

Klausur im Modul Grundgebiete der Elektrotechnik II

am 08.09.2014, 9:00 – 10:30 Uhr

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:
-------	----------	---------------

E-Mail-Adres:

Studiengang:

Vorleistung vor

Musterlösung

Nein

Prüfungsdauer: 90 Minu

- Zur Prüfung sind programmierbare Rechner **selbst handschr** nicht gestattet. gerät, Geodreieck/Lineal, nicht
t Formelsammlung (beidseitig
endung von eigenem Papier ist
- Tragen Sie Name und Vorname auf dem Deckblatt und auch auf **jedem** Aufgabenblatt ein.
- Prüfen Sie die Anzahl der Aufgabenblätter (6 Aufgaben / 16 Seiten) auf Vollständigkeit.
- Die Aufgabenblätter sollen zusammengeheftet bleiben. Die Lösungswege und Lösungen zu den Aufgaben sind in die dafür vorgesehenen Zwischenräume einzutragen. Falls Sie mehr Platz benötigen, verwenden Sie die linken leeren Seiten.
- Bei Abgabe: Bleiben Sie bitte an Ihrem Platz. Die bearbeiteten Aufgabenblätter werden bei Ihnen abgeholt.
- Bitte nichts in die folgenden Tabellen eintragen! Diese werden von uns ausgefüllt.

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	Σ
Punkte	20	10	17	20	18	15	100
erreicht							

Übungen (Gewicht 25%)	Klausur (Gewicht 75%)	Gesamt %	Modulnote

Auszufüllen bei der Klausureinsicht:

Klausur eingesehen

_____ Datum

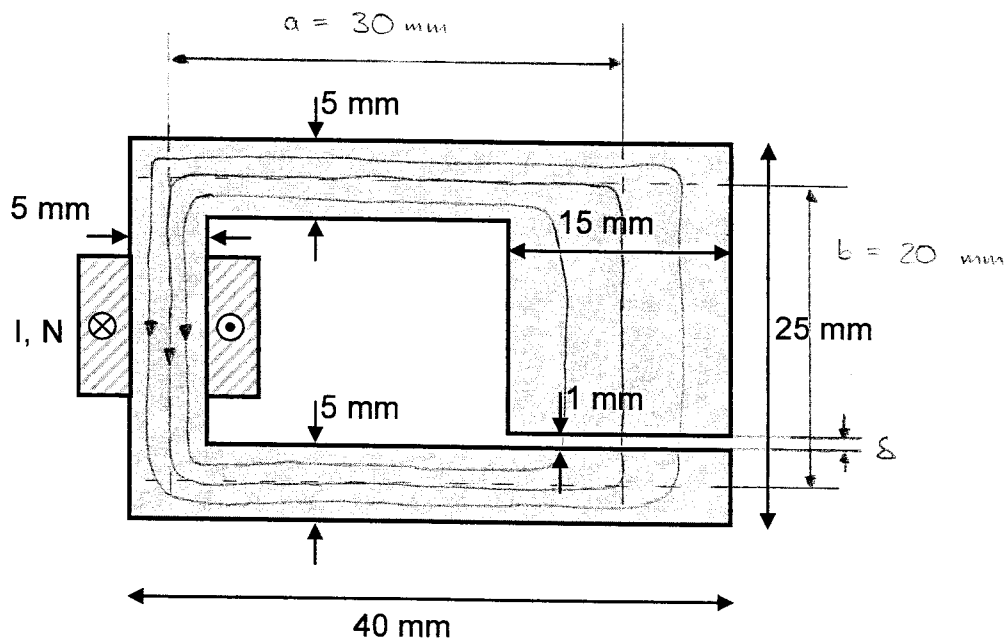
_____ Unterschrift

Name:

Vorname:

Aufgabe 1: Magnetischer Kreis (20 Punkte)

(a) Gegeben sei der unten gezeigte magnetische Kreis, der aus Elektroblechen (Magnetisierungskurve a nächste Seite) mit einer Schichthöhe von 7 mm geschichtet ist. Ein Schenkel sei mit einer Spule mit N Windungen umwickelt, die von einem Strom $I > 0$ durchflossen wird. Zeichnen Sie qualitativ die Feldlinien des magnetischen Flussdichtevektors in die Skizze ein (mindestens drei Feldlinien). Die Streuung soll unberücksichtigt bleiben.



(b) Berechnen Sie für den magnetischen Kreis in (a) den notwendigen Spulenstrom I bei $N = 300$ Windungen, um eine magnetische Flussdichte von $0,4 \text{ T}$ in dem Luftspalt der Länge 1 mm zu erreichen. Der Eisenfüllfaktor betrage $0,8$. Die Streuung soll unberücksichtigt bleiben. Rechnen Sie näherungsweise mit der Annahme mittlerer Weglängen.

$$\Theta = NI = H_{\text{Fe1}}(2a + b) + H_{\text{Fe2}}(b - \delta) + H_{\text{L}} \delta$$

$$\Phi_{\text{L}} = \Phi_{\text{Fe1}} = \Phi_{\text{Fe2}} \quad \Rightarrow \quad \mathcal{R}_{\text{L}} A_{\text{L}} = \mathcal{R}_{\text{Fe1}} A_{\text{Fe1}} F_{\text{Fe}} = \mathcal{R}_{\text{Fe2}} A_{\text{Fe2}} F_{\text{Fe}}$$

$$A_{\text{L}} = A_{\text{Fe2}} = 15 \text{ mm} \cdot 7 \text{ mm}$$

$$A_{\text{Fe1}} = 5 \text{ mm} \cdot 7 \text{ mm}$$

$$F_{\text{Fe}} = 0,8$$

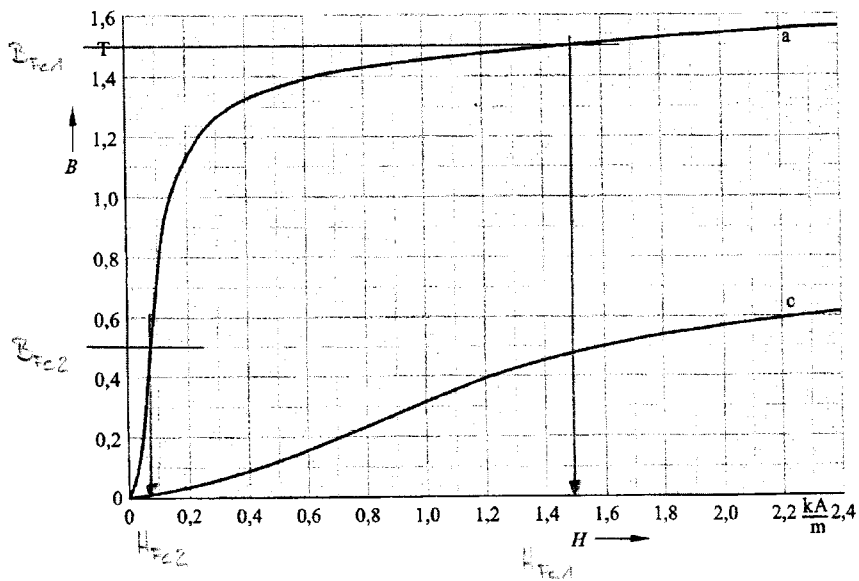
$$\Rightarrow \mathcal{R}_{\text{Fe1}} = \mathcal{R}_{\text{L}} \frac{A_{\text{L}}}{A_{\text{Fe1}} F_{\text{Fe}}} = 1,5 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}$$

$$\mathcal{R}_{\text{Fe2}} = \mathcal{R}_{\text{L}} \frac{A_{\text{L}}}{A_{\text{Fe2}} F_{\text{Fe}}} = 0,5 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}$$

Name:

Vorname:

Magnetisierungskurven: a) kaltgewalztes Elektroblech; c) Grauguss



$$H_{Fc1} = 1500 \frac{A}{m}$$

$$H_{Fc2} = 80 \frac{A}{m}$$

$$H_L = \frac{\mathcal{R}_L}{\mu_0}$$

$$= 318309,2 \frac{A}{m}$$

$$I = \frac{H_{Fc1}(b+2a) + H_{Fc2}(b-\varepsilon) + H_L \varepsilon}{N}$$

$$= 1,466 \text{ A}$$

(c) Wie groß ist die Selbstinduktivität der Spule an dem magnetischen Kreis in (a) bei der Luftspaltflussdichte von 0,4 T?

$$L = \frac{N \Phi_{Fc1}}{I}$$

$$\Phi_{Fc1} = \iint_{A_{Fc1}} \vec{B}_{Fc1} \cdot d\vec{A}$$

$$= B_{Fc1} A_{Fc1} F_{Fc}$$

$$= 42 \mu \text{Vs}$$

$$\rightarrow L = \frac{N \Phi_{Fc1}}{I} = 2,535 \text{ mH}$$

Name:

Vorname:

(d) Bestimmen Sie die insgesamt in dem magnetischen Kreis gespeicherte Energie bei der Luftspaltflussdichte von 0,4 T.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{mag}} &= \iiint_V \frac{1}{2} \vec{H} \cdot \vec{B} \, dV \\
 &= \frac{1}{2} \left(\mu_{\text{Fe1}} \mathcal{E}_{\text{Fe1}} (b+2a) A_{\text{Fe1}} F_{\text{Fe}} + \mu_{\text{Fe2}} \mathcal{E}_{\text{Fe2}} (b-\varepsilon) A_{\text{Fe2}} F_{\text{Fe}} + \mu_L B_L \varepsilon A_L \right) \\
 &= 9,236 \text{ mJ}
 \end{aligned}$$

(e) In den vorherigen Aufgabenteilen wurde die Streuung vernachlässigt. Erläutern Sie den Begriff „Streuung“ in diesem Zusammenhang in ganzen Sätzen. In der Erläuterung dürfen keine Formeln oder Formelzeichen auftauchen!

Der magnetische Fluss schließt sich nicht vollständig über dem Eisenkern und Luftspalt. Dieser Teil (z.B. das Streufeld der Spulenwicklungen, das nicht in den Kern eingeschlossen wird und die Streufelder, die an den Enden des Kerns und am Luftspalt ausgekoppelt werden) trägt nicht zum nützlichen Eisen-/Luftspaltfluss bei und wird als Streuung bezeichnet.

Vereinfachend werden alle Streuteile zum Streufeld zusammengefasst und angenommen, dass der Streufeld parallel zum Luftspaltfluss liegt.

(f) Ist der benötigte Spulenstrom zum Erzeugen der magnetischen Flussdichte von 0,4 T in dem Luftspalt unter Berücksichtigung von Streuung größer oder kleiner als der in (b) berechnete? Begründen Sie!

$$\Phi_{\text{Fe}} = \Phi_L + \Phi_S$$

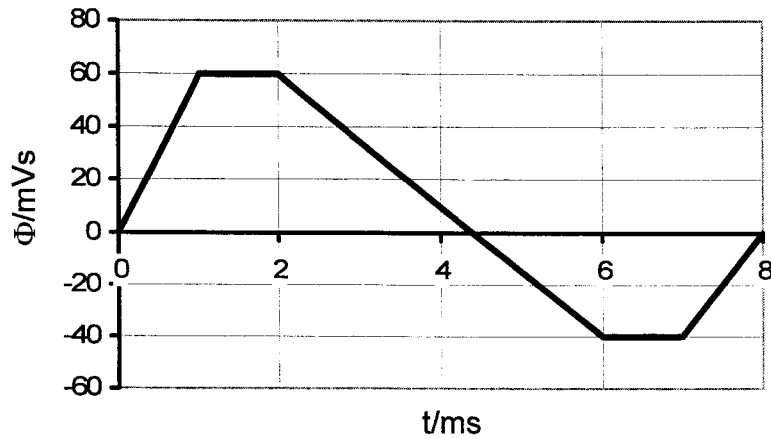
Um eine Luftspaltflussdichte von 0,4 T zu erzeugen, muss bei Berücksichtigung der Streuung ein größerer Eisenfluss Φ_{Fe} erzeugt werden. Damit erhöht sich die Eisenflussdichte um den Anteil des Streufeldanteils, was eine höhere mag. Feldstärke im Kern zur Folge hat (monoton steigende Magnetisierungskennlinie). Folglich erhöht sich der magn. Durchfluss, und damit der Spulenstrom, da die Kernabmessungen und Windungszahl unverändert bleiben.

Name:

Vorname:

Aufgabe 2: Induktion (10 Punkte)

In einer Leiterschleife ändert sich der magnetische Fluss Φ nach der unten gegebenen Zeitfunktion.



(a) Berechnen Sie die induzierte Spannung für die Zeitspanne $0 \leq t \leq 8 \text{ ms}$.

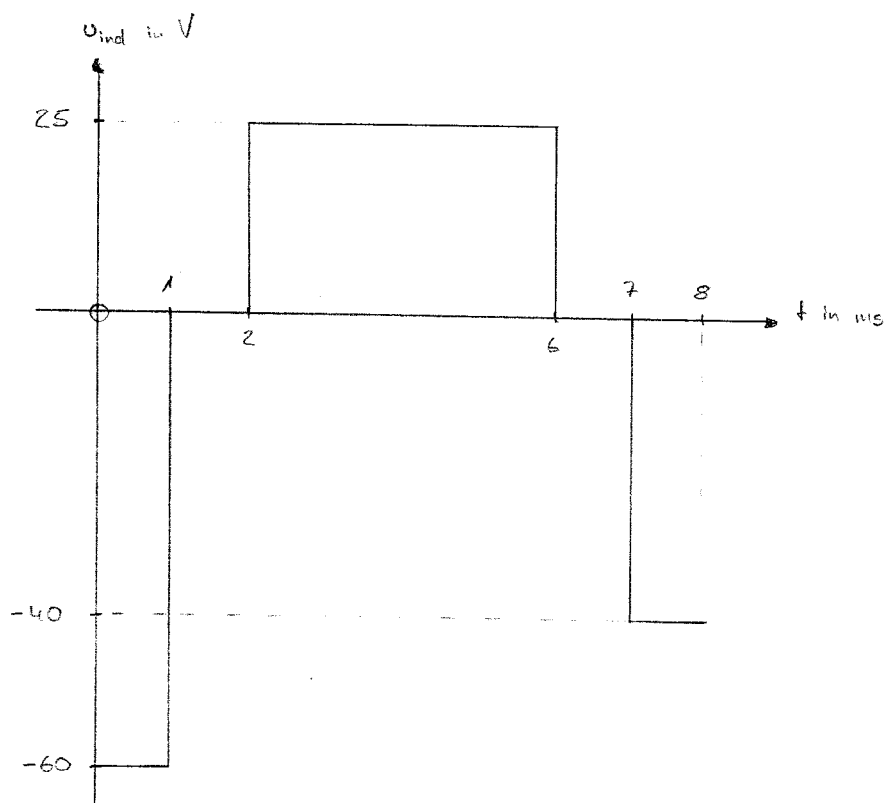
$$U_{\text{ind}} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

$$= \begin{cases} - \frac{60 \text{ mVs}}{1 \text{ ms}} = -60 \text{ V} & \text{für } 0 \text{ ms} \leq t \leq 1 \text{ ms} \\ 0 & \text{für } 1 \text{ ms} < t \leq 2 \text{ ms} \\ - \frac{-100 \text{ mVs}}{4 \text{ ms}} = 25 \text{ V} & \text{für } 2 \text{ ms} < t \leq 6 \text{ ms} \\ 0 & \text{für } 6 \text{ ms} < t \leq 7 \text{ ms} \\ - \frac{40 \text{ mVs}}{1 \text{ ms}} = -40 \text{ V} & \text{für } 7 \text{ ms} < t \leq 8 \text{ ms} \end{cases}$$

Name:

Vorname:

(b) Zeichnen Sie einen Graphen der induzierten Spannung über der Zeit.



Name:	Vorname:
-------	----------

Aufgabe 3: Wechselstromnotationen und QUCS (17 Punkte)

(a) Füllen Sie die nachfolgende Tabelle mit den verschiedenen Darstellungen von Sinusschwingungen aus. Für die Fälle (a) und (b) ist jeweils eine Darstellung gegeben und alle anderen Darstellungsmöglichkeiten für das Signal sollen gefunden werden.

	(a)	(b)
Gleichung im Zeitbereich	$i(t) = 2 \text{ A} \cdot \cos(2\pi \text{ Hz} \cdot t - 30^\circ)$	$u(t) = \sqrt{2} \text{ V} \cos(\omega t + 120^\circ)$
Kreisfrequenz ω	$\omega = 2\pi \text{ Hz}$	$\omega = 500 \text{ s}^{-1}$
Zeigerdarstellung – Amplitudenzeiger (Skizze zeichnen!)		
Zeigerdarstellung – Effektivwertzeiger (Skizze zeichnen!)		
Vollständiges komplexes Symbol	$\hat{i}(t) = 2 \text{ A} e^{j(\omega t - 30^\circ)}$	$\hat{u}(t) = \sqrt{2} \text{ V} e^{j(\omega t + 120^\circ)}$
Komplexes Amplitudensymbol – P-Form	$\hat{i} = 2 \text{ A} e^{-j30^\circ}$	$\hat{u} = \sqrt{2} \text{ V} e^{j120^\circ}$
Komplexes Amplitudensymbol – R-Form	$\hat{i} = (1,732 - j1) \text{ A}$	$\hat{u} = (-0,707 + j1,225) \text{ V}$
Komplexes Effektivwert-symbol – P-Form	$\underline{i} = \sqrt{2} \text{ A} e^{-j30^\circ}$	$\underline{u} = 1 \text{ V} \angle 120^\circ$
Komplexes Effektivwert-symbol – R-Form	$\underline{i} = (1,225 - j0,707) \text{ A}$	$\underline{u} = (-0,5 + j0,866) \text{ V}$

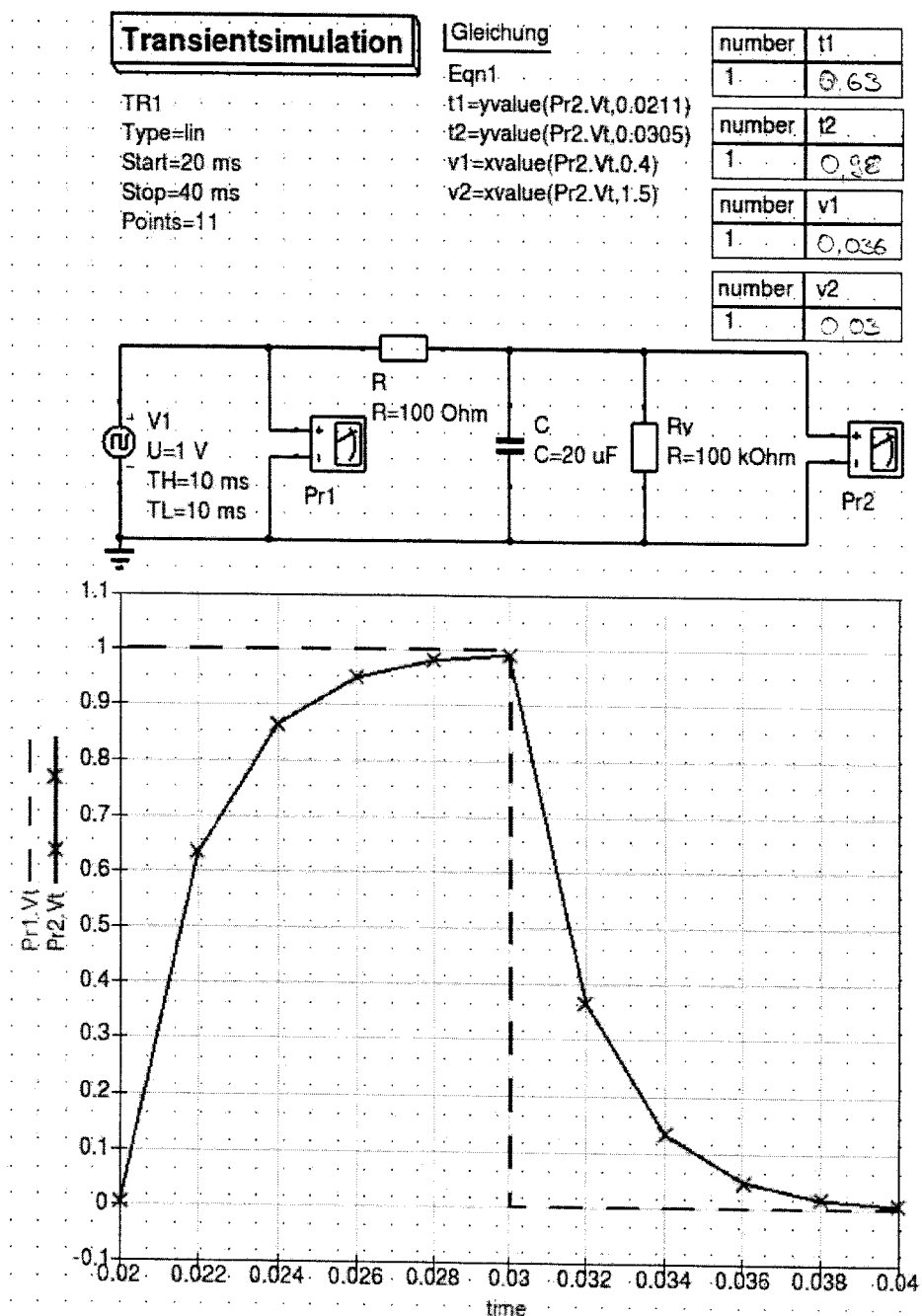
Name:

Vorname:

(b) Gegeben sei die unten gezeigte QUCS-Simulation. Gezeigt ist der Auflade- und Entladevorgang eines Kondensators, der mit einer Rechteckspannung versorgt wird. Die Werte t_1 , t_2 , v_1 und v_2 wurden entfernt. Welche Werte ergeben sich bei der Simulation für t_1 , t_2 , v_1 und v_2 ? Tragen Sie die Werte in die vier freien Felder der Simulation ein und begründen Sie Ihre Antwort kurz, indem Sie die allgemeine Funktionsweise der in den Gleichungen verwendeten Funktionen erläutern.

Die Funktion $xvalue(a, y)$ sucht im Vektor a den x -Wert des Punktes, dessen y -Wert dem Parameter y am nächsten liegt und der in der Simulation berechnet wurde. Der Vektor a muss dazu eine einfache Datenabhängigkeit besitzen.

Analog $yvalue(a, x)$.

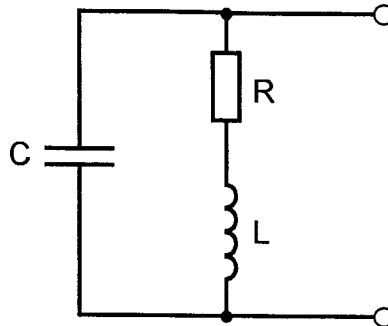


Name:

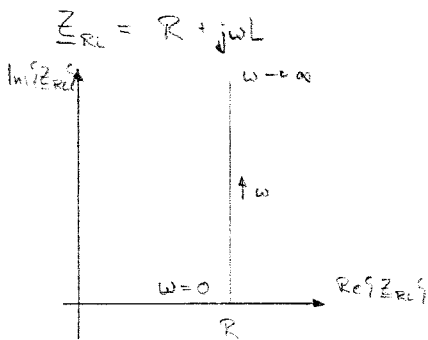
Vorname:

Aufgabe 4: Ortskurven (20 Punkte)

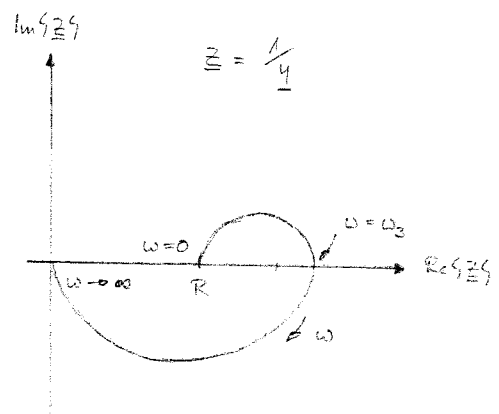
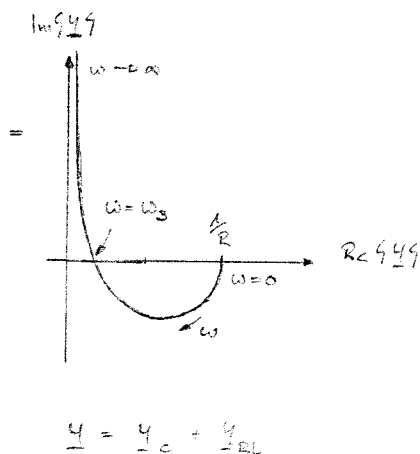
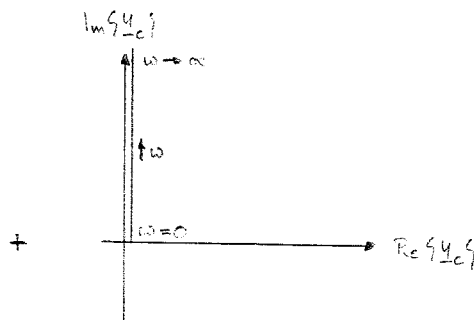
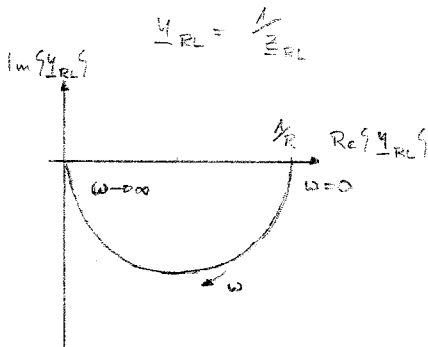
(a) Gegeben sei das folgende passive Netzwerk:



Konstruieren Sie den prinzipiellen Verlauf der Ortskurve der Leitwertfunktion und der Ortskurve der Widerstandsfunktion durch Kombination der Einzelortskurven der beiden Zweige. Kennzeichnen Sie für welchen Schaltungsteil die jeweilige Ortskurve ist.



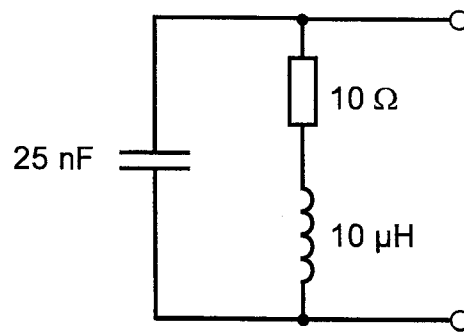
$Y_C = j\omega C$



Name:

Vorname:

(b) Nun werde das passive Netz mit folgenden Bauelementgrößen betrachtet:



Bestimmen Sie den Leitwert und den Widerstand des Netzwerks jeweils für $\omega_1 = 0 \text{ s}^{-1}$ und $\omega_2 \rightarrow \infty$.

$$\omega_1 = 0 \text{ Hz} : \quad Z|_{\omega=0} = R$$

$$Y|_{\omega=0} = \frac{1}{R}$$

$$\omega_2 \rightarrow \infty : \quad Z|_{\omega \rightarrow \infty} = 0$$

$$Y|_{\omega \rightarrow \infty} \rightarrow \infty$$

Name:

Vorname:

(c) Berechnen Sie diejenige Kreisfrequenz ω_3 mit $0 \text{ s}^{-1} < \omega_3 < \infty$, für die der Imaginärteil des Leitwerts Null ist.

$$\begin{aligned} \underline{Y} &= j\omega C + \frac{1}{R + j\omega L} \\ &= j\omega C + \frac{R - j\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} \\ &= \frac{R}{R^2 + \omega^2 L^2} + j \frac{\omega C(R^2 + \omega^2 L^2) - \omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \operatorname{Im}\{Y\} &\stackrel{!}{=} 0 : & \omega C(R^2 + \omega^2 L^2) - \omega L &= 0 \\ & & \omega C R^2 + \omega^3 C L^2 - \omega L &= 0 \quad | \cdot \frac{1}{\omega} \\ & & \omega^2 C L^2 + C R^2 - L &= 0 \end{aligned}$$

$$\omega_3 = \pm \sqrt{\frac{L - C R^2}{C L^2}}$$

$$\omega_3 = \pm \sqrt{3 \cdot 10^{12}} \text{ Hz}$$

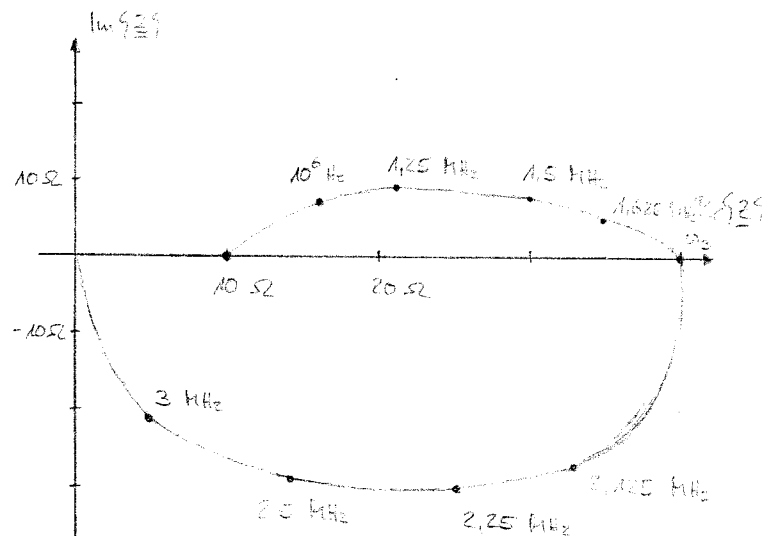
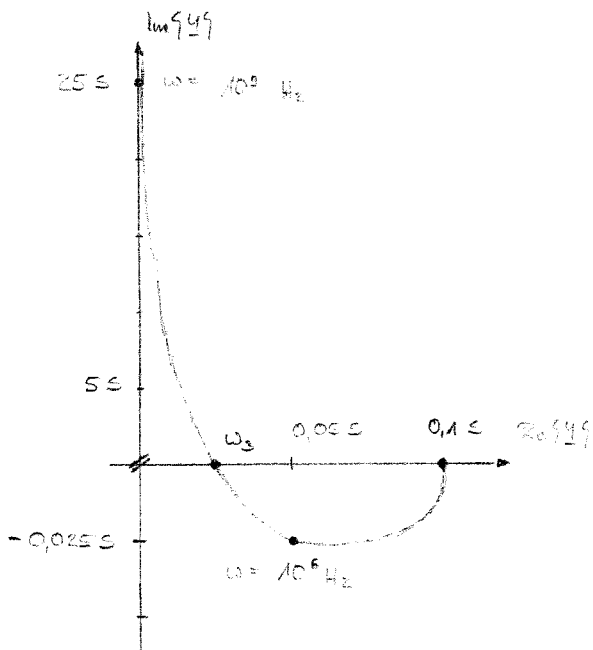
$$\omega_3 = \pm 1,732051 \text{ MHz}$$

Name:

Vorname:

(d) Zeichnen Sie die Ortskurve der Leitwertfunktion und die Ortskurve der Widerstandsfunktion für das Netzwerk in (b). Erstellen Sie dazu eine Wertetabelle für den Realteil und den Imaginärteil der Leitwertfunktion und der Widerstandsfunktion, die neben den Kreisfrequenzen ω_1 , ω_2 und ω_3 mindestens vier weitere sinnvoll gewählte Kreisfrequenzen enthält.

ω	$Y = j\omega C + \frac{1}{R + j\omega L}$	$Z = \frac{\frac{1}{j\omega C} (R + j\omega L)}{\frac{1}{j\omega C} + R + j\omega L}$
0 Hz	0,1 S	10 Ω
10^2 Hz	$(0,1 - j 0,1 \cdot 10^{-3})$ S	$(10 + j 7,5 \cdot 10^{-2})$ Ω
10^6 Hz	$(0,05 - j 0,025)$ S	$(16 + j 8)$ Ω
ω_3	0,025 S	40 Ω
10^8 Hz	$(10^{-7} + j 24,9)$ S	$(0,16 \cdot 10^{-2} - j 0,04)$ Ω
10^{10} Hz	$(10^{-13} + j 25 \cdot 10^3)$ S	$(160,01 \cdot 10^{-24} - j 40 \cdot 10^{-6})$ Ω
∞	$\rightarrow (0 + j \infty)$ S	0 Ω



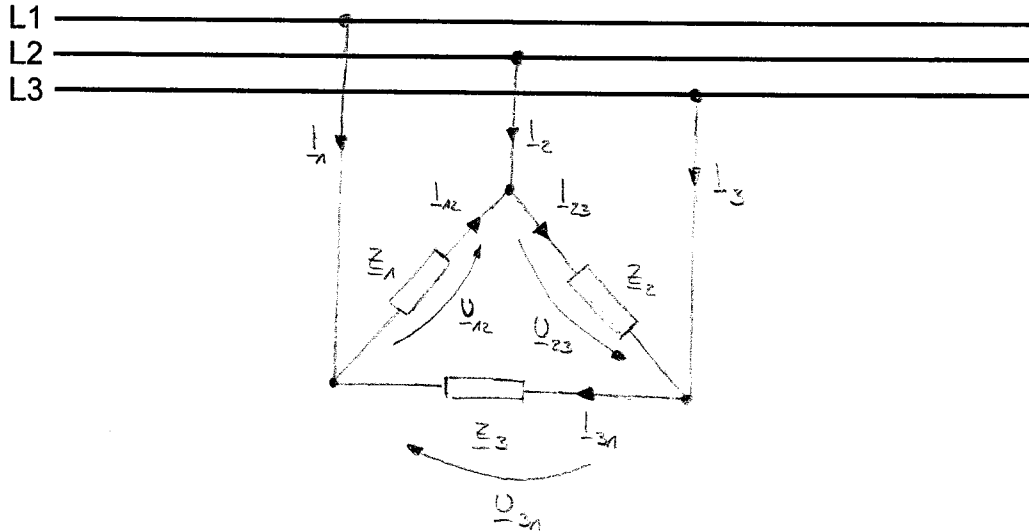
Name:

Vorname:

Aufgabe 5: Drehstrom (18 Punkte)

An ein 400-V-Drehstromnetz mit drei Leitern sollen drei Verbraucher $\underline{Z}_1 = 15 \Omega$, $\underline{Z}_2 = 8 \Omega \angle -10^\circ$, $\underline{Z}_3 = 30 \Omega + j 5 \Omega$ in Dreieckschaltung angeschlossen werden.

(a) Zeichnen Sie die Schaltung ein:



(b) Berechnen Sie die die Strangströme und die Außenleiterströme.

$$\underline{U}_{12} = 400 \text{ V } e^{j0^\circ}$$

$$\underline{U}_{23} = 400 \text{ V } e^{-j120^\circ}$$

$$\underline{U}_{31} = 400 \text{ V } e^{j120^\circ}$$

$$\underline{I}_{12} = \frac{\underline{U}_{12}}{\underline{Z}_1} = 26,6 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{23} = \frac{\underline{U}_{23}}{\underline{Z}_2} = 50 \text{ A } e^{-j10^\circ}$$

$$\underline{I}_{31} = \frac{\underline{U}_{31}}{\underline{Z}_3} = 13,152 \text{ A } e^{j110,5^\circ}$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{12} - \underline{I}_{31} = 33,612 \text{ A } e^{-j21,5^\circ}$$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_{23} - \underline{I}_{12} = 64,212 \text{ A } e^{j123^\circ}$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_{31} - \underline{I}_{23} = 60,606 \text{ A } e^{j78,1^\circ}$$

Name:

Vorname:

(c) Berechnen Sie die von der Verbrauchergruppe aufgenommene Wirkleistung und Blindleistung. Wie groß ist der Leistungsfaktor der Verbrauchergruppe?

$$\begin{aligned}\underline{S} &= \underline{U}_{12} \underline{I}_{12}^* + \underline{U}_{22} \underline{I}_{22}^* + \underline{U}_{21} \underline{I}_{21}^* \\ &= 35,647 \text{ kW } e^{-j4,2^\circ} \\ &= (35,552 - j 2,605) \text{ kW} \\ &= P + jQ\end{aligned}$$

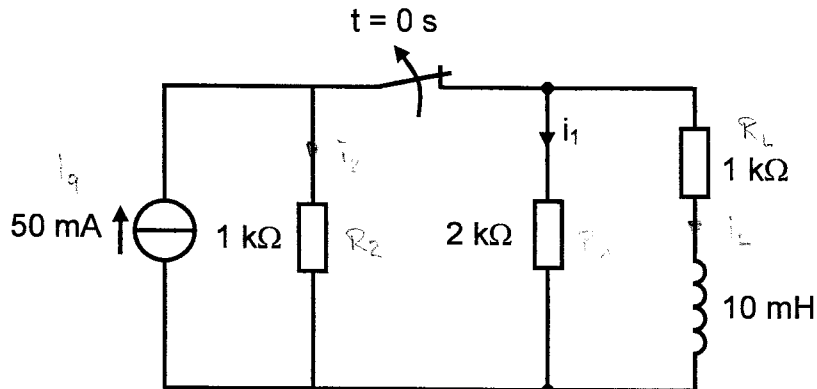
$$\lambda = \cos(\varphi) = \frac{P}{|\underline{S}|} = 0,997$$

Name:

Vorname:

Aufgabe 6: Schaltvorgang (15 Punkte)

Gegeben sei das folgende Netzwerk mit einer Gleichstromquelle, in dem der Schalter zum Zeitpunkt $t = 0$ s geöffnet wird.



(a) Berechnen Sie den Zeitverlauf des Stroms $i_1(t)$.

Anfangsbed.: $i_L(t < 0) = I_q \frac{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}{R_L + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{2}{5} I_q = 20 \text{ mA}$

Endbed.: $i_L(t \rightarrow \infty) = 0 \text{ mA}$

Differentialgl.: $v = -i_L$
 $U_n = R_1 i_n$
 $U_L = R_L i_L + L \frac{di_L}{dt} \rightarrow -R_1 i_L = R_L i_L + L \frac{di_L}{dt}$
 $U_n = U_L \rightarrow 0 = (R_1 + R_L) i_L + L \frac{di_L}{dt}$

Von Log. der Diff. gl.: Ansatz $i_L(t) = c_1 e^{\lambda t}$
 $\rightarrow 0 = (R_1 + R_L) c_1 e^{\lambda t} + L \lambda c_1 e^{\lambda t} \rightarrow \lambda = -\frac{R_1 + R_L}{L}$

part. Log.: $i_{L,p}(t) = 0 \text{ A}$ (Quellwert!)

$\rightarrow i_L(t) = i_{L,h}(t) + i_{L,p}(t)$
 $= 0 \text{ A} + c_1 e^{-\frac{R_1 + R_L}{L} t}$

Bestimmung der Konstanten c_1 : Anfangsbed.

$i_L(t=0) = i_L(t < 0) = 20 \text{ mA} = c_1 e^{-\frac{R_1 + R_L}{L} \cdot 0} = c_1$

$\rightarrow i_L(t) = -i_L(t) = -20 \text{ mA} e^{-\frac{t}{30 \mu\text{s}}} \text{ für } t > 0 \text{ s}$

Name:

Vorname:

$$i_1(t < 0) = I_0 \frac{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}{R_1 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{1}{5} I_0 = 10 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow i_1(t) = \begin{cases} 10 \text{ mA} & \text{für } t < 0 \text{ s} \\ -20 \text{ mA} e^{-\frac{t}{3.3 \mu\text{s}}} & \text{für } t > 0 \text{ s} \end{cases}$$

(b) Zeichnen Sie den Zeitverlauf des Stroms $i_1(t)$ für $t < 0$ und $t > 0$ in einem sinnvollen Zeitbereich.

