

# Übungsaufgaben

## Elektrotechnik II

Prof. Dr.-Ing. G. Flach  
Prof. Dr.-Ing. N. Michalke

02/2005



### Aufgabe 1 Sinusförmige Wechselgrößen - Scheitelwert

Berechnen Sie den Scheitelwert einer Wechselspannung bei gegebener Frequenz und gegebenem Momentanwert zur Zeit  $t$ .

	Frequenz	Momentanwert	Zeit $t$
a)	50 Hz	209,24 V	0,004 s
b)	120 Hz	87,02 V	0,0014 s
c)	200 Hz	214 V	0,001 s

### Aufgabe 2 Addition sinusförmiger Wechselgrößen

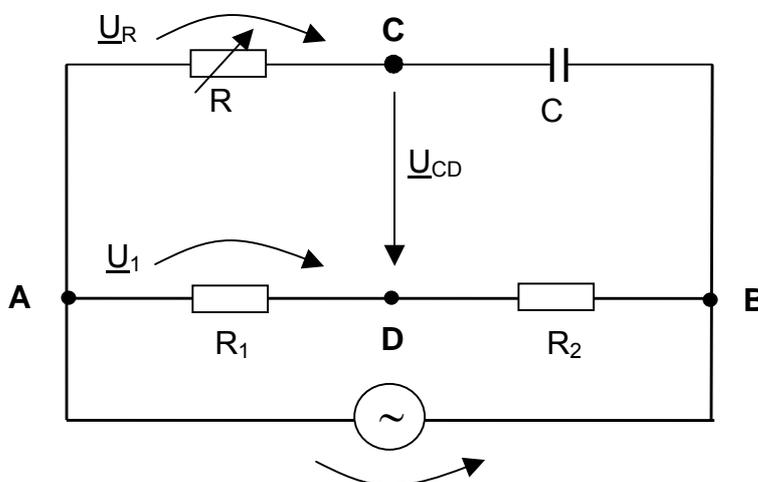
Welchen Gesamtwert ergeben die nachstehenden Teilspannungen unter Berücksichtigung der angegebenen Verschiebungswinkel? Unter welchem Winkel eilt die Gesamtspannung der Spannung  $U_1$  voraus? Zeichnen Sie die Zeigerbilder maßstäblich.

	$U_1$	$U_2$	$\varphi$
a)	100 V	150 V	$60^\circ$
b)	60 V	65 V	$30^\circ$
c)	128 V	128 V	$45^\circ$

### Aufgabe 3 Hausrath-Brücke (Phasenschieber-Brücke)

Wechselstrombrücken werden im unabgeglichenen Zustand (z.B. Hausrath-Brücke zum Phasenschieben) oder im abgeglichenen Zustand (z.B. Grützmacher-Brücke, Maxwell-Brücke zum Bestimmen von Betrag und Phase bzw. Real- und Imaginärteil) verwendet. Für die Behandlung dieser Schaltungen ist die Berechnung von Wechselstromkreisen mit komplexen Größen geeignet. Im Praktikum Grundlagen der Elektrotechnik II erfolgt die experimentelle Nutzung verschiedener Wechselstrombrücken. Die prinzipielle Berechnung soll exemplarisch an der Hausrath-Brücke durchgeführt werden.

Gegeben ist die nachstehende Hausrath-Brücke mit der Bedingung  $R_1 = R_2$ .



- Weisen Sie nach, dass  $\underline{U}_{CD}$  mit  $\underline{U}_1$  betragsgleich ist und unabhängig vom veränderlichen Widerstand und
- dass zwischen  $\underline{U}_{CD}$  und  $\underline{U}_1$  eine Phasenverschiebung  $\varphi$  von  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  in Abhängigkeit von  $R$  möglich ist.
- Welche Größe muss  $R$  annehmen, damit  $\varphi=90^\circ$  erreicht wird?

Hinweis: Ausgang Maschensatz!

#### **Aufgabe 4 Messung von Wechselstromwiderständen**

Um die Kapazität  $C$  eines Kondensators zu messen, wird in Reihe mit dem Kondensator ein Widerstand von  $R = 10 \text{ k}\Omega$  geschaltet. Wird diese Anordnung mit einer 50-Hz-Wechselspannung von  $U_N = 230 \text{ V}$  gespeist, so wird über dem Widerstand eine Spannung von  $U_R = 100 \text{ V}$  gemessen.

- Welche Kapazität  $C$  hat der Kondensator?
- Zeichnen Sie das Zeigerbild für die Messanordnung mit ruhenden Effektivwertzeigern.

#### **Aufgabe 5 Wechselstromverbraucher bei unterschiedlichen Frequenzen**

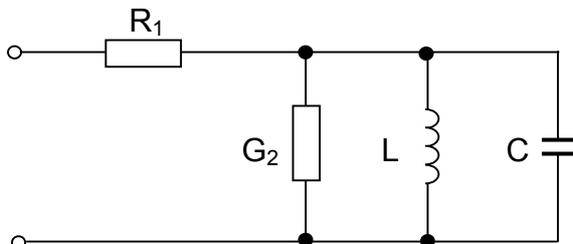
Ein Wechselstromverbraucher besteht aus der Reihenschaltung einer idealen Induktivität  $L = 14 \text{ mH}$  und eines ohmschen Widerstandes  $R = 7 \Omega$ . Es wird aus einem als starr anzunehmenden Netz mit Industriefrequenz  $f_N = 50 \text{ Hz}$  und einer Spannung von  $U_N = 230 \text{ V}$  gespeist.

- Berechnen Sie den Verbraucherstrom  $I$  und die Spannungsabfälle  $U_L$  und  $U_R$  über den Schaltelementen und zeichnen Sie ein Zeigerbild mit Effektivwertzeigern. Welche Phasenverschiebung  $\varphi$  besteht zwischen Strom und Spannung?
- Berechnen Sie die Wirk ( $P$ )-, Blind ( $Q$ )- und Scheinleistungen ( $S$ ) am Verbraucher und geben Sie den Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  für die Last an.
- Berechnen Sie die Verhältnisse für den gleichen Verbraucher noch einmal, wenn die speisende Spannung den gleichen Effektivwert aber Bahnfrequenz ( $f_B = 16 \frac{2}{3} \text{ Hz}$ ) bzw. Bordnetzfrequenz eines Flugzeuges ( $f_F = 400 \text{ Hz}$ ) aufweist.
- (Zusatzaufgabe) Berechnen Sie die Ersatzschaltung für den Verbraucher nach a), die aus einer Parallelschaltung von  $L$  und  $R$  besteht, wobei von gleichem Leistungsumsatz ausgegangen werden kann. Gelten die Parameter dieser Ersatzschaltung auch für die Fälle bei anderen Speisefrequenzen? Gelten die Parameter dieses Ersatzschaltbildes auch für die Speisung mit einer anderen Spannung bei gleicher Frequenz?

### Aufgabe 6 Widerstandsfunktion

Geben Sie die Widerstandsfunktion der folgenden Schaltung

- a) als Summe aus Realteilfunktion und Imaginärteilfunktion und
- b) als Betrags- und Phasenfunktion an.



$$\begin{aligned}
 R_1 &= 50 \, \Omega \\
 G_2 &= 10 \, \text{mS} \\
 L &= 180 \, \text{mH} \\
 C &= 0,22 \, \mu\text{F}
 \end{aligned}$$

### Aufgabe 7 Scheinwiderstand und Phasenwinkel

Berechnen Sie für eine R-L-Reihenschaltung den Scheinwiderstand und den Phasenwinkel, wenn folgende Größen angegeben sind:

	R	L	f
a)	1 $\Omega$	2 mH	50 Hz
b)	1500 $\Omega$	0,6 H	2500 Hz
c)	2,4 M $\Omega$	12 H	50 kHz

### Aufgabe 8 Phasenwinkel

Berechnen Sie den Widerstand R für eine R-L-Reihenschaltung, um für eine bekannte Induktivität L einen Phasenwinkel von  $45^\circ$  bei der Frequenz f zu erzielen.

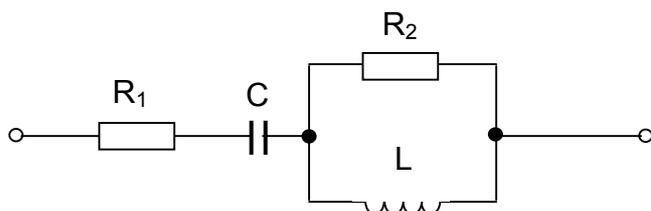
- a) L = 2,5 H; f = 50 Hz
- b) L = 180 mH; f = 250 kHz

Geben Sie das maßstäbliche Widerstandsdiagramm an.

### Aufgabe 9 Komplexer Widerstand

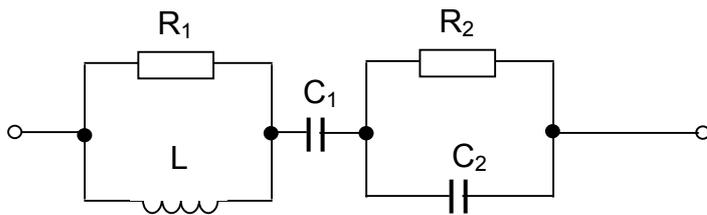
Berechnen Sie den komplexen Widerstand sowie dessen Betrag und Phasenwinkel für die folgenden Schaltungen:

a)



$$\begin{aligned}
 R_1 &= 200 \, \Omega \\
 R_2 &= 200 \, \Omega \\
 C &= 10 \, \mu\text{F} \\
 L &= 0,5 \, \text{H} \\
 \omega &= 500 \, \text{s}^{-1}
 \end{aligned}$$

b)



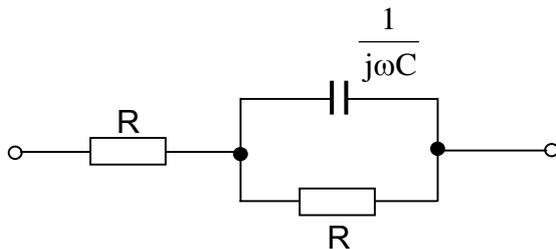
$$\begin{aligned} R_1 &= 100 \, \Omega \\ R_2 &= 200 \, \Omega \\ C_1 &= 8 \, \mu\text{F} \\ C_2 &= 4 \, \mu\text{F} \\ L &= 0,2 \, \text{H} \\ \omega &= 1000 \, \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

### Aufgabe 10 Strom, Spannung, Zeigerbild

Berechnen Sie für die Schaltungen aus Aufgabe 9 für eine Klemmenspannung von 1000 V die Teilspannungen, den Gesamtstrom und die Teilströme. Zeichnen Sie jeweils das vollständige Zeigerdiagramm.

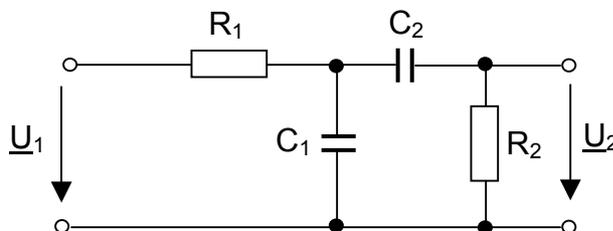
### Aufgabe 11 Zweipolfrequenzgang

Für die folgende Schaltung ist der normierte Zweipolfrequenzgang mit  $Z_{AB} = f(\Omega)$  und  $\varphi(\Omega)$  darzustellen. Als Normierungsfrequenz ist die  $45^\circ$ -Frequenz der RC-Parallelschaltung zu wählen.



### Aufgabe 12 Frequenzabhängigkeit

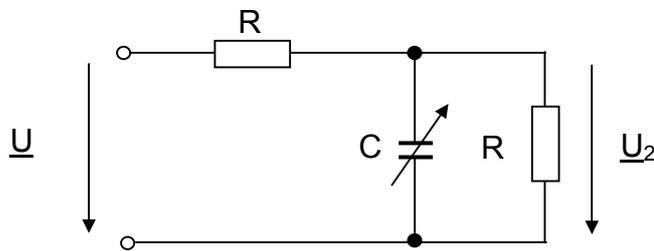
Berechnen Sie die Übertragungsfunktion des gegebenen RC-Filters, wobei  $R_1 = R_2 = R$  und  $C_1 = C_2 = C$  ist. Ermitteln Sie diejenige Frequenz, für welche  $\frac{U_2}{U_1}$  einen Höchstwert annimmt, sowie den Wert dieses maximalen Spannungsverhältnisses.



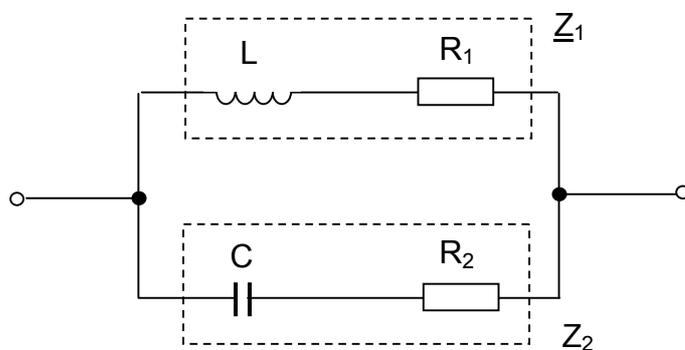
### Aufgabe 13 Kapazitätsabhängiges Spannungsverhältnis

In der folgenden Schaltung ist die Kapazität  $C$  des Kondensators im Bereich von 0 bis  $\infty$  veränderlich. Die Eingangsspannung beträgt  $u(t) = \sin \omega t$ .

- Ermitteln Sie die Abhängigkeit des Verhältnisses  $\underline{U}_2/\underline{U}$  als Funktion von C.
- Skizzieren Sie  $\underline{U}_2/\underline{U} = f(C)$  in der komplexen Zahlenebene (Ortskurve).



### Aufgabe 14 Frequenzabhängiger Leitwert



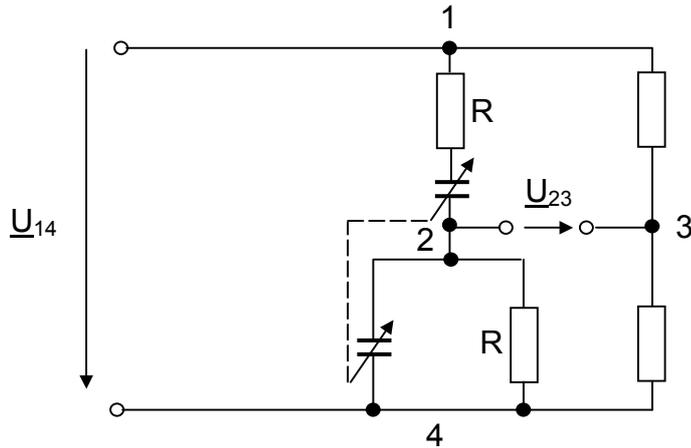
$$\begin{aligned}
 L &= 0,4 \text{ H} \\
 R_1 &= 100 \, \Omega \\
 R_2 &= 50 \, \Omega \\
 C &= 20 \, \mu\text{F}
 \end{aligned}$$

- Zeichnen Sie für die beiden parallelen Zweige der Schaltung die Ortskurven der komplexen Widerstände  $\underline{Z}_1(j\omega)$  und  $\underline{Z}_2(j\omega)$ .
- Bestimmen Sie durch Inversion die Ortskurven der Leitwerte  $\underline{Y}_1(j\omega)$  und  $\underline{Y}_2(j\omega)$ .
- Berechnen Sie in allgemeiner Form den Leitwert  $\underline{Y}$  der Schaltung.
- Berechnen Sie in allgemeiner Form die Resonanzkreisfrequenz  $\omega_r$ .
- Berechnen Sie mit den gegebenen Größen die Kreisfrequenz  $\omega_r$  und den Leitwert  $\underline{Y}_r$  bei Resonanz.
- Skizzieren Sie den prinzipiellen Verlauf der Ortskurve für den Gesamtleitwert  $\underline{Y}(j\omega)$  der Schaltung.

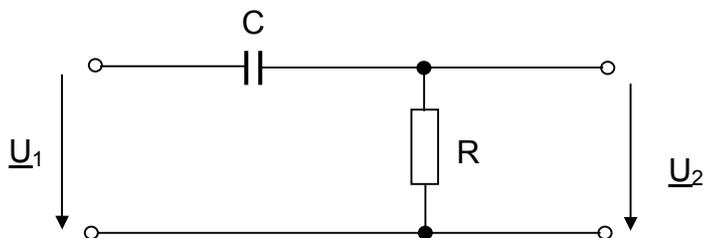
### Aufgabe 15 Frequenzmessbrücke

Die Frequenz einer Wechselspannung soll mit Hilfe der dargestellten Brückenschaltung bestimmt werden (Wien-Brücke). Die beiden Drehkondensatoren C sind mechanisch miteinander gekoppelt, so dass sie nur gemeinsam verstellt werden können.

- Bestimmen Sie die Frequenz und das Verhältnis  $R_1/R_2$  so, dass die Spannung  $\underline{U}_{23}$  gleich null wird.
- Bestimmen Sie die Funktion  $\underline{U}_{23}/\underline{U}_{14} = f(RC)$  und skizzieren Sie ihren Verlauf in der komplexen Zahlenebene in Abhängigkeit von  $T=RC$ .



### Aufgabe 16 Frequenzgang und Bode-Diagramm



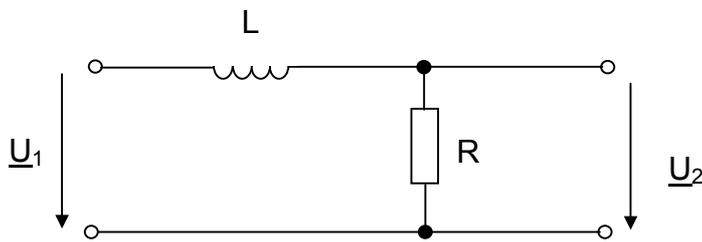
Für das Verhältnis der beiden Spannungen  $\underline{U}_2$  und  $\underline{U}_1$  kann der komplexe Frequenzgang auch mit dem komplexen Übertragungsfaktor beschrieben werden.

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

- Bestimmen Sie den komplexen Frequenzgang.
- Führen Sie die bezogene Frequenz  $\Omega$  mit der Bezugsfrequenz  $\omega_{\text{bez}} = 1/RC$  ein.
- Trennen Sie den komplexen Frequenzgang in Betrag (Amplitudengang  $G(\Omega)$ ) und Phase (Phasengang  $\varphi(\Omega)$ ) auf.
- Bestimmen Sie das Bode-Diagramm. Geben Sie zunächst die Asymptoten an.
- Berechnen Sie den 3dB-Wert und vervollständigen Sie das Diagramm für die Amplitude.
- Berechnen Sie für die Phase noch einige Werte auf beiden Seiten der Bezugsfrequenz.
- Vervollständigen Sie nun das Bode-Diagramm.

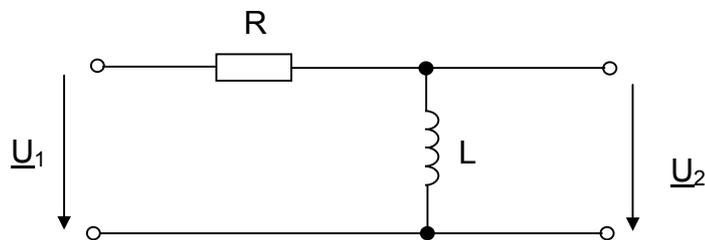
### Aufgabe 17 Frequenzgang und Bode-Diagramm

Wiederholen Sie die Teilaufgaben aus der Aufgabe 1 für die folgende Schaltung.

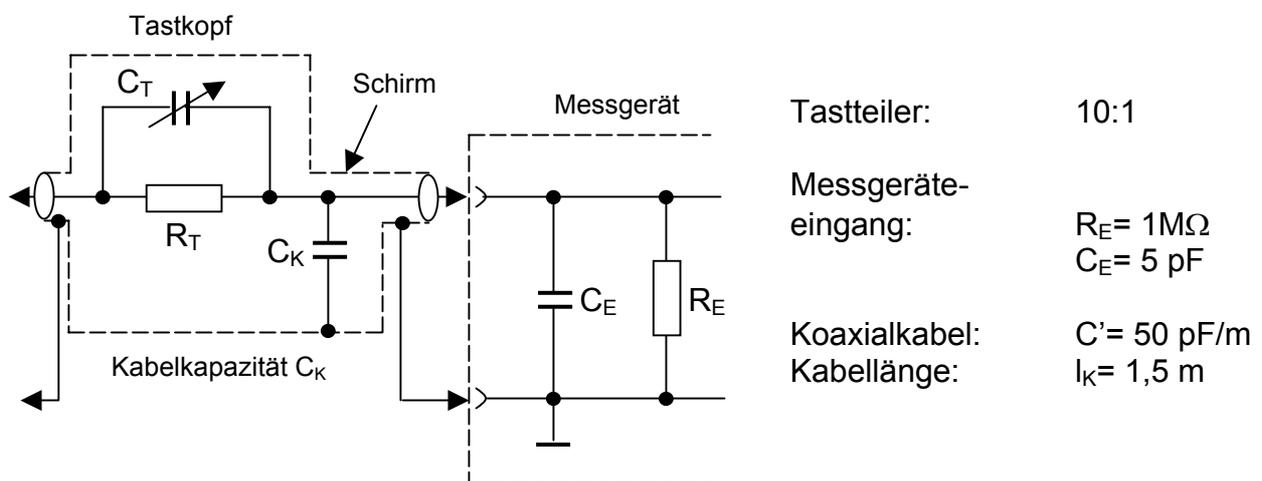


### Aufgabe 18 Frequenzgang und Bode-Diagramm

Wiederholen Sie die Teilaufgaben aus der Aufgabe 1 für die folgende Schaltung.



### Aufgabe 19 Frequenzkompensierter Spannungsteiler



Für elektronische Messgeräte, z. B. Oszilloskope, ist gefordert, dass das Teilerverhältnis  $\frac{U_E}{U_M}$  ( $= 1/\text{Tasteiler}$ ) des Eingangsspannungsteilers trotz

Kabelkapazität  $C_K$  und Eingangskapazität  $C_E$  von der Frequenz der zu messenden Spannung unabhängig ist. Wie muss der dazu im Tastkopf justierbare Kondensator  $C_T$  eingestellt werden?

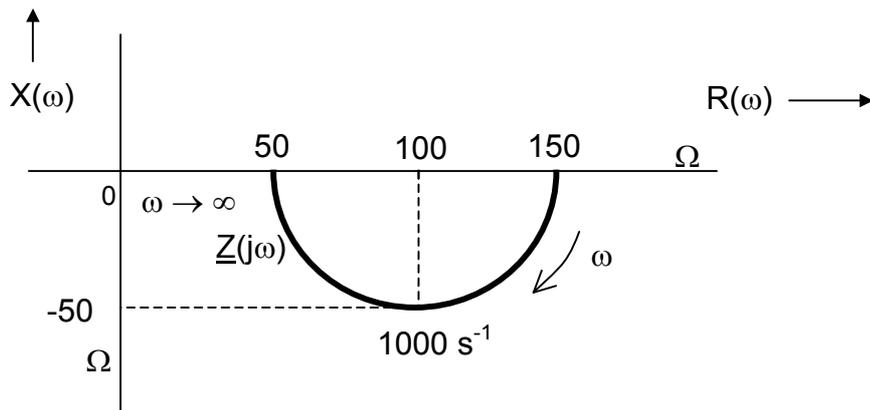
#### Lösungshinweis:

1. Vereinfachtes Ersatzschaltbild zeichnen.

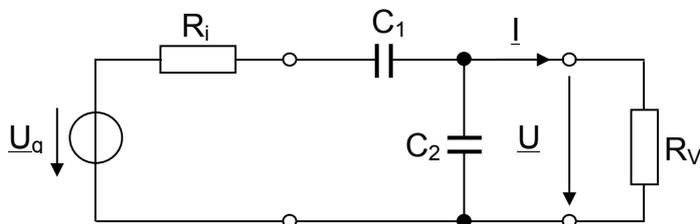
2. Teilverhältnis der komplexen Effektivwerte  $\frac{U_E}{U_M}$  aufschreiben
3. Gleichung umformen und Bedingung für Frequenzunabhängigkeit aufstellen

### Aufgabe 20 Schaltung zu gegebener Ortskurve

Die abgebildete Widerstands Ortskurve  $\underline{Z}(j\omega)$  ist ein Halbkreis. Sie soll durch eine möglichst einfache Schaltung aus Grundzweipolen realisiert werden. Skizzieren Sie diese Schaltung und berechnen Sie die Werte der Zweipole.

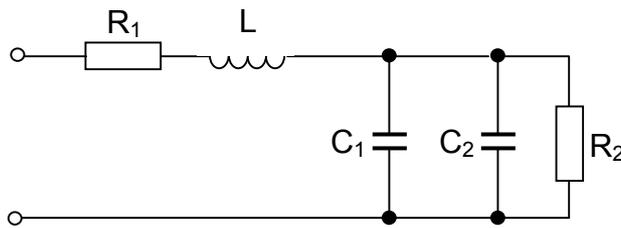


### Aufgabe 21 Filternetzwerk



- a) Untersuchen Sie, welches Filterverhalten die oben stehende Schaltung zeigt.
- b) Berechnen Sie die Spannung  $\underline{U}$  und die im Widerstand  $R_V$  umgesetzte Wirkleistung. Bei welcher Frequenz hat diese Leistung ein Maximum?
- c) Berechnen Sie die maximale Wirkleistung, die zugehörige Frequenz und die Grenzfrequenz(en) für  $U_q = 1 \text{ V}$ ,  $R_i = 50 \text{ } \Omega$ ,  $C_1 = C_2 = 15 \text{ nF}$  und  $R_V = 50 \text{ } \Omega$ .

### Aufgabe 22 Frequenzabhängiger Scheinwiderstand



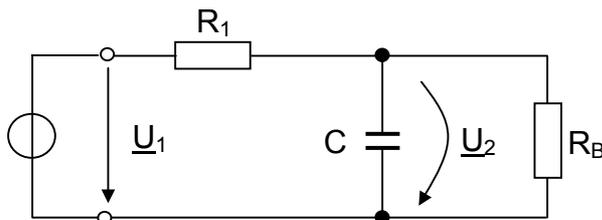
$$R_1 = R_2 = 50 \, \Omega$$

$$C_1 = C_2 = 10 \, \mu\text{F}$$

$$L = 10 \, \text{mH}$$

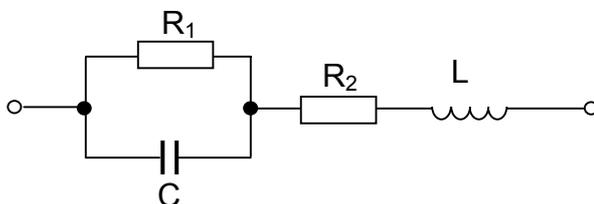
- Wie groß ist der Scheinwiderstand des oben angegebenen Zweipols bei der Frequenz  $f$  ?
- Diskutieren Sie das Verhalten des ZP für die Grenzwerte der Frequenz!
- Ermitteln Sie eine weitere Frequenz, bei der der ZP als ohmscher Widerstand wirkt!
- Geben Sie den Widerstand an!

### Aufgabe 23 Belasteter Tiefpass



Der dargestellte Tiefpass enthält den Wirkwiderstand  $R = 2,3 \, \text{k}\Omega$  sowie einen Kondensator mit der Kapazität  $C = 75 \, \text{nF}$ . Die Schaltung wird durch den Wirkwiderstand (Belastungswiderstand)  $R_B = 5,2 \, \text{k}\Omega$  belastet. Welche Grenzfrequenz  $f_g$  hat der Tiefpass in belastetem Zustand?

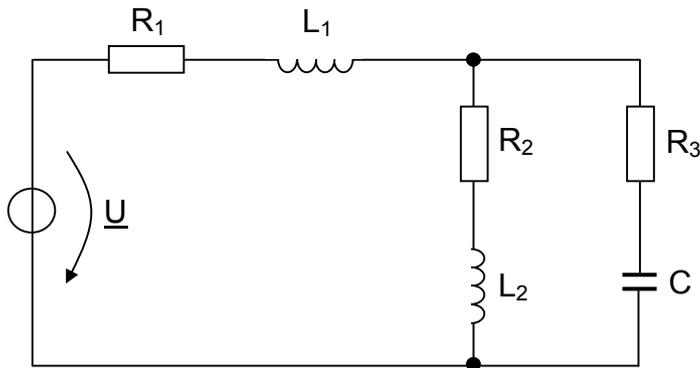
### Aufgabe 24 RLC-Widerstandskombination



Die dargestellte Schaltung enthält die ohmschen Widerstände  $R_1 = 400 \, \Omega$  und  $R_2 = 80 \, \Omega$ . Die Kapazität  $C$  des vorhandenen Kondensators und die Induktivität  $L$  der vorhandenen Spule sollen für die Frequenz  $f = 800 \, \text{Hz}$  so gewählt werden, dass die Gesamtimpedanz der Schaltung reell wird und  $Z = 200 \, \Omega$  beträgt.

Welche Werte sind für  $L$  und  $C$  erforderlich?

### Aufgabe 25 Berechnung von Wechselströmen

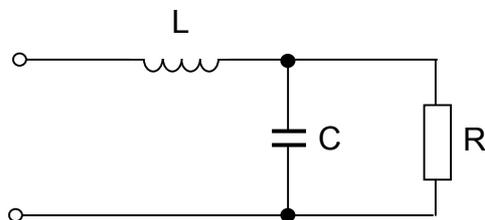


Die angegebene Schaltung enthält die ohmschen Widerstände  $R_1 = 150 \Omega$ ,  $R_2 = 200 \Omega$  und  $R_3 = 350 \Omega$ . Die beiden vorhandenen Spulen haben die Induktivitäten  $L_1 = 10 \text{ mH}$  und  $L_2 = 30 \text{ mH}$ . Der Kondensator besitzt die Kapazität  $C = 1,0 \mu\text{F}$ . Die Schaltung liegt an der Spannung  $U = 40 \text{ V}$  der Frequenz  $f = 1,2 \text{ kHz}$ .

Es sind alle auftretenden Ströme zu bestimmen.

### Aufgabe 26 Elemente im Schwingkreis

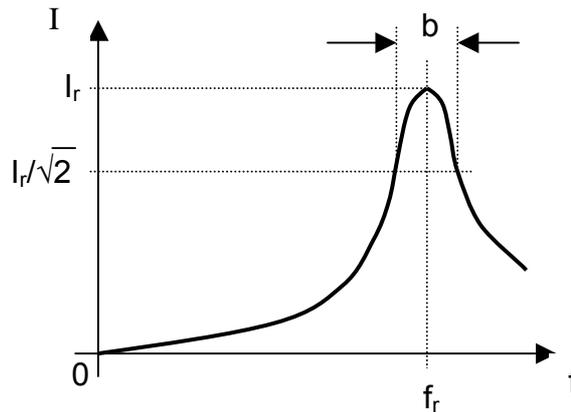
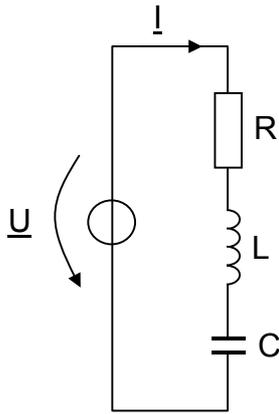
Der Zweipol soll bei  $40 \text{ kHz}$  den Widerstand  $\underline{Z} = 50 \Omega$  haben. Berechnen Sie  $L$  und  $C$  für  $R = 1 \text{ k}\Omega$ .



### Aufgabe 27 Reihenschwingkreis

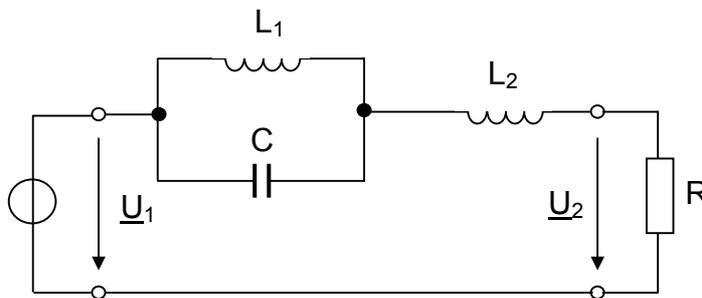
Der dargestellte Reihenschwingkreis liegt an der Spannung  $U = 24 \text{ V}$  mit veränderbarer Frequenz. Die zugehörige Resonanzkurve des im Kreis fließenden Stromes  $I$  ist ebenfalls angegeben. Die Schaltung soll so ausgelegt werden, dass eine Resonanzfrequenz von  $f_r = 800 \text{ Hz}$  sowie eine Bandbreite von  $b = 80 \text{ Hz}$  auftreten. Weiterhin soll der im Resonanzzustand fließende Strom  $I_r = 500 \text{ mA}$  betragen.

Welche Werte sind für den Wirkwiderstand  $R$ , die Induktivität  $L$  und die Kapazität  $C$  erforderlich?



### **Aufgabe 28 Spannungsverhältnisse im Schwingkreis**

Der dargestellte Schwingkreis enthält zwei Spulen mit den Induktivitäten  $L_1 = 10 \text{ mH}$  und  $L_2 = 20 \text{ mH}$  sowie einen Kondensator mit der Kapazität  $C = 100 \text{ nF}$ . Die Frequenz der Eingangsspannung  $\underline{U}_1$  sei veränderbar.



- Bei welcher Frequenz  $f_1$  ist das Spannungsverhältnis  $U_2/U_1 = 0$ ?
- Bei welcher Frequenz  $f_2$  ist das Spannungsverhältnis  $U_2/U_1 = 1$ ?

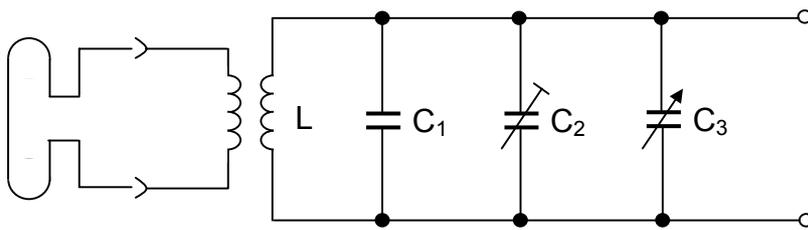
### **Aufgabe 29 Reihenschwingkreis**

Ein Reihenschwingkreis besteht aus einer realen Spule mit den Kennwerten  $L = 0,15 \text{ mH}$  und  $R = 8,4 \Omega$  und einem Kondensator  $C = 250 \text{ pF}$  und wird mit einer Spannung  $U = 1 \text{ V}$  und variabler Frequenz  $f$  gespeist.

- Berechnen Sie die Resonanzfrequenz  $f_0$ , die Kreisgüte  $Q$ , die Bandbreite  $b$ .
- Wie groß ist die Spannung am Kondensator  $U_{C0}$  bei Resonanz?

### **Aufgabe 30 Parallelschwingkreis**

Der UKW-Bereich umfasst in Europa etwa den Frequenzbereich von 87 bis 105 MHz. Das nachfolgende Bild zeigt schematisch die Eingangsschaltung eines Rundfunkempfängers (bestehend aus Antenne und Parallelschwingkreis).



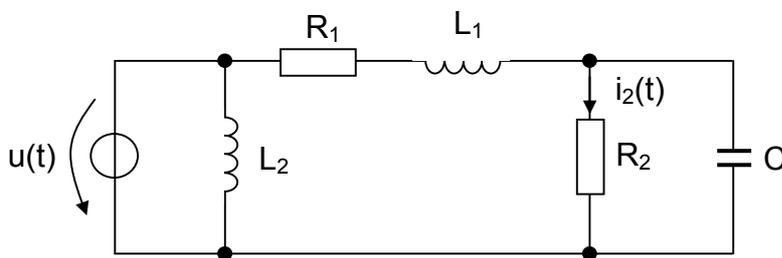
$$C_2 = (0,5 \dots 5,0) \text{ pF}$$

$$C_3 = (2,0 \dots 15,0) \text{ pF}$$

$$L = 0,11 \text{ } \mu\text{H}$$

- Berechnen Sie die erforderliche Kapazität für  $C_1$ , wenn die Resonanzfrequenz für  $C_3 = C_{3\min}$  und  $C_2 = 2,5 \text{ pF}$  bei  $f_0 = 100 \text{ MHz}$  liegen soll.
- Wo liegt die Resonanzfrequenz für das unter a) berechnete  $C_1$ , wenn  $C_2 = 2,5 \text{ pF}$  und  $C_3 = C_{3\max}$  sind?
- Wie ändert sich die Resonanzfrequenz für die Verlustfaktoren  $d_L = 0,02$  und  $d_C = 0,003$ . Berechnen Sie die sich ergebende Güte und Bandbreite
- (Zusatzaufgabe) Berechnen Sie dafür auch den Resonanzwiderstand und die Frequenz für das Spannungsmaximum.

### Aufgabe 31 Analyse einer R-L-C-Schaltung



$$R_1 = 10 \text{ } \Omega$$

$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$L_1 = 10 \text{ mH}$$

$$L_2 = 100 \text{ mH}$$

$$C_1 = 100 \text{ } \mu\text{F}$$

$$u(t) = \sqrt{2} U_N \cos \omega_N t$$

mit  $f_N = 50 \text{ Hz}$ ,  
 $U_N = 60 \text{ V}$

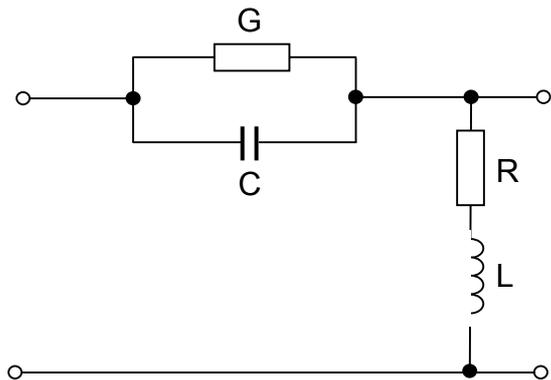
Analysieren Sie die angegebene Schaltung mit Hilfe der Zweipoltheorie. (Beachten Sie die Bedeutung von  $L_2$  !)

- Berechnen Sie den Strom  $I_2$  durch den Widerstand  $R_2$  durch Herausschneiden dieses Widerstandes als passiven Zweipol. Fassen Sie den Rest der Schaltung als aktiven Zweipol auf. Bestimmen Sie den komplexen Innenwiderstand des Ersatzzweipols und die Ersatzquellenspannung.
- Geben Sie an, wie sich die Schaltung bei den Grenzen  $f \rightarrow 0$  und  $f \rightarrow \infty$  verhält (Zunächst ohne Wirkung von  $L_2$ . Beachten Sie in einer zweiten Überlegung welchen Einfluss  $L_2$  bei  $f=0$  hat).
- Stellen Sie den Strom  $I_2(f)$  als Ortskurve dar, indem Sie punktweise Betrag und Phase bestimmen.

- d) Bestimmen Sie Resonanzfrequenz  $f_0$  ohne Berücksichtigung des Verlustwiderstandes  $R_1$  und Frequenz  $f_{\max}$  für das Maximum des Stromes  $I_2$ .

### Aufgabe 32 Vierpolparameter

Berechnen Sie die  $\underline{Z}$ -Parameter des Vierpols für  $f = 1 \text{ kHz}$  und ermitteln Sie hieraus die komplexen Widerstände der T-Ersatzschaltung. Welche Symmetrieeigenschaften weist der Vierpol auf?



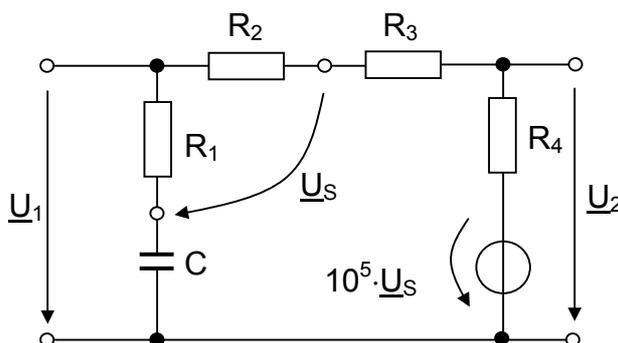
$$\begin{aligned} G &= 1 \text{ mS} \\ C &= 159 \text{ nF} \\ R &= 1 \text{ k}\Omega \\ L &= 159 \text{ mH} \end{aligned}$$

### Aufgabe 33 Wellenwiderstand

Ein Vierpol wird durch seine  $\underline{A}$ -Matrix beschrieben. Leiten Sie die Gleichungen für die Wellenwiderstände her.

### Aufgabe 34 Symmetrieeigenschaften

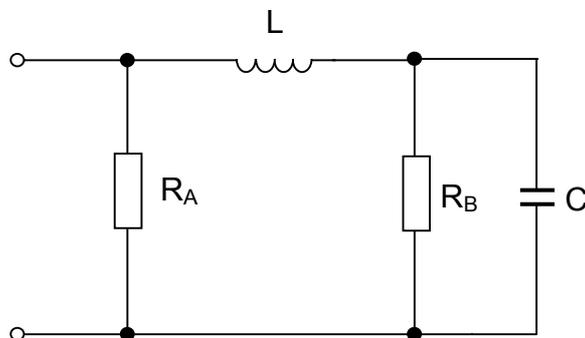
Zeigen Sie an Hand der  $\underline{Y}$ -Parameter, dass der Vierpol nicht übertragungssymmetrisch ist.



$$\begin{aligned} R_1 &= 1 \text{ k}\Omega \\ R_2 &= 1 \text{ k}\Omega \\ R_3 &= 1 \text{ k}\Omega \\ R_4 &= 1 \text{ k}\Omega \\ C &= 1,6 \text{ nF} \end{aligned}$$

### Aufgabe 35 frequenzvariable Wechselstromschaltung

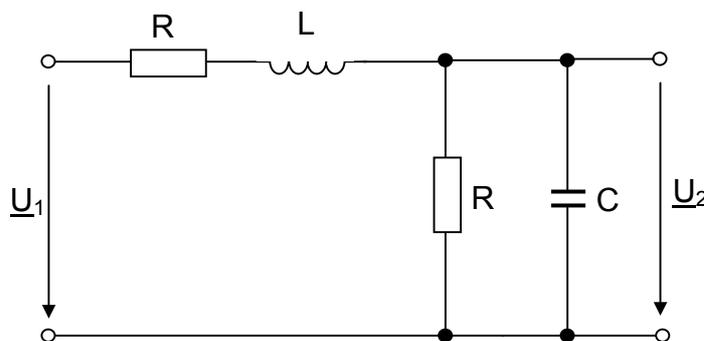
Die Schaltung soll für drei Frequenzen so dimensioniert werden, dass der Widerstand an den Klemmen die nachfolgenden reellen Werte annimmt.



$$\begin{aligned} \underline{Z}_1 = R_1 = 10 \, \Omega & \quad \text{für } f_1 = 0 \\ \underline{Z}_2 = R_2 = 100 \, \Omega & \quad \text{für } f_2 \rightarrow \infty \\ \underline{Z}_3 = R_3 = 5 \, \Omega & \quad \text{für } f_3 = 1 \, \text{kHz} \end{aligned}$$

### Aufgabe 36 Vierpol und Spannungsübertragungsfaktor

Gegeben ist nachfolgender Vierpol:



- Der komplexe Spannungsübertragungsfaktor  $\underline{E}(j\omega) = \underline{U}_2/\underline{U}_1$  ist allgemein zu berechnen.
- Für welche Frequenz eilt die Spannung  $\underline{U}_2$  der Spannung  $\underline{U}_1$  genau  $90^\circ$  nach?
- Bei welcher Frequenz ist die Spannung  $U_2$  maximal und bei welcher  $U_1/2$ ?
- Überprüfen Sie die Symmetrieeigenschaften.

### Aufgabe 37 Vierpole

Geben Sie alle möglichen Vierpolschaltungen an, die übertragungssymmetrisch und widerstandssymmetrisch sind.

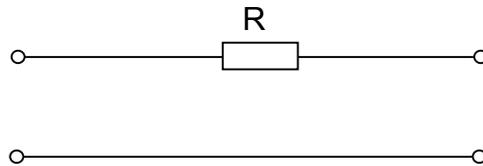
Zur Verfügung haben Sie folgende Bauelemente:

Zwei Widerstände  $R$ , eine Induktivität  $L$  und eine Kapazität  $C$ .

Begründen Sie die Beispiele durch gleichungsmäßige Beschreibung der Bedingungen.

### Aufgabe 38 Spezieller Vierpol

Eine Leitung soll vereinfacht durch folgende Ersatzschaltung beschrieben werden.



- Geben Sie die Z-Parameter und die Parameter der T- bzw.  $\pi$ -Ersatzschaltung an.
- Berechnen Sie den Wellenwiderstand.

### Aufgabe 39 Transformator

Gegeben ist ein 6 MVA-Einphasentransformator 5 kV/100kV (50 Hz) mit folgenden Daten:

wirksamer Kernquerschnitt  $A_{Fe} = 0,187 \text{ m}^2$   
Scheitelwert der Flussdichte  $\hat{B} = 1,5 \text{ T}$

Im Leerlauf wird an  $U_{1N} = 5000 \text{ V}$  die Leerlaufleistung  $P_0 = 8,8 \text{ kW}$  aufgenommen; dabei fließt der Leerlaufstrom  $I_0 = 2,6 \text{ A}$ .

Im Kurzschluss wird an der Kurzschlussspannung  $U_k = 571 \text{ V}$  die Kurzschlussleistung  $P_k = 30 \text{ kW}$  aufgenommen; dabei fließen primär und sekundär die Nennströme.

- Berechnen Sie die Nennströme und das Übersetzungsverhältnis.
- Berechnen Sie die primäre und die sekundäre Windungszahl.
- Berechnen Sie die Eisenverluste und die Daten für die Leerlaufersatzschaltung. Welche Werte haben Magnetisierungsstrom und Eisenverluststrom?
- Berechnen Sie die Daten für die Kurzschlussersatzschaltung und für das KAPPSche Dreieck.
- Welche relative Spannungsänderung und welche Verluste erhält man bei Nennbetrieb mit  $\cos \varphi = 0,8$  kapazitiv?

**Hinweis:**

Die maximale Flussdichte im Eisen beträgt:  $\hat{B} = \frac{\hat{\Phi}_h}{A_{Fe}}$

### Aufgabe 40 Bestimmung von Transformatorgrößen

Von einem eisenfreien Transformator sollen die ohmschen Wicklungswiderstände ( $R_1$  und  $R_2$ ), die Wicklungsinduktivitäten ( $L_1$  und  $L_2$ ) und die gegenseitige Induktivität

( $L_{12}$ ) bestimmt werden. Dazu werden die nachstehend beschriebenen Messungen ausgeführt und hierbei die angegebenen Werte ermittelt:

Bei offenem Sekundärkreis nach Bild 1 fließt in der Primärwicklung bei der Spannung  $U = 100 \text{ V}$  und der Frequenz  $f = 400 \text{ Hz}$  der Strom  $I_1 = 1,60 \text{ A}$ . Dabei beträgt die aufgenommene Wirkleistung  $P_1 = 25 \text{ W}$ . Liegt dagegen nach Bild 2 die Sekundärwicklung an  $U = 100 \text{ V}$  ( $f = 400 \text{ Hz}$ ), so betragen bei offenem Primärkreis der aufgenommene Strom  $I_2 = 0,65 \text{ A}$  und die aufgenommene Wirkleistung  $P_2 = 7,5 \text{ W}$ . Werden schließlich beide Wicklungen nach Bild 3 gegenseitig in Reihe geschaltet, so fließt bei der Spannung  $U = 100 \text{ V}$  ( $f = 400 \text{ Hz}$ ) der Strom  $I = 1,3 \text{ A}$ .

Welche Werte haben die Größen  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  und  $L_{12}$ ?

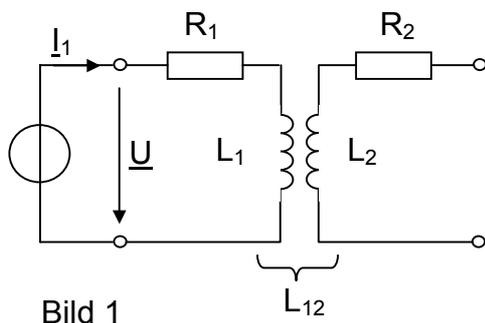


Bild 1

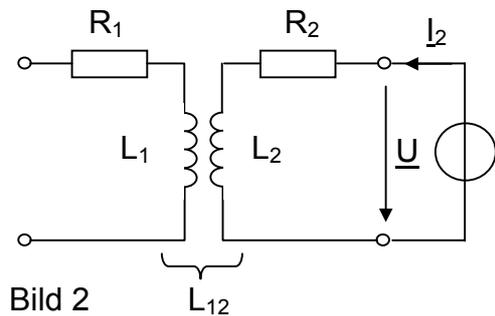


Bild 2

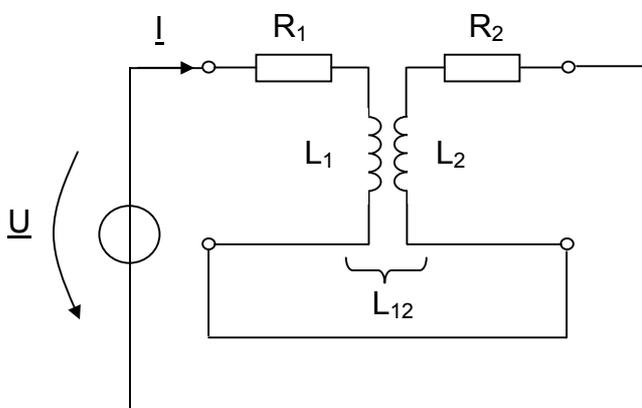
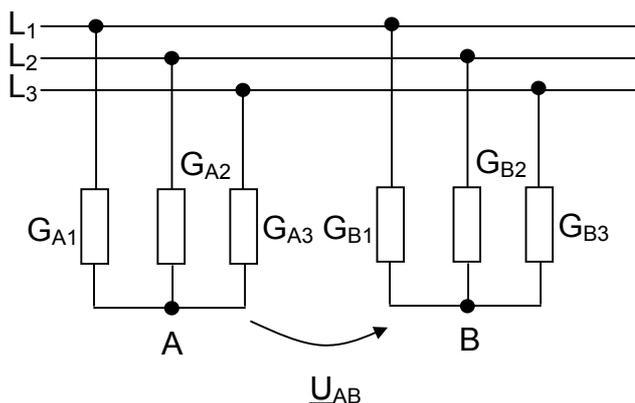


Bild 3

### Aufgabe 41 Verbraucher am Drehstromnetz



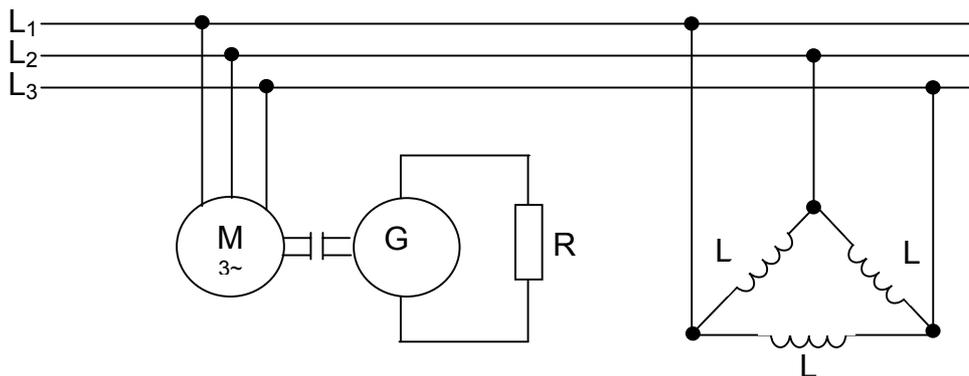
$$\begin{aligned} G_{A1} &= 0,1 \text{ S} \\ G_{A2} &= 0,2 \text{ S} \\ G_{A3} &= 0,3 \text{ S} \\ G_{B1} &= 0,2 \text{ S} \\ G_{B2} &= 0,4 \text{ S} \\ G_{B3} &= 0,8 \text{ S} \end{aligned}$$

An ein Dreileiternetz (400 V; 50 Hz) sind zwei Verbrauchergruppen in Sternschaltung angeschlossen.

Welche Spannung entsteht zwischen den Knotenpunkten A und B?

### Aufgabe 42 Leistungsumsatz am Drehstromnetz

An einem Drehstromnetz mit einer Nennspannung von  $U_N = 400\text{ V}$  und einer Frequenz von  $f = 50\text{ Hz}$  werden folgende, in der Schaltung dargestellten Verbraucher betrieben:



1) Drehstromasynchronmotor

$$P_b = 14\text{ kW}, \quad U_b = 400\text{ V}, \quad N_b = 1440\text{ min}^{-1}, \quad \eta_b = 0,84, \quad \cos \varphi_b = 0,78$$

2) Gleichstromgenerator

$$P_b = 11\text{ kW}, \quad U_b = 270\text{ V}, \quad N_b = 1440\text{ min}^{-1}, \quad \eta_b = 0,8$$

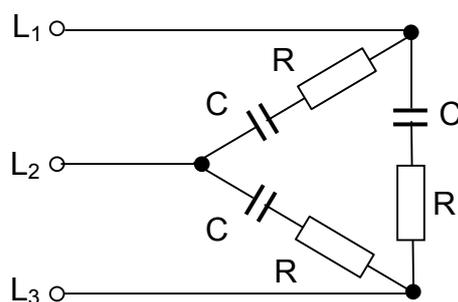
3) Spulenanordnung  $L = 0,3\text{ H}$

4) Widerstand  $R_1 = 7,8\ \Omega$

Berechnen Sie die aus dem Netz aufgenommene Wirk-, Blind- und Scheinleistung sowie den Leiterstrom.

### Aufgabe 43 Leiterströme im Drehstromnetz

Ein Drehstromnetz mit der Außenleiterspannung  $U = 400\text{ V}$  und der Frequenz  $f = 50\text{ Hz}$  ist durch drei gleiche, in Dreieck geschaltete RC-Reihenschaltungen belastet (symmetrische Belastung). Jeder Wirkwiderstand hat den Wert  $R = 100\ \Omega$  und jeder Kondensator die Kapazität  $C = 40\ \mu\text{F}$ .



- Welcher Strom  $I$  fließt in jedem der drei Leiter des Drehstromnetzes?
- Wie groß ist der Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  der Schaltung?

#### **Aufgabe 44 Parallele Verbraucher am Netz**

An einem Drehstromnetz mit einer Nennspannung von  $U_N = 400 \text{ V}$  und einer Frequenz von  $f = 50 \text{ Hz}$  werden folgende Verbraucher parallel betrieben:

1) ein mit Bemessungsleistung belasteter Drehstromasynchronmotor mit den Bemessungsdaten

$$P_b = 40 \text{ kW}, \quad U_b = 400 \text{ V}, \quad N_b = 987 \text{ min}^{-1}, \quad \eta_b = 0,85, \quad \cos \varphi_b = 0,82$$

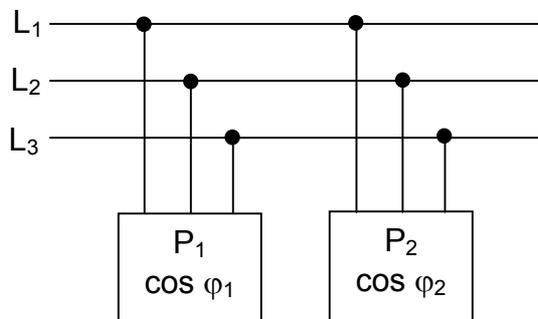
2) eine Kondensatorbatterie mit 3 Kondensatoren zu je  $C = 200 \mu\text{F}$  in Sternschaltung

3) eine elektrische Heizung mit 3 Widerständen zu je  $R = 40 \Omega$  in Dreieckschaltung.

- Zeichnen Sie ein Schaltbild der Gesamtanordnung.
- Berechnen Sie die aus dem Netz entnommene Wirk-, Blind- und Scheinleistung sowie den Leiterstrom getrennt für die Verbraucher 1 - 3.
- Berechnen Sie die gesamte Wirk-, Blind- und Scheinleistung sowie den Leiterstrom bei parallelem Betrieb der Verbraucher am Netz.

#### **Aufgabe 45 Ohmsch-induktive Verbraucher am Drehstromnetz**

Ein Drehstromnetz mit der Außenleiterspannung  $U = 400 \text{ V}$  ist mit zwei symmetrischen, ohmsch-induktiven Drehstromverbrauchern belastet. Einer dieser Verbraucher nimmt bei dem Leistungsfaktor  $\cos \varphi_1 = 0,88$  die Wirkleistung  $P_1 = 3,5 \text{ kW}$  auf. Der andere Verbraucher hat einen Leistungsfaktor von  $\cos \varphi_2 = 0,72$  und eine Wirkleistungsaufnahme von  $P_2 = 2,5 \text{ kW}$ .



- Welcher Strom  $I$  fließt (insgesamt) in jedem der drei Leiter des Drehstromnetzes?
- Wie groß ist der Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  der Gesamtschaltung?

c) Geben Sie das Leistungsdreieck für die Gesamtschaltung an!

#### **Aufgabe 46 Widerstände im Drehstromnetz**

Schließt man an drei in Stern geschaltete gleich große Widerstände zuerst 2 und danach alle 3 Leitungen eines Drehstromnetzes von 230/133V an, so nimmt der Leiterstrom um 1 A zu.

Wie groß sind die Widerstände?

#### **Aufgabe 47 Elektrischer Antrieb, Blindleistungskompensation**

In einem Wasserwerk soll eine Förderpumpe mit den Nenndaten

$$\begin{aligned} \text{Förderhöhe } H &= 30 \text{ m,} & \text{Förderstrom } \dot{V} &= 1500 \text{ m}^3\text{h}^{-1}, \\ \text{Drehzahl } N &= 1450 \text{ min}^{-1}, & \text{Wirkungsgrad } \eta &= 0,8 \end{aligned}$$

von einem Drehstromasynchronmotor angetrieben werden.

a) Berechnen Sie die erforderliche Antriebsleistung zum Betrieb der Pumpe und wählen Sie einen geeigneten Antriebsmotor aus.

Verfügbar sind Motoren mit:

$$P_b = 135 \text{ kW} / 165 \text{ kW} / 200 \text{ kW},$$

$$U_b = 400 \text{ V}, \quad N_b = 1450 \text{ min}^{-1}, \quad \eta_b = 0,87, \quad \cos \varphi_b = 0,85$$

b) Berechnen Sie für den ausgewählten Motor und den gegebenen Belastungsfall die Wirk-, Blind- und Scheinleistung sowie den Leiterstrom

c) Der Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  der aus dem Netz aufgenommenen Leistung soll auf 0,95 verbessert werden. Berechnen Sie die Kapazität der parallel zu schaltenden Kondensatorbatterie für Dreieckschaltung der Kondensatoren.

#### **Aufgabe 48 Strangspannungen und Strangströme**

An einem Drehstromnetz (Dreileiternetz) mit einer Nennspannung von  $U_N = 400 \text{ V}$  und einer Frequenz von  $f = 50 \text{ Hz}$  sind drei Verbraucher in Sternschaltung angeschlossen:

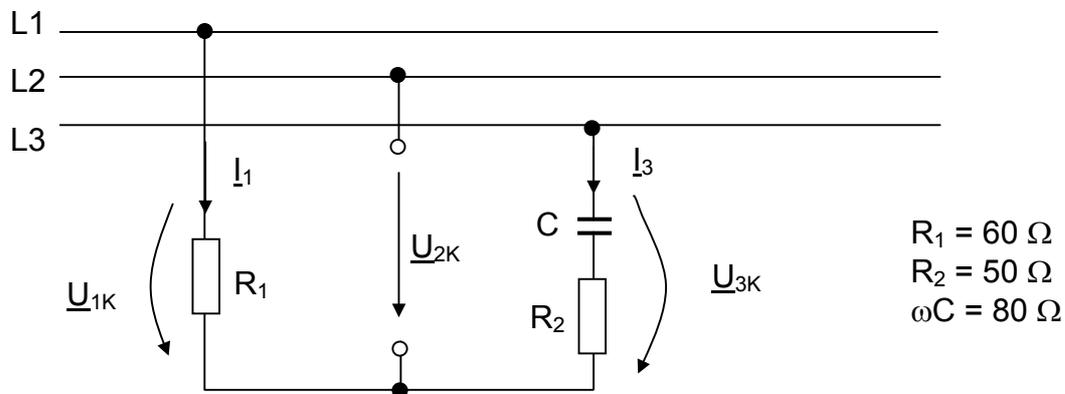
$$\underline{Z}_1 = 50 \Omega \angle -20^\circ \quad \underline{Z}_2 = 20 \Omega \angle 60^\circ \quad \underline{Z}_3 = 20 \Omega \angle 0^\circ$$

a) Berechnen Sie alle Strangspannungen und Strangströme (Hinweis: Weg über Sternpunktspannung.)

b) Zeichnen Sie ein Zeigerbild aller Strangspannungen (Nutzen Sie auch die Darstellung des symmetrischen Systems der Außenleiterspannungen und der Sternpunktspannung)

### **Aufgabe 49 Berechnungen bei Anschluss von nur zwei Strängen**

Gegeben ist folgendes Schaltbild eines 400 V-Dreileiternetzes (50 Hz):



Leiter 2 ist ohne Verbraucher.

Berechnen Sie die Ströme  $I_1$  und  $I_3$  und die Spannungen  $\underline{U}_{1K}$ ,  $\underline{U}_{2K}$ ,  $\underline{U}_{3K}$

### **Aufgabe 50 Unsymmetrische Verbraucher in Dreieckschaltung**

An einem Drehstromnetz (Dreileiternetz) mit einer Nennspannung von  $U_N = 400 \text{ V}$  und einer Frequenz von  $f = 50 \text{ Hz}$  sind drei Verbraucher in Dreieckschaltung angeschlossen:

$$\underline{Z}_{12} = 20 \Omega \angle 0^\circ \quad \underline{Z}_{23} = 20 \Omega \angle 60^\circ \quad \underline{Z}_{31} = 50 \Omega \angle -20^\circ$$

Berechnen Sie die Außenleiterströme.

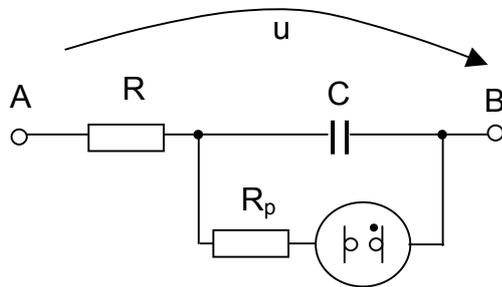
### **Aufgabe 51 Symmetrischer Verbraucher in unsymmetrischem Betrieb**

An einem Drehstromnetz mit einer Nennspannung von  $U_N = 400 \text{ V}$  und einer Frequenz von  $f = 50 \text{ Hz}$  wird eine Heizung (bestehend aus drei Widerständen in Sternschaltung) mit  $P = 3,45 \text{ kW}$  betrieben:

- Im Betrieb fällt durch einen Kontaktfehler ein Strang aus. Wie groß ist dann die Heizleistung? Welche Leiterströme treten auf?
- Berechnen Sie das Gleiche für die Dreieckschaltung der Heizwiderstände (Kontaktfehler am Heizwiderstand). Wie groß ist die Leistung im ungestörten Betrieb?

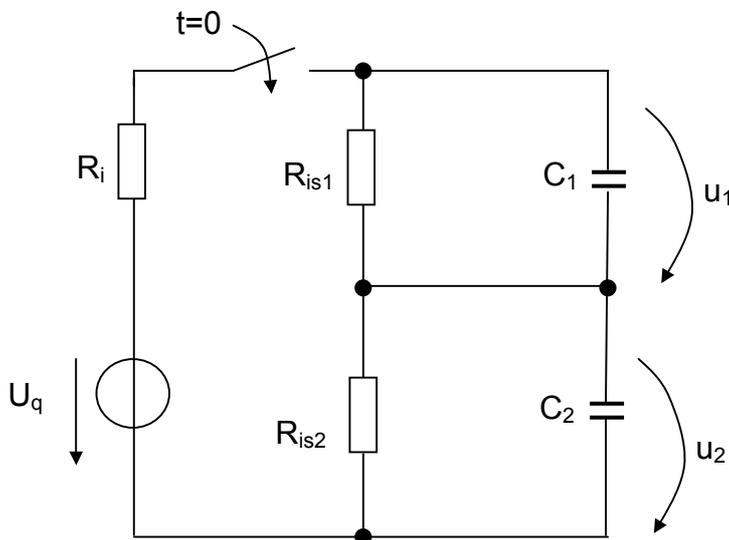
### Aufgabe 52 Glimmlampe

Gegeben ist die dargestellte Schaltung.



- Wieviel Sekunden nach dem Anlegen einer Spannung von 120V leuchtet die Glimmlampe auf? ( $C = 0,5 \mu\text{F}$ ;  $R = 6 \text{ M}\Omega$ ;  $u_Z = 80 \text{ V}$  (Zündspannung))
- Welche Kapazität hat der Kondensator, wenn die parallelgeschaltete Glimmlampe nach 4,5 s zündet? ( $R_p = 130 \text{ k}\Omega$ ;  $u_{AB} = 150 \text{ V}$ ,  $u_Z = 75 \text{ V}$ )
- Beim Anschluss einer Glimmlampe an einen Kondensator, dem ein Widerstand vorgeschaltet ist, finden periodisch Ladungen und Entladungen (Kippschwingungen) statt. Wie kann die Zeit zwischen den Vorgängen berechnet werden?

### Aufgabe 53 Spannungswert

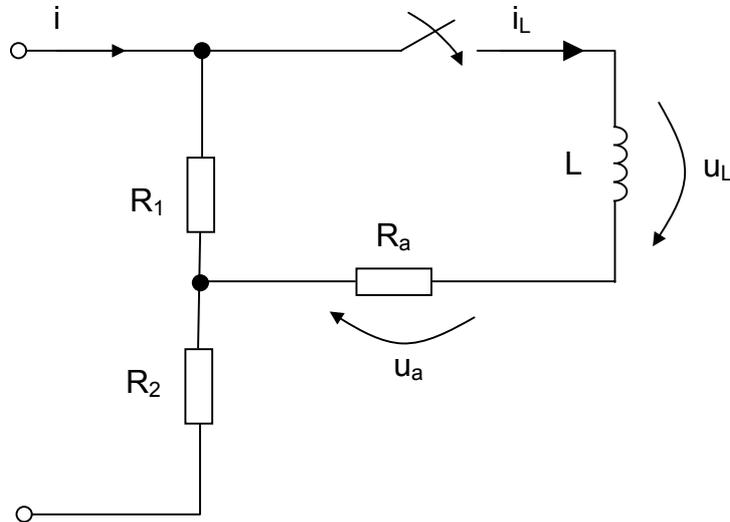


Berechnen Sie den Zeitpunkt, zu dem die Spannung  $u_2$  in der obigen Schaltung den Wert 5,9 V erreicht hat.

( $U_q = 12\text{V}$ ;  $R_i = 1\Omega$ ;  $R_{is1} = 100\text{G}\Omega$ ;  $R_{is2} = 100\text{G}\Omega$ ;  $C_1 = 0,015\mu\text{F}$ ;  $C_2 = 0,033\mu\text{F}$ ; Die Kondensatoren sind im Anfangszustand ungeladen.)

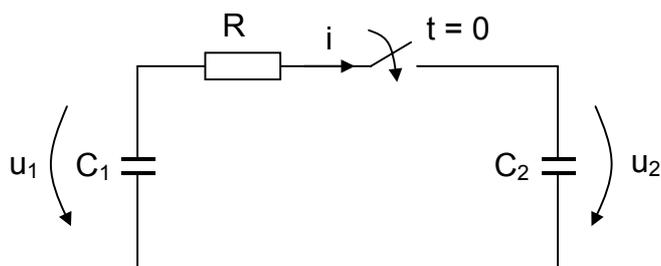
### Aufgabe 54 Ausgleichsvorgang

Ein induktiver Verbraucher mit den Daten  $L = 0,1 \text{ H}$  und  $R_a = 2 \Omega$  wird über einen Spannungsteiler  $R_1 = 4 \Omega$  und  $R_2 = 12 \Omega$  an eine Gleichspannungsquelle von  $u_q = U = 100 \text{ V}$  geschaltet.



Es ist der Ausgleichsvorgang, bezogen auf  $i_L$ ,  $u_L$  und  $i$  am Eingang des Spannungsteilers zu ermitteln und graphisch darzustellen.

### Aufgabe 55 Schaltvorgänge



$$\begin{aligned} R &= 1 \text{ k}\Omega \\ C_1 &= 22 \text{ }\mu\text{F} \\ C_2 &= 10 \text{ }\mu\text{F} \end{aligned}$$

Der Grundzweigpol  $C_1$  sei zum Zeitpunkt  $t = 0$  auf die Spannung  $U_{1,0} = 480 \text{ V}$  geladen und der Grundzweigpol  $C_2$  ist ungeladen. Zum Zeitpunkt  $t = 0$  wird der Schalter geschlossen.

- Welchen Wert hat die Zeitkonstante  $\tau$  des Übergangsvorgangs?
- Berechnen Sie mit Differenzialgleichungen die Zeitfunktionen  $i(t)$ ,  $u_1(t)$  und  $u_2(t)$  und skizzieren Sie diese für  $-\tau \leq t \leq 5\tau$

## Lösungen:

Aufgabe 1	a) 220 V b) 100V c) 225 V
Aufgabe 2	a) 217,9 V; 36,6° b) 120,7 V; 15,6° c) 236,5 V; 22,5°
Aufgabe 3	
Aufgabe 4	a) 0,154 $\mu$ F
Aufgabe 5	a) $ \underline{I}  = 27,81$ A; $ \underline{U}_R  = 194,68$ V; $ \underline{U}_L  = 122,26$ V; b) $S = 6,40$ kVA; $P = 5,41$ kW; $Q = 3,4$ kvar; $\cos \varphi = 0,85$ c) $S_1 = 7,4$ kVA; $P_1 = 7,24$ kW; $Q_1 = 1,52$ kvar; $S_2 = 1,47$ kVA; $P_2 = 0,29$ kW; $Q_2 = 1,45$ kvar d) $R_P = 9,76$ $\Omega$ ; $L_P = 49,53$ mH
Aufgabe 6	
Aufgabe 7	a) $Z = 1,18$ $\Omega$ ; $\tan \varphi = 0,628$ ; $\varphi = 32,1^\circ$ b) $Z = 9545$ $\Omega$ ; $\tan \varphi = 6,28$ ; $\varphi = 81,0^\circ$ c) $Z = 4,47$ M $\Omega$ ; $\tan \varphi = 1,571$ ; $\varphi = 57,5^\circ$
Aufgabe 8	a) $R = 785$ $\Omega$ b) $R = 283$ k $\Omega$
Aufgabe 9	a) $Z = 337,9$ $\Omega$ ; $\varphi = -17,6^\circ$ b) $Z = 272,6$ $\Omega$ ; $\varphi = -42,2^\circ$
Aufgabe 10	a) $\underline{U}_1 = 837,2 e^{-j27,4^\circ}$ V; $\underline{U}_2 = 463,0 e^{j56,4^\circ}$ V; $\underline{I} = 2,96 e^{j17,6^\circ}$ A; $\underline{I}_1 = 2,315 e^{j56,4^\circ}$ A; $\underline{I}_2 = 1,852 e^{-j33,6^\circ}$ A b) $\underline{U}_1 = 328,0 e^{j68,8^\circ}$ V; $\underline{U}_2 = 573,3 e^{j3,5^\circ}$ V; $\underline{U}_3 = 459,0 e^{-j47,9^\circ}$ V; $\underline{I} = 3,67 e^{j42,2^\circ}$ A; $\underline{I}_1 = 3,28 e^{j68,8^\circ}$ A; $\underline{I}_2 = 1,64 e^{-j21,2^\circ}$ A; $\underline{I}_3 = 2,87 e^{j3,5^\circ}$ A; $\underline{I}_4 = 2,29 e^{j93,5^\circ}$ A
Aufgabe 11	
Aufgabe 12	1/3
Aufgabe 13	
Aufgabe 14	e) $\omega_r = 267$ s $^{-1}$ ; $\underline{Y}_r = 6$ mS
Aufgabe 15	
Aufgabe 16	
Aufgabe 17	
Aufgabe 18	
Aufgabe 19	$C_T = 8,89$ pF
Aufgabe 20	$R = 50$ $\Omega$ , $G = 10$ mS, $C = 10$ $\mu$ F
Aufgabe 21	$P_{\max} = 2,22$ mW, $f_m = 212$ kHz, $f_{gu} = 64,3$ kHz, $f_{go} = 701$ kHz
Aufgabe 22	$f = 318$ Hz, $R = 60$ $\Omega$
Aufgabe 23	$f_g = 1,33$ kHz
Aufgabe 24	$C = 760$ nF, $L = 36,5$ mH
Aufgabe 25	$I_1 = 108$ mA, $I_2 = 73$ mA, $I_3 = 59$ mA
Aufgabe 26	$L = 0,867$ mH; $C = 17,34$ nF
Aufgabe 27	$R = 48$ $\Omega$ ; $L = 95,5$ mH; $C = 414$ nF
Aufgabe 28	$f_1 = 5,03$ kHz; $f_2 = 6,16$ kHz
Aufgabe 29	a) $Q = 92$ ; $b = 8,91$ kHz b) $U_{C0} = 92$ V
Aufgabe 30	a) $C_1 = 18,53$ pF b) $f_0 = 79,95$ MHz c) $f_r = 79,93$ MHz; $Q = 43,48$ ; $b = 1,838$ MHz

Aufgabe 31	c) f/Hz            1            10            50            100            400 I/mA            6            6            6,28            6,86            1,02 $\varphi/^\circ$ -0,36            -3,6            -19,2            -46            -154,7 d) $f_0 = 159,15 \text{ Hz}$ ; $f_{\max} = 159,23 \text{ Hz}$
Aufgabe 32	$\underline{Z}_1 = 707\Omega e^{-j45^\circ}$ , $\underline{Z}_2 = 1,41 \text{ k}\Omega e^{j45^\circ}$ , $\underline{Z}_{11} = 1,58 \text{ k}\Omega e^{j18^\circ}$ , $\underline{Z}_{12} = \underline{Z}_{21} = \underline{Z}_2$
Aufgabe 33	
Aufgabe 34	
Aufgabe 35	$R_A = 100 \Omega$ ; $R_B = 11,11 \Omega$ ; $C = 15,1\mu\text{F}$ ; $L = 883 \mu\text{H}$
Aufgabe 36	
Aufgabe 37	
Aufgabe 38	
Aufgabe 39	a) $I_{1N} = 1200 \text{ A}$ ; $I_{2N} = 60 \text{ A}$ ; $\ddot{u} = 0,05$ b) $N_1 = 80$ ; $N_2 = 1600$ c) $R_{Fe} = 2,84 \text{ k}\Omega$ ; $X_h = 2,62 \text{ k}\Omega$ ; $I_\mu = 1,91 \text{ A}$ ; $I_{Fe} = 1,76 \text{ A}$ d) $R = 21 \text{ m}\Omega$ ; $X_\sigma = 475 \text{ m}\Omega$ ; $U_R = 25 \text{ V}$ ; $U_\sigma = 570 \text{ V}$ e) $\Delta U_2 = -6440 \text{ V}$ ; $P_{Cu} = 30 \text{ kW}$ ; $P_{Fe} = 8,8 \text{ kW}$
Aufgabe 40	$R_1 = 9,77 \Omega$ ; $R_2 = 17,8 \Omega$ ; $L_1 = 24,6 \text{ mH}$ ; $L_2 = 60,8 \text{ mH}$ ; $L_{12} = 28,4 \text{ mH}$
Aufgabe 41	$\underline{U}_{AB} = 25,1 \text{ V} \angle -70,9^\circ$
Aufgabe 42	$P_{ASM} = 13,91 \text{ kW}$ ; $S_{ASM} = 17,83 \text{ kVA}$ ; $Q_{ASM} = 11,15 \text{ kvar}$ ; $Q_L = 5,10 \text{ kvar}$ ; $I_L = 30,87 \text{ A}$
Aufgabe 43	a) $I = 5,42 \text{ A}$ ; b) $\cos \varphi = 0,78$
Aufgabe 44	$P_{ASM} = 47,06 \text{ kW}$ ; $S_{ASM} = 57,4 \text{ kVA}$ ; $Q_{ASM} = 32,8 \text{ kvar}$ ; $Q_C = -10,05 \text{ kvar}$ ; $P_R = 12 \text{ kW}$ ; $\dots S_N = 63,3 \text{ kVA}$ ; $I_{LN} = 91,4 \text{ A}$ ; $\cos \varphi = 0,933$
Aufgabe 45	a) $I = 10,7 \text{ A}$ b) $\cos \varphi = 0,81$
Aufgabe 46	$R = 17 \Omega$
Aufgabe 47	$P_K = 153,28 \text{ kW}$ ; $P_{ASM} = 176,2 \text{ kW}$ ; $Q_{ASM} = 109,2 \text{ kvar}$ ; $\dots Q_C = -51,3 \text{ kvar}$ ; $C = 340,4\mu\text{F}$
Aufgabe 48	a) $\underline{U}_{KN} = 172 \text{ V} \angle 160^\circ$ ; $\underline{U}_{1K} = 396 \text{ V} \angle -8,5^\circ$ ; $\underline{U}_{2K} = 262 \text{ V} \angle -80^\circ$ ; $\underline{U}_{3K} = 148 \text{ V} \angle 72^\circ$ ; $\underline{I}_1 = 7,9 \text{ A} \angle 11,5^\circ$ ; $\underline{I}_2 = 13,1 \text{ A} \angle -140^\circ$ ; $\underline{I}_3 = 7,4 \text{ A} \angle 72^\circ$ ;
Aufgabe 49	$\underline{I}_1 = 3,42 \text{ A} \angle -10^\circ$ ; $\underline{I}_3 = 3,42 \text{ A} \angle 170^\circ$ ; $\underline{U}_{1K} = 205,2 \text{ V} \angle -10^\circ$ ; $\underline{U}_{2K} = 276,3 \text{ V} \angle 121,5^\circ$ ; $\underline{U}_{3K} = 218,5 \text{ V} \angle 131,5^\circ$
Aufgabe 50	$\underline{I}_1 = 26,6 \text{ A} \angle -19^\circ$ ; $\underline{I}_2 = 40 \text{ A} \angle -150^\circ$ ; $\underline{I}_3 = 14,8 \text{ A} \angle 50,5^\circ$ ;
Aufgabe 51	a) $P = 1,74 \text{ kW}$ b) $P = 6,96 \text{ kW}$ ; $\underline{I}_1 = 15 \text{ A} \angle 0^\circ$ ; $\underline{I}_2 = 8,7 \text{ A} \angle -150^\circ$ ; $\underline{I}_3 = 8,7 \text{ A} \angle 150^\circ$ ; ungestört $P = 10,35 \text{ kW}$ ;
Aufgabe 52	$t = 3,3 \text{ s}$ ; $C = 50\mu\text{F}$
Aufgabe 53	$t = 125 \text{ min}$
Aufgabe 54	
Aufgabe 55	$\tau = 6,88 \text{ ms}$



