Berner Fachhochschule BFH
Hochschule für Technik und Informatik HTI
Fachbereich Elektro- und Kommunikationstechnik EKT

Elektrotechnik Grundlagen

Kurs 2

Kapitel 4

Übungen und Lösungen

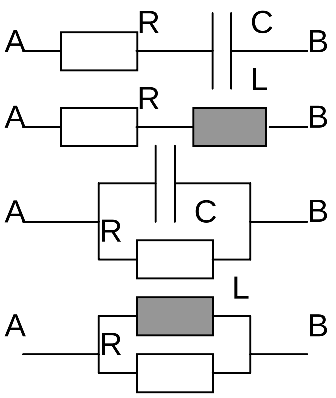
2005
Kurt Steudler

(\Modul_ET2_Kap_03.doc)

1 Übungen und Lösungen

1.1 Übungen

1. EINTORE



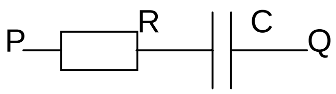
Suchen Sie das Impedanzverhalten $\frac{Z_{AB}}{R}$ für die vier dargestellten Eintore mit den Normierungen $\Omega = \omega \cdot RC$ beziehungsweise $\Omega = \omega \cdot \frac{L}{R}$.

Stellen Sie das Impedanzverhalten (Betrag) auf doppeltlogarithmischem Papier dar.

Stellen Sie das Winkelverhalten (Phase) $\varphi(\omega)$ auf einfachlogarithmischem Papier dar.

---

2. EINTOR



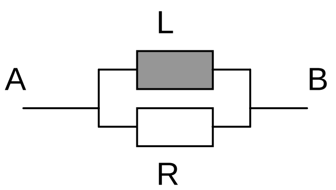
Es sind R = 56 kΩ und C = 22 nF.

Bei welcher Frequenz f wird $|Z_{PQ}|$ = 100 kΩ ?

Wie gross wird φ an dieser Stelle ?

---

3. EINTOR



Gegeben sei die nebenstehende Parallelschaltung mit R = 2,7 kΩ und L = 16 mH.

a) Wie gross wird die Impedanz $|Z_{AB}|$ bei einer Frequenz von f_1 = 12 kHz ?

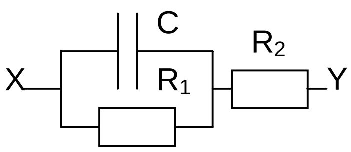
b) Wie gross wird der Phasenwinkel φ_1 an dieser Stelle ? Zeigerdarstellung ?

c) Bei welcher Frequenz f_2 wird $|Z_{AB}| = \frac{R}{\sqrt{2}}$?

d) Wie gross wird φ_2 in c) ?

---

4. EINTOR



Gegeben sei die nebenstehende Schaltung mit R_1 = 33 kΩ, C = 8,2 nF und $R_2 = k \cdot R_1$.

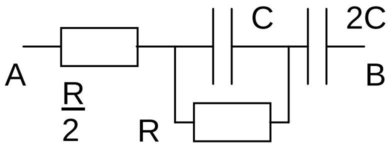
a) Wie gross wird die Impedanz $|Z_{XY}|$ bei einer Frequenz von f_1 = 800 Hz und aa) k = 1, ab) k = 0,1, ac) k = 10 ?

b) Wie gross wird der Phasenwinkel φ_1 an diesen Stellen k_i ? Zeigerdarstellungen ?

c) Stellen Sie das Impedanzverhalten $|Z_{XY}|(\Omega)$ mit $\Omega = \omega \cdot R_1 C$ grafisch dar.

---

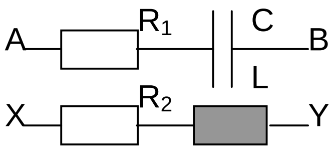
5. EINTOR



Wie gross werden die Impedanz $|Z_{AB}|_1$ und der Phasenwinkel φ_1 ?
$R = 39\ \text{k}\Omega$, $C = 1{,}8\ \text{nF}$, $f_1 = 2{,}3\ \text{kHz}$
Für welche Frequenz f_2 wird $|Z_{AB}|_2 = 47\ \text{k}\Omega$ gross ? Phasenwinkel φ_2 ?

---

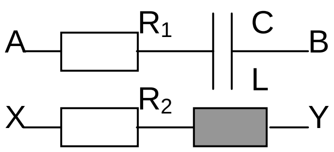
6. EINTORE



$R_1 = 100\ \Omega$, $C = 10\ \text{nF}$
$R_2 = 220\ \Omega$, $L = 300\ \mu\text{H}$, $\omega = 1{,}6\ 10^5\ \text{s}^{-1}$
Bestimmen Sie die beiden Impedanzen Z_{AB} und Z_{XY} formal und in Zahlen.
Geben Sie die Zeigerdarstellungen an für Z_{AB}, Z_{XY} und $Z_{AB} + Z_{XY}$.
Welchen Wert haben der Betrag und der Winkel von $Z_{AB} + Z_{XY}$?

---

7. EINTORE

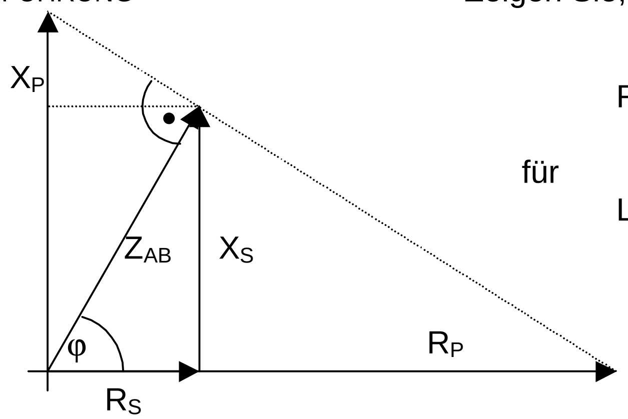


$R_1 = 270\ \Omega$, $C = 12\ \text{nF}$
$R_2 = 120\ \Omega$, $L = 500\ \mu\text{H}$, $f = 120\ \text{kHz}$
Bestimmen Sie die beiden Impedanzen Z_{AB} und Z_{XY} formal und in Zahlen.
Geben Sie die Zeigerdarstellungen an für Z_{AB}, Z_{XY} und Z_{AB} // Z_{XY} (Parallelschaltung).
Welchen Wert haben der Betrag und der Winkel von Z_{AB} // Z_{XY} ?

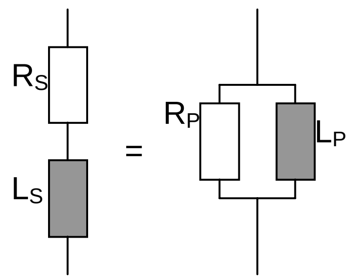
---

8. BEWEISFÜHRUNG

Zeigen Sie, dass gilt

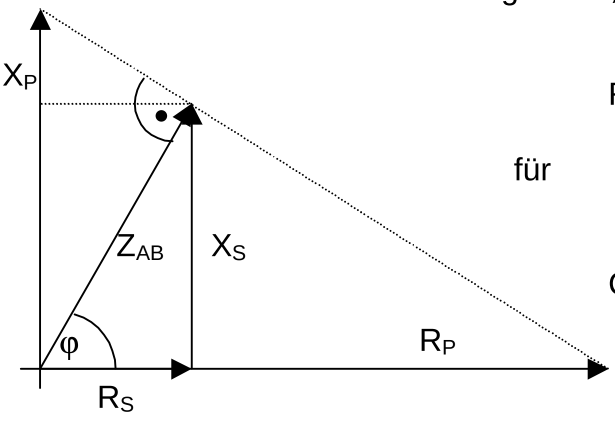


für



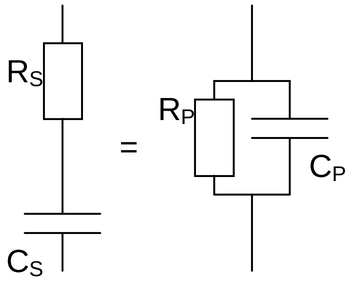
---

9. BEWEISFÜHRUNG



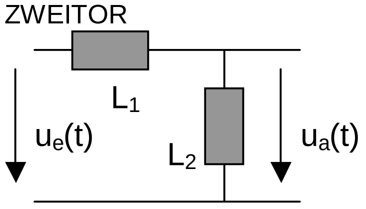
Zeigen Sie, dass gilt

für



---

10. ZWEITOR

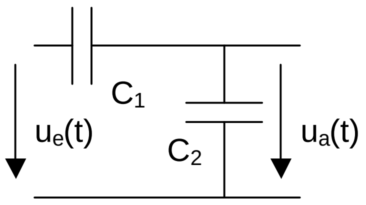


$u_e(t) = \hat{u} \sin(\omega t - \pi/6)$
$L_1 = 200\ \mu H$, $L_2 = 400\ \mu H$

Bestimmen Sie $u_a(t)$.

---

11. ZWEITOR

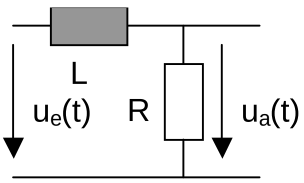


$u_e(t) = \hat{u} \sin(\omega t - \pi/4)$
$C_1 = 20$ nF, $C_2 = 40$ nF

Bestimmen Sie $u_a(t)$.

---

12. ZWEITOR



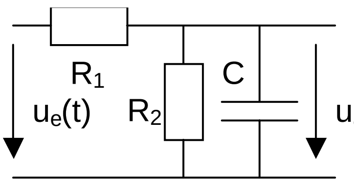
Bestimmen Sie

$\frac{u_a}{u_e}(\Omega)$ $\left|\frac{u_a}{u_e}\right|(\Omega)$ $\varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$

mit $\Omega = \omega \frac{L}{R}$.

Stellen Sie $20 \cdot \lg\left(\left|\frac{u_a}{u_e}\right|\right) = dB_{\left|\frac{u_a}{u_e}\right|}$ und $\varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$ grafisch dar (einfachlogarithmisches Papier).
Bestimmen Sie die Eckfrequenz Ω_{Eck} und Ω_0 für $|\varphi| = \pi/4$.

13. ZWEITOR



Bestimmen Sie

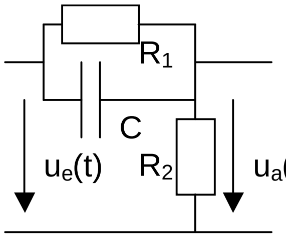
$\frac{u_a}{u_e}(\Omega)$ $\left|\frac{u_a}{u_e}\right|(\Omega)$ $\varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$

mit $\Omega = \omega R_1 C$ und $k = \frac{R_2}{R_1}$.

Stellen Sie $20 \cdot \lg\left(\left|\frac{u_a}{u_e}\right|\right) = dB_{\left|\frac{u_a}{u_e}\right|}$ und $\varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$ grafisch dar (einfachlogarithmisches Papier).

Bestimmen Sie die Eckfrequenz Ω_{Eck} und Ω_0 für $|\varphi| = \pi/4$.

14. ZWEITOR



Bestimmen Sie

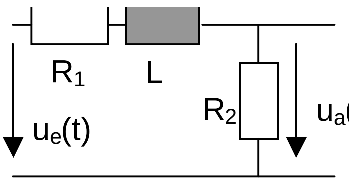
$\frac{u_a}{u_e}(\Omega)$ $\left|\frac{u_a}{u_e}\right|(\Omega)$ $\varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$

mit $\Omega = \omega R_2 C$ und $k = \frac{R_1}{R_2}$.

Stellen Sie $20 \cdot \lg\left(\left|\frac{u_a}{u_e}\right|\right) = dB_{\left|\frac{u_a}{u_e}\right|}$ und $\varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$ grafisch dar (einfachlogarithmisches Papier).

Bestimmen Sie die Eckfrequenz Ω_{Eck} und Ω_0 für $|\varphi| = \pi/4$.

15. ZWEITOR



Bestimmen Sie

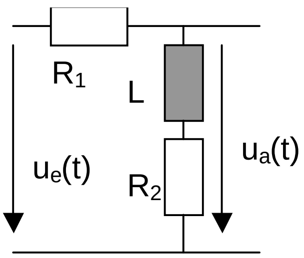
$\frac{u_a}{u_e}(\Omega)$ $\left|\frac{u_a}{u_e}\right|(\Omega)$ $\varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$

mit $\Omega = \omega \frac{L}{R_2}$ und $k = \frac{R_1}{R_2}$.

Stellen Sie $20 \cdot \lg\left(\left|\frac{u_a}{u_e}\right|\right) = dB_{\left|\frac{u_a}{u_e}\right|}$ und $\varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$ grafisch dar (einfachlogarithmisches Papier).

Bestimmen Sie die Eckfrequenz Ω_{Eck} und Ω_0 für $|\varphi| = \pi/4$.

16. ZWEITOR



Bestimmen Sie

$\frac{u_a}{u_e}(\Omega)$ $\qquad \left|\frac{u_a}{u_e}\right|(\Omega)$ $\qquad \varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$

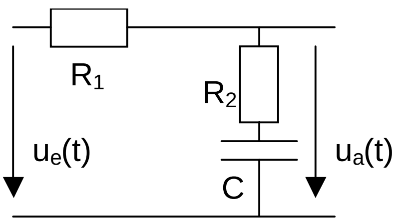
mit $\Omega = \omega\frac{L}{R_1}$ und $k = \frac{R_2}{R_1}$.

Stellen Sie $20 \cdot \lg\left(\left|\frac{u_a}{u_e}\right|\right) = dB_{\left|\frac{u_a}{u_e}\right|}$ und $\varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$ grafisch dar (einfachlogarithmisches Papier).

Bestimmen Sie die Eckfrequenz Ω_{Eck} und Ω_0 für $|\varphi| = \pi/4$.

---

17. ZWEITOR



Bestimmen Sie

$\frac{u_a}{u_e}(\Omega)$ $\qquad \left|\frac{u_a}{u_e}\right|(\Omega)$ $\qquad \varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$

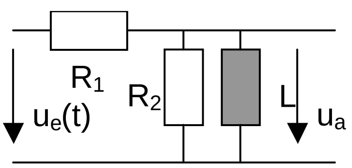
mit $\Omega = \omega R_1 C$ und $k = \frac{R_2}{R_1}$.

Stellen Sie $20 \cdot \lg\left(\left|\frac{u_a}{u_e}\right|\right) = dB_{\left|\frac{u_a}{u_e}\right|}$ und $\varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$ grafisch dar (einfachlogarithmisches Papier).

Bestimmen Sie die Eckfrequenzen Ω_{Eck} und Ω_0 für $|\varphi| = \pi/4$.

---

18. ZWEITOR



Bestimmen Sie

$\frac{u_a}{u_e}(\Omega)$ $\qquad \left|\frac{u_a}{u_e}\right|(\Omega)$ $\qquad \varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$

mit $\Omega = \omega\frac{L}{R_1}$ und $k = \frac{R_2}{R_1}$.

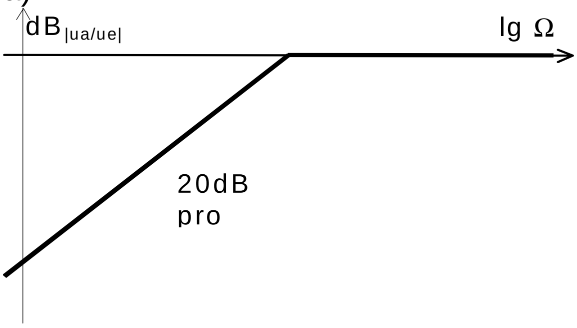
Stellen Sie $20 \cdot \lg\left(\left|\frac{u_a}{u_e}\right|\right) = dB_{\left|\frac{u_a}{u_e}\right|}$ und $\varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$ grafisch dar (einfachlogarithmisches Papier).

Bestimmen Sie die Eckfrequenzen Ω_{Eck} und Ω_0 für $|\varphi| = \pi/4$.

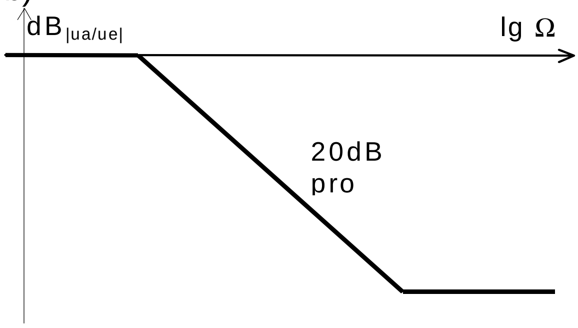
---

19. Suchen Sie zu den unten gegebenen Amplitudengängen die zugehörige Schaltung aus R-L und R-C Kombinationen, sowie die Phasengänge und Ortskurven.

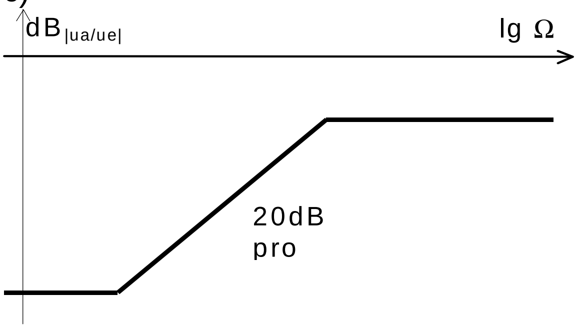
a)



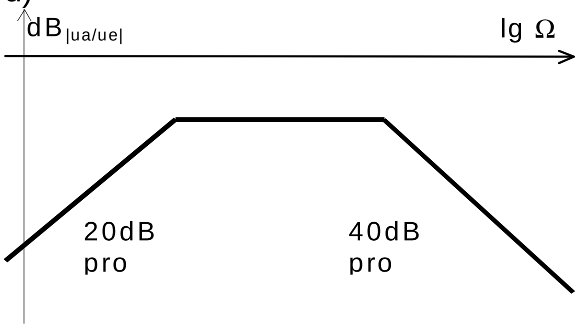
b)



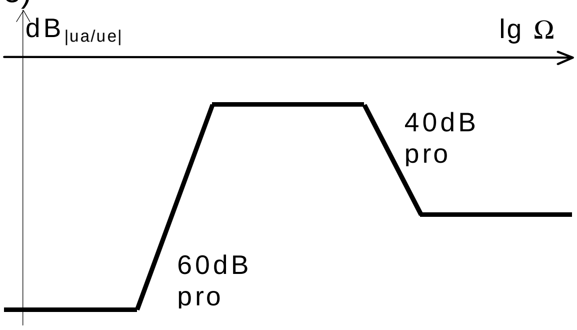
c)



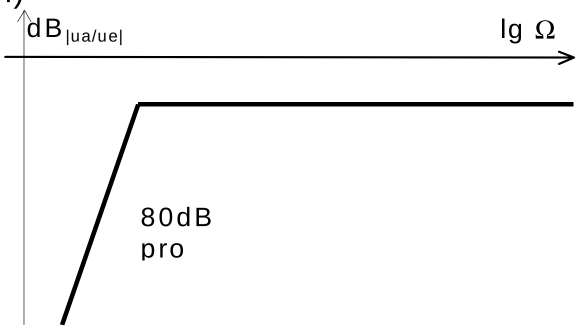
d)



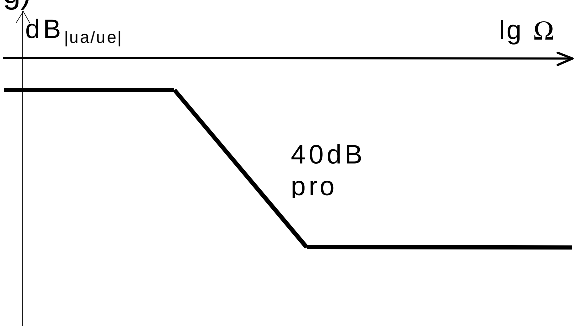
e)



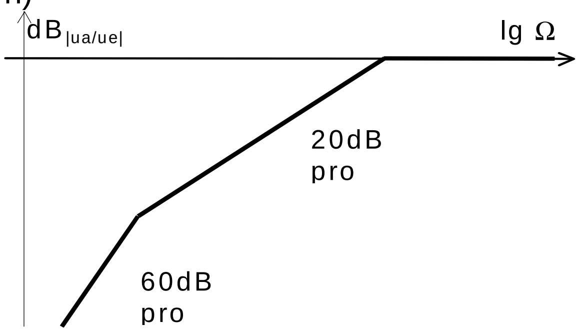
f)



g)



h)



1.2 Lösungen

1. a) $Z = R + \frac{1}{j\omega C}$ $\frac{Z}{R} = \frac{1+j\Omega}{j\Omega}$ b) $Z = R + j\omega L$ $\frac{Z}{R} = 1 + j\Omega$

   c) $Z = \frac{R}{1+j\omega RC}$ $\frac{Z}{R} = \frac{1}{1+j\Omega}$ d) $Z = \frac{R \cdot j\omega L}{R + j\omega L}$ $\frac{Z}{R} = \frac{j\Omega}{1+j\Omega}$

---

2. $\Omega = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{Z_{PQ}}{R}\right)^2 - 1}} = 0{,}67593$ f = 87,32 Hz φ = - 0,976 rad ≙ - 55,94°

---

3. a) $|Z_{AB}|$ = 1,1 kΩ b) φ_1 = 1,151 rad ≙ 65,93° c) f = 26,86 kHz d) φ_1 = 0,7854 rad

---

4. aa) $|Z_{XY}|_1$ = 47,28 kΩ ab) $|Z_{XY}|_{0,1}$ = 21,67 kΩ ac) $|Z_{XY}|_{10}$ = 341,94 kΩ

   ba) φ_1 = - 0,3396 rad ≙ - 19,457° bb) $\varphi_{0,1}$ = - 0,8138 rad ≙ - 46,63°

   bc) φ_1 = - 0,046 rad ≙ - 2,64°

---

5. $\frac{Z_{AB}}{R} = \frac{\left(1-\Omega^2\right) + j \cdot 4\Omega}{-2\Omega \cdot (\Omega - j)}$ $|Z_{AB}|_1$ = 54,37 kΩ φ_1 = - 0,785 rad ≙ -45°

   f_2 = 4,85 kHz φ_2 = 0,7374 rad ≙ - 42,25°

---

6. Z_{AB} = 100 Ω - j 625 Ω Z_{XY} = (220 + j 48) Ω

---

7. |Z| = 244,36 Ω

---

10. $\frac{u_a}{u_e} = \frac{L_2}{L_1 + L_2} = \frac{2}{3}$ $u_a(t) = \frac{2\hat{u}}{3} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right)$

---

11. $\frac{u_a}{u_e} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} = \frac{1}{3}$ $u_a(t) = \frac{\hat{u}}{3} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right)$

---

12. $\frac{u_a}{u_e} = \frac{R}{R + j\omega L} = \frac{1}{1 + j\Omega}$ $\quad \varphi = -\arctan(\Omega)$ $\quad \Omega_{Eck} = \Omega_0 = 1$

13. $\frac{u_a}{u_e} = \frac{R_2}{R_2 + R_1 + j\omega R_1 R_2 C} = \frac{1}{1 + \frac{1}{k} + j \cdot \Omega}$ $\quad \varphi = -\arctan\left(\frac{k\Omega}{1+k}\right)$

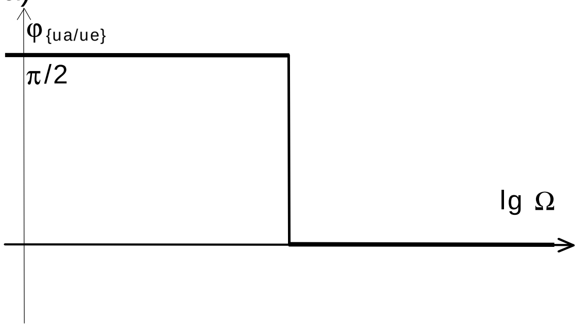
14. $\frac{u_a}{u_e} = \frac{R_2 + j\omega R_1 R_2 C}{R_1 + R_2 + j\omega R_1 R_2 C} = \frac{1 + j \cdot k\Omega}{1 + k + j \cdot k\Omega}$ $\quad \varphi = \arctan\left(\frac{k^2\Omega}{1 + k + k^2\Omega^2}\right)$

15. $\frac{u_a}{u_e} = \frac{R_2}{R_2 + R_1 + j\omega L} = \frac{1}{1 + k + j \cdot \Omega}$ $\quad \varphi = -\arctan\left(\frac{\Omega}{1+k}\right)$

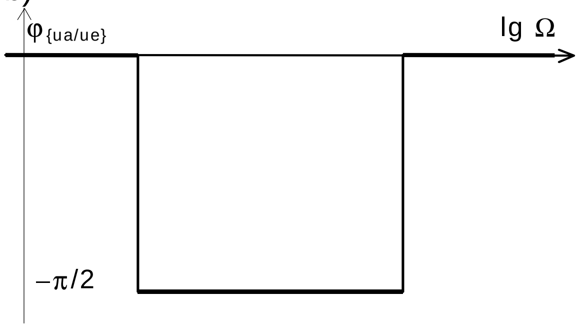
16. $\frac{u_a}{u_e} = \frac{R_2 + j\omega L}{R_2 + R_1 + j\omega L} = \frac{k + j \cdot \Omega}{1 + k + j \cdot \Omega}$ $\quad \varphi = \arctan\left(\frac{\Omega}{k \cdot (1+k) + \Omega^2}\right)$

19. Suchen Sie zu den unten gegebenen Amplitudengängen die zugehörige Schaltung aus R-L und R-C Kombinationen, sowie die Phasengänge und Ortskurven.

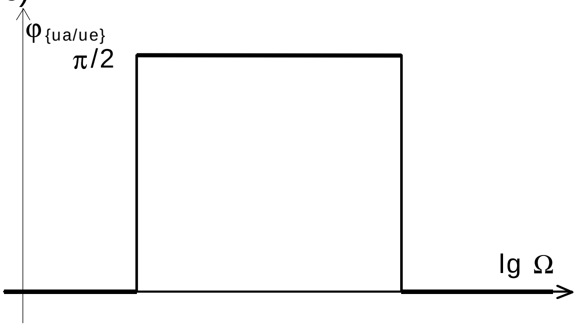
a)



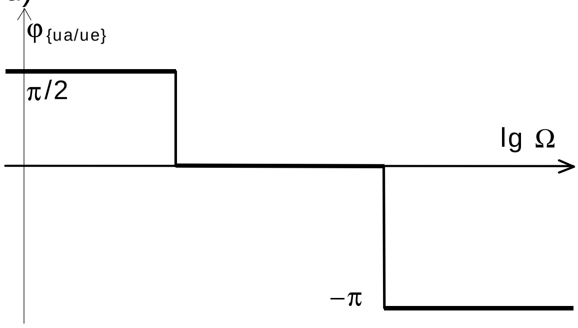
b)



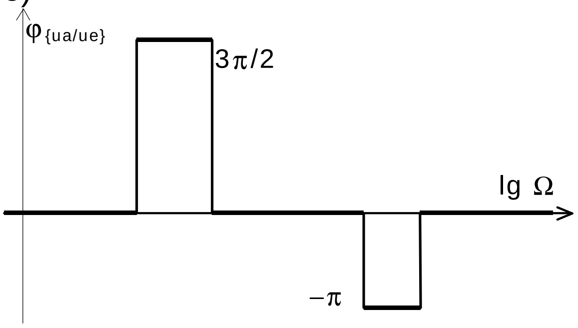
c)



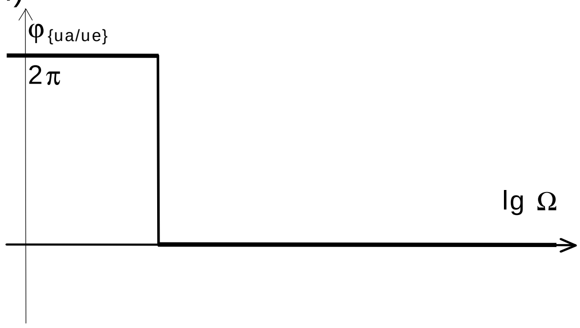
d)



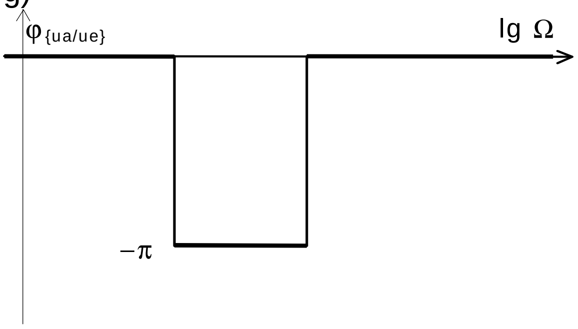
e)



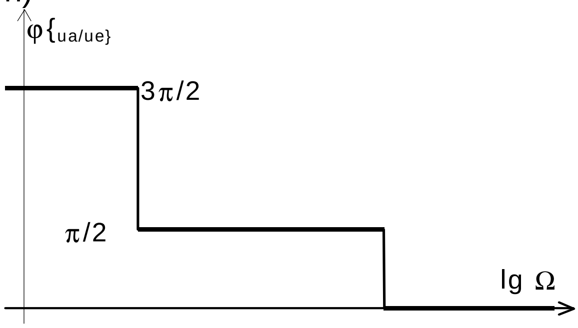
f)



g)

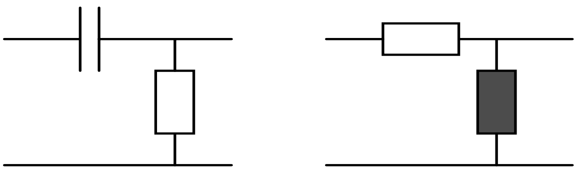


h)

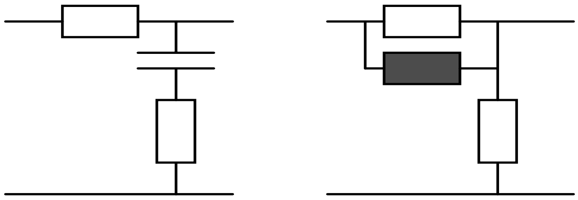


19. Suchen Sie zu den unten gegebenen Amplitudengängen die zugehörige Schaltung aus R-L und R-C Kombinationen, sowie die Phasengänge und Ortskurven.

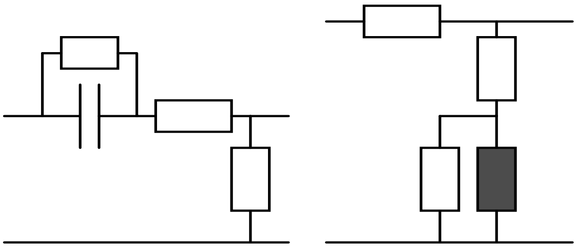
a)



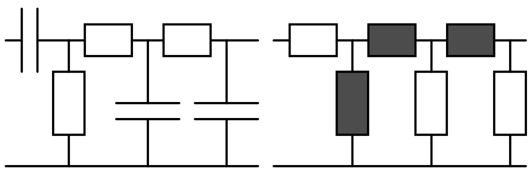
b)



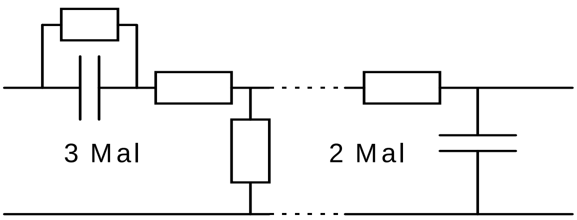
c)



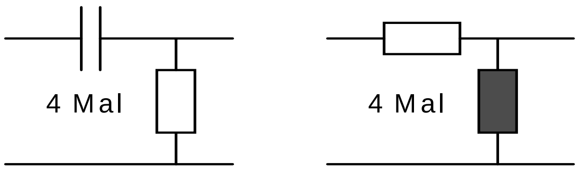
d)



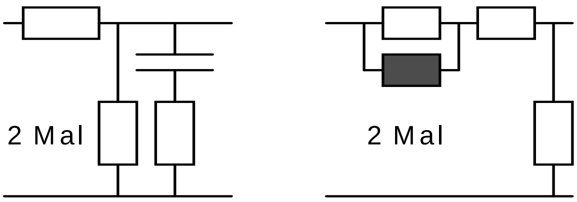
e)



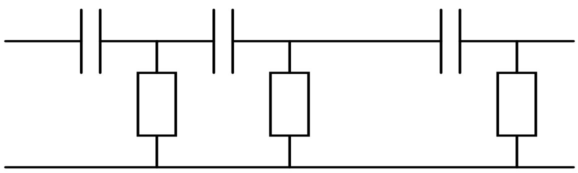
f)



g)



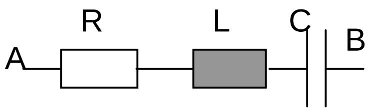
h)



2 Übungen und Lösungen

2.1 Übungen

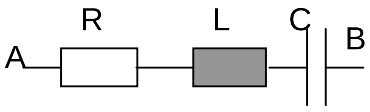
1. SCHWINGKREIS



$R = 560\ m\Omega$, $C = 330\ pF$, $L = 100\ \mu H$

Auf welcher Frequenz f_0 ist der gegebene Serieschwingkreis resonant ? Was bedeutet hier Resonanz ?
Wie gross ist die Güte Q_{SU} ?
Bestimmen Sie die Bandbreite B in Hertz und normiert. Wo liegen die Grenz- oder Eckfrequenzen f_1 und f_2 ?

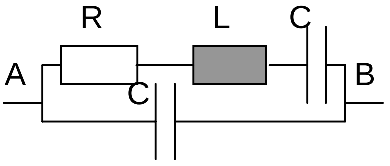
2. SCHWINGKREIS



$Q_{SU} = 150$, $C = 100\ pF$, $L = 330\ \mu H$

Auf welcher Frequenz f_0 ist der gegebene Serieschwingkreis resonant ?
Welchen Wert hat der Widerstand R ?
Bestimmen Sie die Bandbreite B in Hertz und normiert. Wo liegen die Grenz- oder Eckfrequenzen f_1 und f_2 ?

3. SCHWINGKREIS



$R = 2\ \Omega$, $C = 820\ pF$, $L = 200\ \mu H$

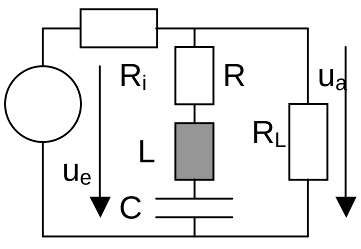
Bestimmen Sie

$\frac{u_a}{u_e}(\Omega)$ $\left|\frac{u_a}{u_e}\right|(\Omega)$ $\varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$ mit

$\Omega = \omega\sqrt{LC}$, $k\Omega = \omega\frac{L}{R}$ und $\frac{1}{k}\Omega = \omega RC$.

Stellen Sie $|Z_{AB}|/R$ grafisch dar. Bei welchen Frequenzen wird $|Z_{AB}|$ maximal oder minimal ?

4. SCHWINGKREIS



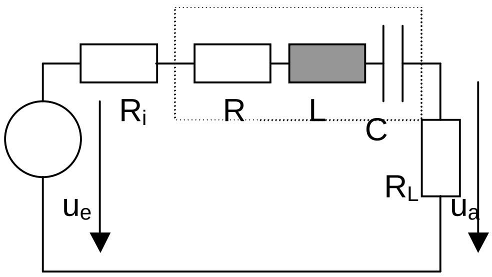
$R_L = R_i = 75\ \Omega$, $C = 12\ nF$, $L = 50\ \mu H$, $Q_{SU} = 300$

ZWEITOR

Wie verläuft $\frac{u_a}{u_e}(\Omega)$ am nebenstehende Zweitor ?
Analysieren Sie das Zweitor.

Bestimmen Sie die Notchbreite B_N in Hertz und die Notchtiefe A_N in dB.

5. SCHWINGKREIS



$R_L = R_i = 50\ \Omega$, $C = 1{,}2$ nF, $L = 500\ \mu$H, $Q_{SU} = 300$

ZWEITOR

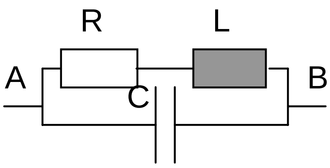
Wie verläuft $\frac{u_a}{u_e}(\Omega)$ am nebenstehende Zweitor ?

Analysieren Sie das Zweitor.

Bestimmen Sie die Durchlassfrequenz f_0, die Bandbreite B und die Grenzfrequenzen f_1 und f_2.

Wie gross wird die Güte Q_{SL} ? Welchen Wert nimmt die Einfügungsdämpfung A in dB an ?

6. SCHWINGKREIS



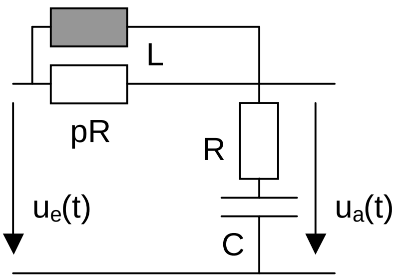
$R = 2{,}7\ \Omega$, $C = 3{,}3$ nF, $L = 200\ \mu$H

Auf welcher Frequenz f_0 ist der gegebene Parallelschwingkreis resonant ? Was bedeutet hier Resonanz ?

Wie gross ist die Güte Q_{PU} ?

Bestimmen Sie die Bandbreite B in Hertz und normiert. Wo liegen die Grenz- oder Eckfrequenzen f_1 und f_2 ?

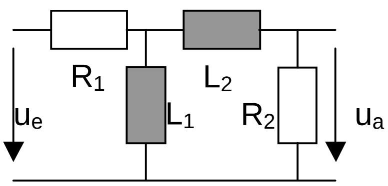
7. ZWEITOR



Im nebenstehenden Zweitor seien
$R = 82\ \Omega$, $C = 1$ nF, $L = 640\ \mu$H und $p = 100$

a) Skizzieren Sie den Amplituden- und den Phasengang, sowie die Ortskurve.
b) Bei welcher Frequenz f_1 werden $A = -3$dB erreicht ?
c) Für welche Frequenz f_2 wird $|\varphi_2| = \pi/2$. Wie gross wird hier die Dämpfung ?

8. ZWEITOR

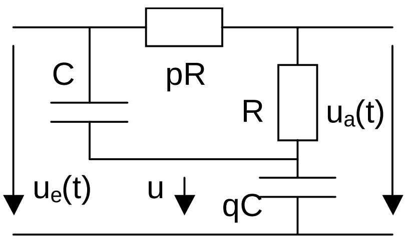


$R_1 = 2\cdot R$, $R_2 = 5\cdot R$, $L_1 = 5\cdot L$, $L_2 = 2\cdot L$

Normierung: $\Omega = \omega \frac{L}{R}$

a) Skizzieren Sie den Amplituden- und den Phasengang, sowie die Ortskurve.
b) Stellen Sie das geordnete Gleichungssystem aus einem Knotenansatz auf.
c) Analysieren Sie u_a/u_e.

9. ZWEITOR

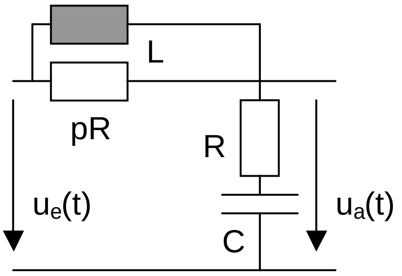


$p = 0{,}1$, $q = 10$, $\Omega = \omega RC$

a) Skizzieren Sie den Amplituden- und den Phasengang, sowie die Ortskurve.
b) Stellen Sie das geordnete Gleichungssystem aus einem Knotenansatz auf.
c) Analysieren Sie u_a/u_e.

---

10. ZWEITOR



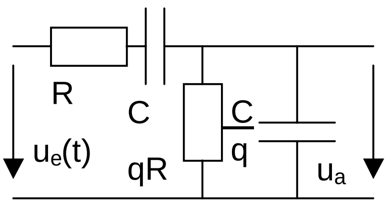
$\Omega = \omega\sqrt{LC}$, $k\Omega = \omega\frac{L}{R}$ und $\frac{1}{k}\Omega = \omega RC$.

a) Skizzieren Sie den Amplituden- und den Phasengang, sowie die Ortskurve.

b) Analysieren Sie u_a/u_e.

---

11. ZWEITOR



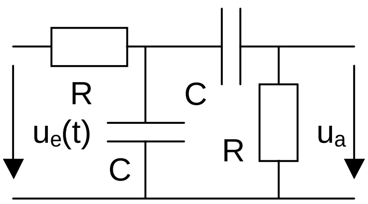
Bestimmen Sie

$\frac{u_a}{u_e}(\Omega)$ $\left|\frac{u_a}{u_e}\right|(\Omega)$ $\varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$

Bestimmen Sie die Eckfrequenzen, Grenzfrequenzen oder 3dB-Orte.
Für welche Frequenz(en) f_i wird $|\varphi_i| = \pi/4$?
Für welche Frequenz wird $|\varphi|$ maximal ?

---

12. ZWEITOR

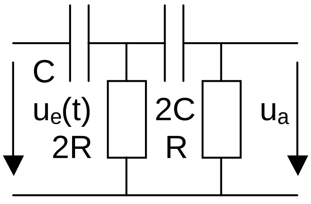


Bestimmen Sie

$\frac{u_a}{u_e}(\Omega)$ $\left|\frac{u_a}{u_e}\right|(\Omega)$ $\varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$

Bestimmen Sie die Eckfrequenzen, Grenzfrequenzen oder 3dB-Orte.
Für welche Frequenz(en) f_i wird $|\varphi_i| = \pi/4$?
Für welche Frequenz wird $|\varphi|$ maximal ?

13. ZWEITOR



Bestimmen Sie

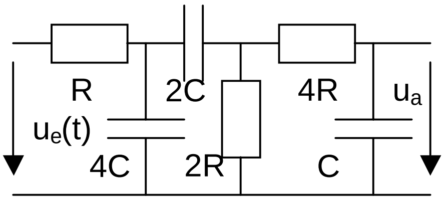
$\frac{u_a}{u_e}(\Omega)$ $\left|\frac{u_a}{u_e}\right|(\Omega)$ $\varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$

Bestimmen Sie die Eckfrequenzen, Grenzfrequenzen oder 3dB-Orte.

Für welche Frequenz(en) f_i wird $|\varphi_i| = \pi/4$?

Für welche Frequenz wird $|\varphi|$ maximal ?

14. ZWEITOR



Bestimmen Sie

$\frac{u_a}{u_e}(\Omega)$ $\left|\frac{u_a}{u_e}\right|(\Omega)$ $\varphi_{\left\{\frac{u_a}{u_e}\right\}}(\Omega)$

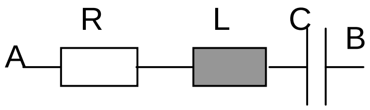
Bestimmen Sie die Eckfrequenzen, Grenzfrequenzen oder 3dB-Orte.

Für welche Frequenz(en) f_i wird $|\varphi_i| = \pi/4$?

Für welche Frequenz wird $|\varphi|$ maximal ?

2.2 Lösungen

1. SCHWINGKREIS

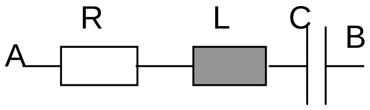


R = 560 mΩ, C = 330 pF, L = 100 µH

f$_o$ = 876,12 kHz
Der Serieschwingkreis liegt bei Resonanz auf minimaler Impedanz und wirkt reell.
Q$_{SU}$ = 983 B = $1{,}0173 \cdot 10^{-3}$ **B** = 891,3 Hz
f_1 = 875,67 kHz f_2 = 876,57 kHz

---

2. SCHWINGKREIS



Q_{SU} = 150, C = 100 pF, L = 330 µH

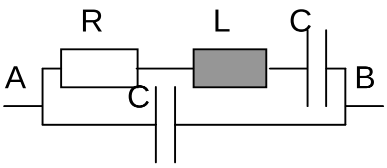
f$_o$ = 876,12 kHz **R** = 12,111 Ω

B = $6{,}667 \cdot 10^{-3}$ **B** = 5,841 kHz

f_1 = 873,2 kHz f_2 = 879,05 kHz

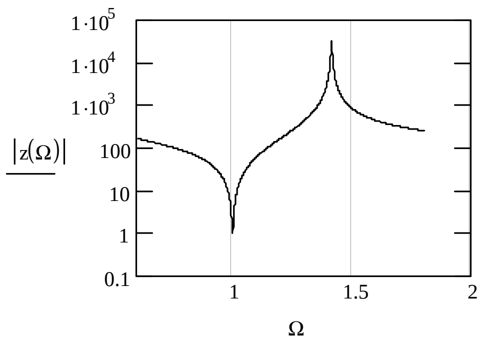
---

3. SCHWINGKREIS



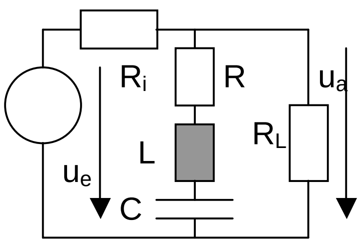
R = 2 Ω, C = 820 pF, L = 200 µH

$$z(\Omega) := \frac{1 + j \cdot k \cdot \left(\Omega - \frac{1}{\Omega}\right)}{1 - p \cdot \Omega \cdot \left(\Omega - \frac{1}{\Omega}\right) + j \cdot \frac{1}{k} \cdot \Omega}$$



---

4. SCHWINGKREIS



$R_L = R_i$ = 75 Ω, C = 12 nF, L = 50 µH, Q_{SU} = 300

ZWEITOR

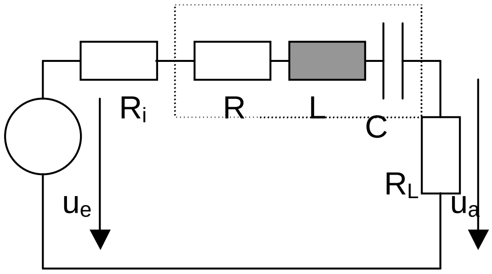
Wirkt als Sperrfilter, Notchfilter.

R_{Kreis} = 215,17 mΩ f_o = 205,47 kHz

B$_N$ = 0,58426 **B**$_N$ = 120,05 kHz

A$_N$ = **-** 50,895 dB + 6,02 dB = 44,875 dB.

5. SCHWINGKREIS



$R_L = R_i = 50\ \Omega$, $C = 1{,}2$ nF, $L = 500\ \mu$H, $Q_{SU} = 300$

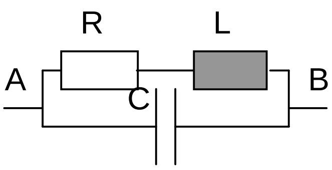
ZWEITOR

Wirkt als Durchlassfilter, als Bandpass.

f$_o$ = 205,47 kHz $R_{Kreis} = 2{,}1517\ \Omega$.
B = 16,6 kHz
f_1 = 197,34 kHz f_2 = 213,94 kHz
Q$_{SL}$ = 12,34
A = **-**0,366 dB an ?

---

6. SCHWINGKREIS



$R = 2{,}7\ \Omega$, $C = 3{,}3$ nF, $L = 200\ \mu$H

Bei Resonanz wirkt der Kreis hochohmig und reell.
f$_o$ = 195,91 kHz
Q$_{PU}$ = 91,18 (>>1, >10)
B = 2,15 kHz $B = 10{,}967 \cdot 10^{-3}$
f_1 = 194,84 kHz f_2 = 196,99 kHz

---

7. $$\frac{u_a}{u_e} = \frac{k\left(p-\Omega^2\right)+j\cdot\left(p+k^2\right)\cdot\Omega}{k\left[p-(1+p)\cdot\Omega^2\right]+j\cdot\left(p+k^2\right)\cdot\Omega}$$

---

8. $$\frac{u_a}{u_e} = \frac{j\cdot 25\Omega}{10\cdot\left(1-\Omega^2\right)+j\cdot 39\Omega}$$

---

9. $$\frac{u_a}{u_e} = \frac{1+j\cdot(1+p+q)\cdot\Omega}{1+j\cdot(1+p)(1+q)\cdot\Omega}$$

---

3 Übungen und Lösungen

3.1 Übungen

1. KOMPENSATION

Gegeben sei ein Starkstromnetz mit U = 400 V und f = 50 Hz.

a) Der Motor einer Wärmepumpe mit S_1 = 36 kVA und $\cos\varphi_1$ = 0,84 sei dauernd an das Netz angeschlossen. Wie gross wird C_1 für eine vollständige Kompensation ?

b) Parallel zur Wärmepumpenanlage liegt ein Transformator mit $\cos\varphi_2$ = 0,87, welcher mit C_2 = 600 µF vollständig kompensiert ist. Wie gross werden Schein-, Blind- und Wirkleistung des Transformators ?

c) Wie gross werden $\cos\varphi_3$ und φ_3, wenn der Motor ausfällt ? (C_1 bleibt wirksam).

---

2. KOMPENSATION

Gegeben sei ein Starkstromnetz mit U = 120 V und f = 60 Hz.

a) Ein Transformator mit S_1 = 2,2 kVA und $\cos\varphi_1$ = 0,83 sei dauernd an das Netz angeschlossen. Zusätzlich wird ein Motor mit $\cos\varphi_2$ = 0,79 und einer Leistung an der Welle von P_2 = 3,5 kW aufgeschaltet.
Wie gross wird C, das parallel am Motor liegt, für eine vollständige Kompensation der gesamten Anlage ?

b) Wie gross werden $\cos\varphi_3$ und φ_3, wenn der Motor ausfällt ? (C bleibt wirksam).

---

3. KOMPENSATION

Gegeben sei ein Starkstromnetz mit U = 230 V und f = 50 Hz.

a) Angeschlossen sei eine induktive Last mit S = 1,3 kVA und $\cos\varphi$ = 0,73. Wie gross werden P und Q ?

b) Wie gross wird C_1 für eine vollständige Kompensation.

c) Wie gross wird C_2 für eine Kompensation auf $\cos\varphi_3$ = 0,91.

---

4. KOMPENSATION

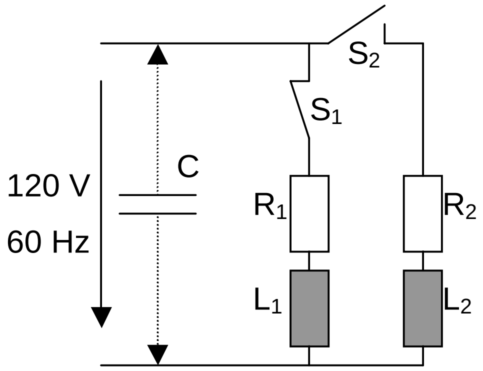
Gegeben sei ein Starkstromnetz mit U = 230 V und f = 50 Hz.

a) Angeschlossen sei eine induktive Last mit L = 6 mH und R = 4 Ω. Wie gross werden P und Q ?

b) Wie gross wird C_1 für eine vollständige Kompensation.

c) Wie gross wird C_2 für eine Kompensation auf $\cos\varphi_3$ = 0,97.

5.



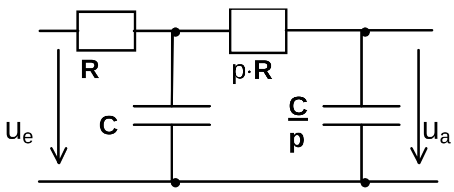
$R_1 = 2{,}2\ \Omega$, $R_2 = 4{,}7\ \Omega$,
$L_1 = 7$ mH, $L_2 = 15$ mH

Bestimmen Sie C so, dass die Last 1 mit R_1 und L_1 vollständig kompensiert wird.

a) Wie gross werden Q_a und φ_a, wenn S_2 geschlossen wird ?

b) Wie gross werden Q_b und φ_b, wenn S_1 geöffnet wird ? (S_2 bleibt zu).

6. WECHSELSTROMTECHNIK



C = 15 nF R = 12 kΩ

ZWEITOR

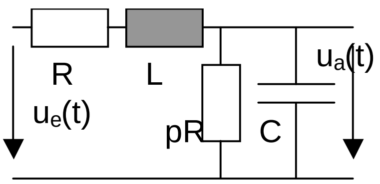
Gegeben sei das nebenstehende Zweitor mit p = 19.

a) Suchen Sie den Frequenzgang $u_a/u_e(\Omega)$, den Amplitudengang $|u_a/u_e|(\Omega)$ und den Phasengang $\varphi_{[u_a,u_e]}$ formal mit $\Omega = \omega \cdot RC$.

b) Skizzieren Sie die Ortskurve, den Amplituden- und den Phasenverlauf (Bodediagramm).

c) Bei welchen Frequenzen f_k liegt die Amplitude auf einem Wert von $A = |u_a/u_e|_{Max}(\Omega) - 1$ dB ?

11. ZWEITOR



$$\Omega = \omega\sqrt{LC}\ ,\ k\Omega = \omega\frac{L}{R}\ \text{ und }\ \frac{1}{k}\Omega = \omega RC\ .$$

a) Analysieren Sie u_a/u_e.

b) Normieren Sie das Zweitor auf die Eckfrequenz.

c) Wann erscheinen Tschebyscheff-, Butterworth- und Bessel- Verhalten.

3.2 Lösungen

1. a) C_1 = 388,6 µF b) Q_2 = 30,159 kVAr, S_2 = 61,169 kVA, P_2 = 53,217 kW
   c) φ_3 = - 20,156° ≙ - 0,3518 rad, $\cos\varphi_3$ = 0,93876.

---

2. a) C = 726,4 µF b) φ_3 = - 56,089° ≙ - 0,97895 rad, $\cos\varphi_3$ = 0,5579.

---

3. a) P = 949 W, Q = 888,48 VAr b) C_1 = 53,462 µF c) C_2 = 27,44 µF

---

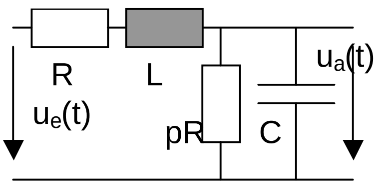
4. a) P = 10,822 kW, Q = 5,1 kVAr b) C_1 = 307 µF c) C_2 = 144 µF

---

5. C_1 = 593,02 µF a) Q_a = 1,506 kVAr, φ_a = 0,3655 rad
   b) Q_b = - 1,7133 kVAr, φ_b = - 0,9398 rad

---

11. ZWEITOR



$\Omega = \omega\sqrt{LC}$, $k\Omega = \omega\frac{L}{R}$ und $\frac{1}{k}\Omega = \omega RC$.

a) Analysieren Sie u_a/u_e.
b) Normieren Sie das Zweitor auf die Eckfrequenz.
c) Wann erscheinen Tschebyscheff-, Butterworth- und Bessel- Verhalten.

RLC - Zweitor

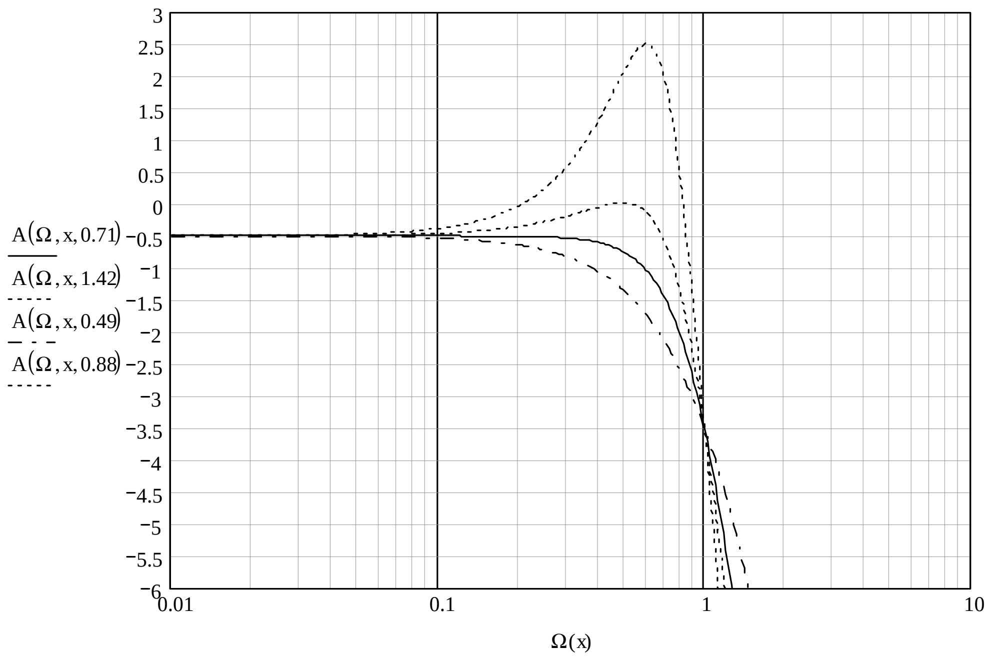
$x := -2, -1.99 .. 1$ $\Omega(x) := 10^x$ $p := 16.88$

$$\Omega_{3dB}(k) := \sqrt{\frac{\sqrt{\left[\left(k+\frac{p}{k}\right)^2 - 2\cdot p\cdot(1+p)\right]^2 + 4\cdot p^2\cdot(1+p)^2} - \left[\left(k+\frac{p}{k}\right)^2 - 2\cdot p\cdot(1+p)\right]}{2\cdot p^2}}$$

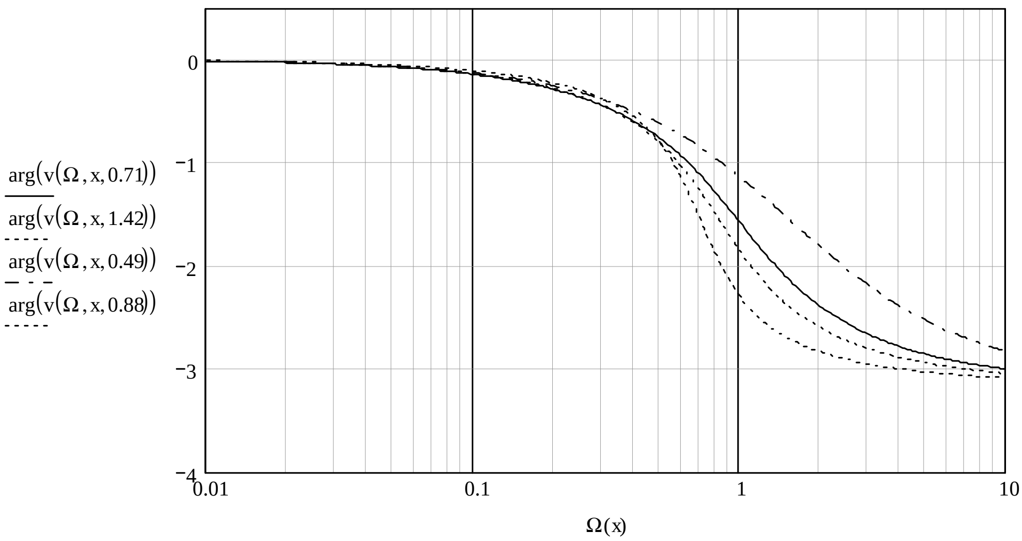
$$v(\Omega, x, k) := \frac{p}{(1+p) - p\cdot\Omega(x)^2\cdot\Omega_{3dB}(k)^2 + j\cdot\left(k+\frac{p}{k}\right)\cdot\Omega(x)\cdot\Omega_{3dB}(k)}$$

$$A(\Omega, x, k) := 20\cdot\log\left(\left|v(\Omega, x, k)\right|\right)$$

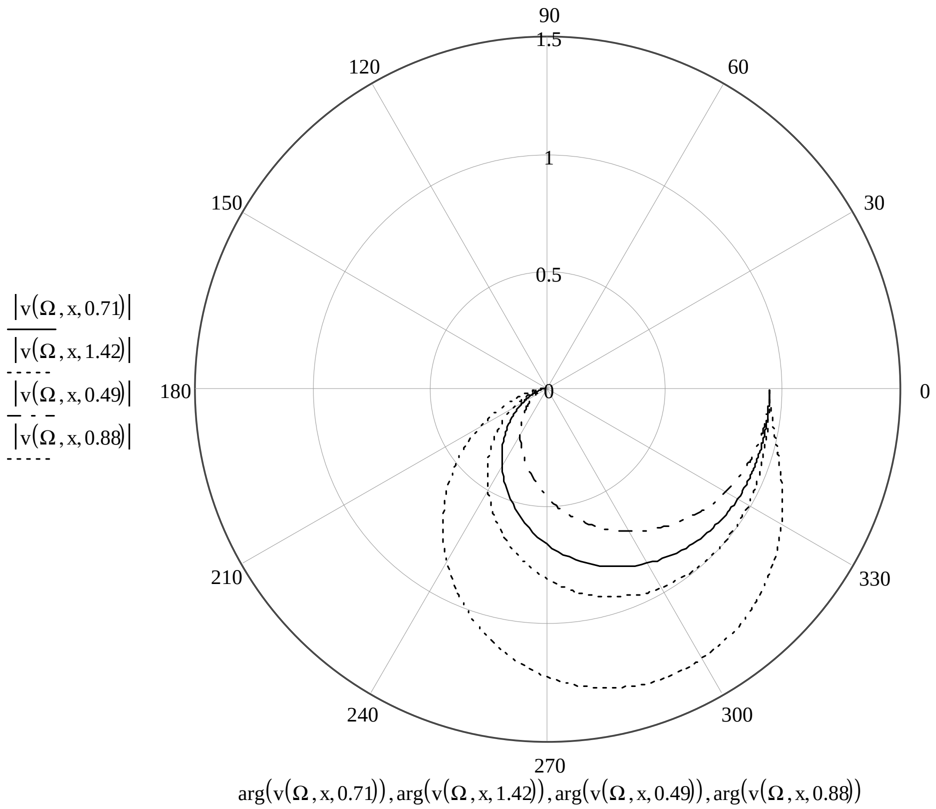
Amplitudengang, normiert auf die 3dB Eckfrequenz



Phasengang (Winkelverhalten) in rad



Ortskurve



$k := 0.7$ Butterworth

Vorgabe $\frac{p}{1+p}\cdot\Omega_{3dB}(k)^2 = 1$

$\text{suchen}(k) = 0.707$

$k := 0.5$ Bessel

Vorgabe $2\cdot p\cdot(1+p) = \left(k+\frac{p}{k}\right)^2 - 2\cdot p\cdot(1+p)$

$\text{suchen}(k) = 0.493$

Tschebyscheff 3dB

$k := 1$

Vorgabe
$$\frac{(1+p)^2}{\left[(1+p) - \frac{2\cdot p\cdot(1+p) - \left(k+\frac{p}{k}\right)^2}{2\cdot p}\right]^2 + \left(k+\frac{p}{k}\right)^2\cdot\frac{2\cdot p\cdot(1+p) - \left(k+\frac{p}{k}\right)^2}{2\cdot p^2}} = 10^{\frac{3}{10}}$$

$\text{suchen}(k) = 1.419$

Gruppenlaufzeit

$$T_{gr}(\Omega, x, k) := \frac{\Omega_{3dB}(k) \cdot \left(k + \frac{p}{k}\right)}{2 \cdot \pi \cdot (1+p)} \cdot \frac{1 + \frac{2 \cdot p}{1+p} \cdot \Omega_{3dB}(k)^2 \cdot \Omega(x)^2}{1 + \left[\frac{\left(k + \frac{p}{k}\right)^2 - 2 \cdot p \cdot (1+p)}{(1+p)^2}\right] \cdot \Omega_{3dB}(k)^2 \cdot \Omega(x)^2 + \frac{p^2}{(1+p)^2} \cdot \Omega_{3dB}(k)^4 \cdot \Omega(x)^4}$$