma} = X'_{2\sigma} = 3{,}54\,\Omega$ **1 Punkt**

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2\,\pi\,f} = 11{,}3\,\text{mH} = L'_{2\sigma}$$ **1 Punkt**

3.3 Spannung an der Hauptinduktivität im Leerlauf: $\frac{U_{p12}}{\sqrt{3}}$ **1 Punkt**

$$P_0 = S_0 \cos\varphi_0 = 3\,\frac{U_{p12}}{\sqrt{3}}\,I_0 \cos\varphi_0 = \sqrt{3}\,U_{p12} I_0 \cos\varphi_0$$ **1 Punkt**

$$\frac{P_0}{3} = \left(\frac{U_{p12}}{\sqrt{3}}\right)^2 \frac{1}{R_{Fe}}$$ **1 Punkt**

$$R_{Fe} = \frac{(U_{p12})^2}{P_0} = \frac{(U_{p12})^2}{\sqrt{3}\,U_{p12} I_0 \cos\varphi_0} = \frac{U_{p12}}{\sqrt{3}\,I_0 \cos\varphi_0}$$ **1 Punkt**

3.4 Die im Widerstand umgesetzte Leistung beträgt 0 W, da der Transformator von einer Gleichstromquelle gespeist wird und daher keine Energie von Primär- auf die Sekundärseite übertragen werden kann. **1 Punkt**

3.5 Zunächst wird der Lastwiderstand auf die Primärseite bezogen:

$\underline{Z}'_\mathrm{L} = \ddot{u}^2\ \underline{Z}_\mathrm{L} = 0{,}25 \cdot 10\ \Omega\ \mathrm{e}^{\mathrm{j}\,15°} = 2{,}5\ \Omega\ \mathrm{e}^{\mathrm{j}\,15°}$ **1 Punkt**

Die gesamte Impedanz von den Klemmen auf der Primärseite aus gesehen berechnet sich zu:

$$\underline{Z}_\mathrm{ges} = R_1 + \mathrm{j}X_{1\sigma} + \frac{\left(R_\mathrm{Fe} \,\|\, \mathrm{j}X_\mathrm{h}\right)\left(\mathrm{j}X'_{2\sigma} + R'_2 + \underline{Z}'_\mathrm{L}\right)}{\left(R_\mathrm{Fe} \,\|\, \mathrm{j}X_\mathrm{h}\right) + \mathrm{j}X'_{2\sigma} + R'_2 + \underline{Z}'_\mathrm{L}}$$ **1 Punkt**

mit $\left(R_\mathrm{Fe} \,\|\, \mathrm{j}X_\mathrm{h}\right) = \dfrac{R_\mathrm{Fe} \cdot \mathrm{j}X_\mathrm{h}}{R_\mathrm{Fe} + \mathrm{j}X_\mathrm{h}} = (331 + \mathrm{j}236{,}5)\Omega$

$\Rightarrow \quad \underline{Z}_\mathrm{ges} = 6{,}37\ \Omega + \mathrm{j}\ 10{,}5\Omega = 12{,}3\ \Omega\ \mathrm{e}^{\mathrm{j}\,58{,}8°}$ **1 Punkt**

$I = \dfrac{U_\mathrm{1N}}{\left|\underline{Z}_\mathrm{ges}\right|} = 32{,}5\ \mathrm{A}$ **1 Punkt**

3.6 Berechnung des Nennstromes:

$I_\mathrm{N} = \dfrac{S_\mathrm{N}}{U_\mathrm{1N}} = 25\ \mathrm{A}$

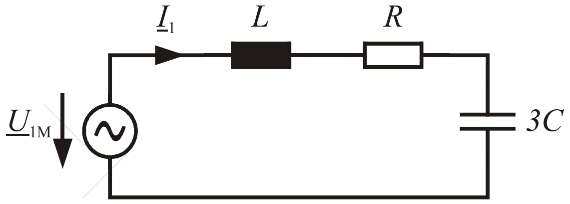
Der fließende Strom aus Aufgabenpunkt 5.5 ist größer als der Nennstrom. Der Transformator würde also überlastet. Demzufolge ist dieser Betriebsfall dauerhaft nicht zulässig.

1 Punkt

Σ **15 Punkte**

Musterlösung zur Aufgabe 4, H05

4.1 $\underline{U}_{1M} = \dfrac{U_0}{\sqrt{3}} \cdot e^{-j30°} = 132{,}8\ \mathrm{V} \cdot e^{-j30°}$



Einphasiges ESB: (Passive Elemente richtig $\Rightarrow$ **1 Punkt**; $\underline{U}_{1M}$ Betrag richtig $\Rightarrow$ **1 Punkt,** $\underline{U}_{1M}$ Phase richtig $\Rightarrow$ **1 Punkt**)

4.2 Aus einphasigem ESB

$$\underline{S} = 3 \cdot \underline{U}_{1M} \cdot \underline{I}_1^* = 3 \cdot \frac{\underline{U}_{1M} \cdot \underline{U}_{1M}^*}{\underline{Z}^*} = \frac{3 \cdot U_0^2}{3 \cdot \left(R - \dfrac{1}{j\omega \cdot 3 \cdot C} - j\omega \cdot L \right)} \quad \text{mit } \underline{Z} = 33{,}54\,\Omega\, e^{j26{,}57°}$$

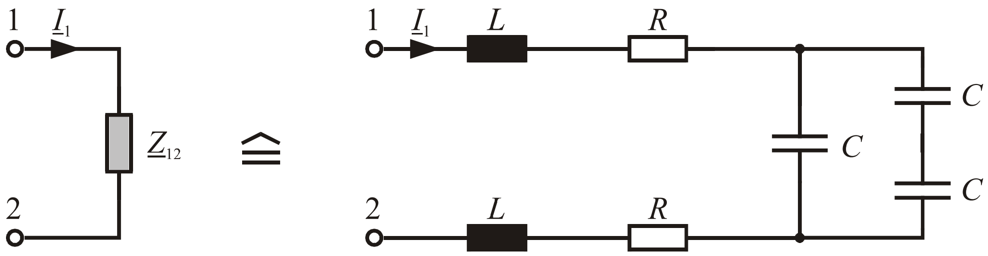
$$= \frac{(230\ V)^2}{30\ \Omega + j25\ \Omega - j40\ \Omega} = 1577\ \mathrm{VA} \cdot e^{j26{,}57°}$$

(Ansatz richtig $\Rightarrow$ **1 Punkt,** Zahlenwerte richtig $\Rightarrow$ **1 Punkt**)

$\underline{I}_1$ kann man aus dem einphasigen ESB herleiten.

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \frac{U_0\ e^{-j30°}}{\sqrt{3} \cdot \left(R + \dfrac{1}{j\omega \cdot 3 \cdot C} + j\omega \cdot L \right)} = \frac{230\ V\ e^{-j30°}}{\sqrt{3} \cdot 33{,}54\ \Omega\, e^{j26{,}57°}} = 3{,}96\ \mathrm{A}\, e^{-j56{,}57°}$$ **(1 Punkt)**

4.3



$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_{12}}{\underline{Z}_{12}} = \frac{U_0}{2R + 2(j\omega L) + \dfrac{1}{1{,}5(j\omega C)}} = \frac{230\ \mathrm{V}}{60\ \Omega + j80\ \Omega - j50\ \Omega} = 3{,}43\ \mathrm{A} \cdot e^{-j26{,}6°}$$

($\underline{Z}_{12}$ richtig $\Rightarrow$ **1 Punkt** $\underline{I}_1$ richtig $\Rightarrow$ **1 Punkt**)

Der Strom teilt sich im Verhältnis 2:1 auf, da er einmal nur den Innenwiderstand einer Spannungsquelle und das andere mal den Innenwiderstand beider Spannungsquellen in Reihe "sieht".

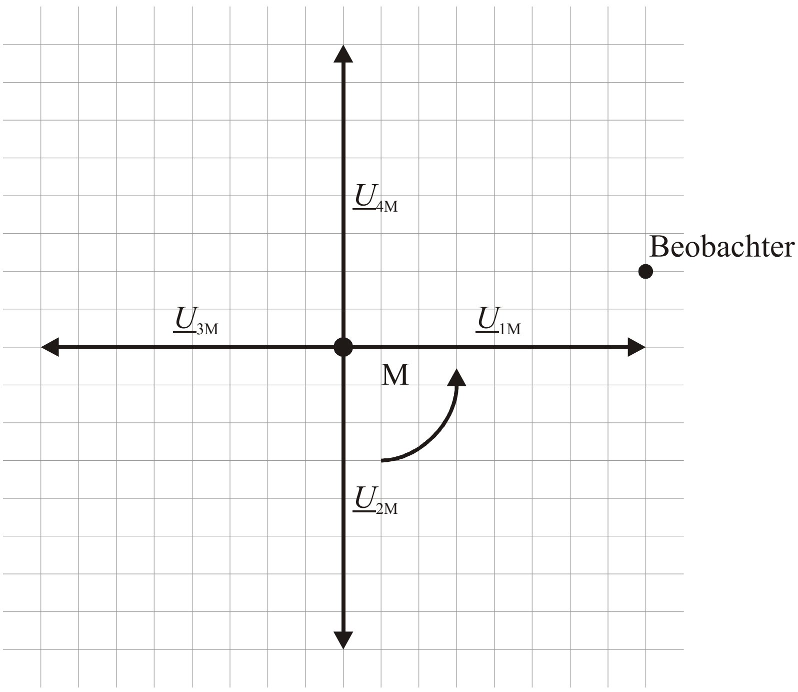
$$\underline{I}_{12} = \frac{2}{3} \cdot \underline{I}_1 = 2{,}29\ \mathrm{A} \cdot e^{-j26{,}6°}$$ **(1 Punkt)**

4.4 Wenn man den in Unterpunkt 7.2 mit dem in Unterpunkt 7.3 errechneten Strom vergleicht, sieht man, dass der Strom nach der Auftrennung des Netzes kleiner ist. Für $\underline{I}_2$ gilt aus Symmetriegründen Selbiges. (**1 Punkt)**

4.5 In der Resonanzfrequenz bilden die Induktivität und die Kapazität einen Kurzschluss. Damit fällt die gesamte Spannung über dem Widerstand ab. Aus dem einphasigen ESB ergibt sich:

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot 3 \cdot C}} = 39{,}53\ \text{Hz} \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

4.6



(Winkel und Längen richtig ⇒ **1 Punkt,** Reihenfolge richtig ⇒ **1 Punkt**)

Die Reihenfolge ist richtig wenn ein Beobachter, bei einem in mathematisch positiven Sinn drehenden System, die Phasen in der richtigen Reihenfolge "an sich vorbeikommen sieht".

Eine gleiche Phasenverschiebung aller Spannungen führt nicht zum Punktabzug

4.7 Im symmetrischen Vierphasensystem kann man 2 unterschiedliche Außenleiterspannungen erhalten.

1. Die Außenleiterspannung zweier benachbarter Phasen $\underline{U}_{xy}$ (y = x + 1) bilden die Schenkel eines gleichschenkligen rechtwinkligen Dreiecks. Daher gilt:

$$a^2 + a^2 = b^2 \Rightarrow \sqrt{2a^2} = b^2$$

$$\left|\underline{U}_{1M} \cdot \sqrt{2}\right| = \left|\underline{U}_{12}\right| = 565{,}7\ \text{V} \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$

2. Die Außenleiterspannung zweier nicht benachbarter Phasen $\underline{U}_{xz}$ (z = x + 2) sind genau um 180° Phasenverschoben und addieren sich daher.

$$\left|\underline{U}_{1M} \cdot 2\right| = \left|\underline{U}_{13}\right| = 800\ \text{V} \qquad \textbf{(1 Punkt)}$$