

# Musterlösung

## Klausur im Modul Grundgebiete der Elektrotechnik II

am 11.03.2015, 9:00 – 10:30 Uhr

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

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

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

Vorleistung <u>vor</u> SS 2014 berücksichtigen?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
---	-----------------------------	-------------------------------

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 auf 13 Seiten (inkl. Deckblatt)) 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	17	13	18	19	18	15	100
erreicht							

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

Auszufüllen bei der Klausureinsicht:

Klausur eingesehen

Datum

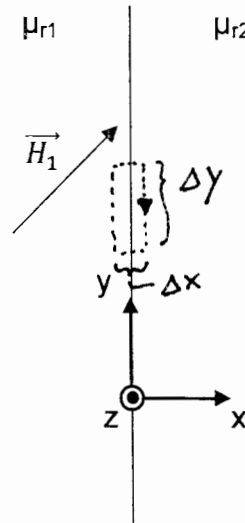
Unterschrift

Name:

Vorname:

### Aufgabe 1: Feldgrößen an Grenzflächen (17 Punkte)

Betrachtet werde das Verhalten der magnetischen Feldstärke  $H$  und der magnetischen Flussdichte  $B$  an einer Grenzfläche zwischen zwei Materialien mit unterschiedlichen relativen Permeabilitäten  $\mu_1$  und  $\mu_2$ . Die  $y$ - $z$ -Ebene bei  $x=0$  bildet die Grenzfläche. Die  $z$ -Achse zeige aus der Papierebene heraus, wie in dem eingezeichneten Koordinatensystem zu sehen.



(a) Betrachten Sie zunächst ein Umlaufintegral in der  $x$ - $y$ -Ebene über die Grenzfläche mit einer sehr kleinen Ausdehnung in der  $x$ -Richtung. Leiten Sie mit Hilfe des Durchflutungsgesetzes das Verhältnis der Tangentialkomponenten ( $y$ -Komponenten)  $H_{y1}/H_{y2}$  sowie  $B_{y1}/B_{y2}$  her! Es fließe kein Strom entlang der Grenzfläche.

$$\oint_{\partial A} \vec{H} d\vec{r} = -\vec{H}_2 \cdot \Delta y \vec{e}_y - \vec{H}_2 \cdot \frac{\Delta x}{2} \vec{e}_x - \vec{H}_1 \cdot \frac{\Delta x}{2} \vec{e}_x + \vec{H}_1 \cdot \Delta y \vec{e}_y + \vec{H}_1 \cdot \frac{\Delta x}{2} \vec{e}_x + \vec{H}_2 \cdot \frac{\Delta x}{2} \vec{e}_x$$

$$\stackrel{!}{=} 0$$

$$= -H_{2y} \Delta y - H_{2x} \frac{\Delta x}{2} - H_{1x} \frac{\Delta x}{2} + H_{1y} \Delta y + H_{1x} \frac{\Delta x}{2} + H_{2x} \frac{\Delta x}{2}$$

$$= -H_{2y} \Delta y + H_{1y} \Delta y$$

$$H_{1y} = H_{2y}$$

$$\hookrightarrow$$

$$H_{1y} \mu_1 = B_{1y}$$

$$H_{2y} \mu_2 = B_{2y}$$

$$\rightarrow \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{B_{1y}}{B_{2y}}$$

Name:

Vorname:

(b) Betrachten Sie nun einen kleinen Flachzylinder mit Grundfläche  $dA$  und sehr kleiner Höhe in der  $x$ -Richtung, der die Grenzfläche umschließt. Leiten Sie mit Hilfe des Hüllflächenintegrals das Verhältnis der Normalkomponenten ( $x$ -Komponenten)  $H_{x1}/H_{x2}$  sowie  $B_{x1}/B_{x2}$  her!

$$\phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$\vec{r} \perp \vec{e}_x$$

$$0 = -\vec{B}_1 dA \vec{e}_x + \underbrace{\vec{B}_1 \frac{\Delta h}{2} \vec{e}_r 2\pi r}_{\Delta h \rightarrow 0 \Rightarrow 0} + \underbrace{\vec{B}_2 \frac{\Delta h}{2} \vec{e}_r 2\pi r}_{\Delta h \rightarrow 0 \Rightarrow 0} + \vec{B}_2 dA \vec{e}_x$$

$$\hookrightarrow \vec{B}_1 dA \vec{e}_x = \vec{B}_2 dA \vec{e}_x$$

$$\hookrightarrow B_{1x} = B_{2x} \quad \rightarrow \quad H_{1x} \mu_1 = H_{2x} \mu_2$$

$$\hookrightarrow \frac{H_{1x}}{H_{2x}} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

(c) Gegeben sei der magnetische Feldstärkevektor  $\vec{H}_1 = 2 \frac{A}{m} \vec{e}_x + 2 \frac{A}{m} \vec{e}_y$  links der Grenzfläche im Medium mit relativer Permeabilität  $\mu_{r1}=1$ . Berechnen Sie den magnetischen Feldstärkevektor  $\vec{H}_2$  rechts der Grenzfläche im Medium mit Permeabilität  $\mu_{r2}=100$  sowie die beiden Vektoren der magnetischen Flussdichte  $\vec{B}_1$  und  $\vec{B}_2$ .

$$\vec{H}_2 = \frac{2}{100} \frac{A}{m} \vec{e}_x + 2 \frac{A}{m} \vec{e}_y$$

$$\vec{B}_1 = \left( 2 \frac{Vs}{m^2} \vec{e}_x + 2 \frac{Vs}{m^2} \vec{e}_y \right) \cdot \mu_0$$

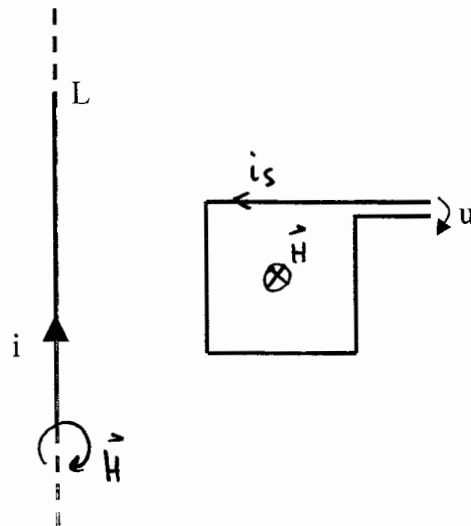
$$\vec{B}_2 = \left( 2 \frac{Vs}{m^2} \vec{e}_x + 200 \frac{Vs}{m^2} \vec{e}_y \right) \cdot \mu_0$$

Name:

Vorname:

**Aufgabe 2: Induktion (13 Punkte)**

(a) In einem sehr langen Leiter L steigt der Strom  $i$  zeitlinear in 1 ms von 0 auf 500 A an. Berechnen Sie den Betrag der Spannung  $u$  an den Klemmen einer quadratischen Leiterschleife, die mit dem Leiter L in einer Ebene liegt. Die Leiteranordnung befindet sich in Luft. Die Seitenlängen der Leiterschleife betragen jeweils 5 cm und der Abstand der Leiterschleife zum Leiter L betrage ebenfalls 5 cm. Die durch die Zuleitungen zu den Klemmen gebildete Fläche sei vernachlässigbar.



$$\Phi(t) = B(t) \cdot A = \int_{5\text{cm}}^{10\text{cm}} B(t,r) \cdot dr \cdot L$$

$$\vec{H} = \frac{I}{2\pi r} \cdot \vec{e}_\phi$$

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

$$u = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{5\text{cm}}^{10\text{cm}} \mu_0 \frac{500\text{A}}{1\text{ms}} \cdot t \cdot \vec{e}_\phi \cdot dr \cdot L$$

$$i(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ \frac{500\text{A}}{1\text{ms}} \cdot t & 0 \leq t \leq 1\text{ms} \\ 500\text{A} & t > 1\text{ms} \end{cases}$$

$$= \frac{d}{dt} \frac{500\text{A} \mu_0 t \cdot L}{2\pi \cdot 1\text{ms}} \int_{0,05}^{0,1} \frac{1}{r} \vec{e}_\phi dr$$

$$= \frac{d}{dt} \frac{500\text{A} \mu_0 t \cdot L}{2\pi \cdot 1\text{ms}} \left[ \ln(r) \right]_{0,05}^{0,1} = \frac{500\text{A} \mu_0 \cdot 0,05\text{m}}{2\pi \cdot 1\text{ms}} \cdot 0,693147$$

$$= 3,466\text{ mV}$$

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

(b) Erläutern Sie anhand des Beispiels in Aufgabenteil (a) das Lenzsche Gesetz. Zeichnen Sie in die Zeichnung in (a) den Richtungssinn des induzierten Schleifenstromes  $i_S$  ein, der bei einem Kurzschließen der Leiterschleife fließen würde.

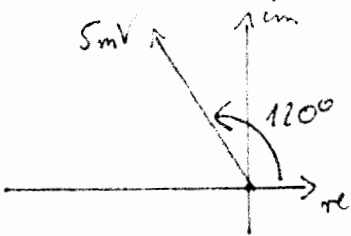
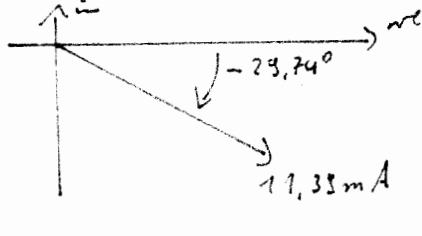
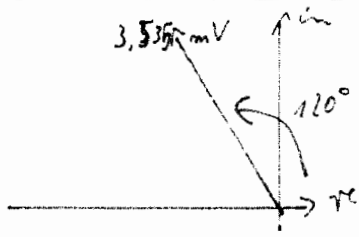
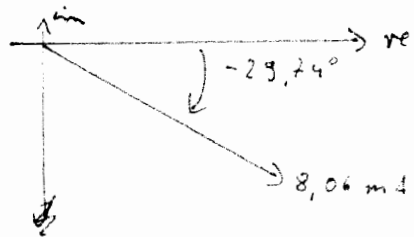
Das Magnetfeld des induzierten Stroms  
wirkt dem verursachenden Magnetfeld entgegen.

Name:

Vorname:

### Aufgabe 3: Wechselstromnotationen und QUCS (18 Punkte)

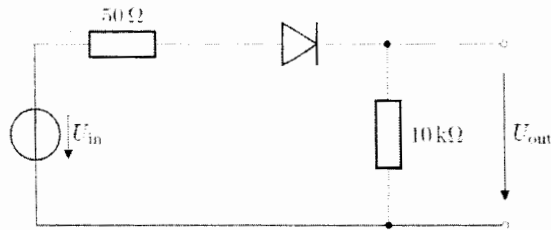
(a) Füllen Sie die nachfolgende Tabelle mit den verschiedenen Darstellungen von Sinusschwingungen aus. Für die Fälle (a) und (b) ist jeweils eine Darstellung gegeben und alle anderen Darstellungsmöglichkeiten für das Signal sollen gefunden werden.

	(a)	(b)
Gleichung im Zeitbereich	$u(t) = 5 \text{ mV} \cdot \cos(2\pi \text{ kHz} \cdot t + 120^\circ)$	$i(t) = 11,33 \text{ mA} \cos(100 \text{ Hz} \cdot t - 29,74^\circ)$
Kreisfrequenz $\omega$	$\omega = 2\pi \text{ kHz}$	$\omega = 100 \text{ s}^{-1}$
Zeigerdarstellung – Amplitudenzeiger (Skizze zeichnen!)		
Zeigerdarstellung – Effektivwertzeiger (Skizze zeichnen!)		
Vollständiges komplexes Symbol	$\underline{u}(t) = 5 \text{ mV} e^{j(\omega t + 120^\circ)}$	$\underline{i}(t) = 11,33 e^{j(\omega t - 29,74^\circ)}$
Komplexes Amplitudensymbol – P-Form	$\hat{\underline{u}} = 5 \text{ mV} e^{j120^\circ}$	$\hat{\underline{i}} = 11,33 \text{ mA} e^{-j29,74^\circ}$
Komplexes Amplitudensymbol – R-Form	$\hat{\underline{u}} = -2,5 \text{ mV} + j4,33 \text{ mV}$	$\hat{\underline{i}} = 9,833 \text{ mA} - j5,656 \text{ mA}$
Komplexes Effektivwertsymbol – P-Form	$\underline{u} = 3,535 \text{ mV} e^{j120^\circ}$	$\underline{i} = 8,06 \text{ mA} e^{-j29,74^\circ}$
Komplexes Effektivwertsymbol – R-Form	$\underline{u} = -1,7678 \text{ mV} + j3,062 \text{ mV}$	$\underline{i} = 7 \text{ mA} - j4 \text{ mA}$

Name:

Vorname:

(b) Bauen Sie eine Einweggleichrichterschaltung nach folgendem Beispiel aus den zur Verfügung gestellten Bauteilen als QUCS-konforme Simulation auf.



Schaltplan eines Einweggleichrichters

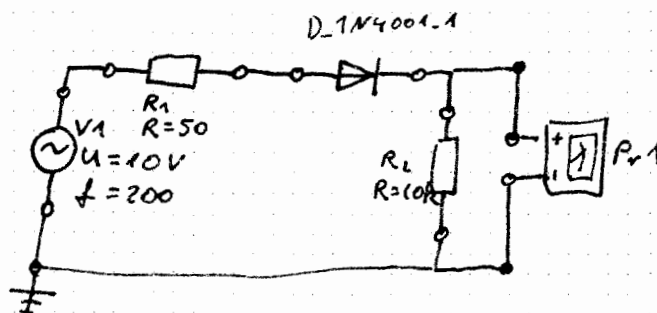
Die Eingangsspannung  $U_{in}$  soll in der Simulation 10V bei 200 Hz betragen, wählen Sie Bauteile und Parameter entsprechend.

Wählen Sie einen geeigneten Simulationsbaustein, um den zeitlichen Verlauf der Spannung über genau eine Periode zu simulieren und stellen Sie ihn ggf. korrekt ein.

Messen Sie die Ausgangsspannung  $U_{out}$  mittels eines Messgerätes. Skizzieren Sie die Eingangsspannung  $U_{in}$  und Ausgangsspannung  $U_{out}$  über eine Periode der Eingangsspannung im zur Verfügung gestellten Diagramm und beschriften Sie dessen Achsen entsprechend.

Erstellen Sie eine Formel in einem Gleichungsblock, welche den Spitzenwert **UoutMax** der Ausgangsspannung bestimmt.

**ACHTUNG:** Es müssen nicht alle gegebenen Bauteile verwendet werden!

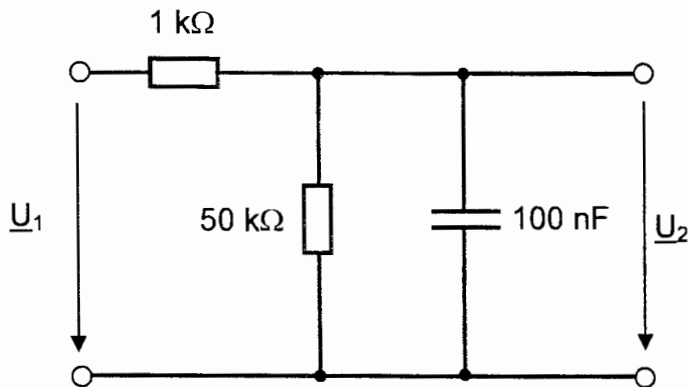


Name:

Vorname:

**Aufgabe 4: Filter-Netzwerk (19 Punkte)**

Gegeben sei das folgende Filternetzwerk:

(a) Berechnen Sie den Übertragungsfaktor  $T_{21}(j\omega)$ .

$$T_{21}(j\omega) = \frac{\underline{U}_2(j\omega)}{\underline{U}_1(j\omega)}$$

$$T_{21}(j\omega) = \frac{\frac{1}{j\omega \cdot 100\text{ nF} + \frac{1}{50\text{ k}\Omega}}}{\frac{1}{j\omega \cdot 100\text{ nF} + \frac{1}{50\text{ k}\Omega}} + 1\text{ k}\Omega} = \frac{1}{1 + j\omega \cdot 100\text{ nF} \cdot 1\text{ k}\Omega + \frac{1}{50}} = \frac{1}{\frac{51}{50} + j\omega \cdot 100\text{ nF} \cdot 1\text{ k}\Omega}$$

(b) Berechnen Sie diejenige Frequenz, bei der der Übertragungsfaktor 3 dB kleiner als der Maximalwert ist.

Real- und Imaginärteil müssen im Nenner des Übertragungsfaktors gleich sein.

$$\frac{51}{50} = j\omega \cdot 100\text{ nF} \cdot 1\text{ k}\Omega \quad \omega = 2\pi f$$

$$f = \frac{51}{50} \cdot \frac{1}{100\text{ nF} \cdot 1\text{ k}\Omega} \cdot \frac{1}{2\pi} = 1,623\text{ kHz}$$

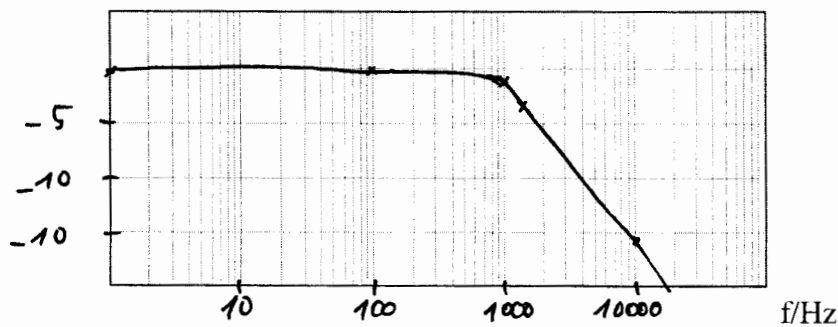


Name:	Vorname:
-------	----------

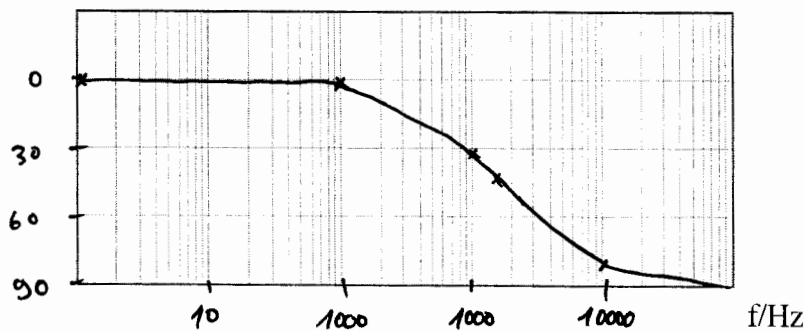
(c) Erstellen Sie eine Wertetabelle mit Betrag  $|T_{21}|$  und Phase  $\varphi$  des Übertragungsfaktors für mindestens fünf signifikante Frequenzen  $f$ . Zeichnen Sie die Funktionsverläufe sowie Näherungsgeraden als eine Funktion der Frequenz  $f$  in die unten gegebenen Graphen des Bode-Diagramms für den Betrag  $|T_{21}|$  in Dezibel (dB) und die Phase  $\varphi$  in Grad ein. Beschriften Sie dazu die x- und y-Achsen der beiden Graphen mit Zahlenwerten.

$f/\text{Hz}$	$ T_{21} $	$\varphi$	$ T_{21} $ in dB
1	0,98	$-0,0353^\circ$	-0,172
100	0,979	$-3,53'$	-0,189
1000	0,8347	$-31,64^\circ$	-1,569
1555	0,708	$-43,8^\circ$	-3
10000	0,1571	$-80,78^\circ$	-16,08

$|T_{21}|/\text{dB}$



$\varphi/^\circ$



(d) Bitte kreuzen Sie die korrekte Antwort an. Bei dem gegebenen Netzwerk handelt es sich um ein

- Tiefpass-Filter
- Hochpass-Filter
- Bandpass-Filter
- Bandsperre-Filter

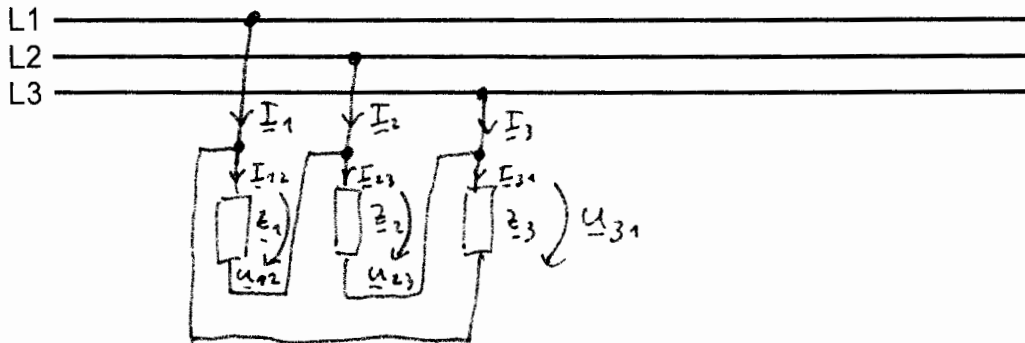
Name:

Vorname:

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

An ein 400-V-Drehstromnetz mit drei Leitern sollen drei Verbraucher  $Z_1 = 8 \text{ k}\Omega$ ,  $Z_2 = 6 \text{ k}\Omega \angle -140^\circ$ ,  $Z_3 = 5 \text{ k}\Omega + j 2 \text{ k}\Omega$  in Dreieckschaltung angeschlossen werden.

(a) Zeichnen Sie die Schaltung ein:



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

$$\begin{aligned} \underline{U}_{12} &= 400 \text{ V} \angle 30^\circ & \underline{I}_{12} &= \frac{\underline{U}_{12}}{Z_1} = 0,05 \angle 30^\circ \text{ A} \\ \underline{U}_{23} &= 400 \text{ V} \angle -90^\circ & \underline{I}_{23} &= \frac{\underline{U}_{23}}{Z_2} = 0,0666 \angle 50^\circ \text{ A} \\ \underline{U}_{31} &= 400 \text{ V} \angle 150^\circ & \underline{I}_{31} &= \frac{\underline{U}_{31}}{Z_3} = 0,0743 \angle 128,2^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{12} - \underline{I}_{31} = 0,0353 \angle -20,4^\circ \text{ A}$$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_{23} - \underline{I}_{12} = 0,026 \angle 31^\circ \text{ A}$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_{31} - \underline{I}_{23} = 0,089 \angle 175,5^\circ \text{ A}$$

alternativ:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{12} &= 400 \text{ V} \angle 0^\circ & \underline{I}_{12} &= 0,05 \text{ A} \angle 0^\circ & \underline{I}_1 &= 0,112 \angle 22,5^\circ \text{ A} \\ \underline{U}_{23} &= 400 \text{ V} \angle 120^\circ & \underline{I}_{23} &= 0,0666 \text{ A} \angle 100^\circ & \underline{I}_2 &= 0,09 \angle 133^\circ \text{ A} \\ \underline{U}_{31} &= 400 \text{ V} \angle -120^\circ & \underline{I}_{31} &= 0,074 \text{ A} \angle -141,8^\circ & \underline{I}_3 &= 0,051 \angle 156,3^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_{12} &= 400 \text{ V} \angle 0^\circ & \underline{I}_{11} &= 0,05 \text{ A} \angle 0^\circ & \underline{I}_1 &= 0,035 \angle -50,42^\circ \text{ A} \\ \underline{U}_{23} &= 400 \text{ V} \angle -120^\circ & \underline{I}_{23} &= 0,0666 \text{ A} \angle 20^\circ & \underline{I}_2 &= 0,026 \angle 60,93^\circ \text{ A} \\ \underline{U}_{31} &= 400 \text{ V} \angle 120^\circ & \underline{I}_{31} &= 0,074 \text{ A} \angle 38,135^\circ & \underline{I}_3 &= 0,0885 \angle 145,45^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

Name:

Vorname:

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

$$\begin{aligned} S &= \underline{u}_{12} \cdot \underline{i}_{12}^* + \underline{u}_{23} \underline{i}_{23}^* + \underline{u}_{31} \cdot \underline{i}_{31}^* \\ &= 20 \text{ VA} + 26,64 \angle^{-140^\circ} \text{ VA} + 23,72 \angle^{27,8^\circ} \text{ VA} \\ &= 27,86 \angle^{-12,6^\circ} \text{ VA} = (\underbrace{27,187}_{\downarrow P} - j \underbrace{6,0868}_{\downarrow Q}) \text{ VA} \end{aligned}$$

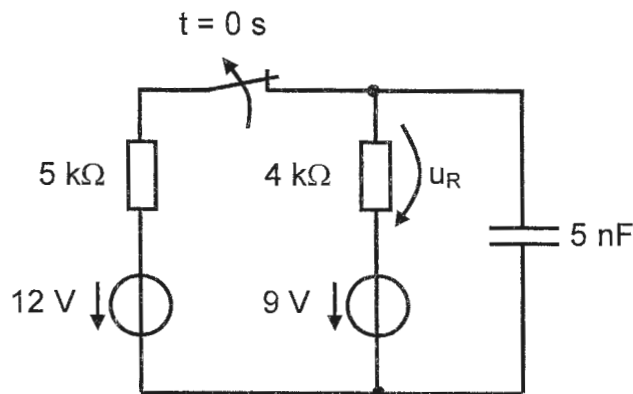
$$\lambda = \frac{P}{S} = \cos(\varphi) = 0,976$$

Name:

Vorname:

**Aufgabe 6: Schaltvorgang (15 Punkte)**

Gegeben sei das folgende Netzwerk mit zwei Gleichspannungsquellen, das für Zeiten  $t < 0$  s im stationären Zustand sei. Der Schalter werde zum Zeitpunkt  $t = 0$  s geöffnet.



(a) Handelt es sich um ein schwingungsfähiges System? Begründen Sie Ihre Antwort!

*Nein, da nur ein Energiespeicher vorhanden.*

(b) Berechnen Sie den Zeitverlauf der Spannung  $u_R(t)$ .

$$t < 0 : \quad u_R = \frac{4}{3} \text{ V} = 1,33 \text{ V}$$

$$t \geq 0 : \quad u_C = u_E + (u_A - u_E) \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

$$u_A(t=0) = 10,33 \text{ V}$$

$$u_E(t \rightarrow \infty) = 9 \text{ V}$$

$$u_R = u_C - 9 \text{ V}$$

$$\Rightarrow u_R = (10,33 \text{ V} - 9 \text{ V}) e^{-\frac{t}{4 \text{ k}\Omega \cdot 5 \text{ nF}}}$$

$$\begin{aligned} T &= R \cdot C \\ &= 4 \text{ k}\Omega \cdot 5 \text{ nF} \\ &= 20 \cdot 10^{-6} \text{ s} \end{aligned}$$

Name:

Vorname:

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

