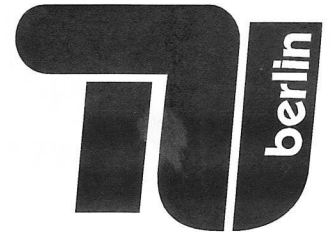


1. Klausur
Elektrische Netzwerke
25. Juli 2012



Name:

Vorname:

Matr.-Nr.:

Bearbeitungszeit: 150 Minuten

- Trennen Sie den Aufgabensatz **nicht** auf.
- Benutzen Sie für die Lösung der Aufgaben **nur** das mit diesem Deckblatt ausgeteilte Papier. **Lösungen, die auf anderem Papier geschrieben werden, können nicht gewertet werden.** Weiteres Papier kann bei den Tutoren angefordert werden.
- **Notieren Sie bei der Aufgabe einen Hinweis, wenn die Lösung auf einem Extrablatt fortgesetzt wird**
- **Schreiben Sie deutlich!** Doppelte, unleserliche oder mehrdeutige Lösungen können nicht gewertet werden.
- Schreiben Sie **nicht** mit Bleistift!
- Schreiben Sie nur in **blau** oder **schwarz!**

Bewertung

Aufgabe	Punkte	erreicht
1	20	
2	15	
3	15	
4	15	
5	15	
6	20	

1. Aufgabe (20 Punkte): Fragen zur Vorlesung

1.1. Begriff Ortskurve (2 Punkte)

Erklären Sie stichpunktartig, was man unter dem Begriff *Ortskurve* versteht und welche Voraussetzungen zu deren Verwendung erfüllt sein müssen.

1.2. Superposition (2 Punkte)

Berechnen Sie den Strom I_{R2} in Abbildung 1 mit Hilfe des Superpositionsverfahrens.

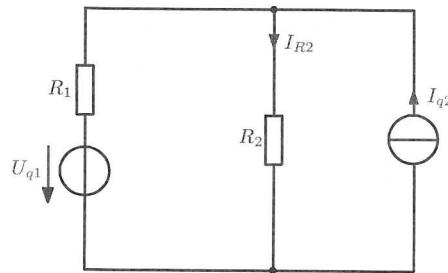
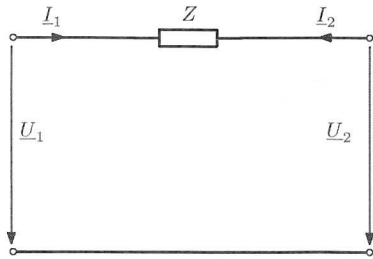


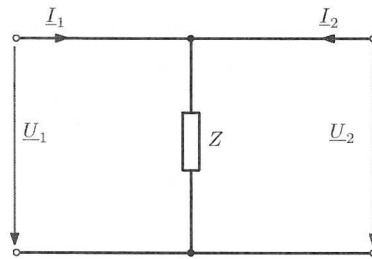
Abbildung 1: $R_1 = 3\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $U_{q1} = 6V$, $I_{q2} = 3A$

1.3. Zweitore (2 Punkte)

Geben Sie für die beiden Zweitore in Abbildung (2) jeweils die Admittanzmatrix \underline{Y} an.



(a) Längselement

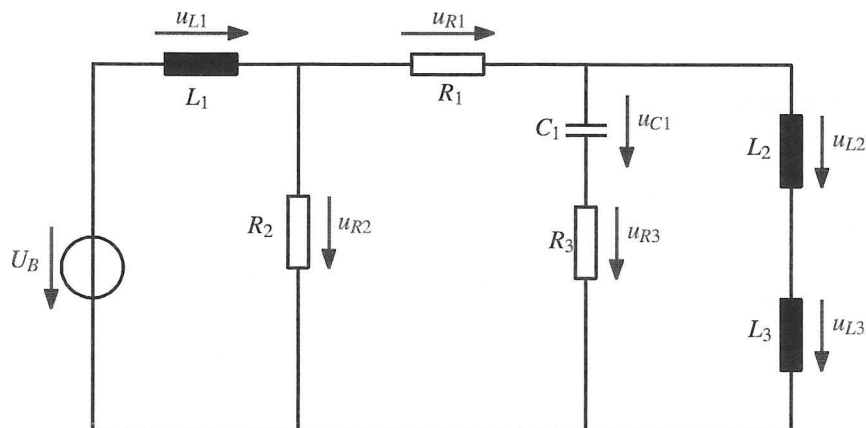


(b) Querelement

Abbildung 2: Zweitore mit Längs- und Querelement

1.4. Unabhängige Energiespeicher (1 Punkt)

Wieviele unabhängige Energiespeicher besitzt das folgende Netzwerk?



1.5. Baumzweige (1 Punkt)

Gegeben ist die Netztopologie in Abbildung (3) in Graphendarstellung. Stellen Sie das Netzwerk als vollständigen Baum dar. Kennzeichnen Sie die Baumzweige und die Verbindungszweige jeweils unterschiedlich und geben Sie deren Anzahl an.

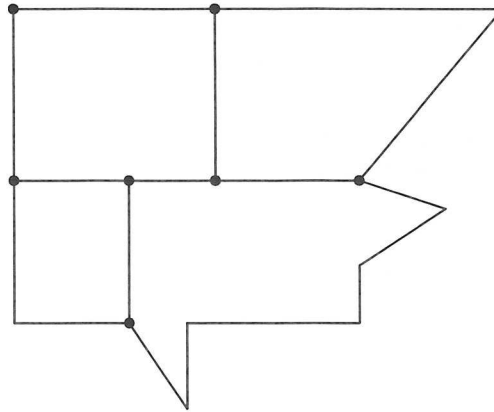


Abbildung 3: Netzwerk in Graphendarstellung

1.6. Ersatzquellen (3 Punkte)

Bestimmen Sie die Ersatzimpedanz Z_i und die Ersatzspannungsquelle \underline{U}'_q . Geben Sie sie als Zahlenwerte mit Einheit an. Zeichnen Sie das Ersatznetzwerk und beschriften Sie alle Elemente.

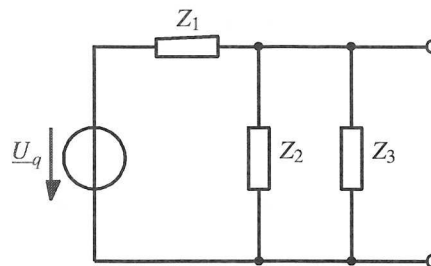
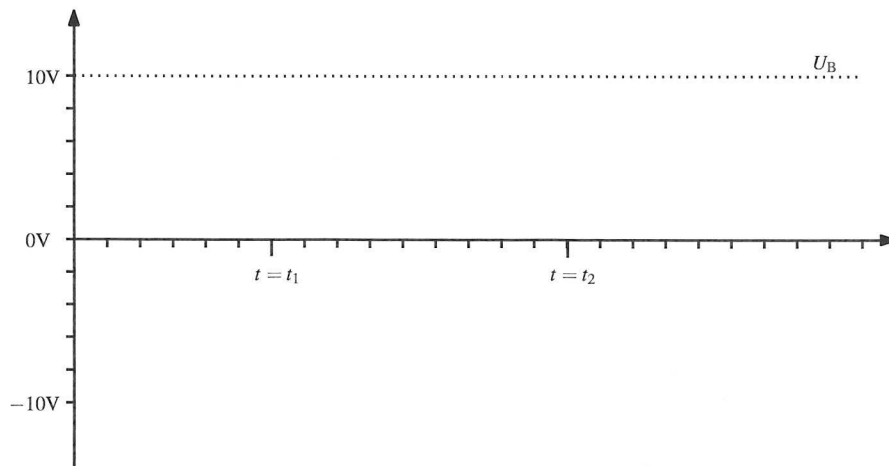
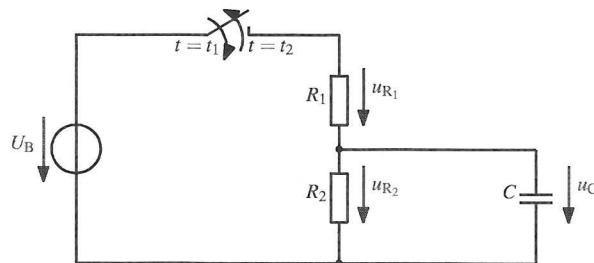


Abbildung 4: $\underline{U}_q = 14\text{V}$, $Z_1 = 4\Omega$, $Z_2 = 1\Omega$, $Z_3 = 2\Omega$

1.7. Ausgleichsvorgang (2 Punkte)

Skizzieren Sie den Verlauf der Kondensatorsspannung $u_C(t)$, wenn der Schalter zur Zeit $t = t_1$ geschlossen wird. Zur Zeit $t = t_2$ wird der Schalter wieder geöffnet. Es gilt $R_1 = R_2$, $U_B = 10V$ und $u_C(t < t_0) = 0V$. Weiterhin ist der Zeitabstand der Schalterbetätigungen *sehr* groß, also $t_2 - t_1 \gg R_1 \cdot C$.



1.8. Koeffizienten der Fourier-Reihe (1 Punkt)

Geben Sie die Formel zur Berechnung des Koeffizienten a_0 der Fourier-Reihe in Normalform an.

1.9. Zeigerdiagramm (3 Punkte)

Zeichnen Sie das Zeigerdiagramm der Schaltung aus Abbildung (5). Beginnen Sie mit R_1 . Zeichnen Sie anschliessend das Koordinatensystem ein. Achten Sie bei der **Länge der Zeiger** auf die Größen der Bauteile!

Hinweis: Zur Ermittlung der Länge der Zeiger denken Sie an das Ohmsche Gesetz! Orientieren Sie sich an der Länge des vorgegebenen Zeigers.

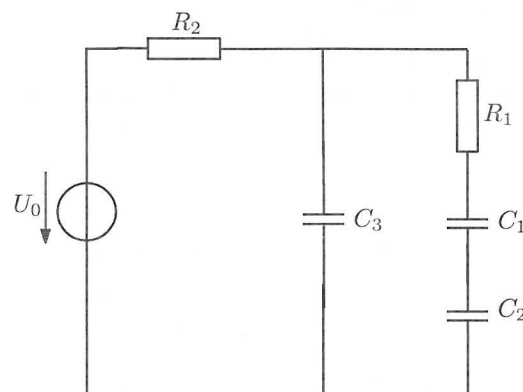
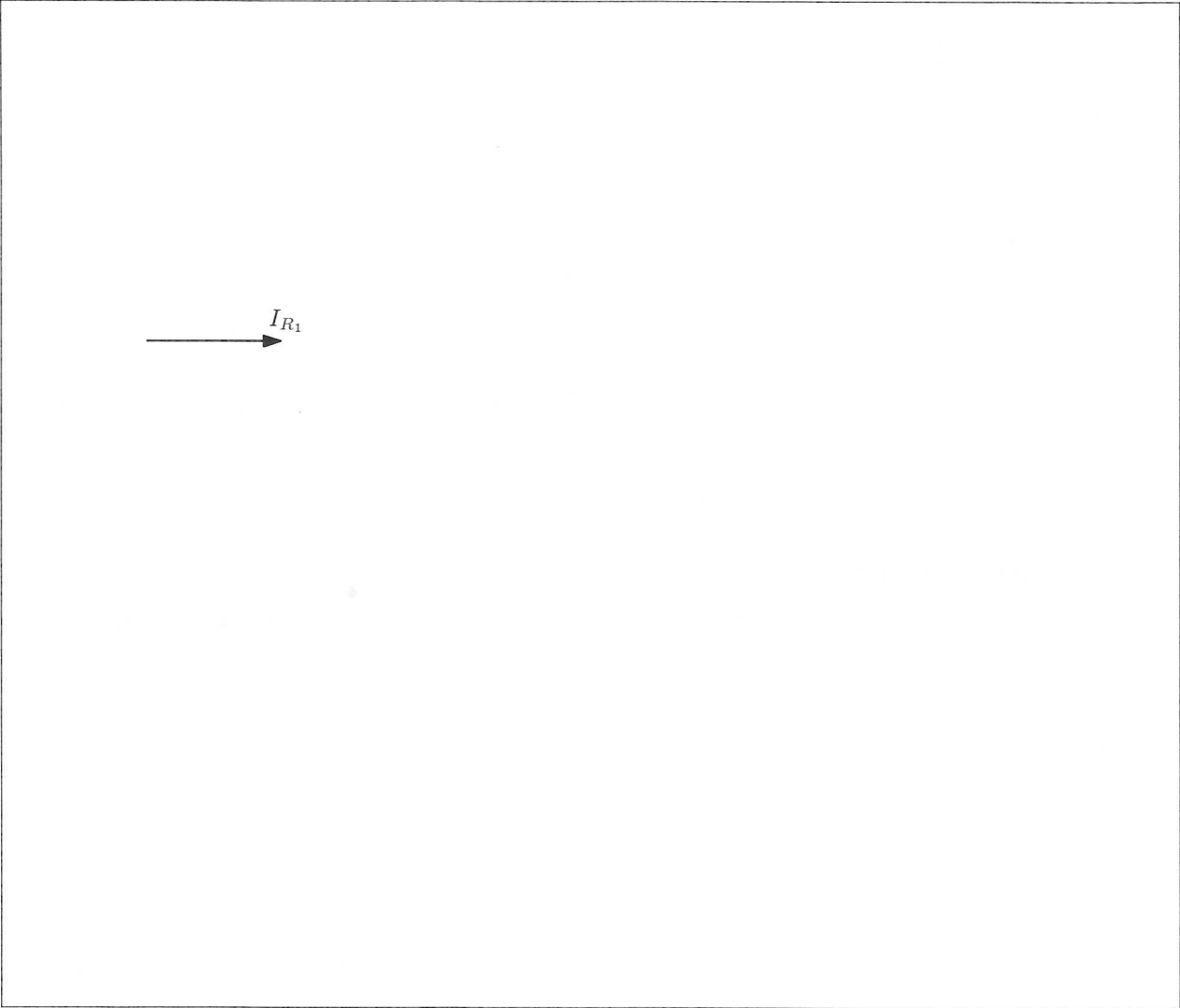


Abbildung 5: $\omega = 1\text{Hz}$, $\underline{U}_0 = U_0 \cdot e^{j0^\circ}$, $C_1 = 0,333\text{F}$, $C_2 = 1\text{F}$, $C_3 = 0,2\text{F}$, $R_1 = 3\Omega$, $R_2 = 2\Omega$



I_{R_1}

1.10. Leistungsanpassung (2 Punkte)

Gegeben ist die Schaltung einer Spannungsquelle mit einem Innenwiderstand von 1Ω aus Abbildung (6). An die Klemmen der Spannungsquelle wird ein Lastwiderstand mit 11Ω angeschlossen. Geben Sie die Leistung über dem Lastwiderstand an (1 Punkt).

Dimensionieren Sie den Lastwiderstand so, dass über ihm die maximale Leistung abfällt. Geben Sie diese Leistung an (1 Punkt).

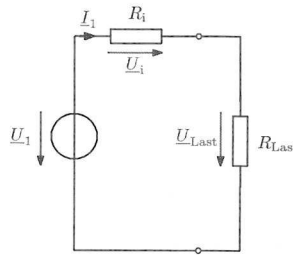


Abbildung 6: $U_1 = 12\text{V}$, $R_i = 1\Omega$, $R_{\text{Last}} = 11\Omega$

1.11. Tiefpassfilter erster Ordnung (1 Punkt)

Geben Sie eine schaltungstechnische Realisierung für ein Tiefpassfilter erster Ordnung an.



2. Aufgabe (15 Punkte): Ausgleichsvorgang 2. Ordnung

Hinweis: Die Aufgabe ist in zwei Teile geteilt, die nicht aufeinander aufbauen.

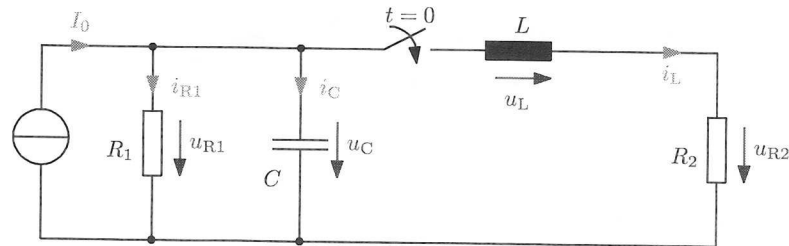


Abbildung 7: $I_0 = 0,5\text{A}$, $R_1 = 20\Omega$, $R_2 = 30\Omega$, $L = 500\text{mH}$, $C = 100\mu\text{F}$

Die gezeigte Schaltung befindet sich im eingeschwungenen Zustand. Zum Zeitpunkt $t = 0$ wird der Schalter S geschlossen.

2.1. Randbedingungen (4 Punkte)

Geben Sie i_L und u_C für jeweils $t = 0$ und $t \rightarrow \infty$ als Zahlenwert an.

2.2. Differenzialgleichung des Spulenstromes (3 Punkte)

Stellen Sie für $t \geq 0$ die Differenzialgleichung für i_L in Normalform auf.



2.3. Dämpfung und Resonanz (2 Punkte)

Es beginnt der zweite Aufgabenteil. Die Ergebnisse des ersten Teils werden NICHT benötigt. Für die weiteren Berechnungen sei die folgende Normalform, die Schaltung aus Abbildung (8) sowie die zugehörigen Bauteile gegeben.

$$0 = \frac{d^2 u_C}{dt^2} + \left(\frac{R_{23} R_1 C + L}{R_1 L C} \right) \frac{d u_C}{dt} + \left(\frac{R_1 + R_{23}}{R_1 L C} \right) u_C - \frac{R_{23}}{R_1 L C} U_0$$

mit $R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$

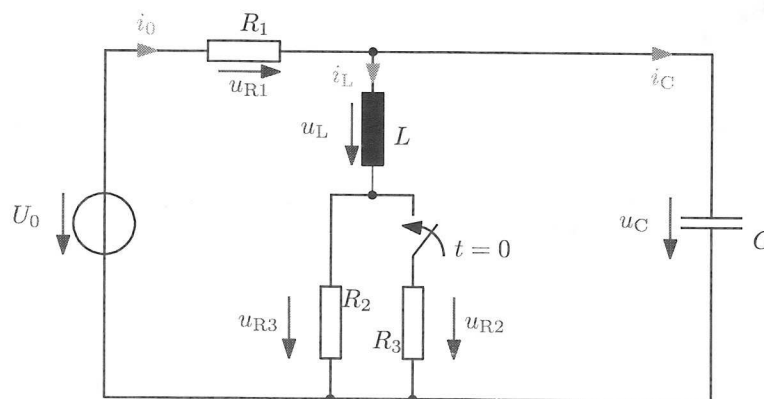


Abbildung 8: $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 30\Omega$, $R_3 = 30\Omega$, $L = 1\text{mH}$, $C = 100\text{nF}$, $U_0 = 12\text{V}$

Die zu diesem Netzwerk berechneten Randbedingungen sind:

$$\begin{aligned} i_L(t=0) &= \frac{U_0}{R_1 + R_2} = 0.3\text{A} \\ u_C(t=0) &= i_L(t=0) \cdot R_2 = 9\text{V} \\ R_{\text{ges}} &= R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 25\Omega \\ i_L(t \rightarrow \infty) &= i_0 = \frac{U_0}{R_{\text{ges}}} = 0.48\text{A} \\ u_C(t \rightarrow \infty) &= U_0 - U_{R_1} = 7.2\text{V} \end{aligned} \quad (1)$$

Die gezeigte Schaltung befindet sich im eingeschwungenen Zustand. Zum Zeitpunkt $t = 0$ wird der Schalter S geschlossen.

Berechnen Sie den Dämpfungsfaktor δ und die Resonanzfrequenz ω_0 und geben Sie die Zahlenwerte an.

2.4. Lösungsansatz (2 Punkte)

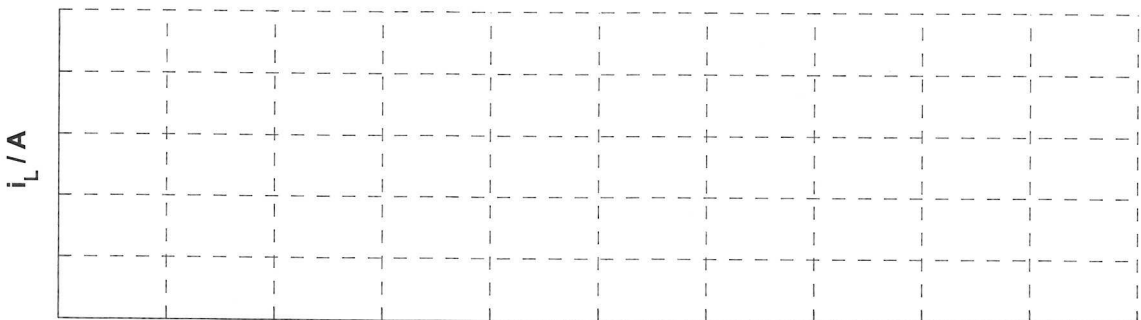
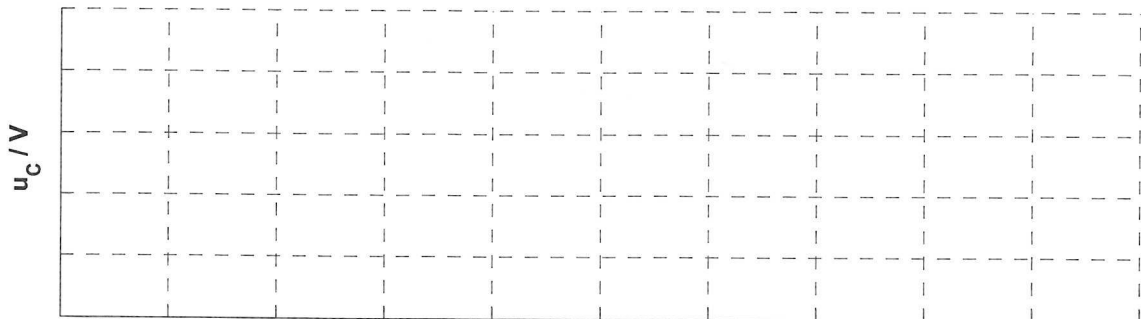
Geben Sie die allgemeinen Lösungsansätze für $u_C(t)$ und $i_L(t)$ für die in Aufgabe 2.3 gegebene Normalform an.

2.5. Lösung (2 Punkte)

Berechnen Sie mit Hilfe der Randbedingungen die Lösungen für $u_C(t)$ und $i_L(t)$. Geben Sie dabei die Konstanten der Lösung als Zahlenwerte an.

2.6. Darstellung der Zeitverläufe (2 Punkte)

Skizzieren Sie die Zeitverläufe für $u_C(t)$ und $i_L(t)$.





3. Aufgabe (15 Punkte): Ortskurve und Maschenstromverfahren

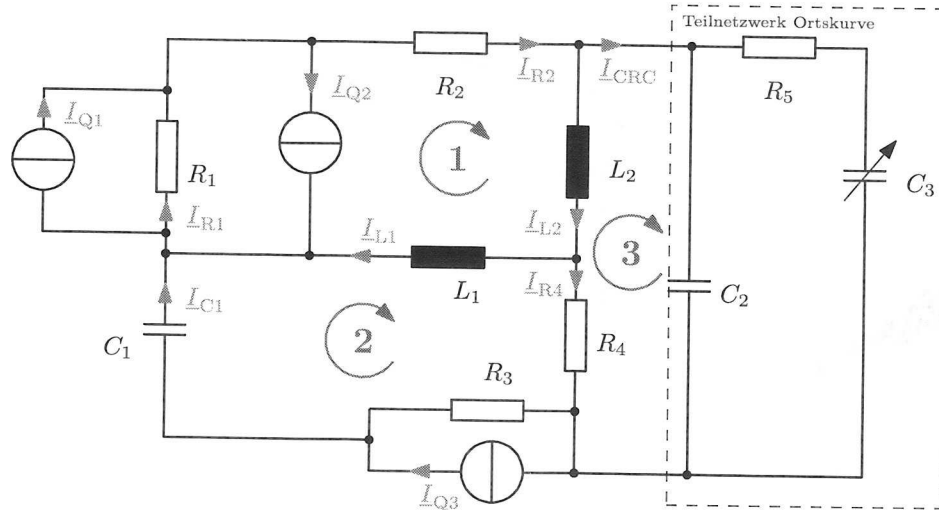
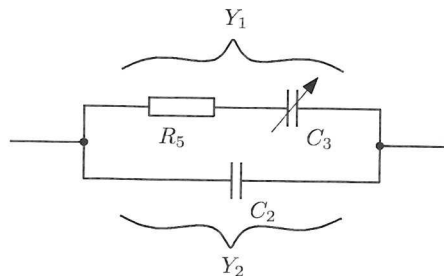


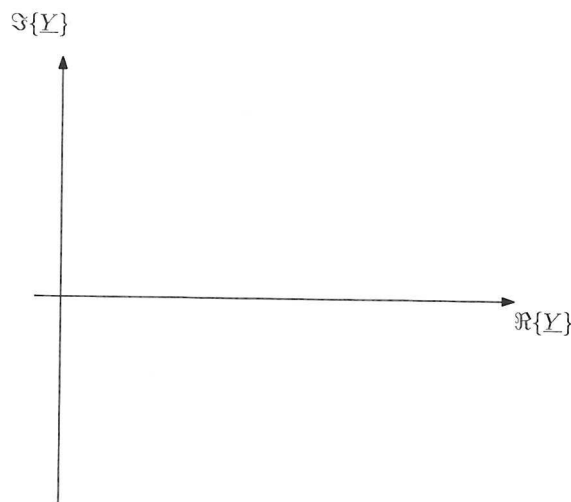
Abbildung 9: Schaltung Maschenstromverfahren und Ortskurve

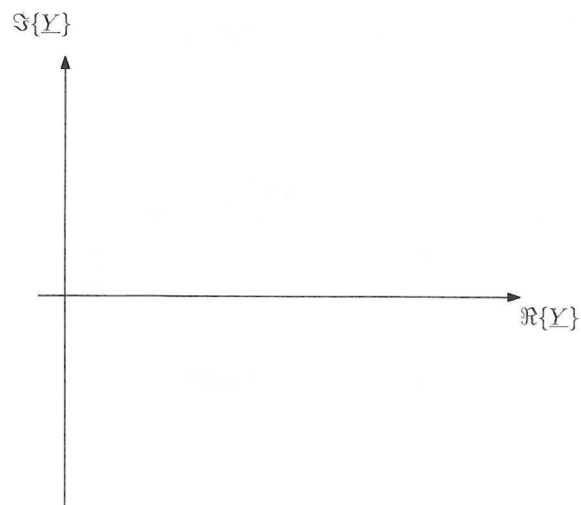
3.1. Ortskurve (3 Punkte)

Skizzieren Sie die Ortskurve der Admittanz Y für das Teilnetzwerk bestehend aus C_2 , C_3 und R_5 (gestrichelter Kasten) aus der Schaltung in Abbildung(9). Tragen Sie hierfür die Teilortskurven Y_1 und Y_2 auf und konstruieren Sie daraus den Gesamtverlauf!



Hinweis: Beachten Sie, dass die veränderliche Größe C_3 und nicht ω ist!





3.2. Vorbereitung der Schaltung (3 Punkte)

Bereiten Sie durch Vereinfachungen die in Abbildung(9) gezeigte Schaltung für eine Maschenstromanalyse vor (**Zusammenfassen von Bauelementen, Quellenumwandlung**). Verwenden Sie die vorliegende Maschennummerierung! Fertigen Sie eine Skizze an und bezeichnen Sie alle neue Ströme und Spannungen in der Skizze und formelmäßig.

3.3. Maschengleichungen (3 Punkte)

Stellen Sie für die Maschen 1...3 die zugehörigen Maschengleichungen auf. Sortieren Sie diese so um, dass sich daraus die Elemente der Impedanzmatrix direkt ablesen lassen!

3.4. Impedanzmatrix (1 Punkt)

Erstellen Sie aus den Maschengleichungen in Aufgabe 3.3 die Impedanzmatrix \underline{Z} des Netzwerkes!

3.5. Quellenvektor (1 Punkt)

Erstellen Sie aus den Maschengleichungen in Aufgabe 3.3 den Quellenvektor \underline{U}_q des Netzwerkes!

3.6. Inzidenzmatrix (4 Punkte)

Stellen Sie die Beziehung der echten Ströme des Ausgangsnetzwerks \underline{I}_{C1} , \underline{I}_{L1} , \underline{I}_{L2} , \underline{I}_{R2} , \underline{I}_{R4} und \underline{I}_{CRC} zu den virtuellen Maschenströmen formelmäßig her. Stellen Sie daraus die Inzidenzmatrix \underline{A} sowie den dazu gehörigen Vektor der Einzelströme \underline{I} des Ausgangsnetzwerks in der gegebenen Reihenfolge auf. Geben Sie weiterhin die Berechnungsformel für den Strom \underline{I}_{R1} an!



4. Aufgabe (15 Punkte): Knotenpotentialverfahren mit Zweitor

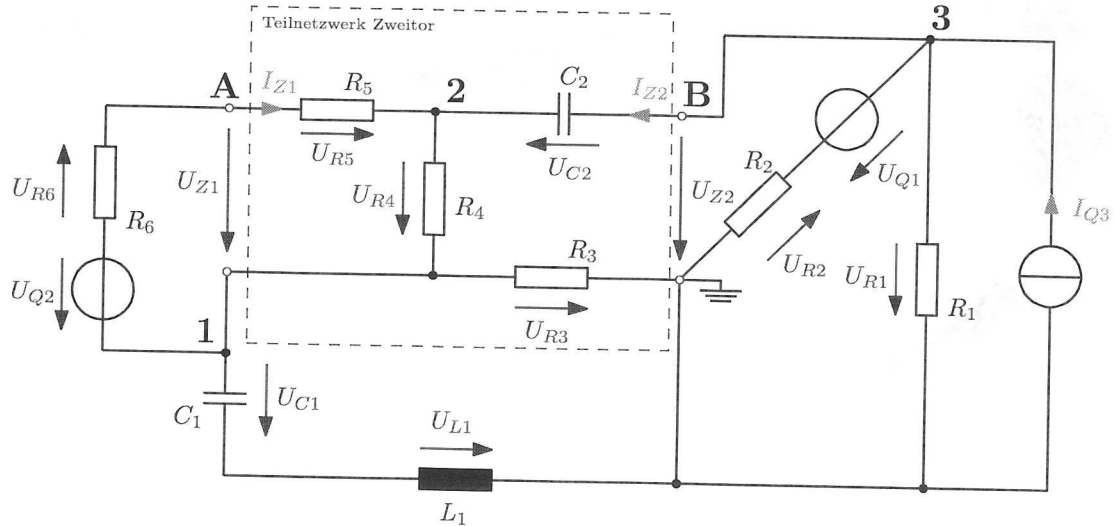


Abbildung 10: Schaltung Knotenpotentialverfahren und Zweitor

mit den Werten:

$R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 20\Omega$, $R_3 = 15\Omega$, $R_4 = 5\Omega$, $R_5 = 10\Omega$, $R_6 = 25\Omega$, $C_1 = 10\text{mF}$, $C_2 = 100\text{mF}$, $L_1 = 2\text{H}$,
 $\omega = 1\text{Hz}$, $\underline{U}_{Q1} = 10\text{V}$, $\underline{U}_{Q2} = 25\text{V}$, $\underline{I}_{Q3} = 2\text{A}$

4.1. Impedanzmatrix \underline{Z} (5 Punkte)

Geben Sie für das Zweitor zwischen den Punkten **A** und **B** bestehend aus R_3 , R_4 , R_5 und C_2 (gestrichelter Kasten) aus dem Teilnetzwerk der Schaltung in Abbildung (10) die Impedanzmatrix \underline{Z} an! \underline{U}_{Z1} sei dabei die Eingangs- und \underline{U}_{Z2} die Ausgangsspannung. \underline{I}_{Z1} der Eingangs- und \underline{I}_{Z2} der Ausgangsstrom.

4.2. Vorbereitung der Schaltung (2 Punkte)

Bereiten Sie durch Vereinfachungen die oben gezeigte Schaltung für eine Knotenpotentialanalyse vor. Beachten Sie dabei die Quellen und fassen Sie wenn möglich Quellen zusammen. Zeichnen Sie die Knotenpotentialpfeile ein!

Hinweis: Fassen Sie wenn möglich schon vor der Quellenumwandlung Bauteile zusammen, um keinen neuen Knoten zu erzeugen.

4.3. Admittanzmatrix (3 Punkte)

Erstellen Sie die Admittanzmatrix \underline{Y} des Netzwerkes! Eine Herleitung über die Knotengleichungen ist nicht notwendig.

4.4. Quellenvektor (1 Punkt)

Erstellen Sie den Quellenvektor $\underline{\mathbf{I}}_q$ des Netzwerkes!

4.5. Einzelspannung (4 Punkte)

Berechnen Sie mit den nachfolgend gegebenen Knotenspannungen die Spannungen \underline{U}_{R4} und \underline{U}_{R5} aus dem Ausgangsnetzwerk und geben Sie deren Zahlenwerte an. Stellen Sie die dafür notwendigen Formeln auf! Fertigen Sie für die Berechnung der Spannung \underline{U}_{R5} ebenfalls eine Skizze an!

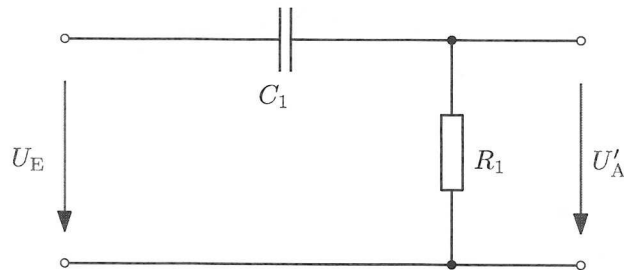
$$\underline{\mathbf{U}}_k = \begin{pmatrix} 6,7535 + 2,0354j \\ 11,7575 + 2,9306j \\ 13,8036 - 1,3641j \end{pmatrix} \text{ V} \quad (2)$$





5. Aufgabe (15 Punkte): Frequenzverhalten von Vierpolen

Gegeben ist die Schaltung eines Zweitores mit den Werten $R_1 = 100\Omega$ und $C_1 = 1.5915\mu\text{F}$



5.1. Übertragungsfunktion (1 Punkt)

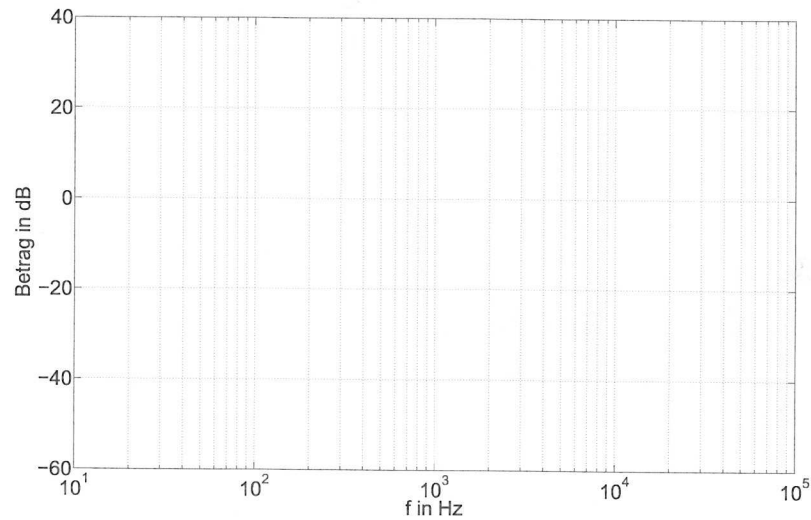
Berechnen sie die komplexe Übertragungsfunktion \underline{V}' des Zweitores in Normalform (=Produkt von Teilfunktionen)

5.2. Zeitkonstanten und Grenzfrequenz (2 Punkte)

Geben sie die Grenzfrequenz $f_{g,1}$, die Zeitkonstante τ_1 und die Verstärkungskonstante K der Teilfunktionen an.

5.3. Betragsfrequenzgang (2 Punkte)

Stellen Sie den Betragsfrequenzgang $|V'|_{dB}(j\omega)$ in unten stehenden Diagramm dar. Machen Sie dabei den Verlauf der Teilfunktionen und die Gesamtfunktion kenntlich.

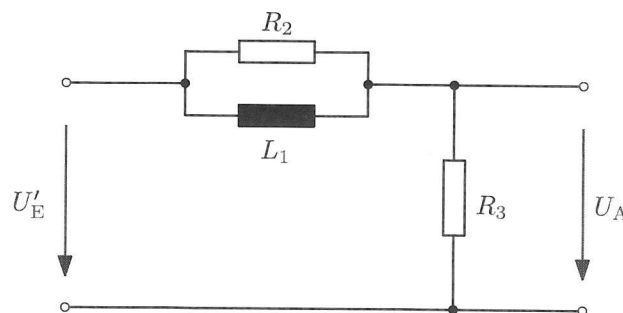


5.4. Verhalten der Schaltung (1 Punkt)

Geben sie an, um welche Art von Schaltung es sich handelt.

5.5. Übertragungsfunktion (2 Punkte)

Gegeben ist die Schaltung eines Zweitors mit den Werten $R_2=10\text{ k}\Omega$, $R_3=100\text{ }\Omega$ und $L_1=1,5915\text{ mH}$



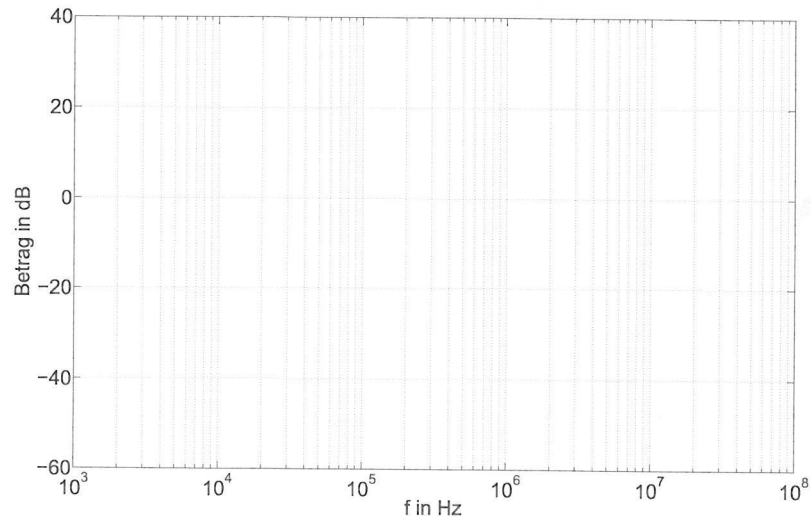
Bestimmen Sie auch hier die komplexe Übertragungsfunktion $V'' = \frac{U_A}{U'_E}$ des Zweitors in Normalform (= Produkt von Teilfunktionen).

5.6. Zeitkonstanten und Grenzfrequenz (3 Punkte)

Geben sie die die Grenzfrequenzen $f_{g,2}$ und $f_{g,3}$ sowie die Zeitkonstanten τ_2 und τ_3 an.

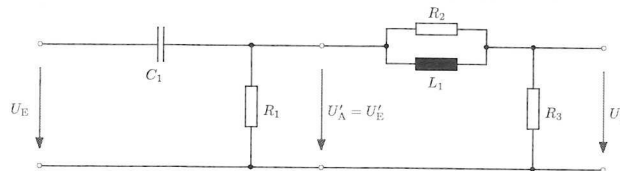
5.7. Betragsfrequenzgang (2 Punkte)

Stellen Sie den Betragsfrequenzgang $|V''|_{\text{dB}}(j\omega)$ in unten stehenden Diagramm dar. Machen sie dabei auch den Verlauf der einzelnen Teilfunktion kenntlich.



5.8. Gesamte Übertragungsfunktion (1 Punkt)

Die beiden Schaltungen werden nun zu einer Gesamtschaltung verkettet. Die Bauteilgrößen bleiben gleich!



Geben Sie die gesamte Übertragungsfunktion der verketteten Schaltung an. Gesucht: $\underline{V}(j\omega) = \frac{U_A}{U_E}$

5.9. Verhalten der Gesamtschaltung (1 Punkt)

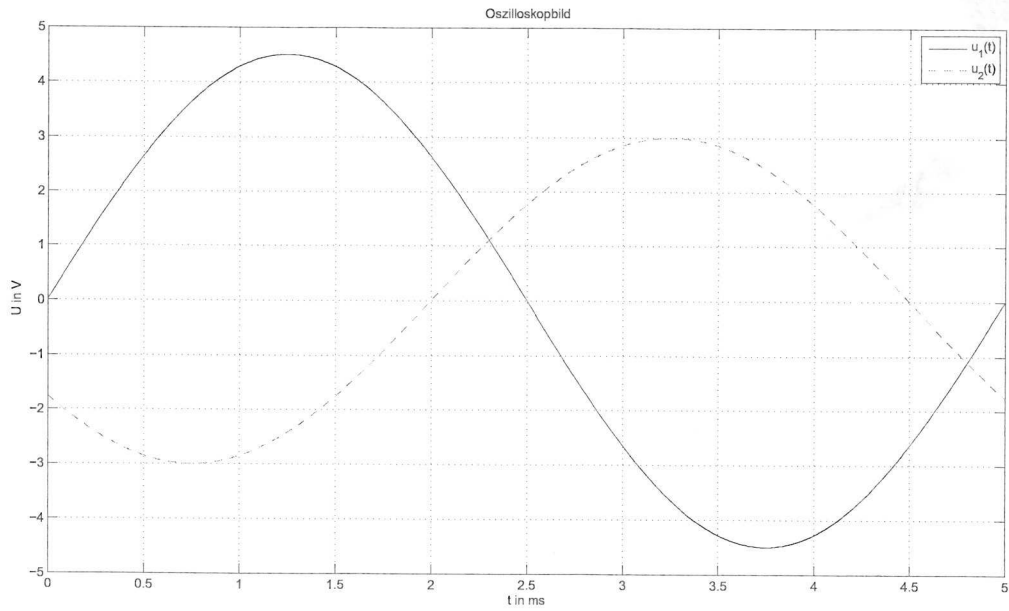
Welches Verhalten beschreibt das Verhalten der Gesamtschaltung am besten?
Bandsperr, Bandpass, Tiefpass oder Hochpass?



6. Aufgabe (20 Punkte): Fragen zum Praktikum

Beantworten Sie die folgenden Fragen.

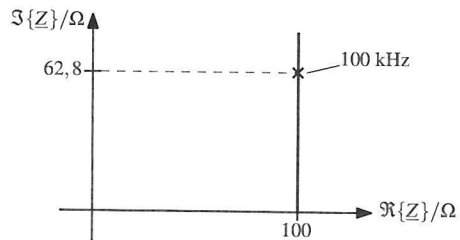
6.1. Phasenwinkel (1 Punkt)



Bestimmen Sie aus den obigen Zeitverläufen den Phasenwinkel φ_1 von U_1 bezogen auf U_2 .

6.2. Ortskurve (3 Punkte)

Im Labor wird die unten stehende Ortskurve für die Impedanz $\underline{Z}(f)$ gemessen. Um welche Schaltung handelt es sich? Bestimmen Sie die Bauteilwerte!

**6.3. Resonanz (3 Punkte)**

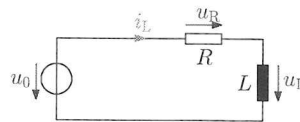
(a) Geben Sie die Formel für die Resonanzfrequenz an. (1 Punkt)

(b) Zeichnen Sie einen RLC-Parallelschwingkreis mit Quelle. (1 Punkt)

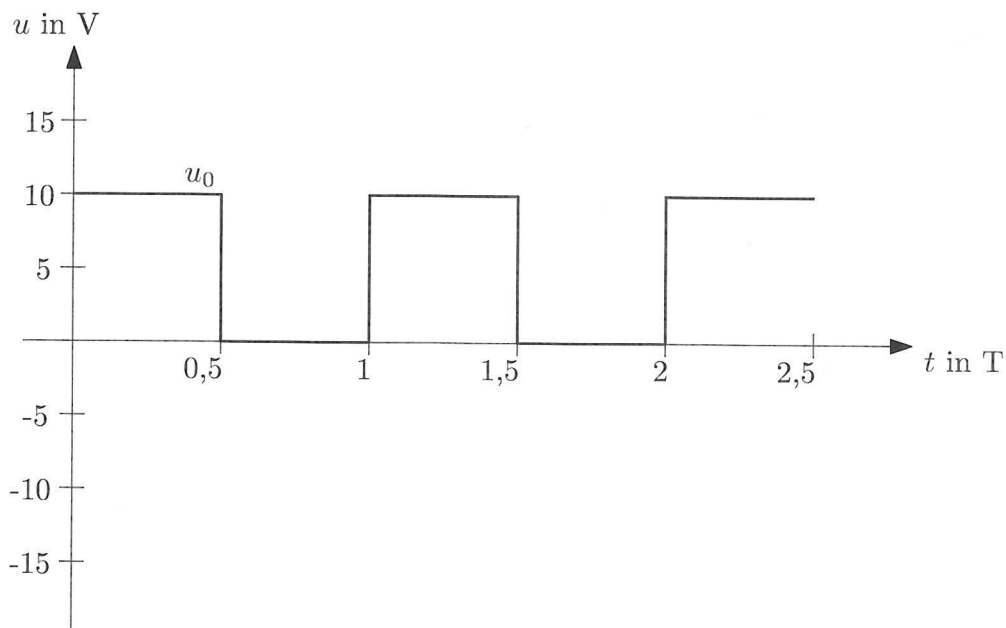
(c) Geben Sie die komplexe Impedanz-Formel $Z_{\text{ges,Parallel}}$ eines Parallelschwingkreises an. (1 Punkt)

6.4. Ausgleichsvorgang (4 Punkte)

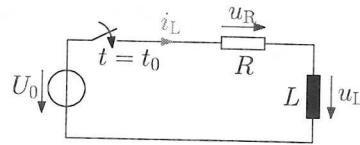
(a) Zeichnen Sie für die gegebene Schaltung den Spannungsverlauf der Spule in folgendes Diagramm ein, in dem u_0 gegeben ist. (1 Punkt)



Hinweis: Überlegen Sie, welche Werte an einer Spule springen können.



- (b) In der Schaltung wird ein Schalter eingebaut und die Spannungsquelle ist auf 10V Gleichspannung eingestellt. Zu t_0 wird der Schalter geschlossen. (1 Punkt)

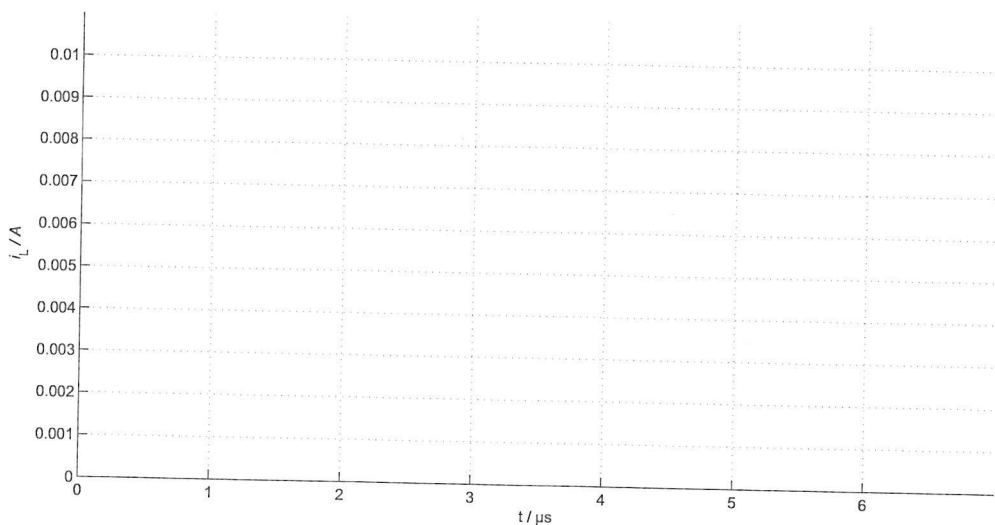


$$R = 1\text{k}\Omega, L = 1\text{mH}, U_0 = 10\text{V}$$

Wie groß ist der maximale Strom, der durch die Schaltung fließen kann.

- (c) Geben Sie die Zeitkonstante τ an. (1 Punkt)

- (d) Zeichnen sie qualitativ den Stromverlauf in folgendes Diagramm ein. (1 Punkt)

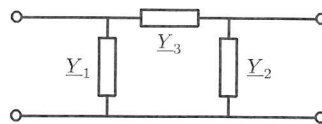


6.5. Zweitorparameter (4 Punkte)

(a) Wie messen Sie den Parameter \underline{Y}_{11} ? Geben Sie die Definitionsgleichung an und beschreiben Sie in Stichpunkten den Vorgang der Messung. (2 Punkte)

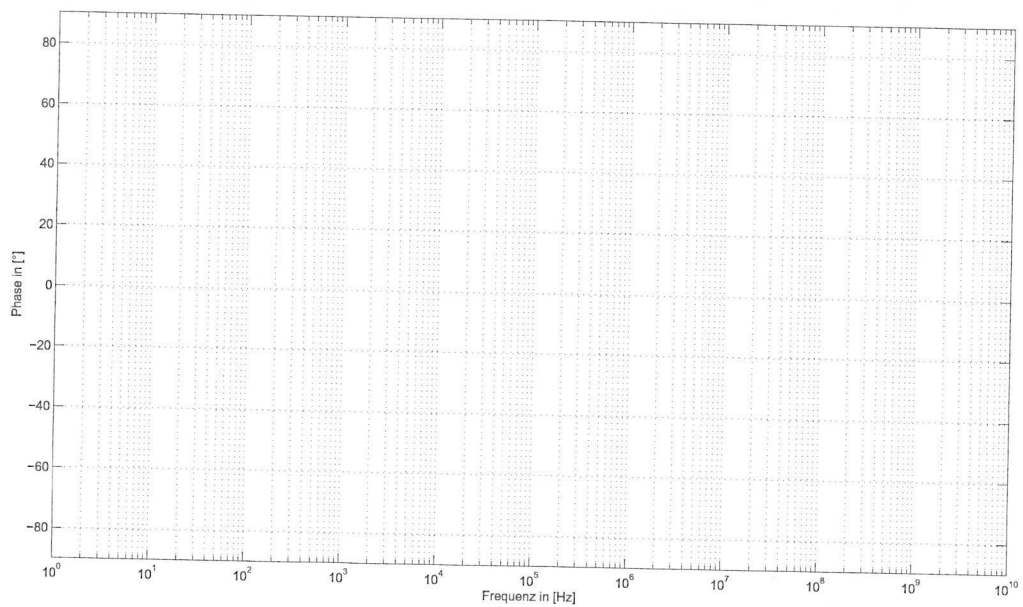
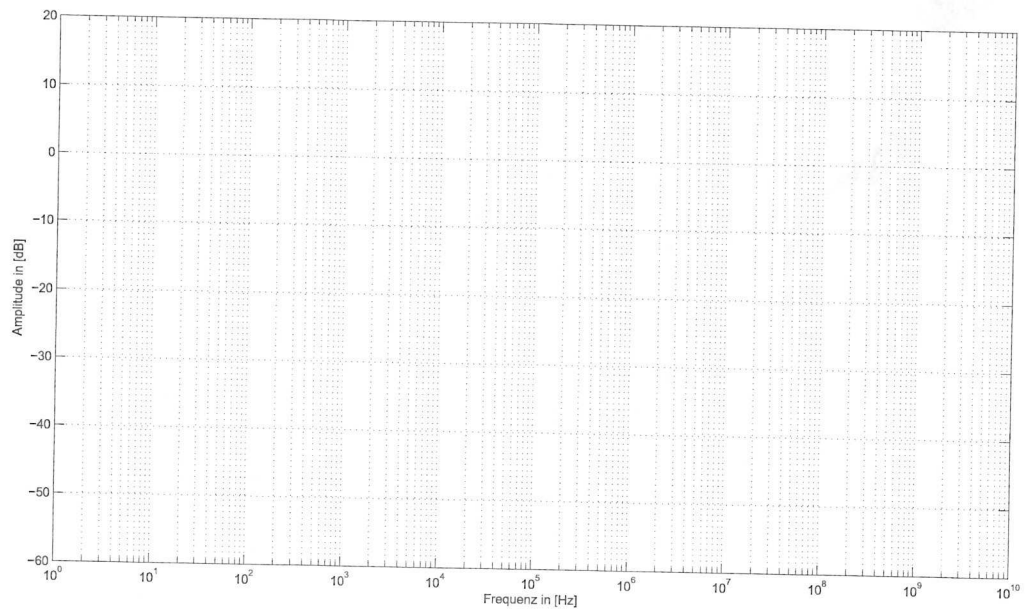
(b) Berechnen Sie aus der vorgegebenen Admittanzmatrix und der Pi-Schaltung die Admittanzen der einzelnen Elemente. (2 Punkte)

$$\underline{Y} = \begin{pmatrix} 25\text{S} & -25\text{S} \\ -25\text{S} & 30\text{S} \end{pmatrix}$$

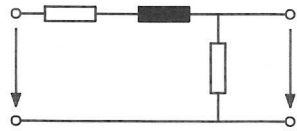


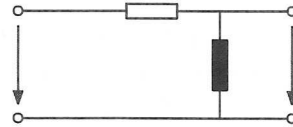
6.6. Bodediagramm (4 Punkte)

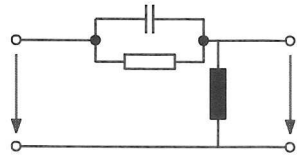
- (a) Zeichnen Sie von einem Tiefpass erster Ordnung den Amplituden- und Phasenfrequenzgang. Kennzeichnen Sie die Grenzfrequenz. (2 Punkte)

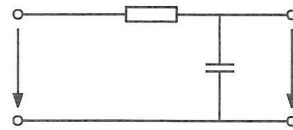


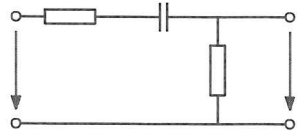
(b) Welche der folgenden Schaltungen haben ein Tiefpassverhalten. (2 Punkte)

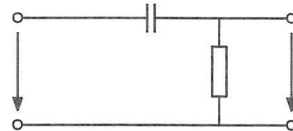












6.7. Strommessung (1 Punkt)

Wie messen Sie im allgemeinen einen zeitlichen Stromverlauf mit dem Oszilloskop?