ulm university universität
uulm

KLAUSURDECKBLATT

Name der Prüfung: **Grundlagen der Elektrotechnik I**			
Datum und Uhrzeit:	06.03.2012 9:00	Bearbeitungszeit:	120 Minuten
Institut:	Mikroelektronik	Prüfer:	Prof. Dr.-Ing. A. Rothermel

Vom Prüfungsteilnehmer auszufüllen:

Name: ____________ Vorname: ____________

Studiengang: ____________ Abschluss: ____________

Matrikelnummer: ____________

____
Datum, Unterschrift des Prüfungsteilnehmers

Hiermit erkläre ich, dass ich prüfungsfähig bin. Sollte ich nicht auf der Liste der angemeldeten Studierenden aufgeführt sein, dann nehme ich hiermit zur Kenntnis, dass diese Prüfung nicht gewertet werden wird.

Eventuell Einverständniserklärung:
Ich bin damit einverstanden, dass das Ergebnis dieser Prüfung unter Angabe meines Pseudonyms/Codeworts etc. durch Aushang am schwarzen Brett und/oder im Internet (nicht Hochschulportal!) veröffentlicht wird.

____
Datum, Unterschrift des Prüfungsteilnehmers

Erlaubte Hilfsmittel:

- 10 DIN A4 Seiten (einseitig) selbst handgeschriebenes Manuskript (keine Kopien)
- Nicht programmierbarer Taschenrechner ohne Graphik-Display

Bitte dieses Feld für den Barcode freilassen!

Viel Erfolg!

Vom Prüfer auszufüllen:

Erreichte Punkte Aufgabe 1: _____/_____

Erreichte Punkte Aufgabe 2: _____/_____

Erreichte Punkte Aufgabe 3: _____/_____

Erreichte Punkte (Gesamt): _____/_____

Gesamtnote: ____________ ____________
Unterschrift Prüfer

Aufgabe 1:

Zunächst wird das Netzwerk nach Abbildung 1 untersucht.

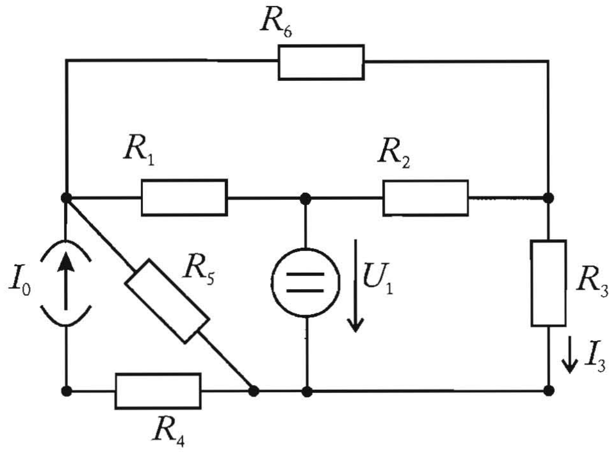


Abbildung 1

a) Zeichnen Sie den Graph des Netzwerks.

b) Zeichnen Sie 4 unterschiedliche Bäume. Ist ein Baum für die Maschenanalyse erforderlich?

c) Stellen Sie die Maschengleichungen auf und geben Sie diese in Matrixform an. (Wandeln Sie dazu Quellen um, wenn erforderlich.)

Der folgende Aufgabenteil ist ohne die Ergebnisse von a) - c) lösbar.

d) Berechnen Sie in dem Netzwerk nach Abbildung 2 den Strom I_3 durch den Widerstand R_3 mit Hilfe des Überlagerungssatzes.
(Annahme: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ und $R_5 = 2R$)

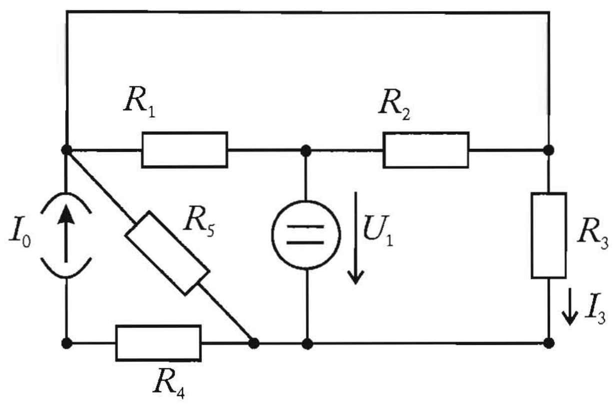


Abbildung 2

Aufgabe 2:

Für die Schaltung aus Abbildung 3 gelten folgende Werte:

$$\begin{array}{rclrcl} R_1 &=& 2\,\mathrm{k\Omega} & R_3 &=& 4\,\mathrm{k\Omega} \\ R_2 &=& 12\,\mathrm{k\Omega} & C_1 &=& 25\,\mathrm{\mu F} \end{array}$$

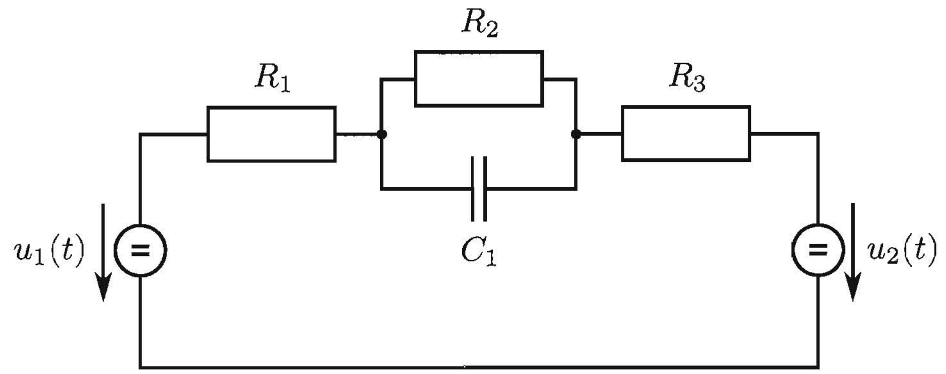


Abbildung 3

a) Berechnen Sie die aufgenommene Leistung der Widerstände R_1, R_2 und R_3 für $u_1(t) = 11$ V und $u_2(t) = 2$ V.

b) Wieviel Energie wird von den Widerständen zusammen innerhalb von zwei Minuten aufgenommen?

c) Stellen Sie die Differentialgleichung der Schaltung *(zur späteren Berechnung eines Einschaltvorgangs)* auf.

d) Berechnen Sie den Verlauf der Spannung über dem Kondensator C_1 für folgende Spannungen:

$$u_1(t) = \begin{cases} t \leq 0 & 0\,\mathrm{V} \\ t > 0 & 8\,\mathrm{V} \end{cases} \qquad u_2(t) = \begin{cases} t \leq 0 & 0\,\mathrm{V} \\ t > 0 & 2\,\mathrm{V} \end{cases}$$

e) Zeichnen Sie den Verlauf der Spannung über dem Kondensator aus Aufgabenteil d) in das Diagramm 2.1 ein.

f) Geben Sie den Verlauf der Spannung über dem Widerstand R_1 an.

Aufgabe 3:

Im folgenden sollen mehrere passive und aktive (mit idealen Operationsverstärkern) Schaltungen untersucht werden. Bringen Sie die Übertragungsfunktionen aus den Aufgabenteilen a), c), f) und h) **ohne** die Verwendung von **Doppelbrüchen** auf die Form $\frac{\underline{U}_{out}(\omega)}{\underline{U}_{in}(\omega)} = \frac{1}{\dots}$!

Betrachten Sie zunächst Abbildung 4.

a) Geben Sie die Übertragungsfunktion $\underline{H}_1(\omega) = \frac{\underline{U}_2(\omega)}{\underline{U}_1(\omega)}$ in Abhängigkeit von R und C an.

b) Berechnen Sie sowohl den Betrag $H_1(\omega) = |\underline{H}_1(\omega)|$ als auch die Phase $\varphi_1(\omega)$ der Übertragungsfunktion.

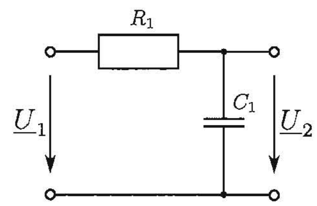


Abbildung 4

Betrachten Sie jetzt Abbildung 5.

c) Geben Sie die Übertragungsfunktion $\underline{H}_2(\omega) = \frac{\underline{U}_2(\omega)}{\underline{U}_1(\omega)}$ in Abhängigkeit von R_2, R_3 und C_3 an.

d) Berechnen Sie sowohl den Betrag $H_2(\omega) = |\underline{H}_2(\omega)|$ als auch die Phase $\varphi_2(\omega)$ der Übertragungsfunktion.

e) Wie müssen R_2, R_3 und C_3 gewählt werden, damit die Übertragungsfunktion betragsmäßig den gleichen Verlauf, wie die Funktion aus Aufgabenteil a) hat?

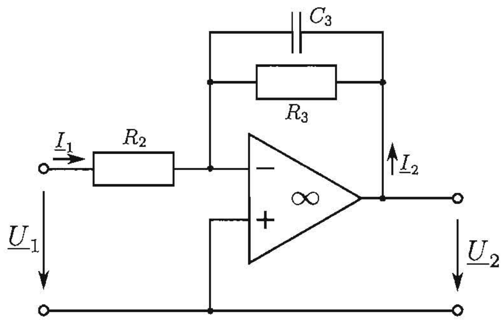


Abbildung 5

Betrachten Sie nun die Abbildung 6.

f) Geben Sie die Übertragungsfunktion $\underline{H}_3(\omega) = \frac{\underline{U}_3(\omega)}{\underline{U}_1(\omega)}$ in Abhängigkeit von R_4 und C_4 an.

g) Berechnen Sie sowohl den Betrag $H_3(\omega) = |\underline{H}_3(\omega)|$ als auch die Phase $\varphi_3(\omega)$ der Übertragungsfunktion.

h) Zeichnen Sie den Betrag und die Phase in das Diagramm 3.1, bzw. 3.2 ein.

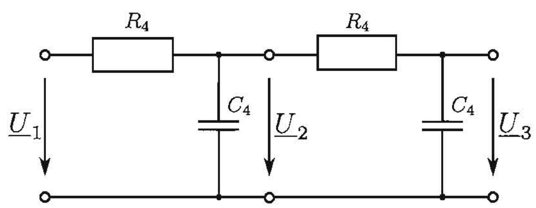


Abbildung 6

Zu Aufgabe 2:

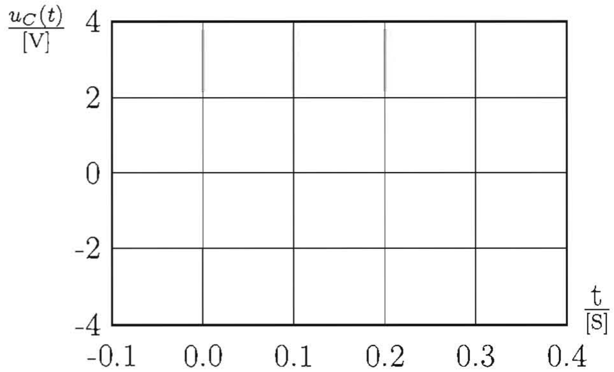


Diagramm 2.1

Zu Aufgabe 3:

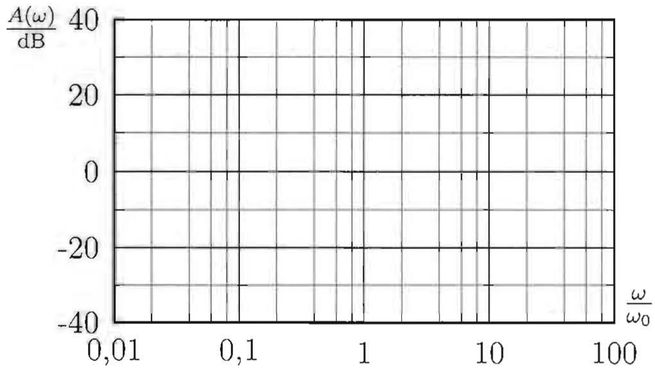


Diagramm 3.1

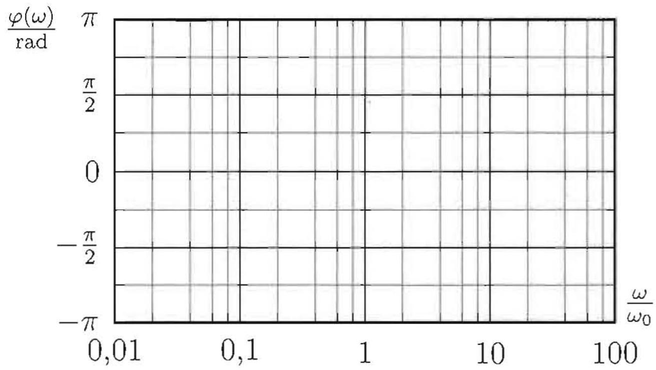
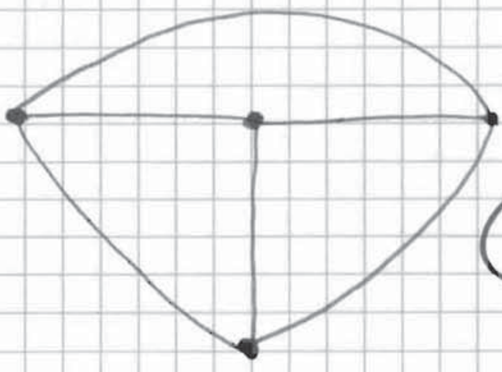


Diagramm 3.2

Lösung zur Aufgabe 1 (38) (26) 1

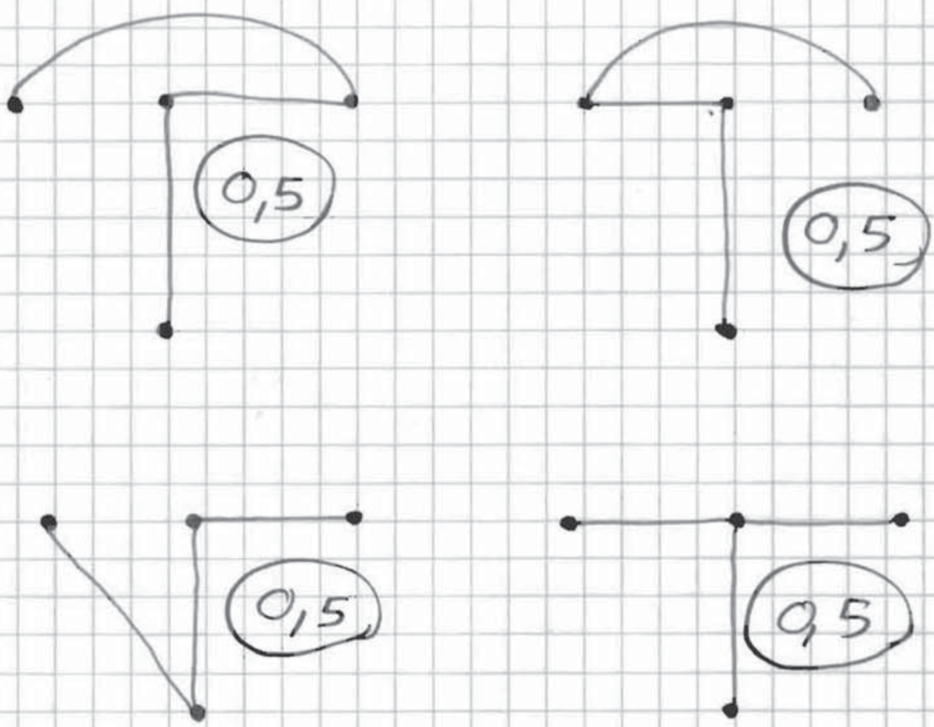
ET CSE

$\boxed{2}$ a)



(2)

$\boxed{3}$ b)

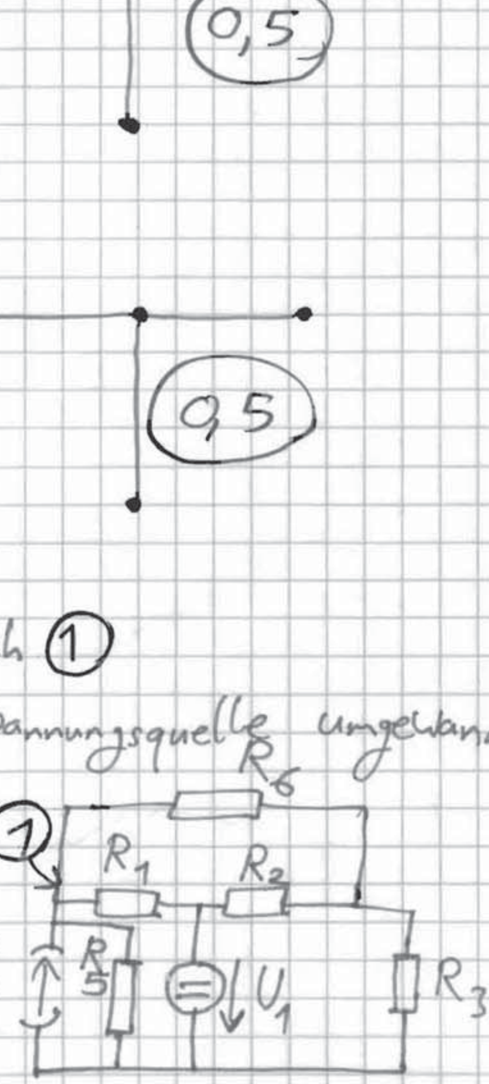


Ja. Ein Baum ist erforderlich (1)

$\boxed{10}$ c) Stromquelle muss in Spannungsquelle umgewandelt werden.

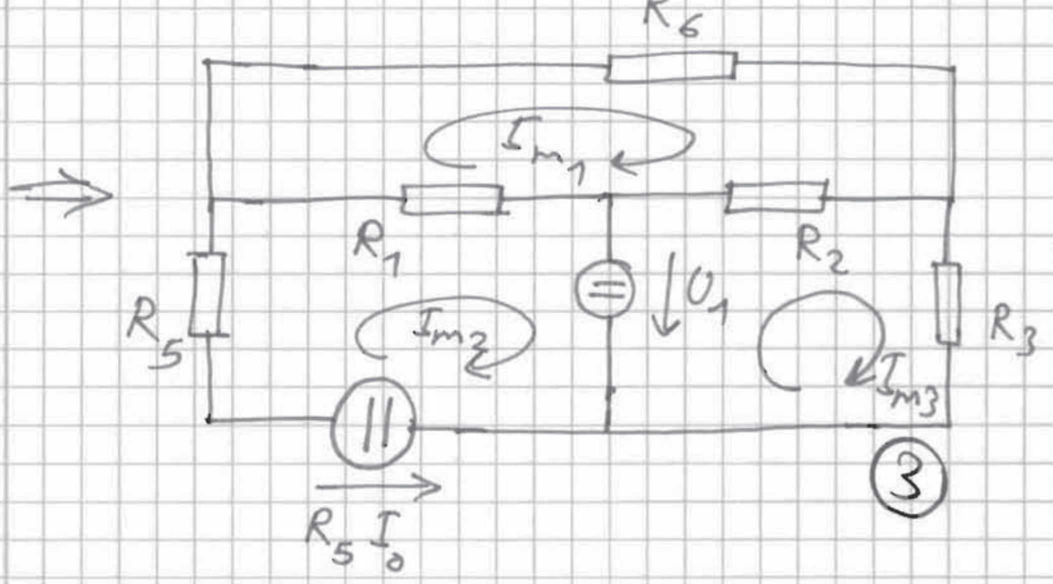
Original Schaltung $\xrightarrow{R_4 \text{ hab keinen Einfluß}}$

(1)



Lösung zur Aufgabe 1, Fort.

$\Rightarrow$



3

MR1: $R_6 I_{m_1} + R_2(I_{m_1} - I_{m_3}) + R_1(I_{m_1} - I_{m_2}) = 0$ 1

MR2: $R_1(I_{m_2} - I_{m_1}) + U_1 - R_5 I_0 + R_5 I_{m_2} = 0$ 1

MR3: $R_2(I_{m_3} - I_{m_1}) + R_3 I_{m_3} - U_1 = 0$ 1

$\Longrightarrow$

Umsortieren

$$\left\{\begin{aligned} (R_1 + R_2 + R_6) I_{m_1} - R_1 I_{m_2} - R_2 I_{m_3} &= 0 \\ -R_1 I_{m_1} + (R_1 + R_5) I_{m_2} &= R_5 I_0 - U_1 \\ -R_2 I_{m_1} + (R_2 + R_3) I_{m_3} &= U_1 \end{aligned}\right.$$

1,5

Matrixform:

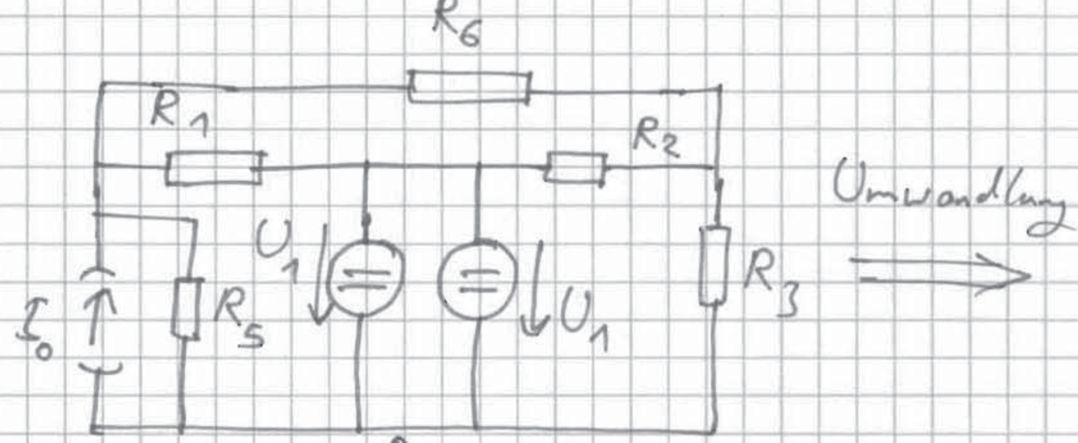
$$\begin{bmatrix} R_1 + R_2 + R_6 & -R_1 & -R_2 \\ -R_1 & R_1 + R_5 & 0 \\ -R_2 & 0 & R_2 + R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{m_1} \\ I_{m_2} \\ I_{m_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ R_5 I_0 - U_1 \\ U_1 \end{bmatrix}$$

1,5

Lösung zur Aufgabe 1: Fort.

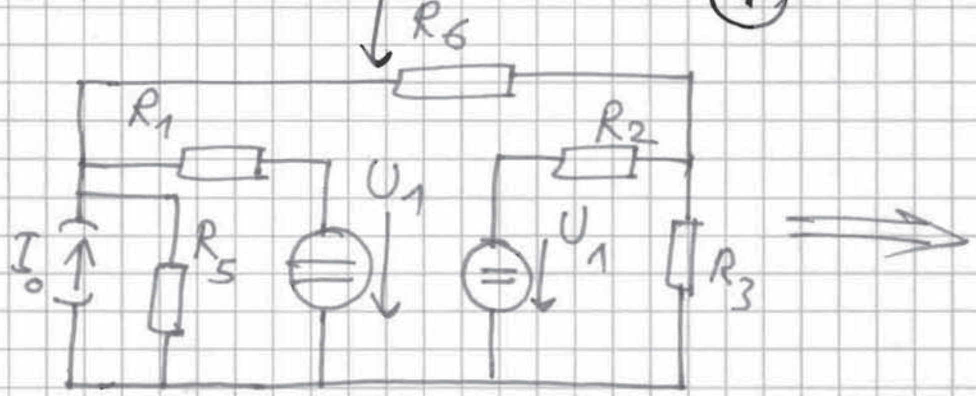
$\boxed{7}$ d) Die Spannungsquelle muss in 2 Parallele umgewandelt werden.

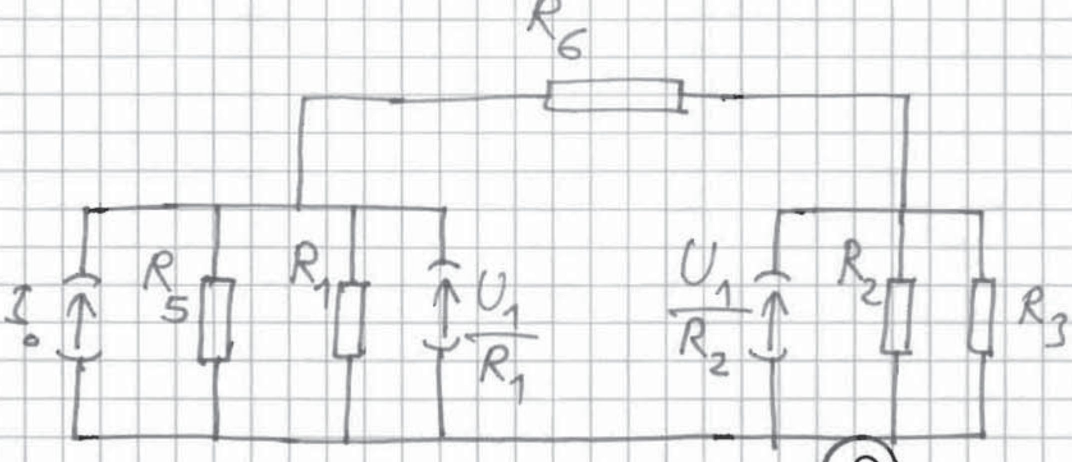
Das Netzwerk:



oder

4





3

$\boxed{5}$ e)

KR1: $G_1\varphi_1 + G_5\varphi_1 + G_6(\varphi_1 - \varphi_2) = I_0 + G_1 U_1$ (1)

KR2: $G_2\varphi_2 + G_3\varphi_2 + G_6(\varphi_2 - \varphi_1) = G_2 U_1$ (1)

$\Longrightarrow$

Umsortieren

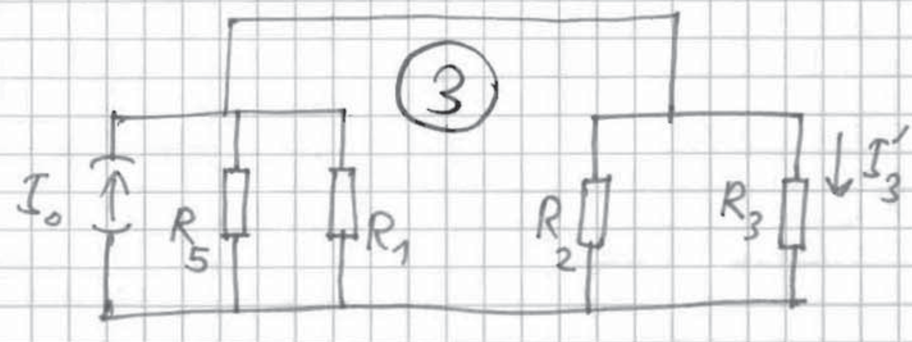
$$\left.\begin{aligned}(G_1+G_5+G_6)\varphi_1 - G_6\varphi_2 &= I_0 + G_1U_1\\ (G_2+G_3+G_6)\varphi_2 - G_6\varphi_1 &= G_2U_1\end{aligned}\right\} \to (1)$$

Matrix form:

$$\begin{bmatrix} G_1+G_5+G_6 & -G_6 \\ -G_6 & G_2+G_3+G_6 \end{bmatrix}\begin{bmatrix}\varphi_1\\ \varphi_2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_0+G_1U_1 \\ G_2U_1\end{bmatrix}$$ (2)

$\boxed{11}$ f) (Bei CSE d))

I) Spannungsquelle $=0 \Rightarrow$ Nur der Einfluß der Stromquelle:

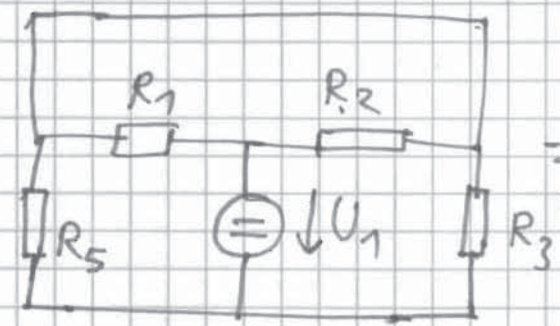


$$I_3' = \frac{(R_5 \| R_1 \| R_2)}{R_3 + (R_5\|R_1\|R_2)} I_0 = \frac{(2R\|\frac{R}{2})}{R + (2R\|\frac{R}{2})} I_0 =$$

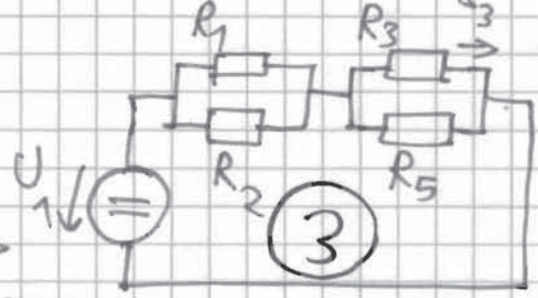
Lösung zur Aufgabe 1, Forts.

$$\frac{\frac{R^2}{\frac{5}{2}R}}{R+\frac{R^2}{\frac{5}{2}R}}\,I_0 = \frac{\frac{\cancel{R^2}}{\frac{5}{2}\cancel{R}}}{\frac{\frac{7}{2}\cancel{R^2}}{\frac{5}{2}\cancel{R}}}\,I_0 = \frac{2}{7}I_0 = 0{,}286\,I_0 \quad (2)$$

II) Stromquelle $= 0 \Rightarrow$ Nur der Einfluß der Spannungsquelle



$\Longrightarrow$ Umformen



$$U_{R_3} = \frac{(R_5 \| R_3)}{(R_1\|R_2)+(R_5\|R_3)}\,U_1 = \frac{(2R\|R)}{(R\|R)+(2R\|R)}\,U_1 =$$

$$\left(\frac{\frac{2R^2}{3R}}{\frac{R}{2}+\frac{2R^2}{3R}}\right)U_1 = \frac{4}{7}\,U_1 \quad (2)$$

$$I_3'' = \frac{\frac{4}{7}U_1}{R_3} = \frac{4}{7}\frac{U_1}{R} = 0{,}571\,\frac{U_1}{R}$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' = 0{,}286\,I_0 + 0{,}571\,\frac{U_1}{R} \quad (1)$$

Aufgabe 2:

a) Der Kondensator ist für Gleichstrom wie ein Leerlauf.

$$\begin{aligned} i(t) &= \frac{u_1(t)-u_2(t)}{R_{ges}} = \frac{u_1(t)-u_2(t)}{R_1+R_2+R_3} \\ i &= \frac{11V-2V}{2k\Omega+12k\Omega+4k\Omega} = 0.5mA && 1,0 \\ P(t) &= u(t)\cdot i(t) = R\cdot(i(t))^2 \\ \Rightarrow P_{R_1} &= 2k\Omega\cdot(0.5mA)^2 = 0.5mW && 1,0 \\ \Rightarrow P_{R_2} &= 12k\Omega\cdot(0.5mA)^2 = 3.0mW && 1,0 \\ \Rightarrow P_{R_3} &= 4k\Omega\cdot(0.5mA)^2 = 1.0mW && 1,0 \end{aligned}$$

a) /4

b)

$$W_{ges} = P_{ges}\cdot t = 3.5mW\cdot 120s = 540mJ \qquad 2,0$$

b) /2

c) Lösung über Maschenregel:

$$\begin{aligned} 0 &= u_{R_1}(t)+u_C(t)+u_{R_3}(t)+u_2(t)-u_1(t) \\ u_1(t)-u_2(t) &= R_1 i_{R_1}(t)+u_C(t)+R_3 i_{R_3}(t) \\ u_1(t)-u_2(t) &= (R_1+R_3)i_{ges}(t)+u_C(t) \\ u_1(t)-u_2(t) &= (R_1+R_3)(C_1\frac{\mathrm{d}u_c(t)}{\mathrm{d}t}+\frac{u_C(t)}{R_2})+u_C(t) \\ u_1(t)-u_2(t) &= \left(\frac{R_1+R_3}{R_2}+1\right)u_c(t)+(R_1+R_3)C_1\frac{\mathrm{d}u_c(t)}{\mathrm{d}t} \\ u_1(t)-u_2(t) &= \left(\frac{R_1+R_2+R_3}{R_2}\right)u_c(t)+(R_1+R_3)C_1\frac{\mathrm{d}u_c(t)}{\mathrm{d}t} \\ \frac{R_2}{R_1+R_2+R_3}(u_1(t)-u_2(t)) &= u_c(t)+\frac{R_1+R_3}{R_1+R_2+R_3}R_2C_1\frac{\mathrm{d}u_c(t)}{\mathrm{d}t} \\ \frac{2}{3}(u_1(t)-u_2(t)) &= u_c(t)+0.1s\frac{\mathrm{d}u_c(t)}{\mathrm{d}t} && 5,0 \end{aligned}$$

c) /5

d)

1. Schritt: Homogene Lösung (mit Ansatz $u_c(t) = Ae^{pt}$):

$$\begin{aligned} 0 &= u_c(t)+0.1s\frac{\mathrm{d}u_c(t)}{\mathrm{d}t} \\ 0 &= Ae^{pt}+0.1s\frac{\mathrm{d}Ae^{pt}}{\mathrm{d}t} \\ 0 &= Ae^{pt}(1+0.1s\cdot p) \\ \Rightarrow p &= -\frac{1}{0.1s} && 1,0 \end{aligned}$$

2. Schritt: Partikuläre Lösung ($t \to \infty \Rightarrow \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} = 0$):

$$\begin{aligned}\frac{2}{3}(u_1(t\to\infty) - u_2(t\to\infty)) &= u_c(t\to\infty) + 0.1s\frac{du_c(t\to\infty)}{dt}\\ \frac{2}{3}(8V - 2V) &= u_c(t\to\infty)\\ u_c(t\to\infty) &= 4V\end{aligned}$$

1,0

3. Schritt: Homogene + partikuläre Lösung :

$$u_c(t) = A\mathrm{e}^{-\frac{t}{0.1s}} + 4V$$

4. Schritt: Anfangsbedingung ($t \to 0$):

$$\begin{aligned}u_c(t\to 0) &= 0V = A\mathrm{e}^{-\frac{0}{0.1s}} + 4V = A + 4V\\ \Rightarrow A &= -4V\end{aligned}$$

1,0

Damit ergibt sich die Spannung zu: $u_c(t) = 4V\left(1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{0.1s}}\right)$ 1,0

d) / 4

e)

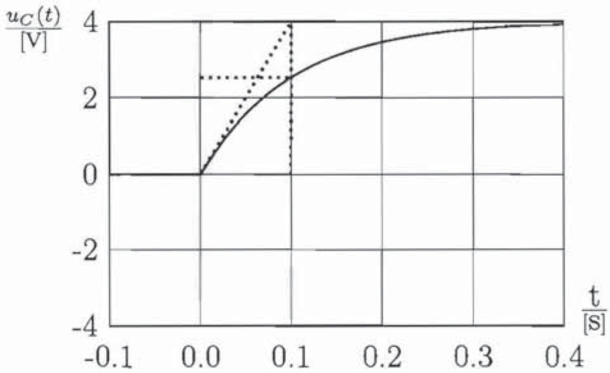


Diagramm 2.1

2,0

e) / 2

f)

$$\begin{aligned}0 &= u_{R_1}(t) + u_C(t) + u_{R_3}(t) + u_2(t) - u_1(t)\\ u_{R_1}(t) + u_{R_3}(t) &= u_1(t) - u_2(t) - u_C(t)\\ u_{R_1}(t) + u_{R_3}(t) &= 6V - 4V\left(1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{0.1s}}\right)\\ u_{R_1}(t) + u_{R_3}(t) &= 2V + 4V\mathrm{e}^{-\frac{t}{0.1s}}\end{aligned}$$

Wegen $i_{R_1} = i_{R_3}$ gilt die Spannungsteilerregel.

$$\begin{aligned}u_{R_1}(t) &= \frac{R_1}{R_1 + R_3}\left(2V + 4V\mathrm{e}^{-\frac{t}{0.1s}}\right)\\ u_{R_1}(t) &= \frac{2}{3}V + \frac{4}{3}V\mathrm{e}^{-\frac{t}{0.1s}}\end{aligned}$$

6,0

f) / 6

A_2) / 23

Aufgabe 3:

a)

$$\underline{H}_1(\omega) = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{\frac{1}{j\omega C_1}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}} = \frac{1}{1 + j\omega R_1 C_1}$$ 1,0

a) /1

b)

$$\begin{aligned} H_1(\omega) &= \left| \frac{1}{1 + j\omega R_1 C_1} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega R_1 C_1)^2}} \\ \varphi_1(\omega) &= \arctan\left\{\frac{0}{1}\right\} - \arctan\left\{\frac{\omega R_1 C_1}{1}\right\} = -\arctan\{\omega R_1 C_1\} \end{aligned}$$

0,5 0,5

b) /1

c)

$$\begin{aligned} \underline{I}_2 &= -\underline{I}_1 \\ \frac{\underline{U}_2}{\frac{R_3 \frac{1}{j\omega C_3}}{R_3 + \frac{1}{j\omega C_3}}} = \frac{\underline{U}_2}{\frac{R_3}{1 + j\omega R_3 C_3}} &= -\frac{\underline{U}_1}{R_2} \\ \underline{H}_2(\omega) = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} &= -\frac{R_3}{R_2 + j\omega R_2 R_3 C_3} = -\frac{1}{\frac{R_2}{R_3} + j\omega R_2 C_3} \end{aligned}$$

2,0

c) /2

d)

$$\begin{aligned} H_2(\omega) &= \left| \frac{1}{\frac{R_2}{R_3} + j\omega R_2 C_3} \right| = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{R_3}\right)^2 + (\omega R_2 C_3)^2}} \\ \varphi_2(\omega) &= \arctan\left\{\frac{0}{-1}\right\} - \arctan\left\{\frac{\omega R_2 C_3}{\frac{R_2}{R_3}}\right\} = \pi - \arctan\{\omega R_3 C_3\} \end{aligned}$$

0,5 1,5

d) /2

e)

$$\begin{aligned} H_2(\omega) &= H_1(\omega) \\ \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{R_3}\right)^2 + (\omega R_2 C_3)^2}} &= \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega R_1 C_1)^2}} \\ \Rightarrow R_2 &= R_3 \\ \Rightarrow R_2 C_3 &= R_1 C_1 \end{aligned}$$

1,0 2,0

e) /3

f)

$$\underline{H}_1(\omega) = \frac{\underline{U}_3}{\underline{U}_1}$$

$$\underline{U}_3 = \frac{\frac{1}{j\omega C_4}}{R_4 + \frac{1}{j\omega C_4}}\underline{U}_2$$

$$\underline{U}_3 = \frac{1}{1 + j\omega R_4 C_4}\underline{U}_2$$

1,0

$$\begin{aligned}
\underline{U}_2 &= \frac{\frac{\frac{1}{j\omega C_4}\left(R_4+\frac{1}{j\omega C4}\right)}{\frac{1}{j\omega C_4}+\left(R_4+\frac{1}{j\omega C4}\right)}}{R_4 + \frac{\frac{1}{j\omega C_4}\left(R_4+\frac{1}{j\omega C4}\right)}{\frac{1}{j\omega C_4}+\left(R_4+\frac{1}{j\omega C4}\right)}}\underline{U}_1 = \frac{\frac{\frac{1}{j\omega C_4}\left(R_4+\frac{1}{j\omega C4}\right)}{R_4+\frac{2}{j\omega C_4}}}{R_4 + \frac{\frac{1}{j\omega C_4}\left(R_4+\frac{1}{j\omega C4}\right)}{R_4+\frac{2}{j\omega C_4}}}\underline{U}_1 \\
&= \frac{\frac{1}{j\omega C_4}\left(R_4 + \frac{1}{j\omega C4}\right)}{R_4\left(R_4 + \frac{2}{j\omega C_4}\right) + \frac{1}{j\omega C_4}\left(R_4 + \frac{1}{j\omega C4}\right)}\underline{U}_1 \\
&= \frac{R_4 + \frac{1}{j\omega C4}}{j\omega R_4 C_4\left(R_4 + \frac{2}{j\omega C_4}\right) + R_4 + \frac{1}{j\omega C4}}\underline{U}_1 \\
&= \frac{1 + j\omega R_4 C_4}{1 - \omega^2 R_4^2 C_4^2 + j3\omega R_4 C_4}\underline{U}_1
\end{aligned}$$

5,0

$$\begin{aligned}
\underline{H}_3(\omega) &= \frac{\underline{U}_3}{\underline{U}_1} = \frac{1}{1 + j\omega R_4 C_4}\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{1}{1 + j\omega R_4 C_4}\frac{1 + j\omega R_4 C_4}{1 - \omega^2 R_4^2 C_4^2 + j3\omega R_4 C_4}\frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_1} \\
&= \frac{1}{1 - \omega^2 R_4^2 C_4^2 + j3\omega R_4 C_4}
\end{aligned}$$

2,0

f) /8

g)

$$\begin{aligned}
H_3(\omega) &= \left|\frac{1}{1 - \omega^2 R_4^2 C_4^2 + j3\omega R_4 C_4}\right| = \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2 R_4^2 C_4^2)^2 + (3\omega R_4 C_4)^2}} \\
&= \frac{1}{\sqrt{\omega^4 R_4^4 C_4^4 + 7\omega^2 R_4^2 C_4^2 + 1}}
\end{aligned}$$

1,0

$$\begin{aligned}
\varphi_3(\omega) &= \arctan\left(\frac{0}{1}\right) - \arctan\left(\frac{3\omega R_4 C_4}{1 - \omega^2 R_4^2 C_4^2}\right) \\
&= \begin{cases} \text{wenn} \quad \omega \leq \frac{1}{R_4 C_4} \quad \text{dann:} & -\arctan\left(\frac{3\omega R_4 C_4}{1-\omega^2 R_4^2 C_4^2}\right) \\ \text{wenn} \quad \omega > \frac{1}{R_4 C_4} \quad \text{dann:} & -\pi - \arctan\left(\frac{3\omega R_4 C_4}{1-\omega^2 R_4^2 C_4^2}\right) \end{cases}
\end{aligned}$$

2,0
2,0

g) /5

h) (Nur für CSE'ler)

$$
\begin{aligned}
H_3(\omega)|_{\omega\to 0} &= 1 \Rightarrow 20\text{dB}\log_{10}(H_3(\omega))|_{\omega\to 0} &&= 0\text{dB} \qquad 0{,}5\\
H_3(\omega)|_{\omega\to\infty} &\approx \tfrac{1}{\omega^2} \Rightarrow 20\text{dB}\log_{10}(H_3(\omega))|_{\omega\to\infty} &&= -40\frac{\text{dB}}{\text{Dekade}} \qquad 0{,}5\\
H_3(\omega)|_{\omega=\omega_0} &= \tfrac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow 20\text{dB}\log_{10}(H_3(\omega))|_{\omega=\omega_0} &&= -3\text{dB}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\varphi_3(\omega)|_{\omega\to 0} &= 0 \qquad 0{,}5\\
\varphi_3(\omega)|_{\omega\to\infty} &= -\pi \qquad 0{,}5\\
\varphi_3(\omega)|_{\omega=\omega_0} &= -\tfrac{\pi}{2}
\end{aligned}
$$

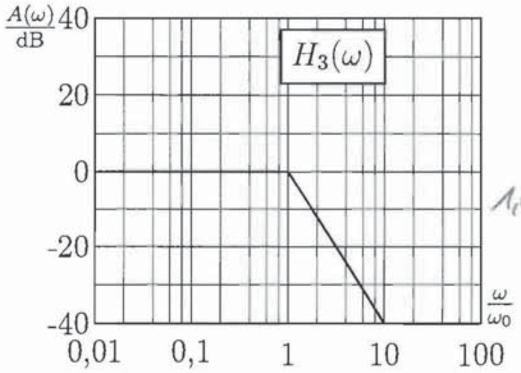


Diagramm 3.1

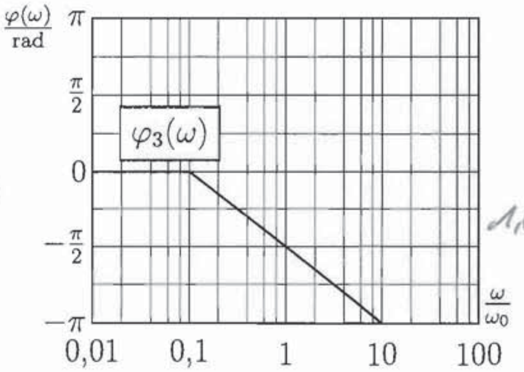


Diagramm 3.2

h(CSE) /4

A_3(CSE) /26

h) (Für alle außer CSE'ler)

$$
\begin{aligned}
\underline{I}_2 &= -\underline{I}_1\\
\frac{\underline{U}_2^|}{\frac{R_6\frac{1}{j\omega C_6}}{R_6+\frac{1}{j\omega C_6}}} = \frac{\underline{U}_2^|}{\frac{R_6}{1+j\omega R_6 C_6}} &= -\frac{\underline{U}_1}{R_5}\\
\underline{U}_2^| &= -\frac{R_6}{R_5}\frac{1}{1+j\omega R_6 C_6}\underline{U}_1 \qquad 1{,}0
\end{aligned}
$$

$$
\underline{U}_2 = \frac{\frac{1}{j\omega C_6}}{R_6+\frac{1}{j\omega C_6}}\underline{U}_2^| = \frac{1}{1+j\omega R_6 C_6}\underline{U}_2^| \qquad 1{,}0
$$

$$
\begin{aligned}
\underline{H}_4(\omega) = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} &= \frac{1}{1+j\omega R_6 C_6}\frac{\underline{U}_2^|}{\underline{U}_1} = -\frac{R_6}{R_5}\left(\frac{1}{1+j\omega R_6 C_6}\right)\left(\frac{1}{1+j\omega R_6 C_6}\right)\frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_1}\\
&= -\frac{R_6}{R_5}\frac{1}{(1+j\omega R_6 C_6)^2} = -\frac{1}{\frac{R_5}{R_6}-\omega^2 R_5 R_6 C_6^2 + j2\omega R_5 C_6} \qquad 2{,}0
\end{aligned}
$$

h) /4

i)

$$\begin{aligned}
H_4(\omega) &= \left|-\frac{1}{\frac{R_5}{R_6}-\omega^2 R_5 R_6 C_6^2 + j2\omega R_5 C_6}\right| = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{R_5}{R_6}-\omega^2 R_5 R_6 C_6^2\right)^2 + (2\omega R_5 C_6)^2}} \\
&= \frac{1}{\sqrt{\omega^4 R_5^2 R_6^2 C_6^4 + 2\omega^2 R_5^2 C_6^2 + \left(\frac{R_5}{R_6}\right)^2}} = \frac{1}{\frac{R_5}{R_6}+\omega^2 R_5 R_6 C_6^2} = \frac{R_6}{R_5}\frac{1}{1+\omega^2 R_6^2 C_6^2} \quad 1{,}0 \\
\varphi_4(\omega) &= \arctan\left(\frac{0}{-1}\right) - \arctan\left(\frac{2\omega R_5 C_6}{\frac{R_5}{R_6}-\omega^2 R_5 R_6 C_6^2}\right) = \pi - \arctan\left(\frac{2\omega R_6 C_6}{1-\omega^2 R_6^2 C_6^2}\right) \\
&= \begin{cases} \text{wenn} \quad \omega \leq \frac{1}{R_6 C_6} \quad \text{dann:} \quad \pi - \arctan\left(\frac{2\omega R_6 C_6}{1-\omega^2 R_6^2 C_6^2}\right) & 2{,}0 \\ \text{wenn} \quad \omega > \frac{1}{R_6 C_6} \quad \text{dann:} \quad -\arctan\left(\frac{2\omega R_6 C_6}{1-\omega^2 R_6^2 C_6^2}\right) & 2{,}0 \end{cases}
\end{aligned}$$

i) /5

j)

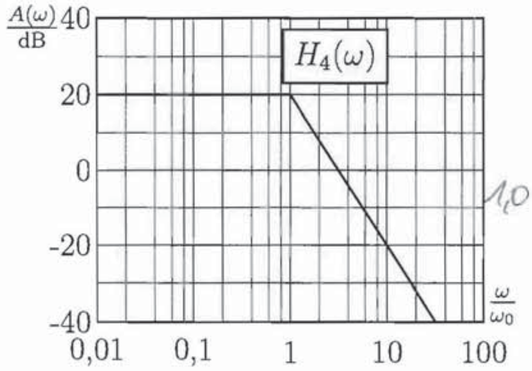
$$\begin{aligned}
20\text{dB}\log_{10}\left(H_4(\omega\to 0)\right) &= 20\text{dB} \\
\log_{10}\left(H_4(\omega\to 0)\right) &= 1 \\
H_4(\omega\to 0) &= 10 \\
\left.\frac{R_6}{R_5}\frac{1}{1+\omega^2 R_6^2 C_6^2}\right|_{\omega\to 0} &= 10 \\
\frac{R_6}{R_5} &= 10 \\
\Rightarrow R_5 &= \frac{R_6}{10} \quad 2{,}0
\end{aligned}$$

j) /2

k)

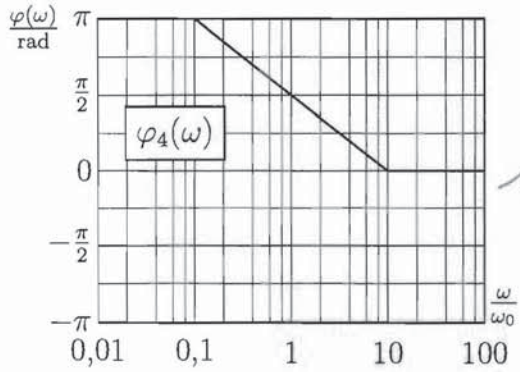
$$\begin{aligned}
H_4(\omega)|_{\omega\to 0} &= 1 \Rightarrow 20\text{dB}\log_{10}\left(H_3(\omega)\right)|_{\omega\to 0} = 0\text{dB} \quad 0{,}5 \\
H_4(\omega)|_{\omega\to \infty} &\approx \frac{1}{\omega^2} \Rightarrow 20\text{dB}\log_{10}\left(H_3(\omega)\right)|_{\omega\to \infty} = -40\frac{\text{dB}}{\text{Dekade}} \quad 0{,}5 \\
H_4(\omega)|_{\omega=\omega_0} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow 20\text{dB}\log_{10}\left(H_3(\omega)\right)|_{\omega=\omega_0} = -3\text{dB}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varphi_4(\omega)|_{\omega\to 0} &= \pi \quad 0{,}5 \\
\varphi_4(\omega)|_{\omega\to \infty} &= 0 \quad 0{,}5 \\
\varphi_4(\omega)|_{\omega=\omega_0} &= \frac{\pi}{2}
\end{aligned}$$



1,0

Diagramm 3.1



1,0

Diagramm 3.2

k) /4

l)

$$\underline{P}_{R_i} = \frac{\underline{U}_{R_i}\underline{I}^*_{R_i}}{2} = \frac{1}{2R_i}\underline{U}_{R_i}\underline{U}^*_{R_i} = \frac{1}{2R_i}\hat{U}^2_{R_i}$$

$$\underline{P}_{R_5} = \tfrac{1}{2R}\hat{U}^2_{R_5} = \tfrac{1}{2R}\underline{U}_1\underline{U}_1^* = \frac{1}{2R}\hat{U}_1^2$$ 1,0

$$\underline{P}_{R_{6.1}} = \tfrac{1}{2R}\hat{U}^2_{R_{6.1}} = \tfrac{1}{2R}\underline{U}_2^{|}\underline{U}_2^{|*} = -\frac{1}{R}\frac{\underline{U}_1}{1+j\omega RC}\left(-\frac{\underline{U}_1}{1+j\omega RC}\right)^*$$
$$= \tfrac{1}{R}\tfrac{\underline{U}_1}{1+j\omega RC}\tfrac{\underline{U}_1^*}{1-j\omega RC} = \frac{1}{2R+2\omega^2R^3C^2}\hat{U}_1^2$$ 2,0

$$\underline{P}_{R_{6.2}} = \frac{1}{2R}\hat{U}^2_{R_{6.2}} = \frac{1}{2R}\underline{U}_2\underline{U}_2^*$$
$$= -\frac{1}{2R}\frac{\underline{U}_1}{1-\omega^2R^2C^2+j2\omega RC}\left(-\frac{\underline{U}_1}{1-\omega^2R^2C^2+j2\omega RC}\right)^*$$
$$= \frac{1}{2R}\frac{\underline{U}_1}{1-\omega^2R^2C^2+j2\omega RC}\frac{\underline{U}_1^*}{1-\omega^2R^2C^2-j2\omega RC}$$
$$= \frac{1}{2R}\frac{\hat{U}_1^2}{(1-\omega^2R^2C^2)^2+4\omega^2R^2C^2} = \frac{1}{2R\,(\omega^2R^2C^2+1)^2}\hat{U}_1^2$$ 3,0

l) /6

A_3 /43