Musterlösung

Probeklausur im Modul
Grundgebiete der Elektrotechnik II

am xx.xx.xxxx, x:xx – x:xx 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 Konzeptpapier 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 / 13 Seiten) auf Vollständigkeit.
- Die Aufgabenblätter sollen zusammengeheftet bleiben. Die Lösungswege und Lösungen zu den Aufgaben sind in die dafür vorgesehenen Zwischenräume einzutragen. Verwenden Sie für Zwischenrechnungen die linke leere Seite. Zwischenrechnungen auf der linken Seite werden nicht bewertet.
- Bei Abgabe: Bleiben Sie bitte an Ihrem Platz. Die bearbeiteten Aufgabenblätter werden bei Ihnen abgeholt.
- Bitte nichts in die folgenden Tabellen eintragen! Diese werden (bei der richtigen Klausur) von uns ausgefüllt.

Übung	2	3	4	5	6	Σ
Punkte	10	10	10	10	10	50
erreicht						

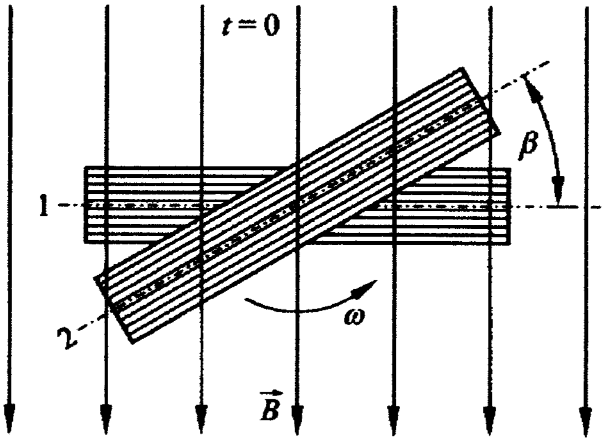
Aufgabe	1	2	3	4	5	6	Σ
Punkte	15	17	12	22	18	16	100
erreicht							

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

Name:	Vorname:

Aufgabe 1: Induktion (15 Punkte)

Zwei zueinander im Winkel $\beta=30°$ fixierte Rahmenspulen ($N_1=200$; $N_2=50$) mit Windungsflächen von je 400 cm^2 rotieren in einem homogenen Magnetfeld $B = 1$ T; die Drehzahl ist $n = 30\ min^{-1}$.



(a) Berechnen Sie die Zeitfunktionen der Spulenflüsse und der Spulenspannungen.

$\Phi_{max} = B \cdot A = 1\,T \cdot 400\,cm^2 = 40\,mVs$

$\omega = 2\pi n = \pi \cdot s^{-1} = 3{,}14\,s^{-1}$

Spulenflüsse:

$\Phi_1(t) = \Phi_{max} \cdot \cos(\omega t) = 40\,mVs \cdot \cos(3{,}14\,s^{-1} \cdot t)$

$\Phi_2(t) = \Phi_{max} \cdot \cos(\omega t + \beta) = 40\,mVs \cdot \cos(3{,}14\,s^{-1} \cdot t + 30°)$

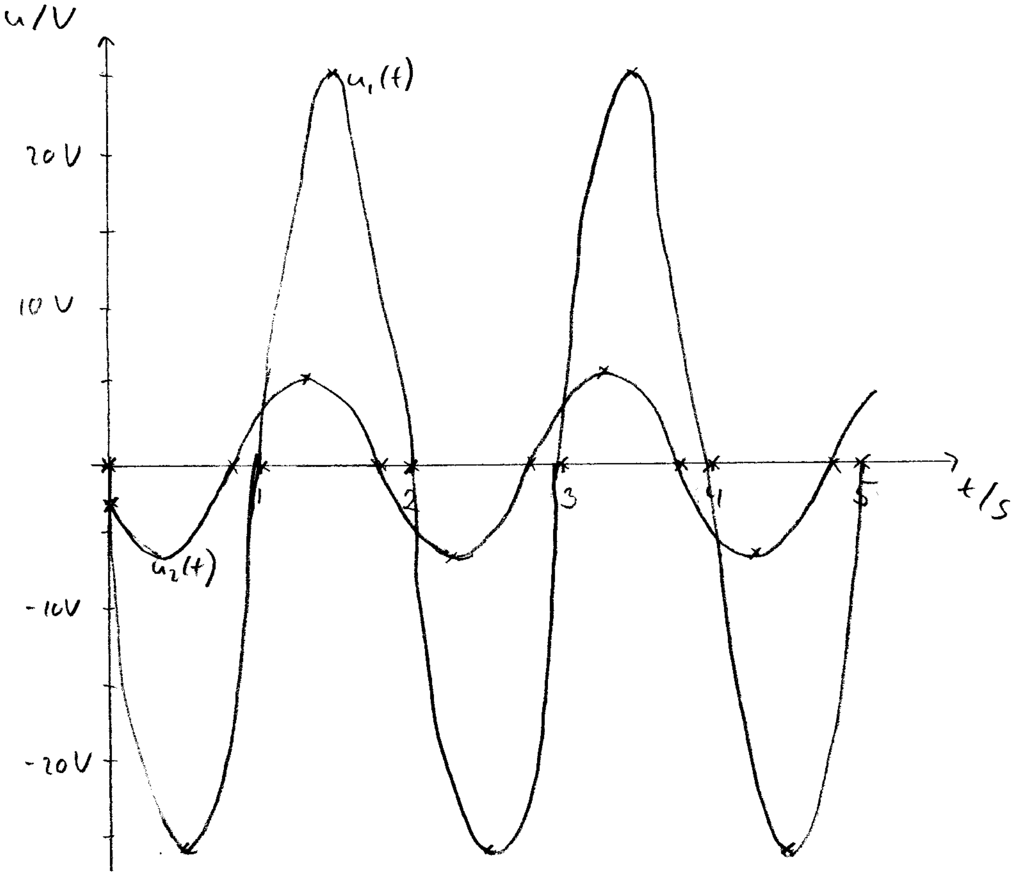
Spulenspannungen:

$u_1(t) = N_1 \cdot \frac{d\Phi_1}{dt} = -N_1 \cdot \Phi_{max} \cdot \omega \cdot \sin(\omega t) = -25{,}1\,V \cdot \sin(3{,}14\,s^{-1} \cdot t)$

$u_2(t) = N_2 \cdot \frac{d\Phi_2}{dt} = -N_2 \cdot \Phi_{max} \cdot \omega \cdot \sin(\omega t + 30°) = -6{,}28\,V \sin(3{,}14\,s^{-1}\, t + 30°)$

Name:	Vorname:

(b) Skizzieren Sie die beiden Spulenspannungen als eine Funktion der Zeit in ein Diagramm.



(c) Welche Werte haben die Spulenspannungen zum Zeitpunkt $t_1 = 100$ ms?

$u_1(t_1) = -7{,}75$ V

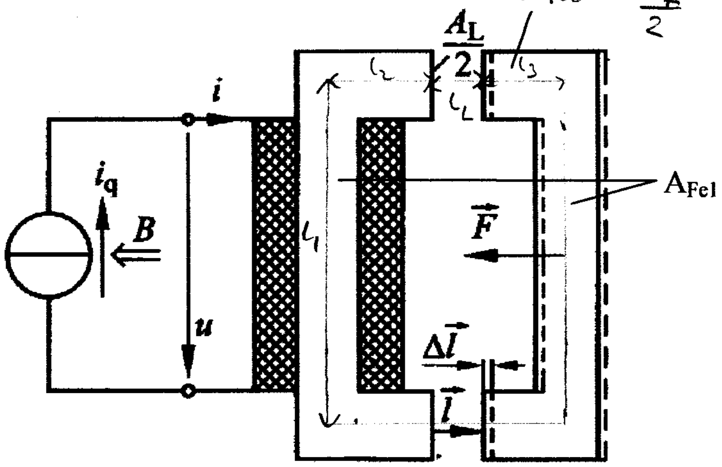
$u_2(t_1) = -4{,}67$ V

Name:	Vorname:

Aufgabe 2: Zugkraft im magnetischen Kreis (17 Punkte)

Ein Elektromagnet aus Grauguss soll so ausgelegt werden, dass er eine Kraft F = 1000 N bei einer Gesamtluftspaltfläche A_L = 300 cm^2 ausüben kann. Die langen Seiten des magnetischen Kreises haben jeweils eine Querschnittfläche von A_{Fe1} = 120 cm^2.

$A_{Fe2} = \frac{A_L}{2}$



(a) Berechnen Sie die notwendige Luftspaltflussdichte.

$$F = \frac{A_L \cdot B_L^2}{2\mu_0} \rightarrow B_L = \sqrt{\frac{2\mu_0 F}{A_L}} = \underline{0{,}289\ T}$$

(b) Berechnen Sie den notwendigen Strom i bei 100 Windungen (Magnetisierungskurve von Grauguss auf der nächsten Seite).

$$\Phi_{Fe1} = \Phi_{Fe2} = \Phi_L \quad \text{und} \quad A_{Fe2} = \frac{A_L}{2}$$

$$\Phi_L = B_L \cdot \frac{A_L}{2} = 4{,}34\ mVs \quad ; \quad H_L = \frac{B_L}{\mu_0} = 3{,}50\ \frac{kA}{m}$$

$$B_{Fe2} = \frac{\Phi_{Fe2}}{A_{Fe2}} = B_L = 0{,}289\ T \quad \text{aus Graph: } H_{Fe2} = 0{,}92\ \frac{kA}{m}$$

$$B_{Fe1} = \frac{\Phi_{Fe1}}{A_{Fe1}} = \frac{\Phi_L}{A_{Fe1}} = 0{,}36\ T \quad \text{aus Graph: } H_{Fe1} = 1{,}10\ \frac{kA}{m}$$

Name:	Vorname:

Aus Zeichnung: $l_1 = 4{,}5\ cm$; $l_2 = 1{,}4\ cm$; $l_3 = 1{,}1\ cm$;
$l_L = 0{,}7\ cm$

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{s} \approx \sum_{k=1}^{n} H_k \cdot l_k = \Theta = N \cdot i \quad \text{mit } N = 100 \text{ Windungen}$$

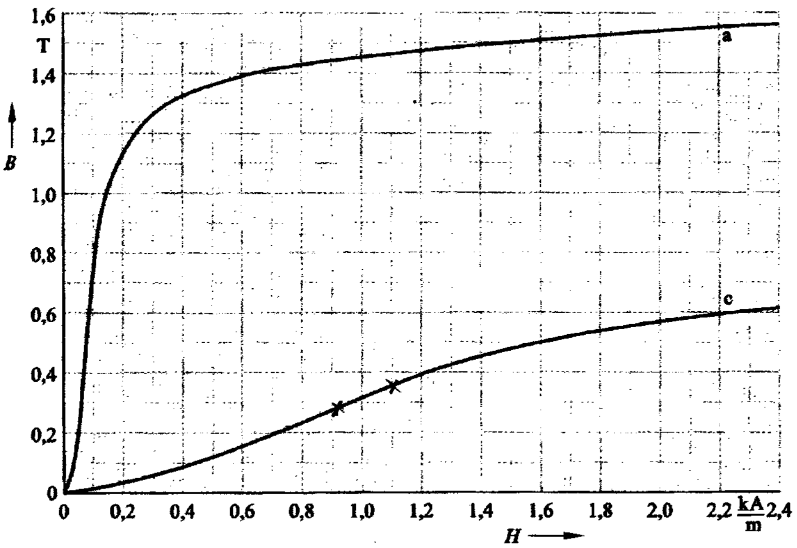
$$\Rightarrow (H_L \cdot 2 \cdot l_L + H_{Fe_1} \cdot 2 \cdot l_1 + H_{Fe_2} \cdot 2(l_2 + l_3)) = N \cdot i$$

$$194\ A = 100 \cdot i$$

$$\underline{\underline{i = 1{,}94\ A}}$$

Anmerkung: Diese Aufgabe wäre in der Klausur sauberer gestellt mit besserer Zeichnung und Angabe des Maßstabes bzw. der Längen.

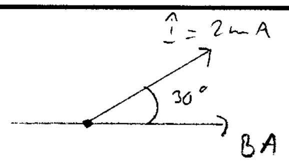
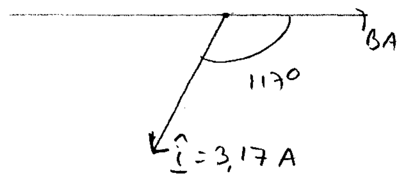
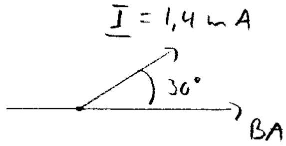
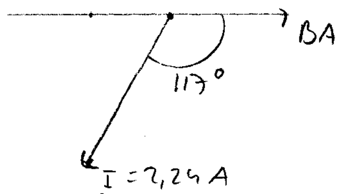
Magnetisierungskurven: a) kaltgewalztes Elektroblech; c) Grauguss



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	$i(t) = 2\text{mA} \cos(2\pi \cdot 20\text{Hz} \cdot t + 30°)$	$i(t) = 3{,}17\,\text{A} \cos(1000\,\text{s}^{-1} \cdot t - 117°)$
Kreisfrequenz ω	$\omega = 2\pi \cdot 20\,\text{Hz} = 125{,}7\,\text{s}^{-1}$	$\omega = 1000\text{s}^{-1}$
Zeigerdarstellung – Amplitudenzeiger		
Zeigerdarstellung – Effektivwertzeiger		
Vollständiges komplexes Symbol	$\underline{i}(t) = 2\,\text{mA}\, e^{j(2\pi \cdot 20\,\text{Hz} \cdot t + 30°)}$	$\underline{i}(t) = 3{,}17\,\text{A}\, e^{j(1000\,\text{s}^{-1} \cdot t - 117°)}$
Komplexes Amplitudensymbol – P-Form	$\underline{\hat{i}} = 2\,\text{mA}\ \angle 30°$	$\underline{\hat{i}} = 3{,}17\,\text{A}\ \angle -117°$
Komplexes Amplitudensymbol – R-Form	$\underline{\hat{i}} = 1{,}78\,\text{mA} + j \cdot 0{,}91\,\text{mA}$	$\underline{\hat{i}} = -1{,}41\,\text{A} - j \cdot 2{,}82\,\text{A}$
Komplexes Effektivwertsymbol – P-Form	$\underline{I} = 1{,}4\,\text{mA}\ \angle 30°$	$\underline{I} = 2{,}24\,\text{A}\ \angle -117°$
Komplexes Effektivwertsymbol – R-Form	$\underline{I} = 1{,}25\,\text{mA} + j \cdot 0{,}64\,\text{mA}$	$\underline{I} = -1\text{A} - j \cdot 2\text{A}$

Name:	Vorname:

Aufgabe 4: Filternetz (22 Punkte)

Eine näherungsweise ideale Spannungsquelle ($R_i = 0\ \Omega$) soll über einen Tiefpass erster Ordnung an einen Verbraucher mit einem Widerstand von 50 Ω angeschlossen werden. Der Tiefpass soll mit einem RL-Netz realisiert werden und eine Grenzfrequenz von 1 kHz haben.

Tabelle 6.2 Tiefpass erster Ordnung

Größe	*GC*-Netz	*RL*-Netz
$\underline{T}(s)$	$\frac{\underline{I}_V(s)}{\underline{I}_q(s)}$	$\frac{\underline{U}_V(s)}{\underline{U}_q(s)}$
$T_{max} = \lim\limits_{\omega \to 0} T(\omega)$	$\frac{G_V}{G_i + G_V}$	$\frac{R_V}{R_i + R_V}$
3-dB-Grenzkreisfrequenz ω_g	$\frac{G_i + G_V}{C}$	$\frac{R_i + R_V}{L}$
Ω	$\frac{\omega}{\omega_g}$	
$\underline{t}(j\Omega) = \frac{\underline{T}(j\omega)}{T_{max}}$	$\frac{1}{j\Omega + 1}$	
a_t	$-20 \lg \sqrt{\Omega^2 + 1}$	
φ_T	$-\arctan \Omega$	

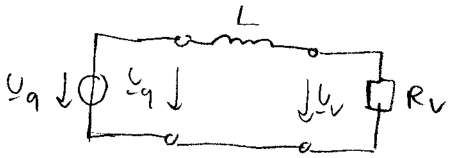
(a) Berechnen Sie die notwendige Induktivität des Filters.

$R_V = 50\ \Omega$; $R_i = 0\ \Omega$

$\omega_g = \frac{R_i + R_V}{L}$ und $\omega_g = 2\pi \cdot f_g$

$L = \frac{R_i + R_V}{2\pi f_g} = 7{,}96\ mH$

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



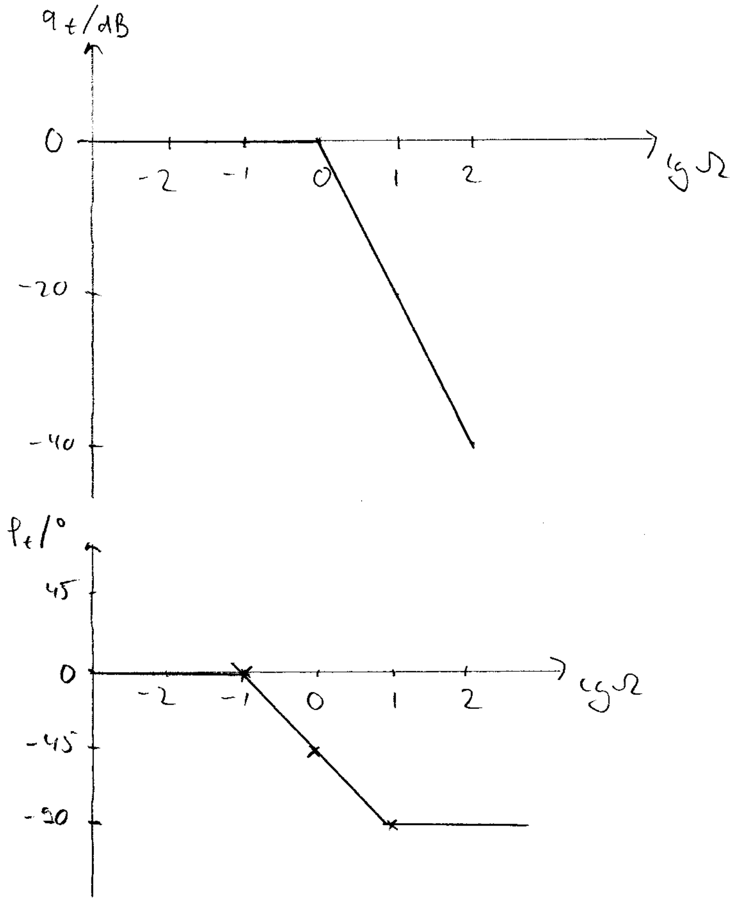
Name:	Vorname:

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

$$T_{max} = \frac{R_L}{R_i + R_L} = 1 \quad ; \quad \Omega = \frac{\omega}{\omega_g} = \frac{\omega}{2\pi f_g}$$

$$\underline{T}(j\omega) = \frac{1}{j\Omega + 1} \cdot T_{max} = \frac{1}{j \cdot \frac{\omega}{6283\,s^{-1}} + 1}$$

(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) Eine Quellspannung $u_q(t) = 5\ V \cos(2\pi\ 50\ Hz\ t + 25°) + 50\ V \cos(2\pi\ 5\ kHz\ t + 80°)$ wird angelegt. Berechnen Sie die Verbraucherspannung $u_V(t)$!

Da es sich um ein lineares Netz handelt, können die beiden Frequenzanteile nach dem Superpositionsgesetz separat berechnet und am Ende überlagert werden.

$u_{q1}(t) = 5V \cos(2\pi\ 50Hz\ t + 25°)$

$\omega_1 = 2\pi\ 50\ Hz$

$\underline{\hat{u}}_{q1} = 5\ V\ \angle 25°$

$\underline{\hat{u}}_{v1} = \underline{\hat{u}}_{q1} \cdot \underline{T}(j\omega_1)$

$\underline{T}(j\omega_1) = \dfrac{1}{j \cdot \dfrac{\omega_1}{6283 s^{-1}} + 1} = 0{,}999\ \angle -2{,}86°$

$\underline{\hat{u}}_{v1} = 5{,}0\ V\ \angle 22{,}1°$

$u_{v1}(t) = 5{,}0V \cos(2\pi\ 50Hz \cdot t + 22{,}1°)$

$u_{q2}(t) = 50V \cos(2\pi\ 5\ kHz\ t + 80°)$

$\omega_2 = 2\pi \cdot 5\ kHz$

$\underline{\hat{u}}_{q2} = 50\ V\ \angle 80°$

$\underline{\hat{u}}_{v2} = \underline{\hat{u}}_{q2} \cdot \underline{T}(j\omega_2)$

$\underline{T}(j\omega_2) = 0{,}196\ \angle -78{,}7°$

$\underline{\hat{u}}_{v2} = 9{,}8V\ \angle 1{,}3°$

$u_{v2}(t) = 9{,}8V \cos(2\pi \cdot 5kHz \cdot t + 1{,}3°)$

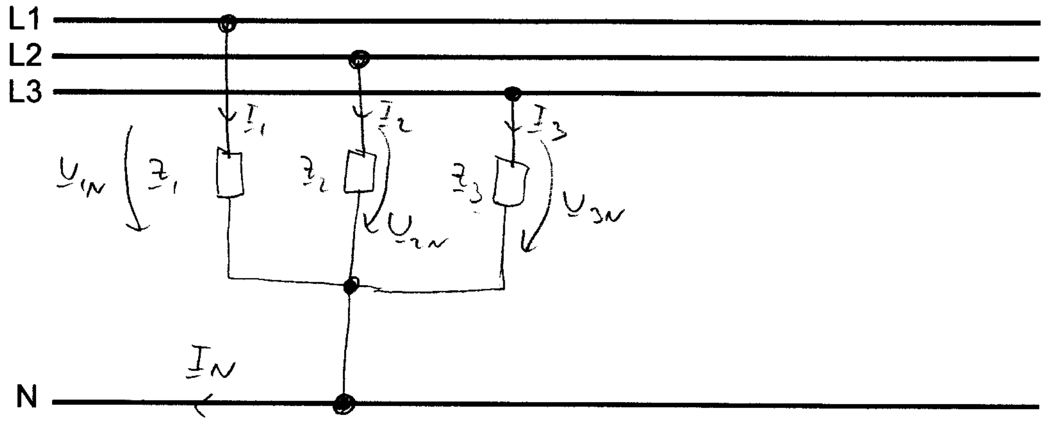
$u_v(t) = u_{v1}(t) + u_{v2}(t) = 5V \cos(2\pi\ 50\ Hz \cdot t + 22{,}1°) + 9{,}8V \cos(2\pi\ 5\ kHz \cdot t + 1{,}3°)$

Name:	Vorname:

Aufgabe 5: Drehstrom (18 Punkte)

Eine Verbrauchergruppe mit $\underline{Z}_1 = 1\ \mathrm{k\Omega}$, $\underline{Z}_2 = 50\ \Omega - \mathrm{j}\ 400\ \Omega$, $\underline{Z}_3 = 800\ \Omega + \mathrm{j}\ 100\ \Omega$, soll in Sternschaltung an ein 400-V-Drehstromnetz mit vier Leitern angeschlossen werden.

(a) Zeichnen Sie die Schaltung ein:



(b) Berechnen Sie die Strangströme und den Sternpunktleiterstrom.

$U = 400\ V \quad ; \quad U_\lambda = \frac{U}{\sqrt{3}} = 231\ V$

$\underline{U}_{1N} = U_\lambda \ \angle 0° \quad ; \quad \underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_{1N}}{\underline{Z}_1} = 0{,}231\ A\ \angle 0°$

$\underline{U}_{2N} = U_\lambda \ \angle -120° \quad ; \quad \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{2N}}{\underline{Z}_2} = 0{,}573\ A\ \underline{\angle -37{,}1°}$

$\underline{U}_{3N} = U_\lambda \ \angle 120° \quad ; \quad \underline{I}_3 = \frac{\underline{U}_{3N}}{\underline{Z}_3} = 0{,}287\ A\ \underline{\angle 112{,}9°}$

$\underline{I}_N = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0{,}582\ A\ \underline{\angle -8{,}0°}$

Name:	Vorname:

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

$$\underline{S} = \underline{U}_{1N} \cdot \underline{I}_1^* + \underline{U}_{2N} \cdot \underline{I}_2^* + \underline{U}_{3N} \cdot \underline{I}_3^*$$

$$= 136\,W - 123\,var = 183\,VA \,\underline{\angle -42{,}3^\circ}$$

Wirkleistung: $P = 136\,W$

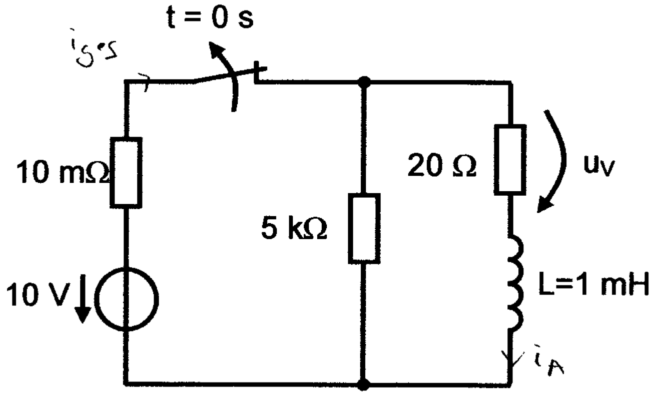
Blindleistung: $Q = -123\,var$

Leistungsfaktor: $\lambda = \frac{P}{S} = 0{,}74$

Name:	Vorname:

Aufgabe 6: Schaltvorgang (16 Punkte)

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



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

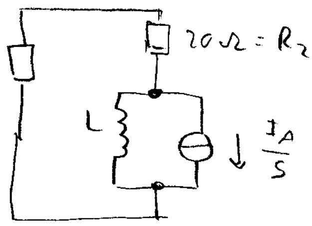
Nein, da nur eine Art von Energiespeicher (die Induktivität) vorhanden ist.

(b) Berechnen Sie den Zeitverlauf der Spannung $u_V(t)$ für t > 0s! Eine Tabelle zur Laplace-Transformation finden Sie auf der nächsten Seite.

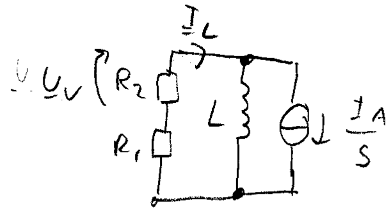
Anfangswert $i_A(0) = i_{ges} \cdot \frac{\frac{1}{20\Omega}}{\frac{1}{20\Omega} + \frac{1}{5k\Omega}}$ mit $i_{ges} = \frac{10\,V}{10\,m\Omega + \frac{1}{\frac{1}{5k\Omega} + \frac{1}{20\Omega}}} = 0{,}5\,A$

$i_A(0) = 0{,}5\,A$

Netz für t > 0s



$\hat{=}$



$U_V = R_2 \cdot I_L = R_2 \cdot \frac{I_A}{s} \cdot \frac{\frac{1}{R_1+R_2}}{\frac{1}{sL} + \frac{1}{R_1+R_2}} = R_2 \cdot I_A \cdot \frac{1}{\frac{R_1+R_2}{L} + s}$

$a = \frac{R_1+R_2}{L}$

mit T14: $u_V(t) = R_2 \cdot I_A \cdot e^{-\frac{t}{(L/R_1+R_2)}} = 10V \cdot e^{-\frac{t}{0{,}2\mu s}}$

Name:	Vorname:

(c) Zeichnen Sie den Zeitverlauf der Spannung $u_V(t)$ für t > 0 in einem sinnvollen Zeitbereich!

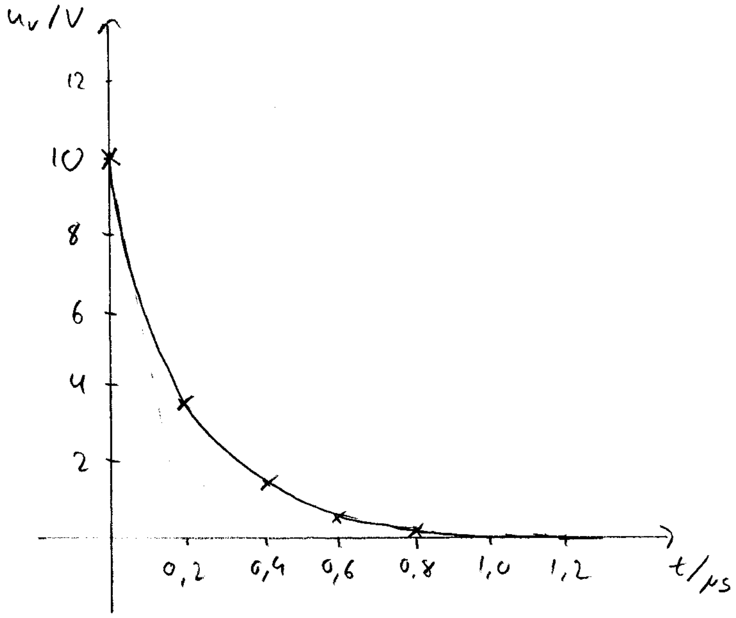


Tabelle Laplace-Transformation:

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	$\frac{1}{a} \cdot (1 - e^{-at})$	$\frac{1}{s(s+a)}$