Universität Karlsruhe (TH)
Institut für Biomedizinische Technik

Prof. Dr. rer. nat. O. Dössel
Kaiserstr. 12 / Geb 30.33
Tel.: 0721 / 608 - 2650

MEng. M. Reumann / Dipl. Ing. S. Seitz
Kaiserstr. 12 / Geb 30.33
Tel.: 0721 / 608 - 7183

Vordiplomprüfung: Lineare elektrische Netze
am 20. Februar 2007

Aufgabe 1

Gegeben sei folgendes Netzwerk:

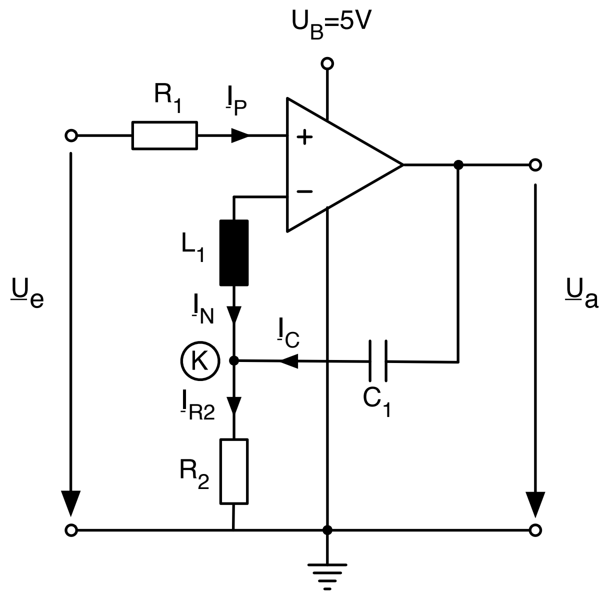


Abb.1

a) Nennen Sie 3 Regeln beim Umgang mit OP-Schaltungen.
(3 Punkte)

b) Stellen Sie die Knotengleichung für (K) auf.
(2 Punkte)

c) Bestimmen Sie $\underline{U}_L$ und $\underline{U}_{R2}$ in Abhängigkeit von $\underline{I}_C$
(1 Punkt)

d) Bestimmen Sie $\underline{U}_C$ und die Phase der Spannung $\underline{U}_a$ am Ausgang für $\underline{U}_e$=1mV, R_2=250Ω und C_1=63nF bei f=10kHz.
(3 Punkte)

e) Wie verhalten sich Amplitude und Phase von $\underline{U}_a$, wenn ω gegen Null geht?
(1 Punkt)

f) Wodurch wird die Amplitude des Ausgangssignals limitiert und welchen Wert kann sie im vorliegenden Fall maximal annehmen?
(1 Punkt)

Lösung-Aufgabe 1

a) - keine Masche durch den OP
- $U_d \approx 0$
- keine Ströme in den OP

b) $\underline{I}_{R2}=\underline{I}_C+\underline{I}_N$
da keine Ströme in einen idealen OP fliessen (s.o.), ist $\underline{I}_N=0$ und somit
$\underline{I}_{R2}=\underline{I}_C$

c) $\underline{U}_L=0$ da $\underline{I}_L=0$
$\underline{U}_{R2}=\underline{I}_{R2}*\underline{R}_2=\underline{I}_C*\underline{R}_2$

d) $\underline{I}_P=0 \Rightarrow \underline{U}_{R1}=0$

$\underline{I}_N=0 \Rightarrow \underline{U}_L=0$

$\underline{U}_e=\underline{U}_{R2}$

$$\begin{aligned}
\underline{I}_{R2} &= \frac{\underline{U}_{R2}}{R_2} = \frac{\underline{U}_e}{R_2} = 4\mu\text{A} \\
\underline{U}_C &= \underline{I}_C \underline{Z}_c = \frac{\underline{I}_C}{j\omega C_1} \overset{\omega=2\pi f}{=} \frac{4\mu\text{A}}{j2\pi 10\text{kHz } 63\text{nF}} \approx -j1,01\text{mV} \\
\frac{\underline{U}_a}{\underline{U}_e} &= \frac{R_2 + \frac{1}{j\omega C_1}}{R_2} = \left(1 + \frac{1}{j\omega R_2 C_1}\right) \\
\underline{U}_a &= \left(1 + \frac{1}{j\omega R_2 C_1}\right)\underline{U}_e = \left(1 + \frac{1}{j2\pi 10\text{kHz } 250\Omega \text{ } 63\text{nF}}\right) 1\text{mV} \\
&\approx (1-j1)\text{mV}
\end{aligned}$$

Der Winkel zwischen Real- und Imaginärteil beträgt somit -π/4 bzw. -45°.

e) $$\frac{\underline{U}_a}{\underline{U}_e} = 1 + \frac{1}{j\omega C_1 R_2} = 1 - j\frac{1}{\omega C_1 R_2}$$

Für ω gegen Null geht der Imaginärteil gegen Unendlich und
die Phase gegen -90° (idealer OP).

f) Versorgungsspannung des OPs ⇒ $U_{max}=5V$

Aufgabe 2

Analysieren Sie folgende Schaltung:

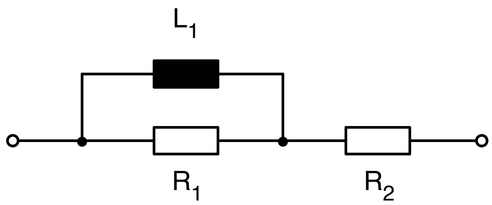


Abb. 2.1

Sie weist folgendes Frequenzverhalten auf:

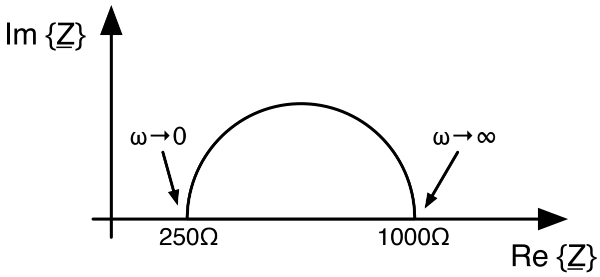


Abb. 2.2

a) Bestimmen Sie R_2 und erläutern Sie Ihr Vorgehen.

(1 Punkt)

b) Bestimmen Sie die Gesamtimpedanz $\underline{Z}$ als Funktion von R_1, R_2 und L_1.

(1 Punkt)

c) Bestimmen Sie R_1.

(1 Punkt)

d) Bei welcher Kreisfrequenz ω_{max} ist Im{$\underline{Z}$} am größten? Bei welchen Frequenzen ω_1 und ω_2 ist $Im\{\underline{Z}\} = \frac{1}{2}\sqrt{2} \cdot Im\{\underline{Z}\}_{max}$?

(4 Punkte)

e) Bestimmen Sie mit den Ergebnissen aus d) nun f_{max}, f_1 und f_2 für den Fall, dass L_1=1mH ist.

(2 Punkte)

Lösung-Aufgabe 2

a) Für $\omega \rightarrow 0$ ist R_1 kurzgeschlossen.
$\underline{Z}=R_2=250\Omega$

b) $\underline{Z} = R_1 \parallel j\omega L_1 + R_2 = \dfrac{j\omega L_1 R_1}{R_1 + j\omega L_1} + R_2$

c) $\underline{Z} = \dfrac{j\omega L_1 R_1}{R_1 + j\omega L_1} + R_2 \overset{\omega \geq 0}{=} \dfrac{jR_1 L_1}{\frac{R_1}{\omega} + jL_1} + R_2 \overset{\omega\rightarrow\infty}{\Longrightarrow} \underline{Z_\infty} = R_1 + R_2$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_\infty &= R_1 + R_2 \\ R_1 &= \underline{Z}_\infty - R_2 = 1000\Omega - 250\Omega = 750\Omega \end{aligned}$$

d) Die gesuchten Frequenzen sind unabhängig von R_2. Wir setzen daher $R_2=0\Omega$

$$\underline{Z} = \frac{j\omega L_1 R_1}{R_1 + j\omega L_1} = \frac{j\omega L_1 R_1 (R_1 - j\omega L_1)}{R_1^2 + \omega^2 L_1^2} = \frac{j\omega L_1 R_1^2 + \omega^2 L_1^2 R_1}{R_1^2 + \omega^2 L_1^2}$$

Im{Z} ist maximal für Im{$\underline{Z}$}=Re{$\underline{Z}$}

$$\begin{aligned} \omega_{max} L_1 R_1^2 &= \omega_{max}^2 L_1^2 R_1 \\ R_1 &= \omega_{max} L_1 \\ \omega_{max} &= \frac{R_1}{L_1} \end{aligned}$$

Im{$\underline{Z}$} ist für diesen Fall

$$Im\{\underline{Z}\}_{max} = \frac{\frac{R_1}{L_1} L_1 R_1^2}{R_1^2 + \frac{R_1^2}{L_1^2} L_1^2} = \frac{R_1^3}{2R_1^2} = \frac{R_1}{2} = 375\Omega$$

ω für $Im\{\underline{Z}\} = \frac{1}{2}\sqrt{2} \cdot Im\{\underline{Z}\}_{max}$ ergibt sich wie folgt:

$$\begin{aligned} \frac{\omega_x L_1 R_1^2}{R_1^2 + \omega_x^2 L_1^2} &\overset{!}{=} \frac{R_1}{2} \cdot \frac{1}{2}\sqrt{2} = \frac{R_1}{2\sqrt{2}} \\ \omega_x L_1 R_1^2 &= \frac{R_1}{2\sqrt{2}} (R_1^2 + \omega_x^2 L_1^2) \\ &= \frac{R_1^3}{2\sqrt{2}} + \omega_x^2 \frac{L_1^2 R_1}{2\sqrt{2}} \\ \omega_x^2 \frac{L_1^2 R_1}{2\sqrt{2}} - \omega_x L_1 R_1^2 + \frac{R_1^3}{2\sqrt{2}} &= 0 \\ \omega_x^2 - \omega_x \frac{L_1 R_1^2 \cdot 2\sqrt{2}}{L_1^2 R_1} + \frac{R_1^3 \cdot 2\sqrt{2}}{2\sqrt{2} \cdot L_1^2 R_1} &= 0 \\ \omega_x^2 - \omega_x \frac{R_1 \cdot 2\sqrt{2}}{L_1} + \frac{R_1^2}{L_1^2} &= 0 \\ \omega_{(1,2)} &= \frac{R_1}{L_1}\sqrt{2} \pm \sqrt{\frac{R_1^2}{L_1^2} \cdot 2 - \frac{R_1^2}{L_1^2}} \\ \omega_{(1,2)} &= \frac{R_1}{L_1}\sqrt{2} \pm \frac{R_1}{L_1} = \frac{R_1}{L_1}(\sqrt{2} \pm 1) \end{aligned}$$

e)

$$\begin{aligned}
\omega_{max} &= \frac{R_1}{L_1} = \frac{750\Omega}{1\mathrm{mH}} = 0,75\mathrm{MHz} = 750\mathrm{kHz} \\
f_{max} &= \frac{\omega_{max}}{2\pi} \approx 119,36\mathrm{kHz} \\
\omega_1 &= 1,81\mathrm{MHz} \text{ bzw. } f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} \approx 0,29\mathrm{MHz} \\
\omega_2 &= 0,31\mathrm{MHz} \text{ bzw. } f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi} \approx 0,05\mathrm{MHz}
\end{aligned}$$

Aufgabe 3

Gegeben sei folgendes Netzwerk:

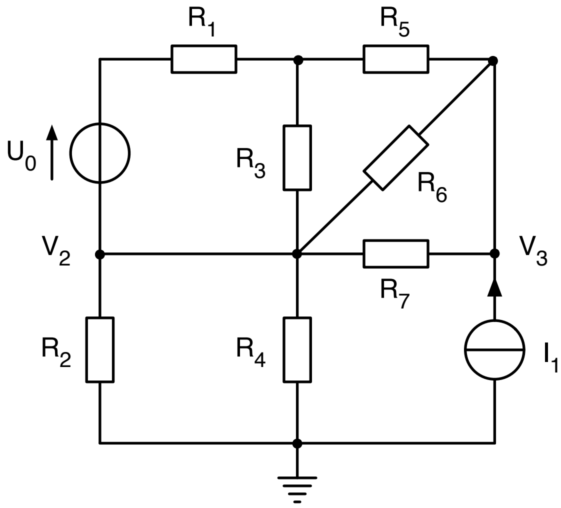


Abb. 3.1

a) Vereinfachen Sie das Netzwerk auf 3 Maschen. Formen Sie so um, dass die Voraussetzungen für das Knotenpunktpotentialverfahren (KPV) erfüllt sind. Hierbei muss R_7 erhalten bleiben (siehe Teil d)).

(4 Punkte)

b) Stellen Sie das Gleichungssystem zum Lösen des KPV auf. Benennen Sie die Knoten ausgehend von Abb. 3.1. Rechnen Sie allgemein (R_1, R_2, R_3, ...).

(2 Punkte)

c) Lösen Sie das Gleichungssystem mit Hilfe der Cramerschen Regel für folgenden Werte in Abhängkeit der Quellenströme.
$R_1=1/3\ \Omega$, $R_2=R_3=R_4=R_5=R_6=2\ \Omega$, $R_7=2/3\ \Omega$

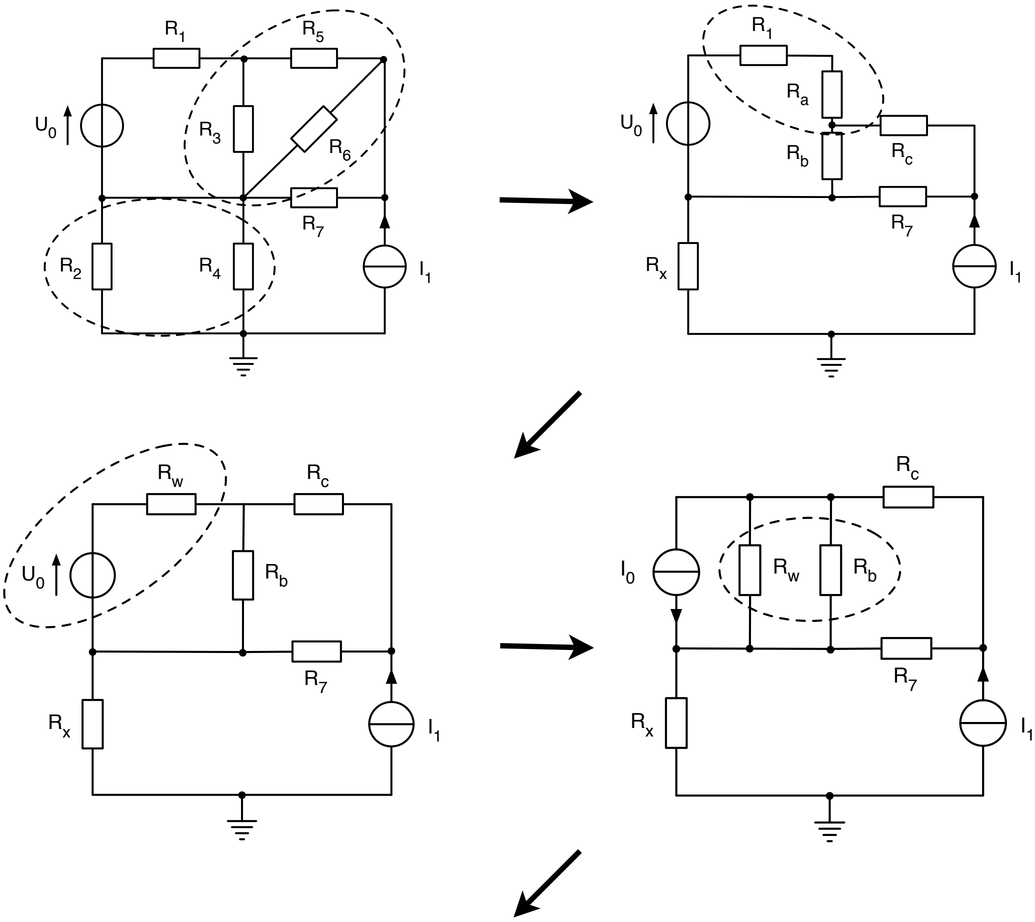
(3 Punkte)

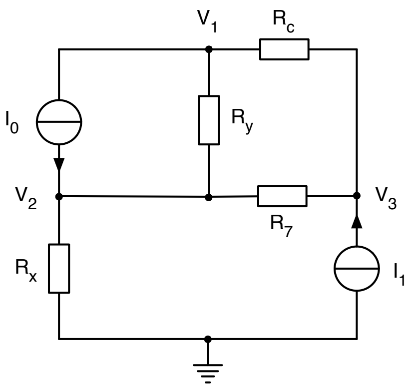
d) Wie groß ist der Strom durch R_7 als Funktion von U_0 und I_1?

(1 Punkte)

Lösung-Aufgabe 3

a)





$$R_a = \frac{R_3 R_5}{R_3 + R_5 + R_6}$$

$$R_b = \frac{R_3 R_6}{R_3 + R_5 + R_6}$$

$$R_c = \frac{R_5 R_6}{R_3 + R_5 + R_6}$$

$$R_x = R_2 \parallel R_4 = \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}$$

$$\begin{aligned} R_w &= R_1 + R_a \\ &= R_1 + \frac{R_3 R_5}{R_3 + R_5 + R_6} \end{aligned}$$

$$R_y = R_w \parallel R_b = \frac{R_w R_b}{R_w + R_b}$$

b) $$\begin{pmatrix} \frac{1}{R_c}+\frac{1}{R_y} & -\frac{1}{R_y} & -\frac{1}{R_c} \\ -\frac{1}{R_y} & \frac{1}{R_x}+\frac{1}{R_y}+\frac{1}{R}7 & -\frac{1}{R_7} \\ -\frac{1}{R_c} & -\frac{1}{R_7} & \frac{1}{R_c}+\frac{1}{R_7} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -I_0 \\ I_0 \\ I_1 \end{pmatrix}$$

c) $$\frac{1}{\Omega}\cdot \begin{pmatrix} 4 & -\frac{5}{2} & -\frac{3}{2} \\ -\frac{5}{2} & 5 & -\frac{3}{2} \\ -\frac{3}{2} & -\frac{3}{2} & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -I_0 \\ I_0 \\ I_1 \end{pmatrix}$$

$$\frac{1}{\Omega}\cdot \begin{pmatrix} 8 & -5 & -3 \\ -5 & 10 & -3 \\ -3 & -3 & 6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2I_0 \\ 2I_0 \\ 2I_1 \end{pmatrix}$$

$$D = \begin{vmatrix} 8 & -5 & -3 \\ -5 & 10 & -3 \\ -3 & -3 & 6 \end{vmatrix} = 8\begin{vmatrix} 10 & -3 \\ -3 & 6 \end{vmatrix} + 5\begin{vmatrix} -5 & -3 \\ -3 & 6 \end{vmatrix} - 3\begin{vmatrix} -5 & -3 \\ 10 & -3 \end{vmatrix} = 78$$

$$D_1 = \begin{vmatrix} -2I_0 & -5 & -3 \\ 2I_0 & 10 & -3 \\ 2I_1 & -3 & 6 \end{vmatrix} = -24I_0 + 90I_1$$

$$D_2 = \begin{vmatrix} 8 & -2I_0 & -3 \\ -5 & 2I_0 & -3 \\ -3 & 2I_1 & 6 \end{vmatrix} = 78I_1$$

$$D_3 = \begin{vmatrix} 8 & -5 & -2I_0 \\ -5 & 10 & 2I_0 \\ -3 & -3 & 2I_1 \end{vmatrix} = 110I_1 - 12I_0$$

$$\begin{aligned} V_1 = \quad & \frac{D_1}{D} \quad = \left(-\frac{4}{13}I_0 + \frac{15}{13}I_1\right)\cdot\Omega \\ V_2 = \quad & \frac{D_2}{D} \quad = I_1\cdot\Omega \\ V_3 = \quad & \frac{D_3}{D} \quad = \left(-\frac{2}{13}I_0 + \frac{55}{39}I_1\right)\cdot\Omega \end{aligned}$$

d) $$\begin{aligned} I_{R7} &= \frac{U_{R7}}{R_7} = \frac{V_2 - V_3}{R_7} = \frac{(I_1 + \frac{2}{13}I_0 - \frac{55}{39}I_1)\Omega}{R_7} = \frac{(-\frac{16}{39}I_1 + \frac{2}{13}I_0)\Omega}{\frac{2}{3}\Omega} = -\frac{8}{13}I_1 + \frac{3}{13}I_0 \\ I_0 &= \frac{U_0}{R_w} = \frac{U_0}{R_1 + R_a} = \frac{U_0}{\frac{1}{3}\Omega + \frac{2}{3}\Omega} = \frac{U_0}{1\Omega} \\ I_{R7} &= -\frac{8}{13}I_1 + \frac{3}{13}\cdot\frac{U_0}{\Omega} \end{aligned}$$

Aufgabe 4

Gegeben sei folgendes Netzwerk:

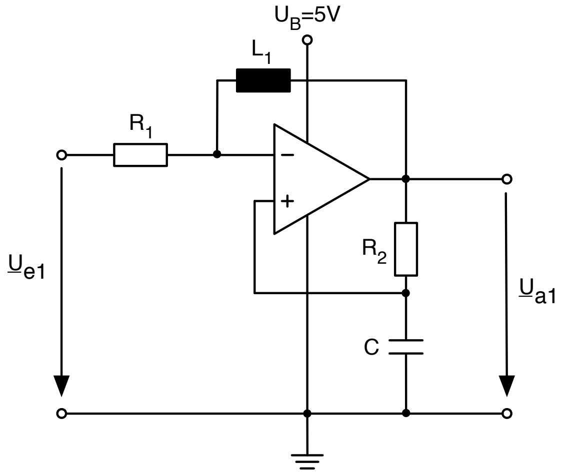


Abb. 4.1

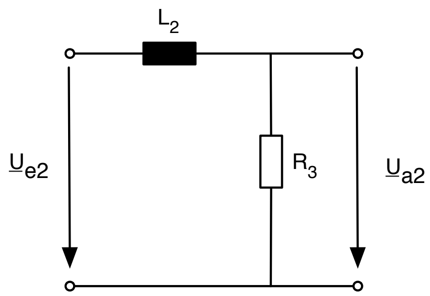


Abb. 4.2

a) Bestimmen Sie das Verhältnis $V_1 = \frac{\underline{U}_{a1}}{\underline{U}_{e1}}$ in der Form $V_1 = \frac{1+\underline{a}}{1+\underline{b}}$ (3 Punkte)

b) Zeichnen Sie das Bodediagramm der Übertragungsfunktion $\underline{V}_1=\underline{U}_{a1}/\underline{U}_{e1}$.
Verwenden Sie $C = \frac{9L_1}{10R_1R_2}$ und definieren Sie eine geeignete Normierung $\Omega_1 = \frac{\omega}{\omega_1}$.
Geben Sie dazu a_1/dB und φ_1 sowohl formelmäßig als auch grafisch an.

(5 Punkte)

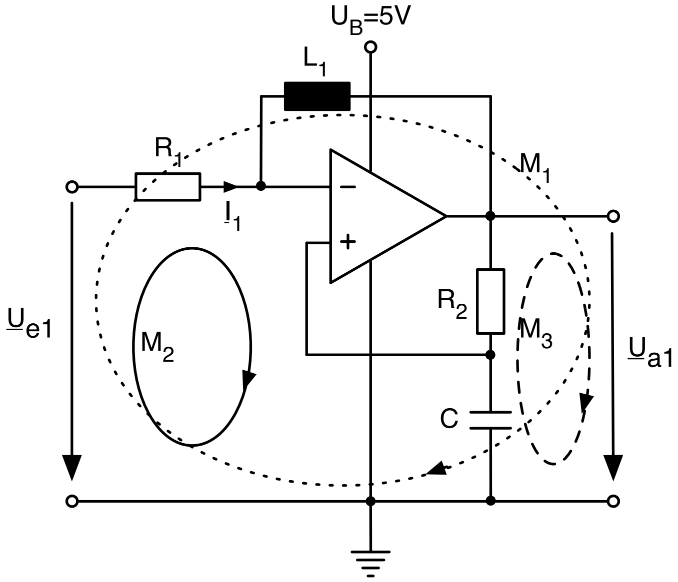
c) Bestimmen Sie nun nach dem gleichen Muster auch $V_2 = \frac{\underline{U}_{a2}}{\underline{U}_{e2}}$ und geben Sie auch hier Verstärkung und Phasenlage sowohl formelmässig als auch im Bodediagramm an.

(5 Punkte)

d) Nun seien die beiden Schaltungen über einen Impedanzwandler verbunden. Bestimmen Sie graphisch für $\omega_1=0{,}01\omega_2$ die Übertragungsfunktion der Kombination der beiden Schaltungen.

(2 Punkte)

Lösung-Aufgabe 4



a) Ansatz: Maschen aufstellen

M_1:

$$\underline{U}_{e1} = (R_1 + j\omega L_1)\underline{I}_1 + \underline{U}_{a1}$$

M_2:

$$\underline{U}_{e1} = R_1\underline{I}_1 + \underline{U}_c \qquad (1)$$

M_3:

$$\begin{aligned}\frac{\underline{U}_c}{\underline{U}_{a1}} &= \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C}} \\ \underline{U}_c &= \frac{1}{1 + j\omega C R_2}\underline{U}_{a1}\end{aligned}$$

Die Maschengleichung M_1 nach $\underline{I}_1$ auflösen:

$$\begin{aligned}\underline{I}_1(j\omega L_1 + R_1) &= \underline{U}_{e1} - \underline{U}_{a1} \\ \underline{I}_1 &= \frac{\underline{U}_{e1} - \underline{U}_{a1}}{j\omega L_1 + R_1} \qquad (2)\end{aligned}$$

$\underline{I}_1$ und M_3 in (1) einsetzen:

$$\begin{aligned}\underline{U}_{e1} &= R_1\underline{I}_1 + \underline{U}_c \\ \underline{U}_{e1} &= \frac{\underline{U}_{e1} - \underline{U}_{a1}}{R_1 + j\omega L_1}R_1 + \frac{1}{1 + j\omega C R_2}\underline{U}_{a1} \\ &= \frac{R_1}{R_1 + j\omega L_1}\underline{U}_{e1} - \frac{R_1}{R_1 + j\omega L_1}\underline{U}_{a1} + \frac{1}{1 + j\omega C R_2}\underline{U}_{a1} \\ \left(1 - \frac{R_1}{R_1 + j\omega L_1}\right)\underline{U}_{e1} &= \left(\frac{1}{1 + j\omega C R_2} - \frac{R_1}{R_1 + j\omega L_1}\right)\underline{U}_{a1} \\ \left(\frac{R_1 + j\omega L_1 - R_1}{R_1 + j\omega L_1}\right)\underline{U}_{e1} &= \frac{(R_1 + j\omega L_1) - R_1(1 + j\omega C R_2)}{(1 + j\omega C R_2)(R_1 + j\omega L_1)}\underline{U}_{a1} \\ [j\omega L_1(1 + j\omega C R_2)]\,\underline{U}_{e1} &= [R_1 + j\omega L_1 - R_1(1 + j\omega C R_2)]\,\underline{U}_{a1} \\ \frac{\underline{U}_{a1}}{\underline{U}_{e1}} &= \frac{j\omega L_1(1 + j\omega C R_2)}{R_1 + j\omega L_1 - j\omega C R_1 R_2 - R_1} \\ &= \frac{j\omega L_1(1 + j\omega C R_2)}{j\omega L_1 - j\omega C R_1 R_2} \\ &= \frac{1 + j\omega C R_2}{1 - \frac{C R_1 R_2}{L_1}}\end{aligned}$$

b) Das Einsetzen des angegebenen Wertes für C ergibt

$$
\begin{aligned}
\frac{\underline{U}_{e1}}{\underline{U}_{a1}} &= \frac{1+j\omega CR_2}{1-\frac{CR_1R_2}{L_1}} \\
&\overset{C=\frac{9L_1}{10R_1R_2}}{=} \frac{1+j\omega\frac{9L_1R_2}{10R_1R_2}}{1-\frac{9L_1R_1R_2}{10L_1R_1R_2}} = \frac{1+j\omega\frac{9L_1}{10R_1}}{\frac{1}{10}} \\
&= 10\left(1+j\omega\frac{9L_1}{10R_1}\right)
\end{aligned}
$$

Daraus folgt als sinnvolle Normierung:

$$\omega_1 = \frac{10R_1}{9L_1}$$

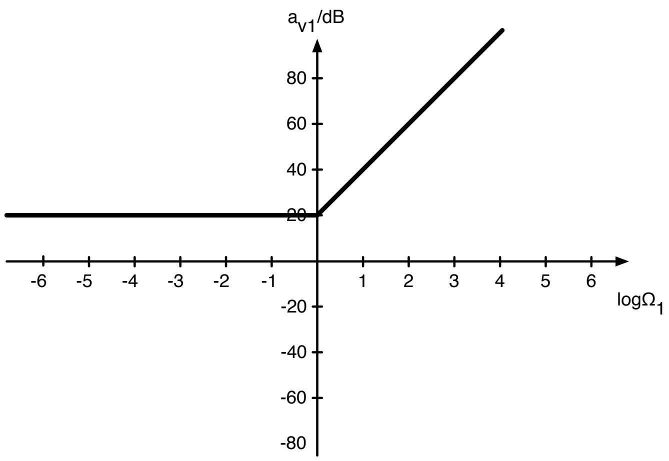
Und somit

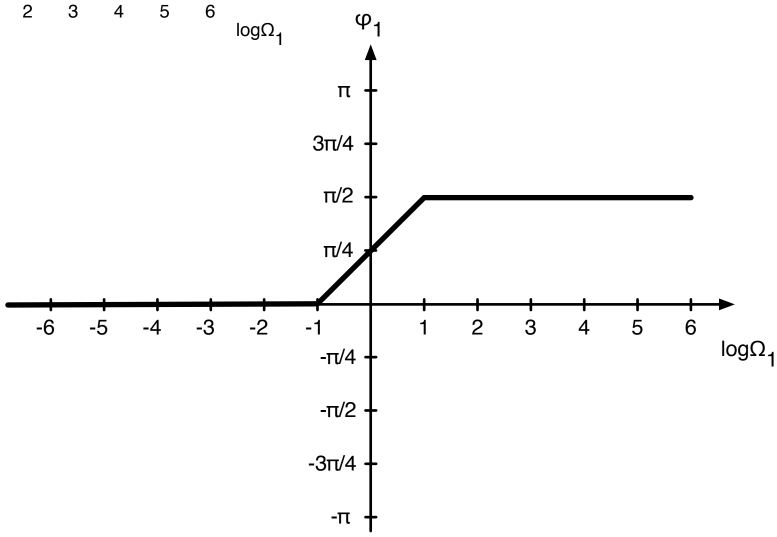
$$\underline{V}_1(\Omega_1) = \frac{\underline{U}_{a1}}{\underline{U}_{e1}} = 10(1+j\Omega_1)$$

Die Verstärkung a/dB lautet dementsprechend:

$$
\begin{aligned}
a_1/dB &= 20\log|10(1+j\Omega_1)| = 20\log 10 + 20\log\sqrt{1^2+\Omega_1^2} \\
&= 20 + 20\log\sqrt{1+\Omega_1^2}
\end{aligned}
$$

Die Phasenlage weist eine Drehung von π/2 um $\log\Omega_1=0$ auf.





c) Die Übertragungsfunktion $\underline{V}_2=\underline{U}_{a2}/\underline{U}_{e2}$ ergibt sich aus einem einfachen Spannungsteiler:

$$\underline{V}_2 = \frac{\underline{U}_{a2}}{\underline{U}_{e2}}$$

$$\frac{\underline{U}_{a2}}{\underline{U}_{e2}} = \frac{R_3}{R_3 + j\omega L_2} = \frac{1}{1 + j\omega \frac{L_2}{R_3}}$$

Als Normierung folgt dementsprechend:

$$\omega_2 = \frac{R_3}{L_2}$$

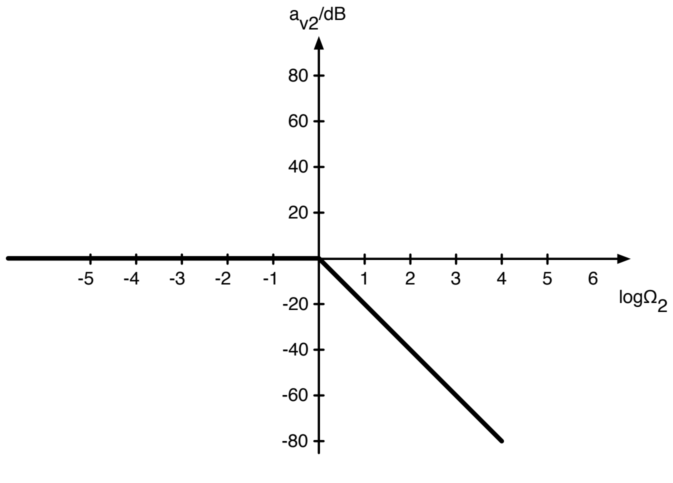
und

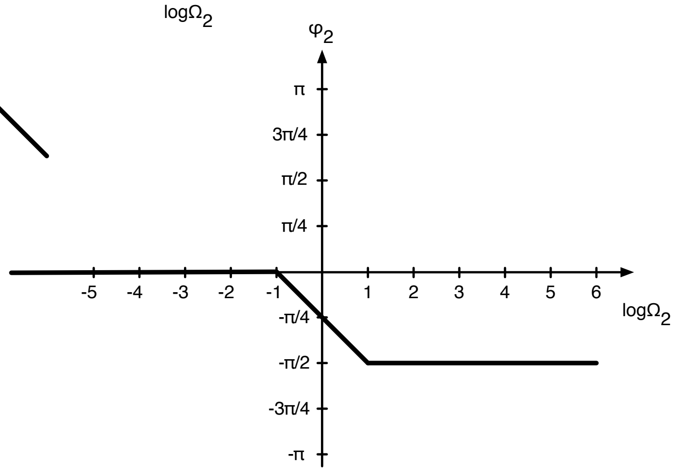
$$\underline{V}_2(\Omega_2) = \frac{\underline{U}_{a2}}{\underline{U}_{e2}} = \frac{1}{1 + j\Omega_2}$$

und damit

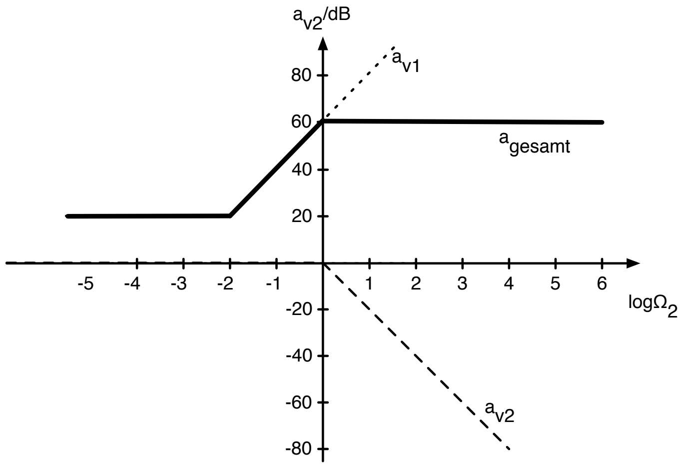
$$\begin{aligned} a_2/dB &= 20\log\left|\frac{1}{1+j\Omega_2}\right| = 20\log 1 - 20\log\sqrt{1^2+\Omega_2^2} \\ &= 0 - 20\log\sqrt{1+\Omega_2^2} = -20\log\sqrt{1+\Omega_2^2} \end{aligned}$$

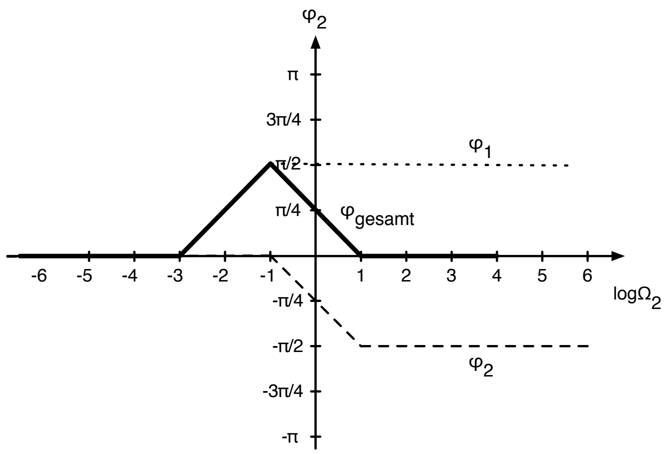
Die Phasenlage weist für $\underline{V}_2$ eine Drehung von $-\pi/2$ um $\log\Omega_2=0$ auf.





d) Die angegebene Beziehung zwischen ω_1 und ω_2 bedeutet, dass die Kurve zu Ω_1 gegenüber der zu Ω_2 um 2 nach links verschoben ist.





Begründung:

$\omega_1 = 0{,}01\ \omega_2$

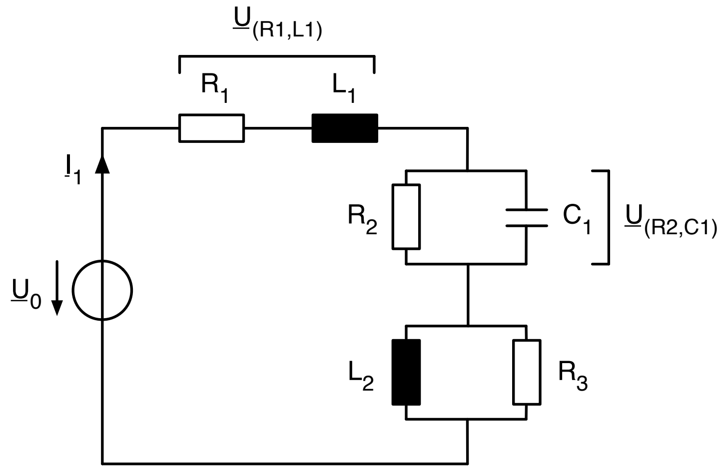
a_1/dB hat einen Knick bei ω_1. Welchen Wert nimmt Ω_2 an dieser Stelle an?

$$\Omega_2 = \frac{\omega}{\omega_2} \overset{\omega=\omega_1}{=} \frac{\omega_1}{\omega_2} = 0.01$$

$$\log \Omega_2 = -2$$

Aufgabe 5

Gegeben sei folgendes Netzwerk:



f = 0,4 kHz

R_1=1,4 Ω
R_3=4 Ω
C_1=15 μF
L_1=1,6 mH
L_2=100 mH

Abb. 5.1

a) Berechnen Sie $\underline{Z}_{C1}$ und $\underline{Z}_{L1}$.

(2 Punkte)

b) Nun sei $\underline{U}_{(R1,L1)} = 5{,}11e^{j1{,}236rad}$. Wie groß sind Real- und Imaginärteil von $\underline{I}_1$ und $\underline{U}_{L1}$? Rechnen Sie in Eulerscher Darstellung (d.h. [Amplitude]$e^{j[Phase]}$).

(2 Punkte)

c) Bestimmen Sie $\underline{U}_{L2}$ (Real- und Imaginärteil).

(1 Punkt)

d) Für die Gesamtschaltung ergibt sich eine Spannung $\underline{U}_0$ = 15.278V+j2.248V. Ermitteln Sie **grafisch** $\underline{U}_{(R2,C1)}$. Verwenden Sie dabei folgende Skala:
Im{$\underline{U}$}: 1V = 2cm
Re{$\underline{U}$}: 1V = 1cm

(3 Punkte)

e) Bestimmen Sie rechnerisch $\underline{I}_{R2}$ und $\underline{Z}_{R2}$, verwenden Sie dabei das Ergebnis aus d).

(2 Punkte)

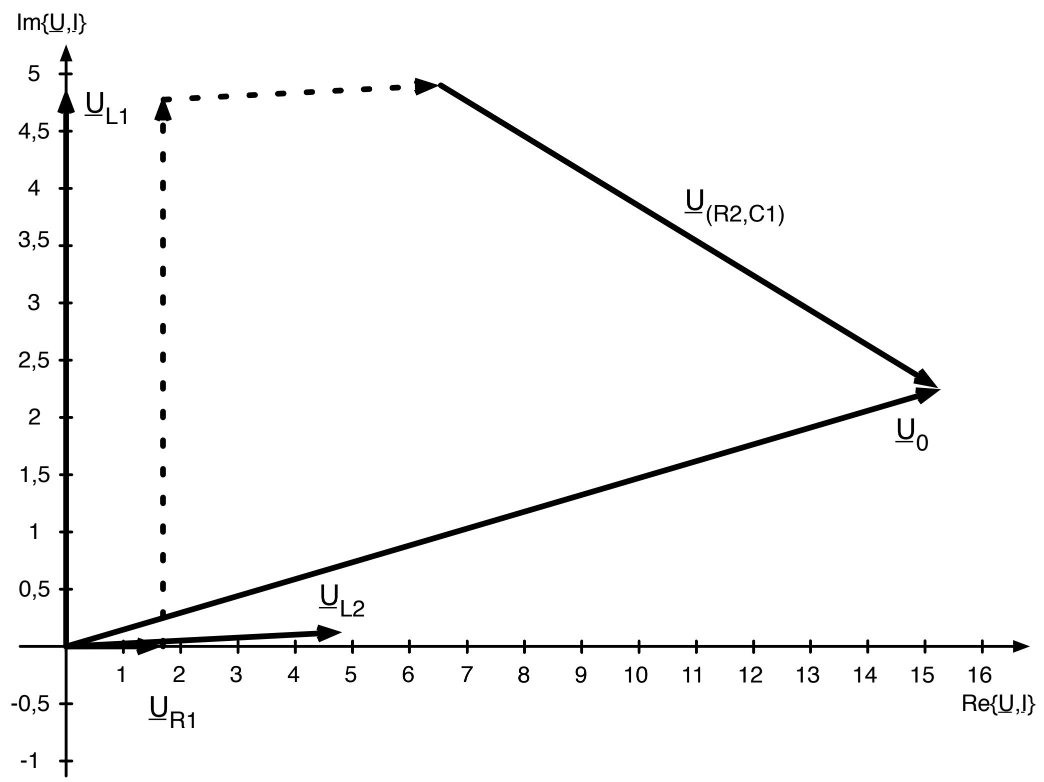
Lösung-Aufgabe 5

a)
$$\begin{aligned} \underline{Z}_{C1} &= \frac{1}{j\omega C_1} = \frac{1}{j2\pi f C_1} = \frac{1}{j2\pi \cdot 400\text{Hz} \cdot 15\mu\text{F}} \approx -j26.53\Omega \\ \underline{Z}_{L1} &= j\omega L_1 = j2\pi \cdot 400\text{Hz} \cdot 1.6\text{mH} \approx j4.02\Omega \end{aligned}$$

b)
$$\begin{aligned} \underline{U}_{R1,L1} &= (R_1 + \underline{Z}_{L1}) \cdot \underline{I}_1 \\ \underline{I}_1 &= \frac{\underline{U}_{R1,L1}}{R_1 + \underline{Z}_{L1}} \\ R_1 + \underline{Z}_{L1} &= 1.4\Omega + j4.02\Omega \\ arg\,(R_1 + \underline{Z}_{L1}) &= tan^{-1}\left(\frac{4.02}{1.4}\right) \approx 1.24\text{rad} \\ |R_1 + \underline{Z}_{L1}| &= \sqrt{1.4^2 + 4.02^2} \approx 4.26 \\ \underline{I}_1 &= \frac{5.11e^{j1.24}}{4.26e^{j1.24}} \approx 1.20e^{j0}\text{A} \longrightarrow \text{Re}\{\underline{I}_1\} = 1.20\text{A},\ \text{Im}\{\underline{I}_1\} = 0 \\ \underline{U}_{L1} &= \underline{Z}_{L1} \cdot \underline{I}_1 \approx j4.86\text{V} \longrightarrow \text{Re}\{\underline{U}_{L1}\} = 0,\ \text{Im}\{\underline{U}_{L1}\} = 4.86\text{V} \end{aligned}$$

c)
$$\begin{aligned} \underline{Z}_{L2} &= j\omega L_2 = j2\pi f L_2 = j2\pi \cdot 400\text{Hz} \cdot 100\text{mH} = j251.33\Omega \\ \underline{Z}_{L2} \parallel R_3 &= \frac{j\omega L_2 \cdot R_3}{j\omega L_2 + R_3} = 4.0\Omega + j0.06\Omega \\ \underline{U}_{L2} &= (\underline{Z}_{L2} \parallel R_3) \cdot \underline{I}_1 = 4.80\text{V} + j0.08\text{V} \end{aligned}$$

d) $\underline{U}_{(R2,C1)}$=8,8V-j2,7V



e)

$$\begin{aligned}
\underline{I}_{C1} &= \frac{\underline{U}_{C1}}{\underline{Z}_{C1}} = \frac{8.8\text{V} - j2.7\text{V}}{-j26.53\text{V}} \approx 0.10\text{A} + j0.33\text{A} \\
\underline{I}_{R2} &= \underline{I}_1 - \underline{I}_{C1} = 1.2\text{A} - 0.10\text{A} - j0.33\text{A} \approx 1.1\text{A} - j0.33\text{A} \\
\underline{Z}_{R2} &= \frac{\underline{U}_{R2}}{\underline{I}_{R2}} = \frac{8.8\text{V} - j2.7\text{V}}{1.10\text{A} - j0.33\text{A}} \approx 8\Omega
\end{aligned}$$