

# Klausur im Modul Grundgebiete der Elektrotechnik II

am 24.03.2010, 9:00 – 10:30 Uhr

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

E-Mail-Adresse:
-----------------

Studiengang:
--------------

Prüfungsdauer: 90 Minuten

- Zur Prüfung sind folgende Hilfsmittel zugelassen: Schreibgerät, Geodreieck/Lineal, nicht programmierbarer Taschenrechner sowie ein DIN A4-Blatt Formelsammlung (beidseitig selbst **handschriftlich** beschrieben, nicht kopiert). Die Verwendung von eigenem Papier ist nicht gestattet.
- Tragen Sie Name und Vorname auf dem Deckblatt und auch auf **jedem** Aufgabenblatt ein.
- Prüfen Sie die Anzahl der Aufgabenblätter (6 Aufgaben / 14 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	$\Sigma$
Punkte	10	25	12	20	18	15	100
erreicht							

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

Auszufüllen bei der Klausureinsicht:

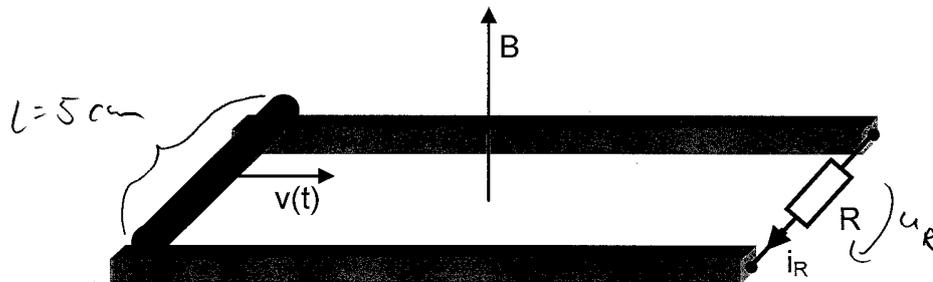
Klausur eingesehen \_\_\_\_\_ Datum \_\_\_\_\_ Unterschrift \_\_\_\_\_

Name:

Vorname:

**Aufgabe 1: Induktion (10 Punkte)**

Ein Metallstab mit einer Länge von 5 cm rgle mit einer Geschwindigkeit von  $v(t) = 1,5\text{m/s}^3 \cdot t^2$  über zwei Metallschienen. Die Ebene, in der sich die Metallschienen befinden, sei senkrecht von einem konstanten, homogenen Magnetfeld der Stärke 0,5 T durchsetzt. Das Metall werde als ideal leitend betrachtet. Die Endflächen der Metallschienen seien über einen Widerstand  $R = 10 \Omega$  miteinander verbunden.



(a) Berechnen Sie die Stromstärke  $i_R(t)$ .

$$U_R = R \cdot i_R$$

$$\Phi(t) = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = B \cdot A(t)$$

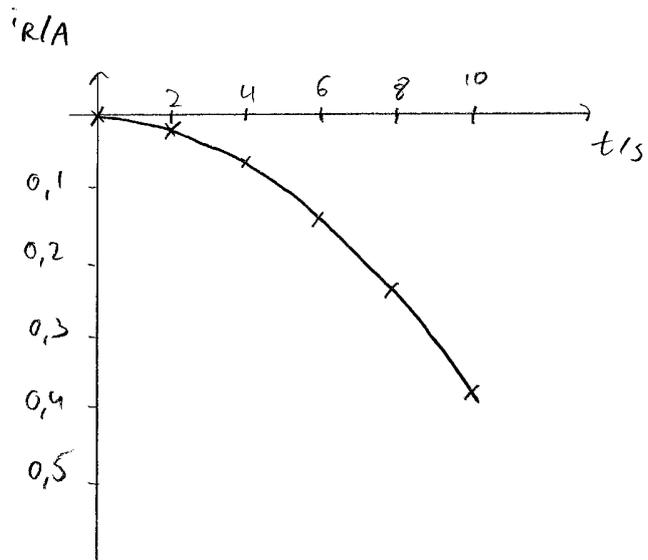
$$U_R(t) = \frac{d\Phi(t)}{dt} = B \cdot \frac{dA(t)}{dt} = -B \cdot (l \cdot v(t))$$

$$i_R(t) = \frac{U_R(t)}{R} = - \frac{B \cdot l \cdot v(t)}{R} = -3,75 \cdot \frac{\text{mA}}{\text{s}^2} \cdot t^2$$

Name:

Vorname:

(b) Zeichnen Sie die Stromstärke  $i_R$  für die Zeitspanne  $0 \leq t \leq 10$  s.



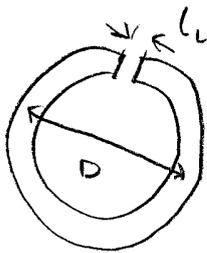
Name:

Vorname:

**Aufgabe 2: Kreisringspule (25 Punkte)**

Eine einlagig gewickelte Kreisringspule (200 Windungen; Ringdurchmesser 15 cm; Querschnittsfläche  $4 \text{ cm}^2$ ) habe einen Eisenkern aus Elektroblechen mit einem Luftspalt der Länge 1 mm (Magnetisierungskurve a) unten). Der Eisenfüllfaktor betrage 0,9 und die Streuung bleibe unberücksichtigt. Die Flussdichte im Luftspalt soll im Bereich  $0 \dots 1,4 \text{ T}$  mit der Stromstärke eingestellt werden.

(a) Erstellen Sie eine Wertetabelle für 5 Werte der Flussdichte im Luftspalt (jeweils  $> 0 \text{ T}$ ), die mindestens die folgenden Größen enthält: Magnetischer Fluss im Luftspalt, magnetische Feldstärke in Luft und im Eisen, notwendige Durchflutung, notwendige Stromstärke, jeweilige Induktivität der Kreisringspule.



$$l_L = 1 \text{ mm}$$

$$D = 15 \text{ cm}$$

$$F_{Fe} = 0,9$$

$$l_{Fe} = \pi \cdot D - l_L = 0,970 \text{ m}$$

$$N = 200$$

$$A = 4 \text{ cm}^2$$

$$\Phi_L = B_L \cdot A; \Phi_{Fe} = \Phi_L = B_{Fe} \cdot A \cdot F_{Fe} \rightarrow B_{Fe} = \frac{B_L}{F_{Fe}}$$

$$H_L = \frac{B_L}{\mu_0}; H_{Fe} \text{ aus Graph}; U_{mL} = H_L \cdot l_L; U_{mFe} = H_{Fe} \cdot l_{Fe}; \Theta = U_{mL} + U_{mFe}$$

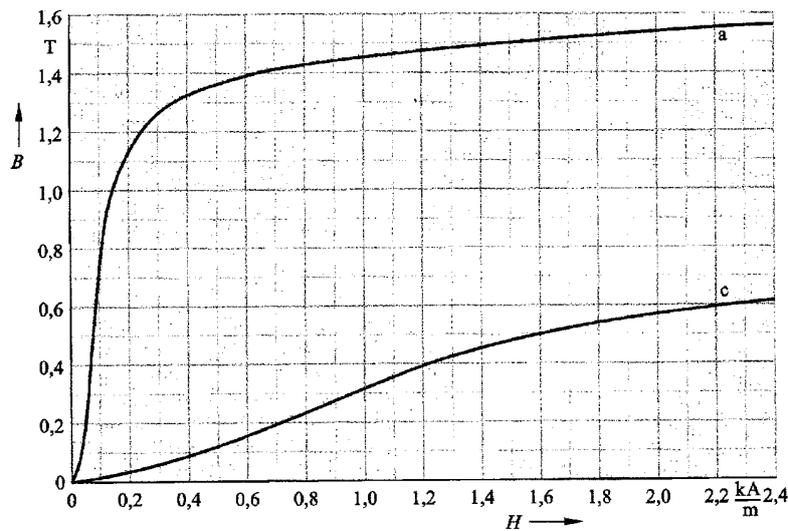
$$I = \frac{\Theta}{N}; L = \frac{\Phi_L}{I} = \frac{N \cdot \Phi_L}{I} = N^2 \cdot \frac{\Phi_L}{\Theta}$$

$B_L / \text{T}$	$\Phi_L / 10^{-3} \text{ Vs}$	$B_{Fe} / \text{T}$	$H_L / \frac{\text{kA}}{\text{m}}$	$U_{mL} / \text{A}$	$H_{Fe} / \frac{\text{kA}}{\text{m}}$	$U_{mFe} / \text{A}$	$\Theta / \text{A}$	$I / \text{A}$	$L / \text{mH}$
0,3	0,12	0,33	239	239	0,07	33	272	1,4	17
0,6	0,24	0,66	477	477	0,10	47	524	2,6	18
0,9	0,36	1,0	716	716	0,14	66	782	3,9	18
1,2	0,48	1,33	954	954	0,42	197	1151	5,8	17
1,4	0,56	1,56	1114	1114	2,4	1128	2242	11,2	10

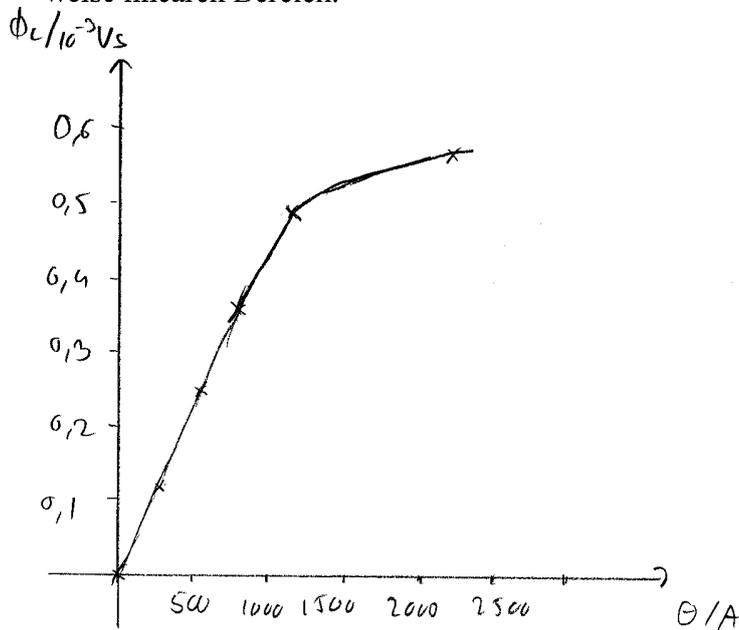
Name:

Vorname:

Magnetisierungskurven: a) kaltgewalztes Elektroblech; c) Grauguss



(b) Zeichnen Sie den Graph des magnetischen Flusses im Luftspalt als eine Funktion der Durchflutung. Bestimmen Sie graphisch den magnetischen Leitwert der Kreisringspule für den näherungsweise linearen Bereich.



$$\mu_m = \frac{\phi_L}{\Theta} = \frac{0,36 \cdot 10^{-3} \text{ Vs}}{782 \text{ A}} = 4,6 \cdot 10^{-7} \text{ H}$$

Name:

Vorname:

(c) Berechnen Sie zum Vergleich den magnetischen Leitwert für den Luftspalt sowie die sich daraus ergebende Induktivität bei Vernachlässigung der magnetischen Spannung am Eisenweg.

$$\Lambda_{ml} = \frac{\phi_L}{U_{ml}} = \frac{B_L \cdot A}{H_L \cdot l_L} = \frac{A \cdot \mu_0}{l_L} = 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ H}$$

$$L_L = N^2 \cdot \Lambda_{ml} = 20 \text{ mH}$$

(d) Berechnen Sie die magnetische Energie im Luftspalt für eine Flussdichte im Luftspalt von 1,0 T.

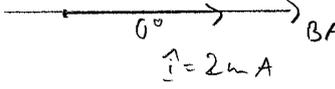
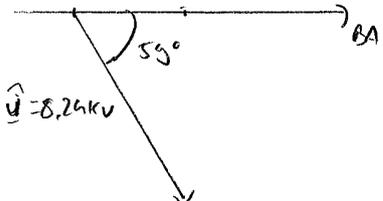
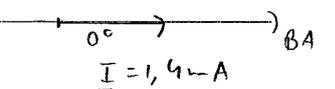
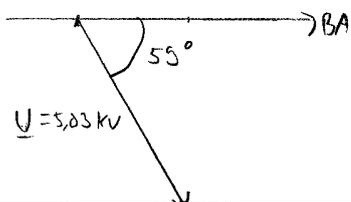
$$W_{ml} = \frac{B_L^2}{2\mu_0} \cdot l_L \cdot A = 159 \text{ mJ}$$

Name:

Vorname:

### Aufgabe 3: Wechselstromnotationen (12 Punkte)

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	$i(t) = 2\text{mA} \cos(2\pi \cdot 50\text{Hz} \cdot t)$	$u(t) = 8,24\text{kV} e^{j(2\pi \cdot 15,9\text{kHz} \cdot t - 59^\circ)}$
Kreisfrequenz $\omega$	$\omega = 2\pi \cdot 50\text{Hz} = 314\text{ s}^{-1}$	$\omega = 0,1\text{ s}^{-1}$
Zeigerdarstellung – Amplitudenzeiger		
Zeigerdarstellung – Effektivwertzeiger		
Vollständiges komplexes Symbol	$\underline{i}(t) = 2\text{mA} e^{j(2\pi \cdot 50\text{Hz} \cdot t)}$	$\underline{u}(t) = 8,24\text{kV} e^{j(0,15\text{kHz} \cdot t - 59^\circ)}$
Komplexes Amplitudensymbol – P-Form	$\hat{i} = 2\text{mA} \angle 0^\circ$	$\hat{u} = 8,24\text{kV} \angle -59^\circ$
Komplexes Amplitudensymbol – R-Form	$\hat{i} = 2\text{mA}$	$\hat{u} = 4,24\text{kV} - j \cdot 7,07\text{kV}$
Komplexes Effektivwertsymbol – P-Form	$\underline{I} = 1,4\text{mA} \angle 0^\circ$	$\underline{U} = 5,83\text{kV} \angle -59^\circ$
Komplexes Effektivwertsymbol – R-Form	$\underline{I} = 1,4\text{mA}$	$\underline{U} = 3\text{kV} - j 5\text{kV}$

Name:

Vorname:

**Aufgabe 4: Filternetz (20 Punkte)**

Eine lineare Stromquelle ( $R_i = 10 \text{ k}\Omega$ ) soll über einen Tiefpass erster Ordnung an einen Verbraucher mit einem Widerstand von  $2 \text{ k}\Omega$  angeschlossen werden. Der Tiefpass soll mit einem GC-Netz realisiert werden und eine Grenzfrequenz von  $100 \text{ Hz}$  haben.

Tabelle 6.2 Tiefpass erster Ordnung

Größe	GC-Netz	RL-Netz
$\underline{T}(s)$	$\frac{\underline{I}_V(s)}{\underline{I}_q(s)}$	$\frac{\underline{U}_V(s)}{\underline{U}_q(s)}$
$T_{\max} = \lim_{\omega \rightarrow 0} T(\omega)$	$\frac{G_V}{G_i + G_V}$	$\frac{R_V}{R_i + R_V}$
3-dB-Grenzkreisfrequenz $\omega_g$	$\frac{G_i + G_V}{C}$	$\frac{R_i + R_V}{L}$
$\Omega$	$\frac{\omega}{\omega_g}$	
$\underline{I}(j\Omega) = \frac{\underline{T}(j\omega)}{T_{\max}}$	$\frac{1}{j\Omega + 1}$	
$a_i$	$-20 \lg \sqrt{\Omega^2 + 1}$	
$\varphi_T$	$-\arctan \Omega$	

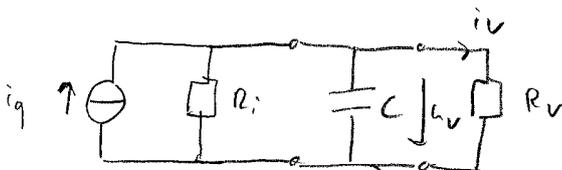
(a) Berechnen Sie die notwendige Kapazität des Filters.

$$R_i = 10 \text{ k}\Omega ; R_V = 2 \text{ k}\Omega ; f_g = 100 \text{ Hz} ;$$

$$\omega_g = 2\pi f_g = \frac{G_i + G_V}{C}$$

$$\rightarrow C = \frac{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_V}}{2\pi f_g} = 0,955 \text{ nF}$$

(b) Zeichnen Sie die Schaltung mit Quelle, Filter und Verbraucher.



Name:

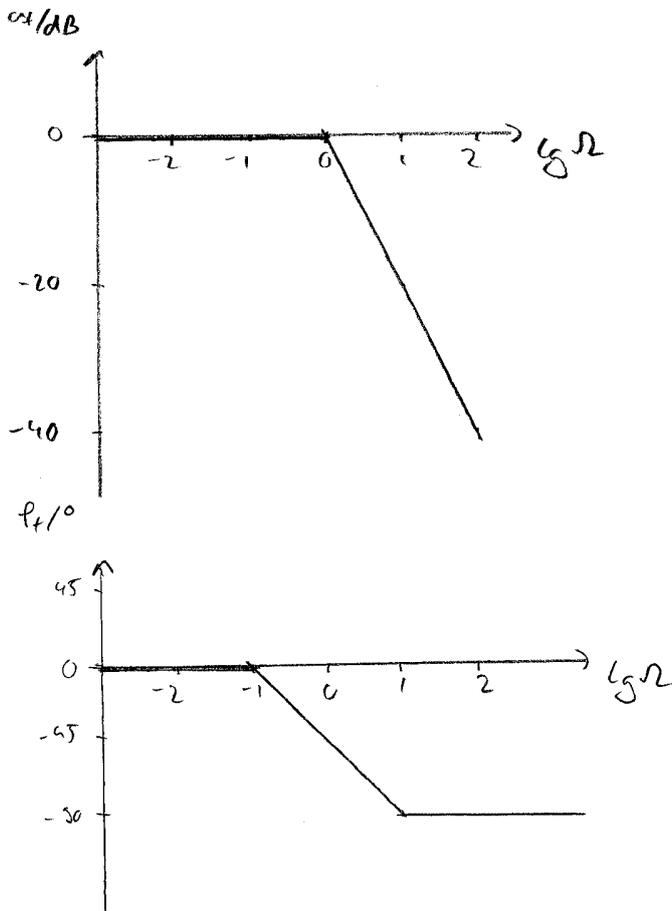
Vorname:

(c) Geben Sie den Übertragungsfaktor  $\underline{T}(j\omega)$  an. Bitte Zahlenwerte angeben! Nur  $\omega$  darf als Variable auftauchen!

$$\underline{T}(j\omega) = \frac{1}{j\omega + 1} \cdot T_{\max} = \frac{1}{j\frac{\omega}{628} + 1} \cdot \frac{G_v}{G_i + G_v}$$

$$= \frac{0,833}{j\frac{\omega}{628 \text{ s}^{-1}} + 1}$$

(d) Erstellen Sie ein Bode-Diagramm für die Schaltung mit den Knickgeraden für den Amplitudengang und den Phasengang. Denken Sie an die Achsbeschriftung!



Name:

Vorname:

(e) Der Kurzschlussstrom der linearen Stromquelle betrage  $i_K(t) = 100 \text{ mA} \cos(2\pi \cdot 200 \text{ Hz } t - 35^\circ)$ . Berechnen Sie den Verbraucherstrom  $i_V(t)$  ohne den Filter.

$$i_q(t) = i_K(t) = 100 \text{ mA} \cos(2\pi \cdot 200 \text{ Hz} \cdot t - 35^\circ)$$

$$i_V(t) = i_q(t) \cdot \frac{G_V}{G_i + G_V} = 83,3 \text{ mA} \cos(2\pi \cdot 200 \text{ Hz} \cdot t - 35^\circ)$$

(f) Der Kurzschlussstrom der linearen Stromquelle betrage  $i_K(t) = 100 \text{ mA} \cos(2\pi \cdot 200 \text{ Hz } t - 35^\circ)$ . Berechnen Sie den Verbraucherstrom  $i_V(t)$  mit dem Filter.

$$\underline{I}(j \cdot 2\pi \cdot 200 \text{ Hz}) = \frac{0,833}{j \frac{2\pi \cdot 200 \text{ Hz}}{128 \text{ s}^{-1}} + 1} = 0,372 \angle -63,4^\circ$$

$$\hat{i}_q = 100 \text{ mA} \angle -35^\circ$$

$$i_V = \underline{I}(j \cdot 2\pi \cdot 200 \text{ Hz}) \cdot \hat{i}_q = 37,2 \text{ mA} \angle -98,4^\circ$$

$$i_V(t) = 37,2 \text{ mA} \cos(2\pi \cdot 200 \text{ Hz} \cdot t - 98,4^\circ)$$

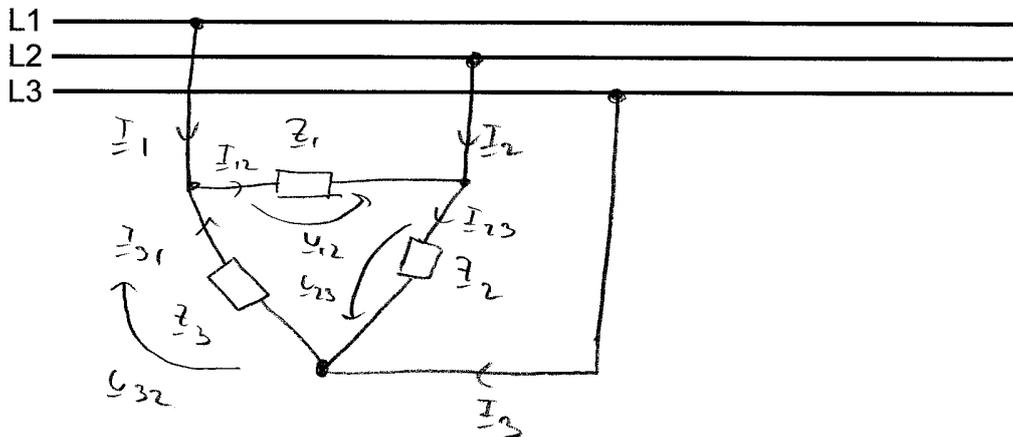
Name:

Vorname:

**Aufgabe 5: Drehstrom (18 Punkte)**

An ein 400-V-Drehstromnetz mit drei Leitern sollen drei Verbraucher  $Z_1 = 20 \text{ m}\Omega - j 5 \text{ m}\Omega$ ,  $Z_2 = 3 \text{ m}\Omega + j 30 \text{ m}\Omega$ ,  $Z_3 = 7 \text{ m}\Omega - j 9 \text{ m}\Omega$  in Dreieckschaltung angeschlossen werden.

(a) Zeichnen Sie die Schaltung ein:



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

$$\underline{U}_{12} = 400 \text{ V } \angle 30^\circ \quad \underline{I}_{12} = \frac{\underline{U}_{12}}{Z_1} = 19,4 \text{ kA } \angle 44,0^\circ$$

$$\underline{U}_{23} = 400 \text{ V } \angle -30^\circ \quad \underline{I}_{23} = \frac{\underline{U}_{23}}{Z_2} = 13,3 \text{ kA } \angle -174,3^\circ$$

$$\underline{U}_{31} = 400 \text{ V } \angle 150^\circ \quad \underline{I}_{31} = \frac{\underline{U}_{31}}{Z_3} = 35,1 \text{ kA } \angle -157,3^\circ$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{12} - \underline{I}_{31} = 53,6 \text{ kA } \angle 29,9^\circ$$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_{23} - \underline{I}_{12} = 31,0 \text{ kA } \angle -151,4^\circ$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_{31} - \underline{I}_{23} = 22,7 \text{ kA } \angle -148^\circ$$

Name:

Vorname:

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

$$\underline{S} = \underline{U}_{12} \cdot \underline{I}_{12}^* + \underline{U}_{23} \cdot \underline{I}_{23}^* + \underline{U}_{31} \cdot \underline{I}_{31}^* = P + j \cdot Q$$

$$= 16,7 \text{ MW} - j \cdot 7,66 \text{ MVar} = 18,4 \text{ MVA} \angle -24,3^\circ$$

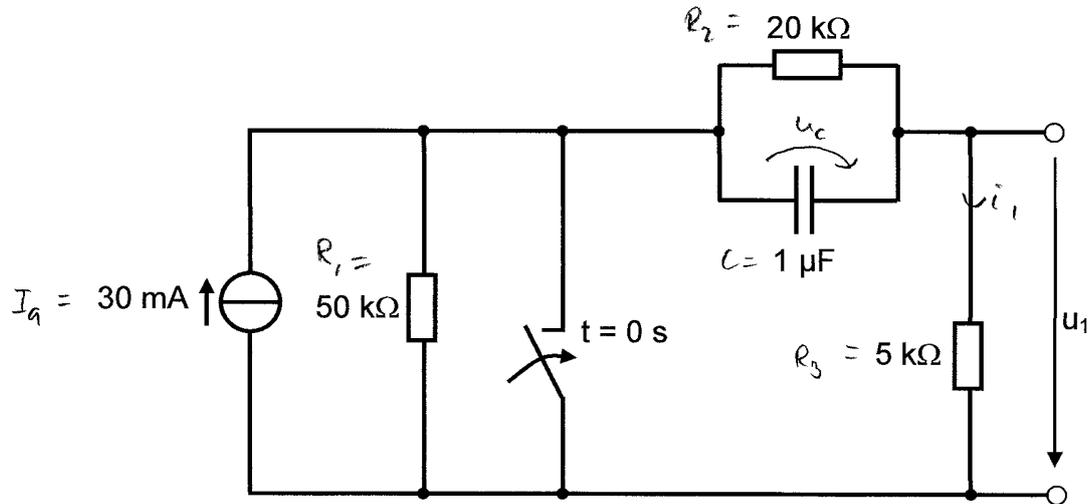
$$\rightarrow P = 16,7 \text{ MW}$$

$$Q = -7,66 \text{ MVar}$$

$$\lambda = \frac{P}{S} = 0,91$$

Name:

Vorname:

**Aufgabe 6: Schaltvorgang (15 Punkte)**Gegeben sei das folgende Netzwerk, in dem der Schalter zum Zeitpunkt  $t = 0$  s geschlossen wird.(a) Berechnen Sie den Zeitverlauf der Spannung  $u_1(t)$ .

$$\underline{t < 0 \text{ s}}$$

$$u_1 = i_1 \cdot R_3 ; i_1 = i_q \cdot \frac{\frac{1}{R_2 + R_3}}{\frac{1}{R_1 + R_3} + \frac{1}{R_1}} = 20 \mu\text{A} \rightarrow u_1 = 100 \text{ V}$$

$$\underline{t \geq 0 \text{ s}}$$

am Kondensator:  $U_A = R_2 \cdot i_1 = 400 \text{ V}$

$$U_E = 0 \text{ V}$$

$$R_E = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = 4 \text{ k}\Omega$$

$$\tau = R_E \cdot C = 4 \text{ ms}$$

$$u_C = U_E + (U_A - U_E) e^{-\frac{t}{\tau}} = 400 \text{ V} e^{-\frac{t}{4 \text{ ms}}}$$

$$u_C(t) + u_1(t) = 0 \rightarrow u_1(t) = -u_C(t) = -400 \text{ V} e^{-\frac{t}{4 \text{ ms}}}$$

Name:

Vorname:

(b) Zeichnen Sie den Zeitverlauf der Spannung  $u_1(t)$  für  $t < 0$  und  $t > 0$  in einem sinnvollen Zeitbereich.

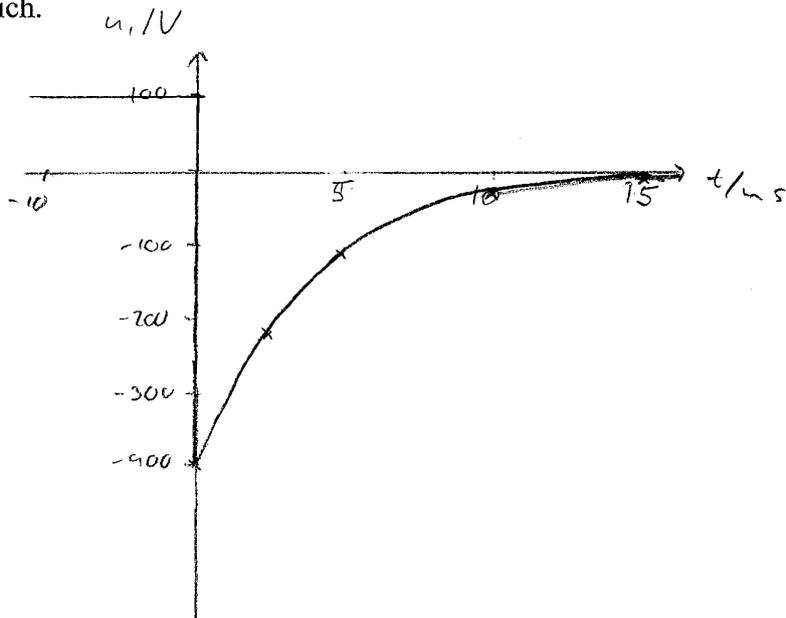


Tabelle Laplace-Transformation:

Nr.	Originalraum: $f(t)$ für $t \geq 0$	Bildraum: $\underline{F}(s)$
10	1	$\frac{1}{s}$
11	$t$	$\frac{1}{s^2}$
12	$\frac{t^n}{n!}$	$\frac{1}{s^{n+1}}$
13	$e^{-at}$	$\frac{1}{s+a}$
14	$\frac{1}{a} \cdot (1 - e^{-at})$	$\frac{1}{s(s+a)}$