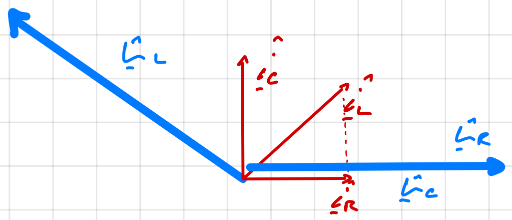
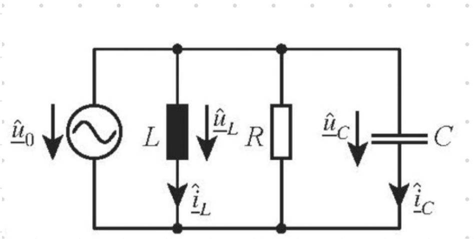
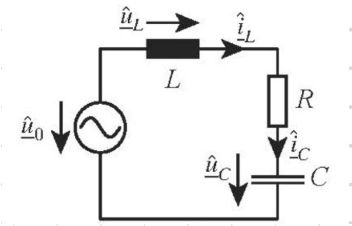
QUIZ: ZU WELCHER SCHALTUNG GEHÖRT DAS ZEIGERDIAGRAMM?

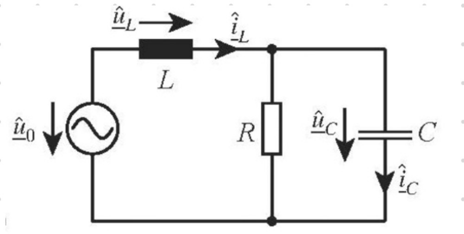




A



B



C

→ NEIN, DA $\hat{u}_L \neq \hat{u}_C$

→ NEIN, DA $\hat{i}_L \neq \hat{i}_C$

✓

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Laboratory for High
Power Electronic Systems

Netzwerke und Schaltungen II, D-ITET

Komplexe WSR - ZA2

Wechselstromnetzwerke

Aufgabe 1: Wechselstromnetzwerke

Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen lineare Netzwerke, welche mit sinusförmigen Wechselstromspannungen gespeist werden. Aus der Vorlesung ist bekannt, dass alle Spannungen und Ströme innerhalb des Netzwerkes ebenfalls sinusförmig sein müssen. Allerdings können diese gegenüber der Speisung phasenverschoben sein. Mit Hilfe von Zeigern und komplexer Algebra können Amplitude und Phase von allen Strömen und Spannungen einfach berechnet werden.

Teil 1A

Das Netzwerk in Abbildung 1 wird mit einem Effektivwert von 100 V bei einer Frequenz von 1 kHz angeregt. Berechne

a.) die Ströme $\underline{\hat{i}}_1$, $\underline{\hat{i}}_2$ und $\underline{\hat{i}}_3$

b.) die totale Impedanz $\underline{Z}_T$ welche die Quelle belastet

c.) den Quellenstrom $\underline{\hat{i}}_S$

Trage alle berechneten Ströme in ein Zeigerdiagramm ein und überprüfe, ob Kirchhoff's Knotenregel erfüllt ist.

Teil 1B

Das Netzwerk in Abb. 2 wird mit einem Effektivwert von 2.5 V bei einer Frequenz von 10 MHz angeregt. Berechne

a.) die totale Impedanz, welche die Quelle belastet

b.) die Ströme $\underline{\hat{i}}_S$, $\underline{\hat{i}}_1$ und $\underline{\hat{i}}_2$

Trage die Ströme in ein Zeigerdiagramm ein und überprüfe erneut Kirchhoffs Knotenregel.

Aktuelle Version: 8. August 2019

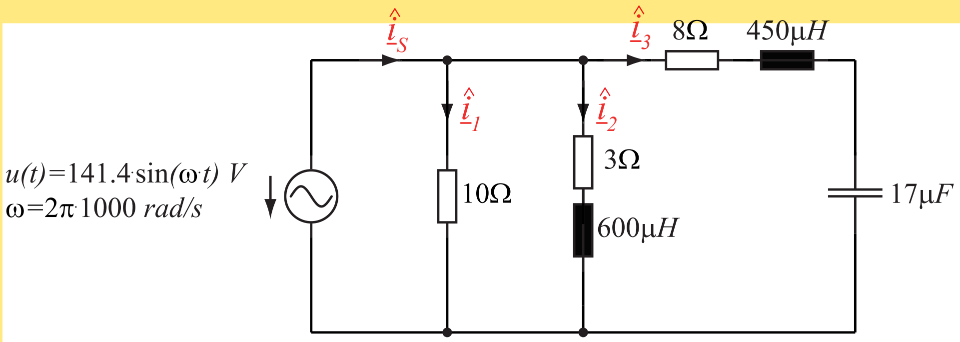


Abbildung 1: Wechselstromnetzwerk I

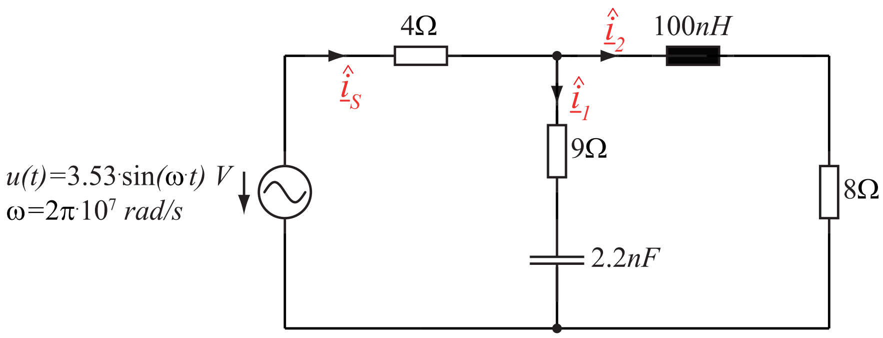


Abbildung 2: Wechselstromnetzwerk II

Aufgabe 2: Brückenschaltung für Induktivitätsmessung

Eine technische Spule kann näherungsweise durch eine Reihenschaltung eines Widerstandes R_X und einer Induktivität L_X dargestellt werden. Abb. 3 zeigt eine Messschaltung, mit welcher R_X und L_X einer unbekannten Spule gemessen werden können. R_1 und R_2 sind Widerstände mit bekannten Werten, R_3 und C_3 sind einstellbar und ebenfalls bekannt. Um die Grösse der Spule zu bestimmen, wird die Brückenschaltung mit einer Wechselspannung angeregt und die Spannung u_{12} gemessen. Der einstellbare Widerstand und die einstellbare Kapazität werden solange verändert, bis die Spannung u_{12} verschwindet. Dieser Vorgang wird Abstimmen genannt. R_X und L_X bestimmen sich nun aus R_1, R_2, R_3 und C_3.

a.) Drücke R_X und L_X der abgestimmten Brückenschaltung durch R_1, R_2, R_3 und C_3 aus. Benütze dafür Kirchhoff's Maschenregel.

b.) Mit welcher Frequenz muss die Messschaltung angeregt werden, damit R_X und L_X korrekt bestimmt werden können?

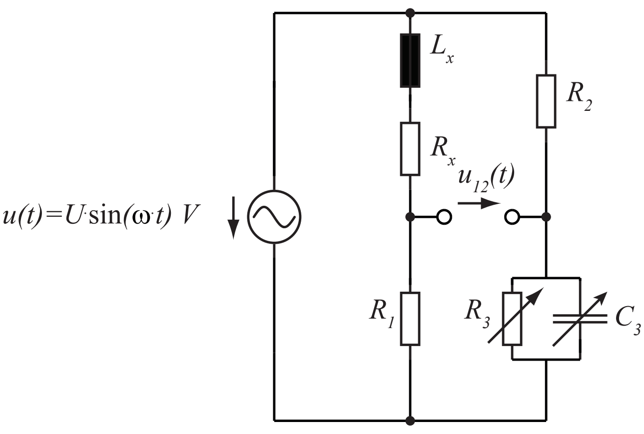


Abbildung 3: Brückenschaltung

WSR_ZA_2 TEIL 1A

Teil 1A

Das Netzwerk in Abbildung 1 wird mit einem Effektivwert von 100 V bei einer Frequenz von 1 kHz angeregt. Berechne

a.) die Ströme $\underline{\hat{i}}_1$, $\underline{\hat{i}}_2$ und $\underline{\hat{i}}_3$

b.) die totale Impedanz $\underline{Z}_T$ welche die Quelle belastet

c.) den Quellenstrom $\underline{\hat{i}}_S$

Trage alle berechneten Ströme in ein Zeigerdiagramm ein und überprüfe, ob Kirchhoff's Knotenregel erfüllt ist.

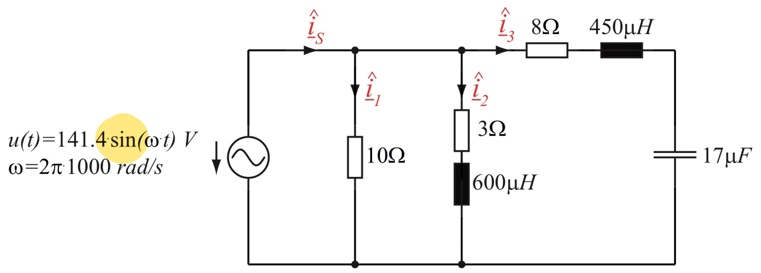
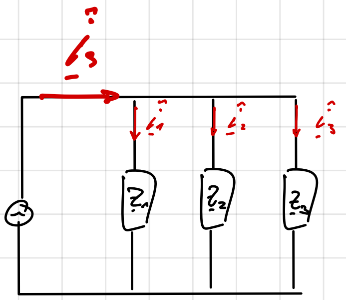


Abbildung 1: Wechselstromnetzwerk I

NETZWERK UMZEICHNEN :



IMPEDANZEN BERECHNEN :

$$\underline{Z}_1 = 10\,\Omega$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 + j\omega L_2 = (3 + 3.77j)\,\Omega$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 + j\omega L_3 + \frac{1}{j\omega C_3} = (8 - 6.53j)\,\Omega$$

QUELLE TRANSFORMIEREN (ALS STILLER ZEIGER) :

$$u(t) = \overset{\hat{u} = \sqrt{2}\cdot U_{eff}}{141.4}\ \sin(\omega t)$$

SINUSSIGNAL ZUERST IN COSINUSSIGNAL UMWANDELN!

$$= \underbrace{141.4}_{= \hat{u}}\ \cos(\omega t - \underbrace{\tfrac{\pi}{2}}_{\varphi})$$

$$\longrightarrow \underline{\hat{u}} = \left(141.4\ e^{j\left(-\frac{\pi}{2}\right)}\right) V$$

Bsp $\underline{\hat{u}} = 141.4\ e^{j(\omega t - \frac{\pi}{2})}$

UZI - BEZIEHUNG IM BILDBEREICH :

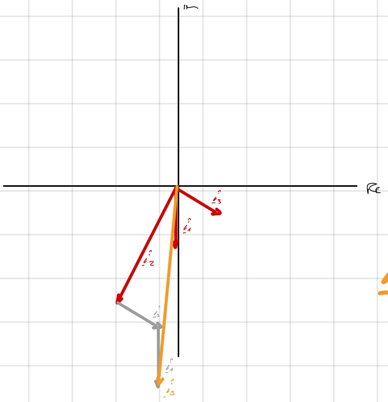
$$\underline{\hat{i}}_1 = \frac{\underline{\hat{u}}_1}{\underline{Z}_1} = 14.14\ e^{-j\frac{\pi}{2}}$$

$$\underline{\hat{i}}_2 = \frac{\underline{\hat{u}}_2}{\underline{Z}_2} = 29.35\ e^{-j\,141.5^\circ}$$

$$\underline{\hat{i}}_3 = \frac{\underline{\hat{u}}_3}{\underline{Z}_3} = 13.65\ e^{-j\,50.8^\circ}$$

WSR_ZA_2 TEIL 1A.2

Zeigerdiagramm :

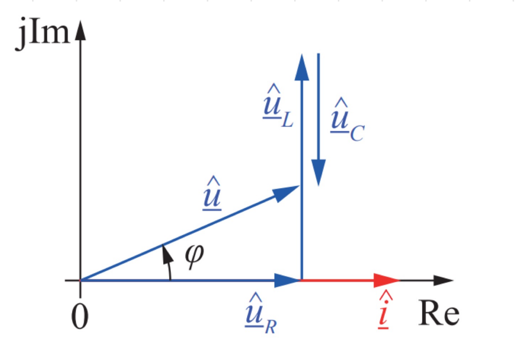


$\underline{\hat{i}}_S = \underline{\hat{i}}_1 + \underline{\hat{i}}_2 + \underline{\hat{i}}_3$

Gesamtimpedanz $\underline{Z}_T = \underline{Z}_1 \parallel \underline{Z}_2 \parallel \underline{Z}_3 = \dfrac{1}{\frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} + \frac{1}{\underline{Z}_3}} = \underline{\underline{(2.96 + 0.98j)\,\Omega}}$

Quellenstrom : $\underline{\hat{i}}_S = \dfrac{\hat{u}}{\underline{Z}_T} = \underline{\hat{i}}_1 + \underline{\hat{i}}_2 + \underline{\hat{i}}_3 = \underline{\underline{(45.21\, e^{j \cdot 108^\circ})}}\,A$

Quiz: Welche Aussagen stimmen?



A: Das Diagramm beschreibt einen Serienschwingkreis, der unterhalb der Resonanzfrequenz f_0 betrieben wird.

B: Das Diagramm beschreibt einen Parallelschwingkreis, der unterhalb der Resonanzfrequenz f_0 betrieben wird.

C: Das Diagramm beschreibt einen Serienschwingkreis, der über der Resonanzfrequenz f_0 betrieben wird.

D: Das Diagramm beschreibt einen Parallelschwingkreis, der über der Resonanzfrequenz f_0 betrieben wird.

E: über der Resonanzfrequenz f_0 $\hat{=}$ induktiv (im Serienschwingkreis)

F: unter der Resonanzfrequenz f_0 $\hat{=}$ induktiv (im Serienschwingkreis)

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Laboratory for High
Power Electronic Systems

Netzwerke und Schaltungen II, D-ITET

Komplexe WSR - ZA11
Schwingkreise

Aufgabe 1 Reihenschwingkreis

Ein Reihenschwingkreis ($C = 555\,\mathrm{pF}$, $L = 0.2\,\mathrm{mH}$, $R = 60\,\Omega$) sei an einen hochohmigen Generator angeschlossen, der einen Strom mit dem Spitzenwert $\hat{i} = 0.01\,\mathrm{A}$ einprägt. Berechnen Sie die Resonanzfrequenz f_0. Stellen Sie die Spitzenwerte der Teilspannungen $\hat{u}_R$, $\hat{u}_L$, $\hat{u}_C$ und der Gesamtspannung $\hat{u}_{ges}$ in Abhängigkeit von ω/ω_0 im Bereich $\omega/\omega_0 \in [0.25, 4]$ dar. Logarithmieren Sie die Frequenzachse.

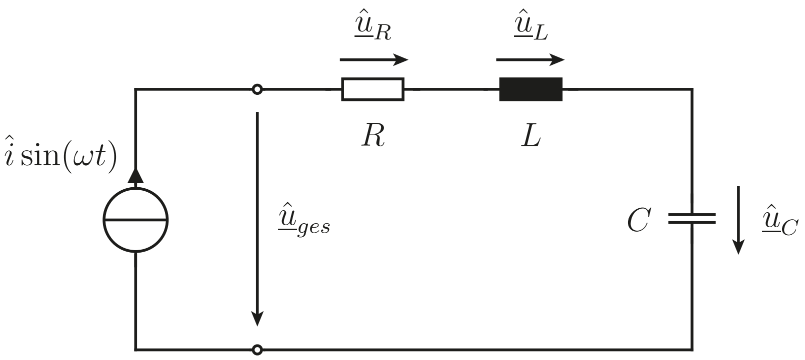


Abbildung 1: Reihenschwingkreis

Aufgabe 2 Parallelschwingkreis

Die Schaltung liegt an Sinusspannung mit der Frequenz $f = 800\,\mathrm{Hz}$. Auf welchen Widerstand R_1 muss das Potentiometer eingestellt werden, damit Resonanz vorliegt? Welchen Widerstand hat dabei die gesamte Schaltung?
$R_2 = 15\,\Omega$, $L = 42\,\mathrm{mH}$, $C = 0.47\,\mathrm{\mu F}$

Version: 20. April 2020

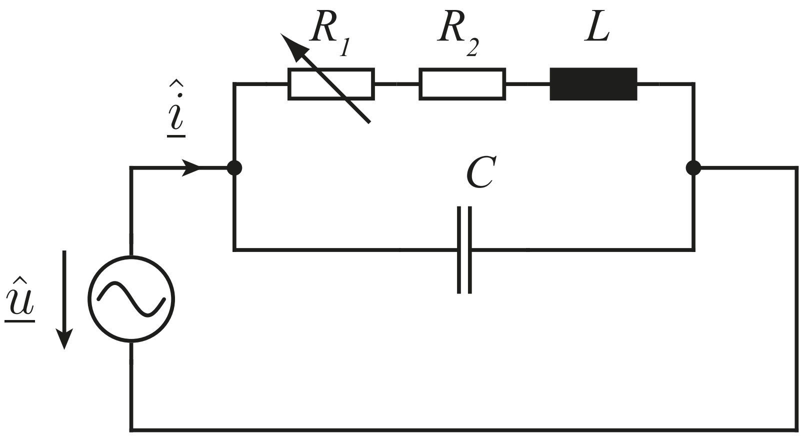


Abbildung 2: Parallelschwingkreis mit Potentiometer R_1

Aufgabe 3 Resonanzkreisfrequenz

In der gegebenen Schaltung sind die Induktivität L, die Kapazität C und der Wirkwiderstand R als gegeben anzusehen.
Es ist die Resonanzkreisfrequenz ω_r der Schaltung in allgemeiner Form anzugeben.

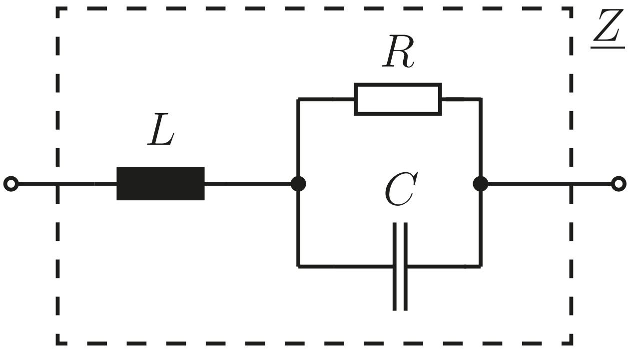


Abbildung 3: RLC-Schaltung

WSR_ZA_11 A3

Aufgabe 3 Resonanzkreisfrequenz

In der gegebenen Schaltung sind die Induktivität L, die Kapazität C und der Wirkwiderstand R als gegeben anzusehen.
Es ist die Resonanzkreisfrequenz ω_r der Schaltung in allgemeiner Form anzugeben.

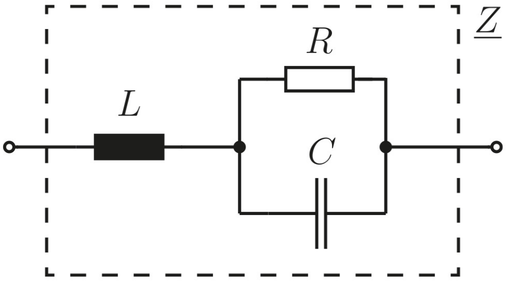


Abbildung 3: RLC-Schaltung

~ Resonanzfrequenz berechnen $\Longleftrightarrow$ $\operatorname{Im}(\underline{Z}_{tot}) \stackrel{!}{=} 0$

$$\underline{Z}_{tot} = \underline{Z}_L + (R \parallel \underline{Z}_C) = j\omega L + \frac{R \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = j\omega L + \frac{R}{j\omega CR + 1}$$

$$= j\omega L + \frac{R(1 - j\omega CR)}{1 + (\omega RC)^2}$$

$$= j\omega L + \frac{R}{1 + (\omega RC)^2} - j\frac{\omega CR^2}{1+(\omega RC)^2}$$

$$= \frac{R}{1+(\omega RC)^2} \boxed{+ j\left[\omega L - \frac{\omega CR^2}{1+(\omega RC)^2}\right]}$$

$\longrightarrow$ $\operatorname{Im}(\underline{Z}_{tot}) \stackrel{!}{=} 0$

$$\Longleftrightarrow \quad \omega L - \frac{\omega CR^2}{1+(\omega RC)^2} \stackrel{!}{=} 0$$

$$L(1 + (\omega RC)^2) = CR^2$$

$$\omega^2 R^2 C^2 = \frac{CR^2}{L} - 1$$

$$\omega_{res}^2 = \frac{1}{CL} - \frac{1}{R^2C^2}$$

$$\underline{\underline{\omega_{res} = \sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{1}{R^2C^2}}}}$$

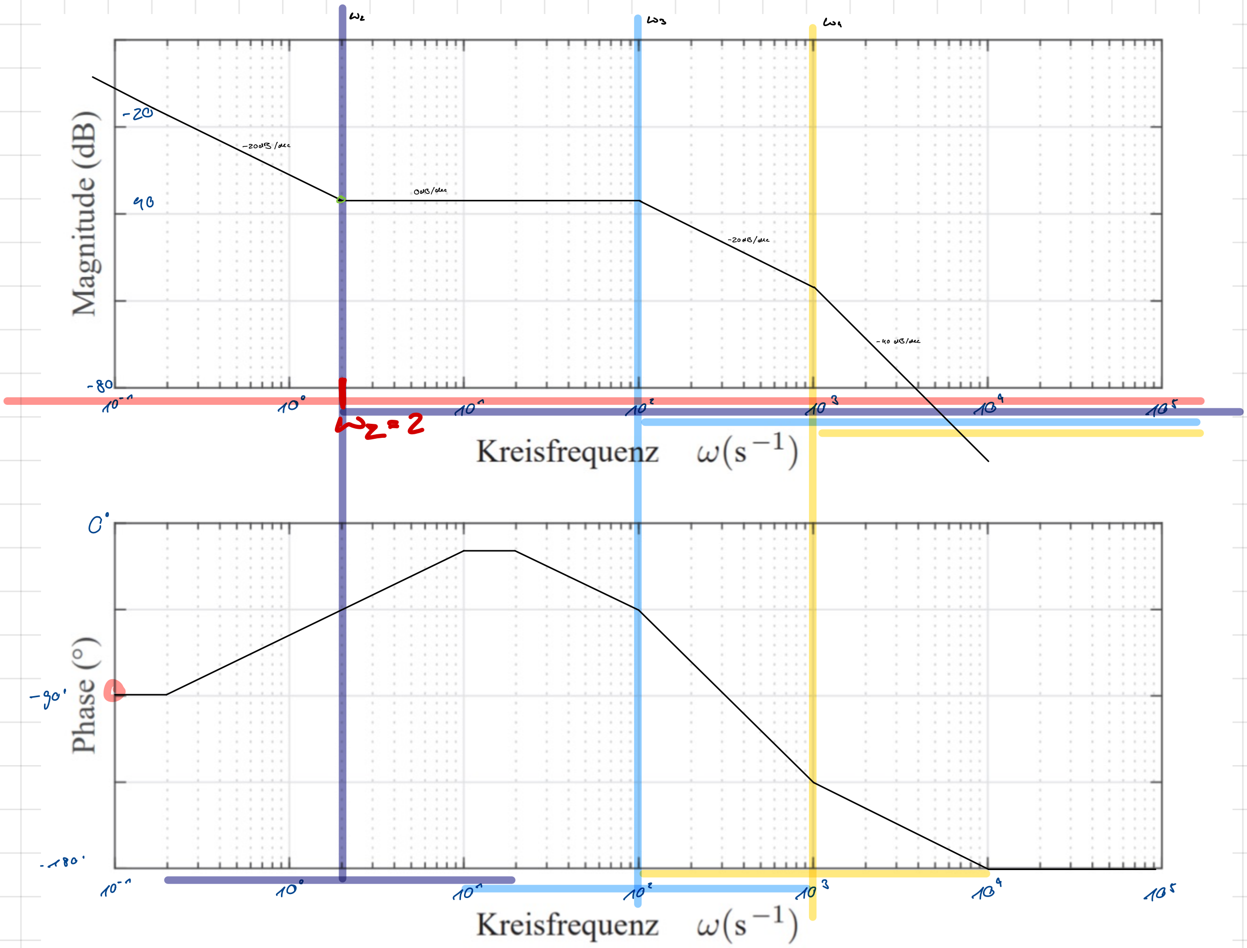
Bzw.: $f_{res} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{1}{R^2C^2}}$

Bodeplot – Beispiel

Sei $\qquad G(j\omega) = \dfrac{2\cdot\left(1+\frac{j\omega}{2}\right)}{j\omega \cdot 100 \cdot \left(1+\frac{j\omega}{100}\right)\left(1+0.001\, j\omega\right)}$

	where? (≥ 0)	magnitude?	phase?
Pole @ origin :	$\omega_1 = 0$:	-20 dB/dec :	start @ $-90°$
Left HP zero :	$\omega_2 = 2$:	$+20$ dB/dec :	$+90°$ over 2 dec
Left HP pole :	$\omega_3 = 100$:	-20 dB/dec ;	$-90°$ over 2 dec
Left HP pole :	$\omega_4 = \frac{1}{0.001} = 1000$:	-20 dB/dec :	$-90°$ over 2 dec

~ Start point (@ $\omega_2 = 2$) : $\quad 20\cdot\log_{10}\left[\,|G(j2)|\,\right] = \underline{\underline{-36.99\text{ dB}}}$



ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

HPE
Laboratory for High
Power Electronic Systems

Netzwerke und Schaltungen II, D-ITET

3-Φ / Leistung - ZA2

Symmetrische Last im Dreiphasensystem

Eine elektrische Maschine soll gemäss Abbildung 1 an einem symmetrischen Dreiphasennetz als symmetrische Last betrieben werden. Das Dreiphasennetz ist im Stern verschaltet mit den Strangspannungen $\underline{\hat{u}}_1 = \hat{u}_1 e^{j0°}$, $\underline{\hat{u}}_2 = \hat{u}_2 e^{-j120°}$, $\underline{\hat{u}}_3 = \hat{u}_3 e^{-j240°}$, $U_1 = U_2 = U_3 = 230\,\mathrm{V}$ (effektiv) und der Netzfrequenz $f = 50\,\mathrm{Hz}$. Die Wicklungen der Maschine weisen eine Induktivität $L = 12\,\mathrm{mH}$ auf; die Verluste in der Wicklung und die mechanisch abgegebene Leistung werden durch die Widerstände $R = 6\,\Omega$ beschrieben. Im Verlauf der Aufgabe werden lastseitig noch Kondensatoren C zur Blindleistungskompensation im Stern verschaltet.

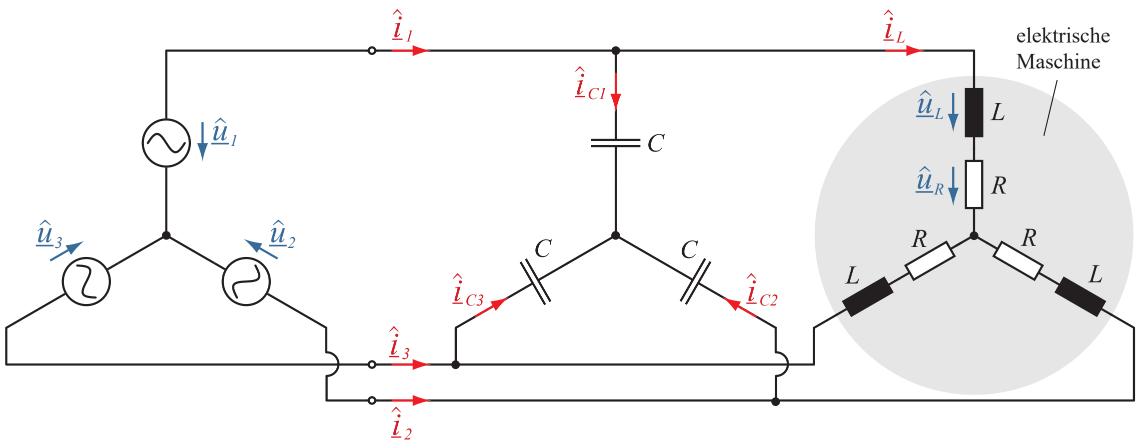


Abbildung 1: Dreiphasenspannungsquelle und Ersatzschaltbild der elektrischen Maschine mit Kondensatoren zur Blindleistungskompensation.

Betrachten Sie für die Teilaufgaben a) und b) nur das Dreiphasennetz und das Ersatzschaltbild der elektrischen Maschine ***ohne*** *die Kondensatoren C.*

a.) Berechnen Sie den Strom $\underline{\hat{i}}_L$ und die Spannungen $\underline{\hat{u}}_R$ und $\underline{\hat{u}}_L$. Zeichnen Sie auf

Aktuelle Version: 6. Juni 2019

Beiblatt 2.1 ein massstabsgetreues Zeigerdiagramm für $\underline{\hat{u}}_1$, $\underline{\hat{u}}_R$, $\underline{\hat{u}}_L$ und $\underline{\hat{i}}_L$. Massstäbe: $100\,\mathrm{V} \mathrel{\hat{=}} 1\,\mathrm{cm}$, $10\,\mathrm{A} \mathrel{\hat{=}} 1\,\mathrm{cm}$.

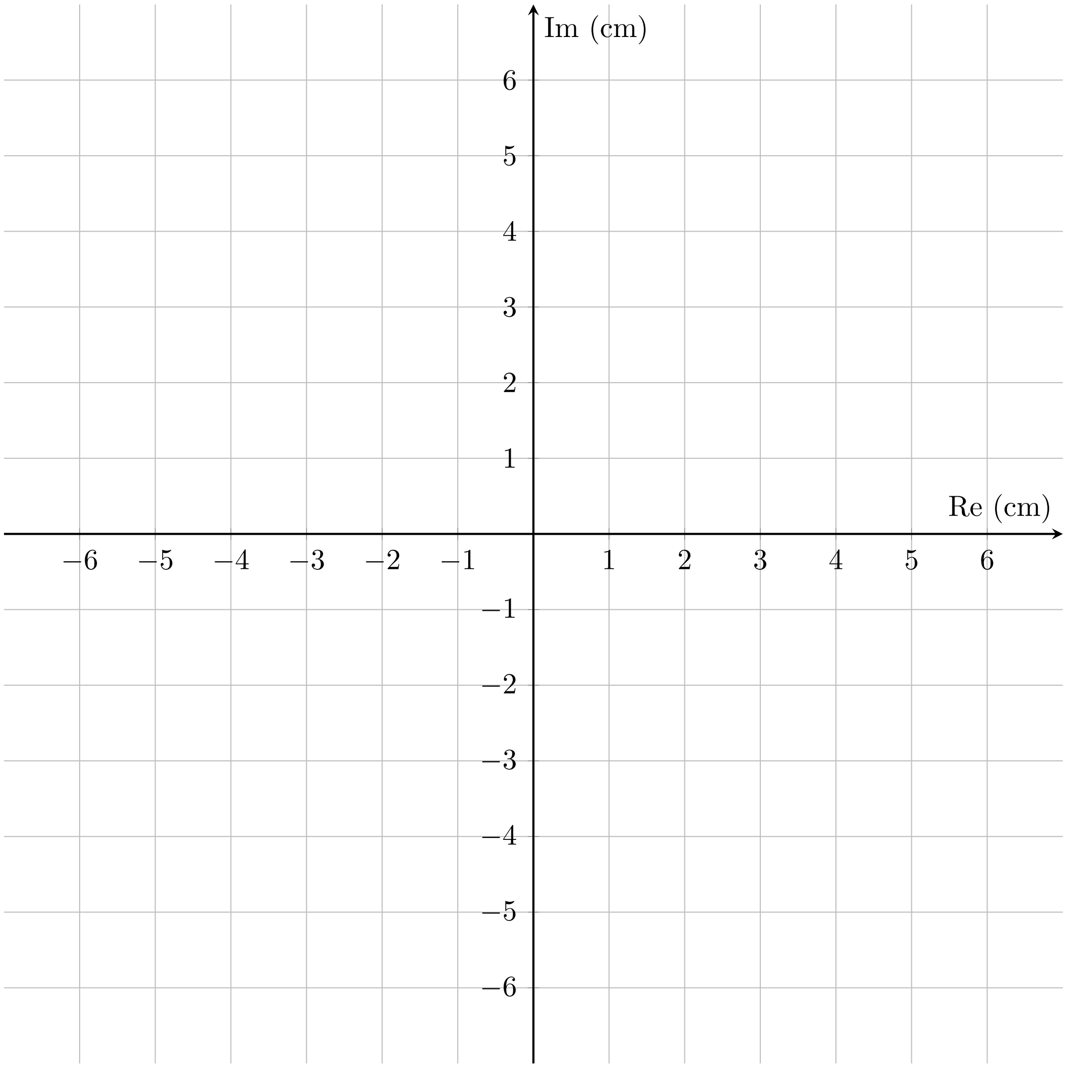
b.) Welche Scheinleistung S, Wirkleistung P und Blindleistung Q nimmt die elektrische Maschine auf?

Berücksichtigen Sie in den folgenden Teilaufgaben c) und d) nun zusätzlich die Kondensatoren C zur Blindleistungskompensation.

c.) Berechnen Sie den Wert der Kapazitäten C so, dass die Maschine reine Wirkleistung aus dem Netz bezieht.

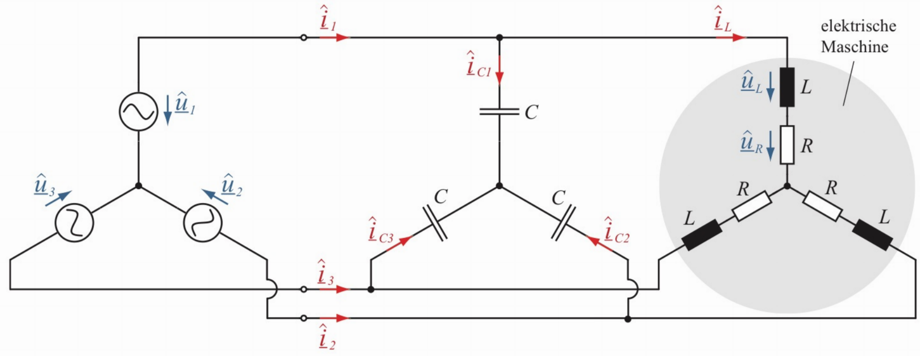
d.) Berechnen Sie für diesen Fall den Strom $\underline{\hat{i}}_{C1}$ und den Aussenleiterstrom $\underline{\hat{i}}_1$. Zeichnen Sie im Zeigerdiagramm aus Teilaufgabe a) auf dem Beiblatt die Ströme $\underline{\hat{i}}_{C1}$ und $\underline{\hat{i}}_1$ im Massstab $10\,\mathrm{A} \mathrel{\hat{=}} 1\,\mathrm{cm}$ ein.

Beiblatt: Zeigerdiagramm zu den Teilaufgaben 2a) und 2d)



3PHASEN - LEISTUNG - ZA 2

Eine elektrische Maschine soll gemäss Abbildung 1 an einem symmetrischen Dreiphasennetz als symmetrische Last betrieben werden. Das Dreiphasennetz ist im Stern verschaltet mit den Strangspannungen $\underline{\hat{u}}_1 = \hat{u}_1 e^{j0°}$, $\underline{\hat{u}}_2 = \hat{u}_2 e^{-j120°}$, $\underline{\hat{u}}_3 = \hat{u}_3 e^{-j240°}$, $U_1 = U_2 = U_3 = 230\,\mathrm{V}$ (effektiv) und der Netzfrequenz $f = 50\,\mathrm{Hz}$. Die Wicklungen der Maschine weisen eine Induktivität $L = 12\,\mathrm{mH}$ auf; die Verluste in der Wicklung und die mechanisch abgegebene Leistung werden durch die Widerstände $R = 6\,\Omega$ beschrieben. Im Verlauf der Aufgabe werden lastseitig noch Kondensatoren C zur Blindleistungskompensation im Stern verschaltet.



a.) Berechnen Sie den Strom $\underline{\hat{i}}_L$ und die Spannungen $\underline{\hat{u}}_R$ und $\underline{\hat{u}}_L$.

a) IMPEDANZEN BERECHNEN / ZUSAMMENFASSEN → LZY :

$$\underline{Z} = \underline{Z}_R + \underline{Z}_L = R + j\omega L = 7.09\,e^{j32.14°}\ \Omega$$

SPANNUNG (AMPLITUDE) :

$$\underline{\hat{u}}_1 = 230 \cdot \sqrt{2} \cdot e^{j0°}\ \mathrm{V} = 230 \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{V}$$

→ LZY :

$$\underline{\hat{i}}_L = \frac{\underline{\hat{u}}_1}{\underline{Z}} = 45.9\,e^{-j32.14°}\ \mathrm{A}$$

$$\underline{\hat{u}}_R = \underline{\hat{i}}_L \cdot R = 275.4\,e^{-j32.14°}\ \mathrm{V}$$

$$\underline{\hat{u}}_L = \underline{\hat{i}}_L \cdot \underbrace{\underline{Z}_L}_{=j\omega L} = 173.05\,e^{j57.86°}\ \mathrm{V}$$

b.) Welche Scheinleistung S, Wirkleistung P und Blindleistung Q nimmt die elektrische Maschine auf?

b) HIER : SYMMETRISCHE BELASTUNG !

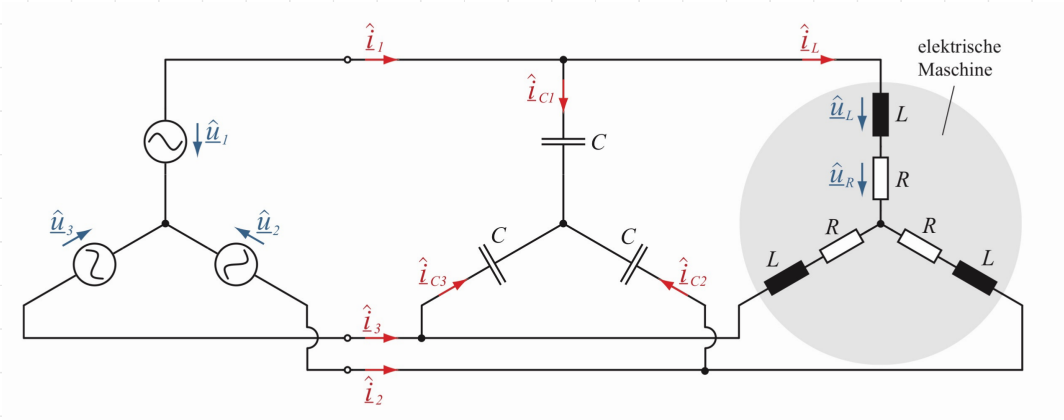
↳ $\underline{S} = \frac{3}{2}\,\underline{\hat{u}}_1\,\underline{\hat{i}}_L^{*} = (18.96 + 11.92j) \cdot 10^3$ VA

$P = \mathrm{Re}\{\underline{S}\} = 18.96 \cdot 10^3$ W

$\mathbb{R} \ni Q \overset{!}{=} \mathrm{Im}\{\underline{S}\} = 11.92 \cdot 10^3$ Var

→ AUFGENOMMENE SCHEINLEISTUNG ⟺ $|S| = 22.4 \cdot 10^3$ VA

3PHASEN - LEISTUNG - ZA 2.2



Berücksichtigen Sie in den folgenden Teilaufgaben c) und d) nun zusätzlich die Kondensatoren C zur Blindleistungskompensation.

c.) Berechnen Sie den Wert der Kapazitäten C so, dass die Maschine reine Wirkleistung aus dem Netz bezieht.

c) DIE BLINDLEISTUNG DER KAPAZITÄTEN C MÜSSEN DIE BLINDLEISTUNG DER LAST (EL. MASCHINE) KOMPENSIEREN! (IN JEDER PHASE)

$$Q_C \underbrace{=}_{\text{SYMMETRISCHE BELASTUNG}} \mathrm{Im}\left\{\frac{3}{2}\,\underline{\hat{u}}_1 \cdot \underline{\hat{i}}_{C1}^{*}\right\} = \mathrm{Im}\left\{\frac{3}{2}\,\underline{\hat{u}}_1 \cdot \left(-\underline{\hat{u}}_1^{*}\, j\omega C\right)\right\}$$

$$\underline{\hat{i}}_{C1}^{*} = \left(\frac{\underline{\hat{u}}_1}{\underline{Z}_C}\right)^{*}$$

$$= -\mathrm{Im}\left\{\frac{3}{2}\,|\underline{\hat{u}}_1|^2 j\omega C\right\}$$

$$= -\frac{3}{2}\,|\underline{\hat{u}}_1|^2\,\omega C$$

$$\Longrightarrow \quad \frac{3}{2}\,|\underline{\hat{u}}_1|^2\,\omega C \overset{!}{=} -11.82 \cdot 10^3 \ \mathrm{VAR}$$

KOMPENSATION DER BLINDLEISTUNG DER LAST

$$\Longleftrightarrow \quad C_{\text{comp}} = \frac{11.82 \cdot 10^3 \cdot 2}{3 \cdot \omega \cdot |\underline{\hat{u}}_1|^2} = \underline{\underline{238.99 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{F}}}$$

d.) Berechnen Sie für diesen Fall den Strom $\hat{\underline{i}}_{C1}$ und den Aussenleiterstrom $\hat{\underline{i}}_1$. Zeichnen Sie im Zeigerdiagramm aus Teilaufgabe a) auf dem Beiblatt die Ströme $\hat{\underline{i}}_{C1}$ und $\hat{\underline{i}}_1$ im Massstab $10\,\mathrm{A} \mathrel{\hat{=}} 1\,\mathrm{cm}$ ein.

d) $$\underline{\hat{i}}_{C1} = \frac{\underline{\hat{u}}_1}{\underline{Z}_C} = \underline{\hat{u}}_1 \cdot j\omega C = 24.42\, e^{j90°}$$

$$\underline{\hat{i}}_1 = \underline{\hat{i}}_{C1} + \underline{\hat{i}}_L = 38.87\, e^{j0°}$$

3PHASEN - LEISTUNG - ZA 2.3

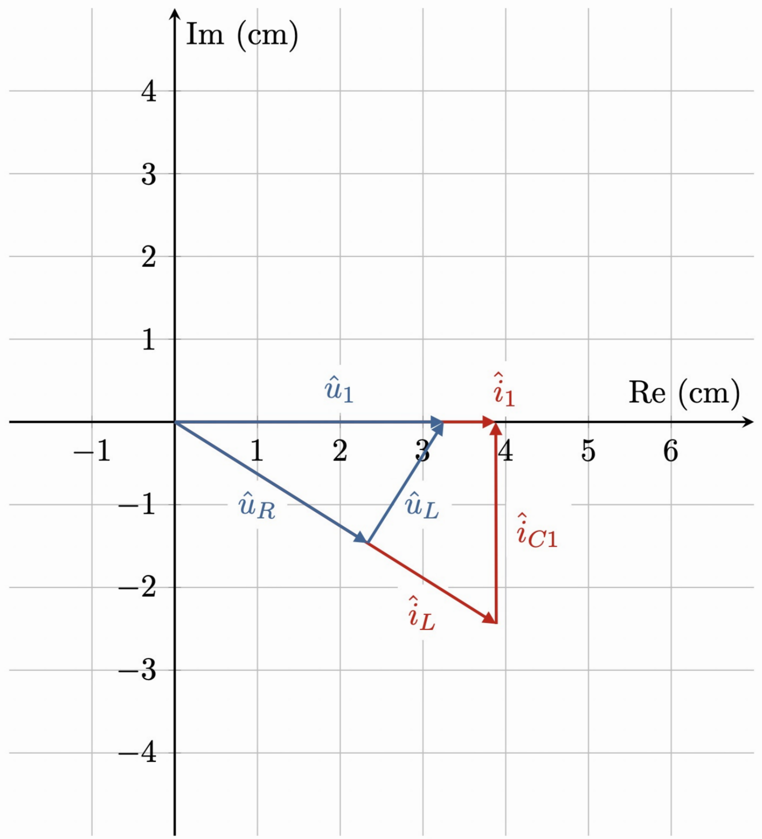


Abbildung 2: Zeigerdiagramm zu Teilaufgabe d.)

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Laboratory for High
Power Electronic Systems

Netzwerke und Schaltungen II, D-ITET

Maschenstromverfahren

ZA1

Aufgabe 1 Maschenstromverfahren

Die in Abbildung 1 dargestellte Schaltung enthält eine Spannungsquelle $\underline{\hat{u}}_\mathrm{q}$, eine Stromquelle $\underline{\hat{i}}_\mathrm{q}$, die drei Widerstände R_1, R_2 und R_3 sowie die Induktivität L und die Kapazität C. Die Schaltung befindet sich im eingeschwungenen Zustand mit der Frequenz f und soll im Folgenden mittels Maschenstromverfahren berechnet werden.

Numerische Werte:

$$\underline{\hat{u}}_\mathrm{q} = 90\,\mathrm{V}\cdot\mathrm{e}^{\mathrm{j}0^\circ} \qquad \underline{\hat{i}}_\mathrm{q} = 3\,\mathrm{A}\cdot\mathrm{e}^{\mathrm{j}30^\circ} \qquad f = 25\,\mathrm{kHz}$$
$$R_1 = 24\,\Omega \qquad R_2 = 10\,\Omega \qquad R_3 = 20\,\Omega$$
$$L = 3\,\mu\mathrm{H} \qquad C = 500\,\mathrm{nF}$$

1.1) Ermitteln Sie die unabhängigen Maschen und zeichnen Sie die Maschenströme in die Schaltung ein.

1.2) Stellen Sie die Maschengleichungen in Abhängigkeit der unbekannten Maschenströme sowie der Quellengrössen $\underline{\hat{u}}_\mathrm{q}$ und $\underline{\hat{i}}_\mathrm{q}$ auf. Schreiben Sie die Maschengleichungen in Matrixform auf. Berechnen Sie die numerischen Werte der Matrizen.

1.3) Berechnen Sie die Maschenströme und anschliessend den gesuchten Zweigstrom $\underline{\hat{i}}_{R2}$.

Version: 18. März 2020

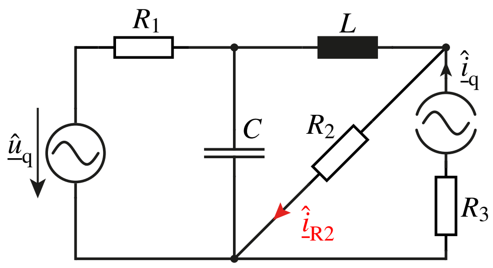


Abbildung 1: Schaltung mit einer Spannungsquelle $\hat{\underline{u}}_q$ und einer Stromquelle $\hat{\underline{i}}_q$.

Aufgabe 2 Maschenstromverfahren mit Transformator

Die Schaltung in Abbildung 2 enthält zwei Spannungsquellen $\hat{\underline{u}}_{q1}$ und $\hat{\underline{u}}_{q2}$ sowie die Komponenten R_1, R_2, C_1 und C_2. Der Transformator weist eine primärseitige und Selbstinduktivität L_1 und eine sekundärseitige Selbstinduktivität L_2 auf sowie eine Kopplungsinduktivität M. Berechnen Sie mit Hilfe des Maschenstromverfahrens den Zweigstrom $\hat{\underline{i}}_{C1}$ bei der Frequenz f.

Numerische Werte:

$\hat{\underline{u}}_{q1} = 230\,\mathrm{V} \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}135°}$	$\hat{\underline{u}}_{q2} = 230\,\mathrm{V} \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}180°}$	$f = 10\,\mathrm{kHz}$	
$R_1 = 10\,\Omega$	$R_2 = 50\,\Omega$	$C_1 = 10\,\mu\mathrm{F}$	$C_2 = 500\,\mathrm{nF}$
$L_1 = 1.2\,\mathrm{mH}$	$L_2 = 1\,\mathrm{mH}$	$M = 1.05\,\mathrm{mH}$	

2.1) Ersetzen Sie den Transformator durch ein Ersatzschaltbild mit gesteuerten Spannungsquellen. Zeichnen Sie die neue Schaltung mit den dazugehörigen Maschenströmen.

2.2) Ermitteln Sie die Maschengleichungen in Abhängigkeit der unbekannten Maschenströme sowie der Spannungsquellen $\hat{\underline{u}}_{q1}$ und $\hat{\underline{u}}_{q2}$. Schreiben Sie sie in Matrizenform auf und berechnen Sie die numerischen Werte der Matrizen.

2.3) Berechnen Sie die Maschenströme und anschliessend den gesuchten Zweigstrom $\hat{\underline{i}}_{C1}$.

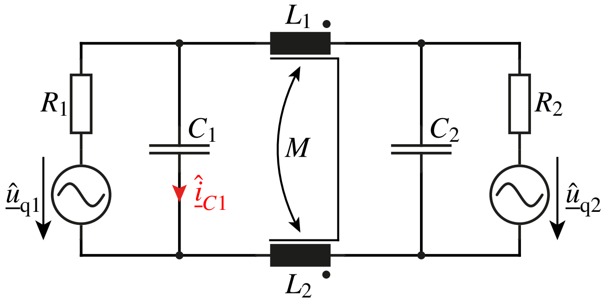


Abbildung 2: Schaltung mit Transformator sowie den Spannungsquellen $\underline{\hat{u}}_{q1}$ und $\underline{\hat{u}}_{q2}$.

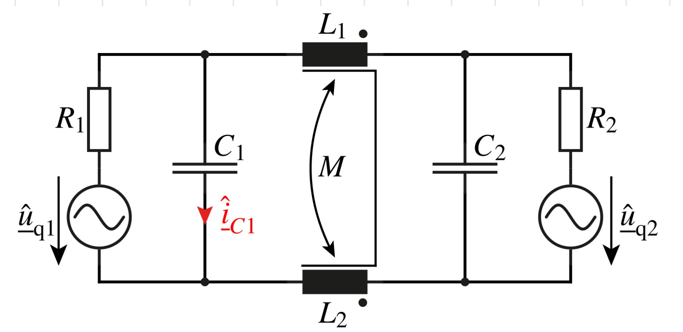
MA-ZA-1 A2

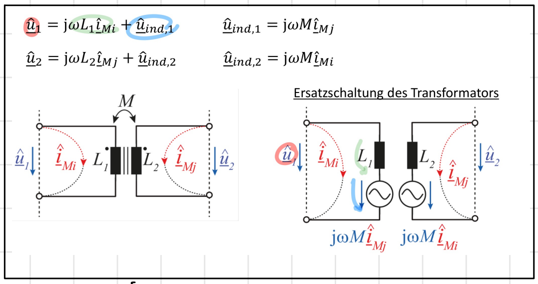
Aufgabe 2 Maschenstromverfahren mit Transformator

Die Schaltung in Abbildung 2 enthält zwei Spannungsquellen $\underline{\hat{u}}_{q1}$ und $\underline{\hat{u}}_{q2}$ sowie die Komponenten R_1, R_2, C_1 und C_2. Der Transformator weist eine primärseitige und Selbstinduktivität L_1 und eine sekundärseitige Selbstinduktivität L_2 auf sowie eine Kopplungsinduktivität M. Berechnen Sie mit Hilfe des Maschenstromverfahrens den Zweigstrom $\underline{\hat{i}}_{C1}$ bei der Frequenz f.

Numerische Werte:

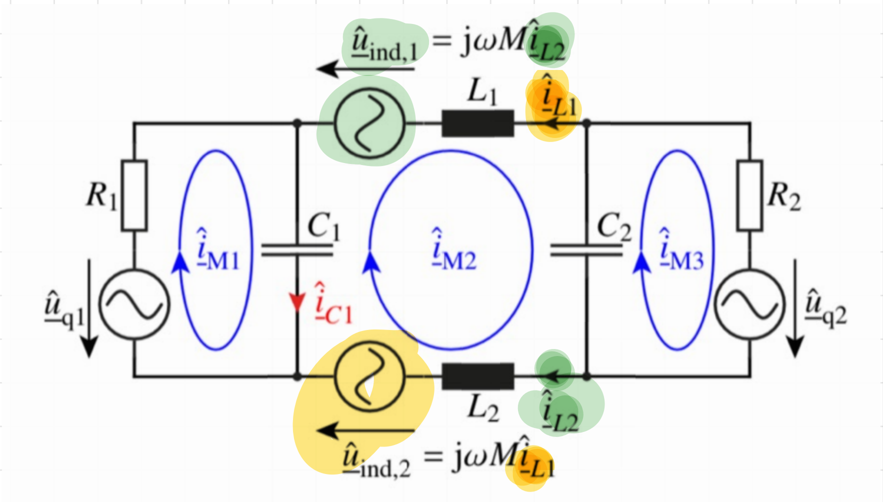
$\underline{\hat{u}}_{q1} = 230\,\mathrm{V} \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}135°}$	$\underline{\hat{u}}_{q2} = 230\,\mathrm{V} \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}180°}$	$f = 10\,\mathrm{kHz}$	
$R_1 = 10\,\Omega$	$R_2 = 50\,\Omega$	$C_1 = 10\,\mu\mathrm{F}$	$C_2 = 500\,\mathrm{nF}$
$L_1 = 1.2\,\mathrm{mH}$	$L_2 = 1\,\mathrm{mH}$	$M = 1.05\,\mathrm{mH}$	





Als Übungsstunde W07

a)



$$\underline{\hat{u}}_{ind,1} = \mathrm{j}\omega M \, \underline{\hat{i}}_{M2}$$

$$\underline{\hat{u}}_{ind,2} = -\mathrm{j}\omega M \, \underline{\hat{i}}_{M2}$$

MA-ZA-1 A2.2

2.2)

2.2) Ermitteln Sie die Maschengleichungen in Abhängigkeit der unbekannten Maschenströme sowie der Spannungsquellen $\underline{\hat{u}}_{q1}$ und $\underline{\hat{u}}_{q2}$. Schreiben Sie sie in Matrizenform auf und berechnen Sie die numerischen Werte der Matrizen.

MASCHE M1 :

$$R_1 \underline{\hat{i}}_{M1} + \frac{1}{j\omega C_1}\left[\underline{\hat{i}}_{M1} - \underline{\hat{i}}_{M2}\right] = \underline{\hat{u}}_{q1}$$

$$\Longleftrightarrow \left[R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}\right]\underline{\hat{i}}_{M1} - \frac{1}{j\omega C_1}\underline{\hat{i}}_{M2} + 0 \cdot \underline{\hat{i}}_{M3} = \underline{\hat{u}}_{q1}$$

MASCHE M2 :

$$j\omega L_1 \cdot \underline{\hat{i}}_{M2} + j\omega L_2 \cdot \underline{\hat{i}}_{M2} + \frac{1}{j\omega C_1}\left[\underline{\hat{i}}_{M2} - \underline{\hat{i}}_{M1}\right] + \frac{1}{j\omega C_2}\left[\underline{\hat{i}}_{M2} - \underline{\hat{i}}_{M3}\right] + \underline{\hat{u}}_{MO2} - \underline{\hat{u}}_{MO1} = 0$$

$$\Longleftrightarrow -\frac{1}{j\omega C_1}\underline{\hat{i}}_{M1} + \left[\frac{1}{j\omega C_1} + j\omega(L_1 + L_2) + \frac{1}{j\omega C_2}\right]\underline{\hat{i}}_{M2} - \frac{1}{j\omega C_2}\underline{\hat{i}}_{M3} + \underline{\hat{u}}_{MO2} - \underline{\hat{u}}_{MO1} = 0$$

MASCHE M3 :

$$\frac{1}{j\omega C_2}\left(\underline{\hat{i}}_{M3} - \underline{\hat{i}}_{M2}\right) + R_2 \underline{\hat{i}}_{M3} = -\underline{\hat{u}}_{q2}$$

$$\Longleftrightarrow 0 \cdot \underline{\hat{i}}_{M1} - \frac{1}{j\omega C_2}\underline{\hat{i}}_{M2} + \left[\frac{1}{j\omega C_2} + R_1\right]\underline{\hat{i}}_{M3} = -\underline{\hat{u}}_{q2}$$

$\rightsquigarrow$ MATRIXFORM :

$$\begin{bmatrix} \left[R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}\right] & -\frac{1}{j\omega C_1} & 0 \\ -\frac{1}{j\omega C_1} & \left[\frac{1}{j\omega C_1} + j\omega(L_1 + L_2) + \frac{1}{j\omega C_2} - 2j\omega M\right] & -\frac{1}{j\omega C_2} \\ 0 & -\frac{1}{j\omega C_2} & \left[\frac{1}{j\omega C_2} + R_1\right] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\hat{i}}_{M1} \\ \underline{\hat{i}}_{M2} \\ \underline{\hat{i}}_{M3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{\hat{u}}_{q1} \\ 0 \\ -\underline{\hat{u}}_{q2} \end{bmatrix}$$

$\rightsquigarrow$ ...

$$\underline{\hat{i}}_{M1} = (-18.1 + j\,12.6)\,A$$
$$\underline{\hat{i}}_{M2} = (4.9 + j\,0.877)\,A$$
$$\underline{\hat{i}}_{M3} = (5.08 + j\,0.117)\,A$$

2.3)

2.3) Berechnen Sie die Maschenströme und anschliessend den gesuchten Zweigstrom $\hat{\underline{i}}_{C1}$.

$$\underline{\hat{i}}_{C1} = \underline{\hat{i}}_{M1} - \underline{\hat{i}}_{M2} = (-23 + 11.7j)\,A$$

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Laboratory for High
Power Electronic Systems

Netzwerke und Schaltungen II, D-ITET

Knotenpotentialverfahren

ZA2

Aufgabe 1 Knotenpotentialverfahren

Die Schaltung in Abbildung 1 enthält eine Spannungsquelle $\hat{\underline{u}}_\mathrm{q}$ und eine Stromquelle $\hat{\underline{i}}_\mathrm{q}$ sowie die Komponenten R_1, R_2, C_1 und L_1. Berechnen Sie mit Hilfe des Knotenpotentialverfahrens den Zweigstrom $\hat{\underline{i}}_{C1}$ bei der Frequenz f.

Numerische Werte:

$\hat{\underline{u}}_\mathrm{q} = 100\,\mathrm{V} \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}10°}$ $\quad$ $\hat{\underline{i}}_\mathrm{q} = 5\,\mathrm{A} \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}90°}$ $\quad$ $f = 1\,\mathrm{MHz}$

$R_1 = 4\,\Omega$ $\quad$ $R_2 = 8\,\Omega$ $\quad$ $L_1 = 250\,\mathrm{nH}$ $\quad$ $C_1 = 25\,\mathrm{nF}$

1.1) Wählen Sie den eingezeichneten Erdpunkt als Bezugspotential und zeichnen Sie die unbekannten Knotenspannungen in die Schaltung ein.

1.2) Ermitteln Sie die Knotengleichungen in Abhängigkeit der unbekannten Knotenspannungen sowie der Quellen $\hat{\underline{u}}_\mathrm{q}$ und $\hat{\underline{i}}_\mathrm{q}$. Schreiben Sie sie in Matrizenform auf und berechnen Sie die numerischen Werte der Matrizen.

1.3) Berechnen Sie die Knotenspannungen und anschliessend den gesuchten Zweigstrom $\hat{\underline{i}}_{C1}$.

Version: 18. März 2020

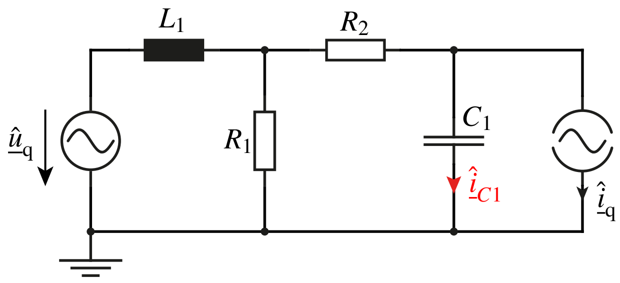


Abbildung 1: Schaltung mit Spannungsquelle $\underline{\hat{u}}_q$ und Stromquelle $\underline{\hat{i}}_q$.

Aufgabe 2 Knotenpotentialverfahren mit Transformator

Die Schaltung in Abbildung 2 enthält eine Spannungsquelle $\underline{\hat{u}}_q$, die Komponenten R_1, R_2, R_3 und C_1 sowie einen Transformator mit L_1, L_2 und M. Berechnen Sie mit Hilfe des Knotenpotentialverfahrens den Zweigstrom $\underline{\hat{i}}_{R3}$ bei der Frequenz f.

Numerische Werte:

$\underline{\hat{u}}_q = 325\,\mathrm{V} \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}0^\circ}$	$f = 100\,\mathrm{Hz}$	$R_1 = 100\,\Omega$	$R_2 = 100\,\Omega$	$R_3 = 5\,\Omega$
$C_1 = 2\,\mu\mathrm{F}$	$L_1 = 1\,\mathrm{mH}$	$L_2 = 1.2\,\mathrm{mH}$	$M = 1.02\,\mathrm{mH}$	

2.1) Ersetzen Sie den Transformator durch ein Ersatzschaltbild mit gesteuerten Stromquellen und zeichnen Sie die neue Schaltung. Ermitteln Sie die Parameter der Transformatorersatzschaltung in Abhängigkeit von L_1, L_2 und M.

2.2) Wählen Sie den eingezeichneten Erdpunkt als Bezugspotential und zeichnen Sie unbekannten Knotenspannungen in die Schaltung ein.

2.3) Ermitteln Sie die Knotengleichungen in Abhängigkeit der unbekannten Knotenspannungen sowie der Spannungsquelle $\underline{\hat{u}}_q$. Schreiben Sie sie in Matrizenform auf und berechnen Sie die numerischen Werte der Matrizen.

2.4) Berechnen Sie die Knotenspannungen und anschliessend den gesuchten Zweigstrom $\underline{\hat{i}}_{R3}$.

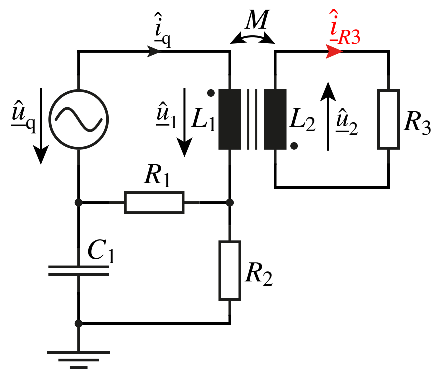


Abbildung 2: Schaltung mit Spannungsquelle $\hat{\underline{u}}_{\mathrm{q}}$ und einem Transformator.

KL - ZA - 1 A1

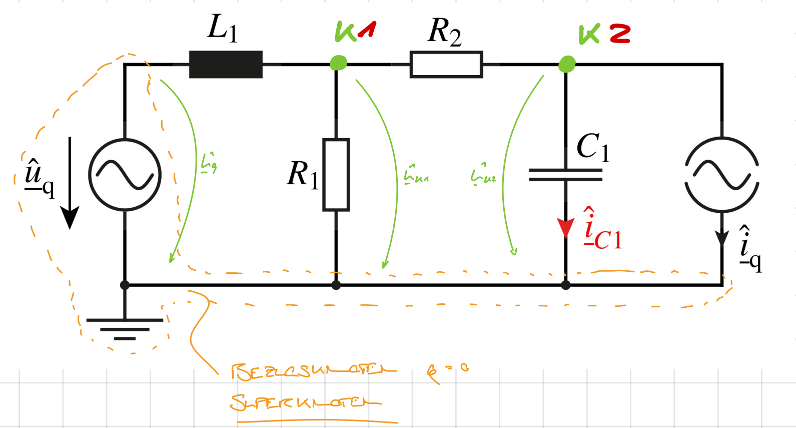
Aufgabe 1 Knotenpotentialverfahren

Die Schaltung in Abbildung 1 enthält eine Spannungsquelle $\underline{\hat{u}}_q$ und eine Stromquelle $\underline{\hat{i}}_q$ sowie die Komponenten R_1, R_2, C_1 und L_1. Berechnen Sie mit Hilfe des Knotenpotentialverfahrens den Zweigstrom $\underline{\hat{i}}_{C1}$ bei der Frequenz f.

Numerische Werte:

$\underline{\hat{u}}_q = 100\,\mathrm{V} \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}10^\circ}$ $\quad \underline{\hat{i}}_q = 5\,\mathrm{A} \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}90^\circ}$ $\quad f = 1\,\mathrm{MHz}$

$R_1 = 4\,\Omega$ $\quad R_2 = 8\,\Omega$ $\quad L_1 = 250\,\mathrm{nH}$ $\quad C_1 = 25\,\mathrm{nF}$



1.1) 1.1) Wählen Sie den eingezeichneten Erdpunkt als Bezugspotential und zeichnen Sie die unbekannten Knotenspannungen in die Schaltung ein.

(Skizze oben)

1.2) Ermitteln Sie die Knotengleichungen in Abhängigkeit der unbekannten Knotenspannungen sowie der Quellen $\underline{\hat{u}}_q$ und $\underline{\hat{i}}_q$. Schreiben Sie sie in Matrizenform auf und berechnen Sie die numerischen Werte der Matrizen.

1.2) Knoten K1:

$$\frac{1}{R_1}\cdot \varphi_{K1} + \frac{1}{j\omega L_1}\left[\varphi_{K1} - \hat{u}_q\right] + \frac{1}{R_2}\left[\varphi_{K1} - \varphi_{K2}\right] = 0$$

$$\Longleftrightarrow \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{j\omega L_1} + \frac{1}{R_2}\right]\varphi_{K1} - \frac{1}{R_2}\varphi_{K2} = \frac{\hat{u}_q}{j\omega L_1}$$

Knoten K2:

$$\frac{1}{R_2}\left[\varphi_{K2} - \varphi_{K1}\right] + j\omega C_1 \cdot \varphi_{K2} + \hat{i}_q = 0$$

$$\Longleftrightarrow -\frac{1}{R_2}\varphi_{K1} + \left[\frac{1}{R_2} + j\omega C_1\right]\varphi_{K2} = -\hat{i}_q$$

KL - ZA - 1 A1.2

⇝ MATRIXFORM :

$$\begin{bmatrix} \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{j\omega L_1} + \frac{1}{R_2}\right] & -\frac{1}{R_2} \\ -\frac{1}{R_2} & \left[\frac{1}{R_2} + j\omega C_1\right] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\hat{u}}_{k1} \\ \underline{\hat{u}}_{k2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\underline{\hat{u}}_q}{j\omega L_1} \\ -\underline{\hat{i}}_q \end{bmatrix}$$

⇝ TR...

$$\underline{\hat{u}}_{k1} = (91.4 - j\,86.9)\,V$$
$$\underline{\hat{u}}_{k2} = (-2.02 - j\,74.3)\,V$$

1.3) Berechnen Sie die Knotenspannungen und anschliessend den gesuchten Zweigstrom $\underline{\hat{i}}_{C1}$.

$$\underline{\hat{i}}_{C1} = \underline{\hat{u}}_{k2}\, j\omega C_1 = (11.7 - 0.317j)\,A$$