

Themen von heute:

1. Recap der Theorie von dieser Woche

1.1 Fortsetzung Resonanzschaltungen

1.1.1 RLC Parallelschwingkreis

1.1.2 Güte & Dämpfung

Zusammenfassung S. 8

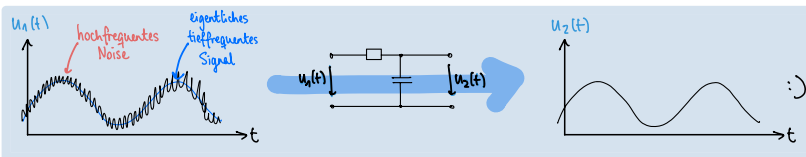
1.2 Bodeplots → Zusammenfassung S. 7

2. Beispielaufgaben

3. Vorbesprechung der Serie 4

Von letzter Woche:

Filter



Übertragungsfunktion:
$$\underline{F} = \frac{\hat{u}_2}{\hat{u}_1}$$

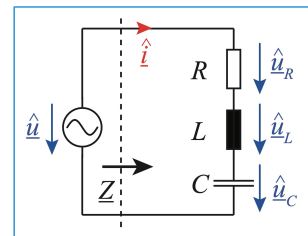
Verstärkung (auch: Amplitudengang):
$$V_u = \frac{|\hat{u}_2|}{|\hat{u}_1|}$$

Verstärkung in Dezibel (dB):
$$V_{u,dB} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{|\hat{u}_2|}{|\hat{u}_1|} \right) \text{ dB}$$

↳ sehr wichtige Einheit im Kontext von Signalen & Verstärkung!

Phasenverschiebung:
$$\varphi = \varphi_{u_a} - \varphi_{u_e} = \arctan \left(\frac{\text{Im}(\underline{F})}{\text{Re}(\underline{F})} \right)$$

RLC-Serienschwingkreis



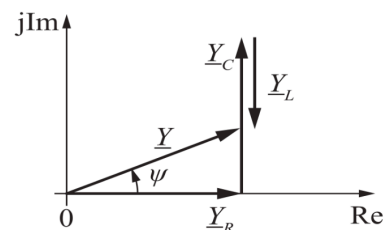
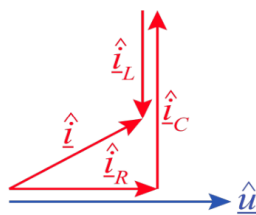
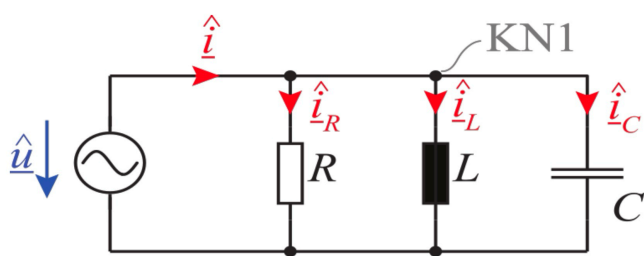
Impedanz:
$$\underline{Z} = \underline{Z}_R + \underline{Z}_L + \underline{Z}_C = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}$$

Resonanzfrequenz:
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Bei Resonanz nimmt die Impedanz den minimalen Wert an.

1.1 Fortsetzung Resonanzschaltungen

1.1.1 RLC Parallelschwingkreis



$$\text{Impedanz: } \underline{Z} = \frac{1}{\underline{Y}} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} + j\omega C}$$

$$\text{Admittanz: } \underline{Y} = \frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} + j\omega C$$

Bei Resonanz nimmt die Impedanz / Admittanz den minimalen Wert an bzw. der Blindwiderstand / Blindleitwert (= Imaginärteil der Impedanz / Admittanz) verschwindet:

$$\underline{\text{@ } f = f_0 \text{ gilt also: } B = -\frac{1}{\omega L} + \omega C = 0 \Leftrightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}}$$

↑
Resonanzfrequenz

Bei Resonanz tritt am Kondensator & Induktivität betragsmäßig derselbe Strom auf:

$$|\hat{i}_C| = |\hat{i}_L| = \hat{i} \cdot R \sqrt{\frac{C}{L}}$$

1.1.2 Güte & Dämpfung

Die Güte ist ein Maß für die Spannungs- bzw. Stromüberhöhung. Es ist ein Parameter, der in einem frei schwingenden Resonator das Verhältnis der gespeicherten Energie zu dem thermischen Energieverlust während einer Schwingungsperiode ausdrückt. Eine hohe Güte eines Systems besagt, dass das System die gespeicherte Energie in nur geringem Umfang in thermische Energie umsetzt & die Schwingung nur in geringem Umfang abnimmt.

$$Q = \frac{2\pi \cdot \text{gespeicherte Energie}}{\text{Verluste pro Periode}}$$

RLC Serienschwingkreis:

$$Q_s = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

RLC Parallelschwingkreis:

$$Q_p = R \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$$

⚠ Eine Strom- bzw. Spannungsüberhöhung tritt nur auf, wenn $Q > \frac{1}{\sqrt{2}}$

⚠ Im Bereich $Q \leq \frac{1}{\sqrt{2}}$ nimmt der Strom max. den Wert des Eingangsstromes an.

Die Dämpfung $d = \frac{1}{Q}$ ist der Kehrwert der Güte. Sie wird auch Verlustfaktor genannt und ist ein Mass für die Verluste eines Resonators.

Beispielaufgabe

Aufgabe 1 Serienschaltung von zwei Parallelschwingkreisen

Gegeben ist die in Abb. 1 dargestellte Schaltung mit den Netzwerkelementen $R = 1 \text{ k}\Omega$, $L_1 = 1 \text{ mH}$, $C_1 = 100 \text{ nF}$, $L_2 = 0.1 \text{ mH}$ und $C_2 = 10 \text{ nF}$.

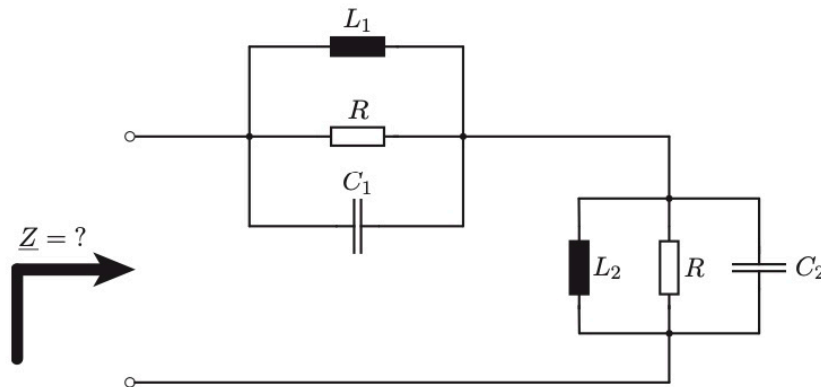


Abbildung 1: Zwei Parallelschwingkreise in Serienschaltung

- A) Bestimmen Sie die Resonanzfrequenz f_1 und f_2 , sowie die Güten Q_{p1} und Q_{p2} der beiden Schwingkreise.
- B) Bestimmen Sie den Betrag der Eingangsimpedanz Z in Abhängigkeit der Frequenz.
- C) Stellen Sie den Betrag der Eingangsimpedanz $|Z|$ als Funktion der Frequenz im Bereich $1 \text{ kHz} \leq f \leq 1 \text{ MHz}$ dar.

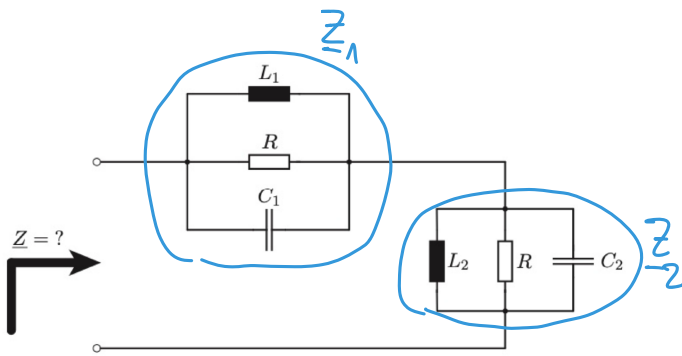
A) Schwingkreis 1:

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} \quad \text{da} \quad f = \frac{\omega}{2\pi}$$
$$\Rightarrow f_1 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{1 \text{ mH} \times 100 \text{ nF}}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{1 \times 10^{-3} \text{ H} \times 100 \times 10^{-9} \text{ F}}}$$
$$= \underline{\underline{15.92 \text{ kHz}}}$$
$$Q_1 = R \cdot \sqrt{\frac{C_1}{L_1}} = 10 \text{ k}\Omega \times \sqrt{\frac{100 \text{ nF}}{1 \text{ mH}}} = 10 \times 10^3 \Omega \times \sqrt{\frac{100 \times 10^{-9} \text{ F}}{1 \times 10^{-3} \text{ H}}}$$
$$= \underline{\underline{10}}$$

Schwingkreis 2:

$$f_2 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_2 C_2}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{0.1 \text{ mH} \times 10 \text{ nF}}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{0.1 \times 10^{-3} \text{ H} \times 10 \times 10^{-9} \text{ F}}}$$
$$= 159.2 \text{ kHz}$$
$$Q_2 = R \cdot \sqrt{\frac{C_2}{L_2}} = 10 \text{ k}\Omega \cdot \sqrt{\frac{10 \text{ nF}}{0.1 \text{ mH}}} = 10 \times 10^3 \cdot \sqrt{\frac{10 \times 10^{-9} \text{ F}}{0.1 \times 10^{-3} \text{ H}}} = \underline{\underline{10}}$$

B)



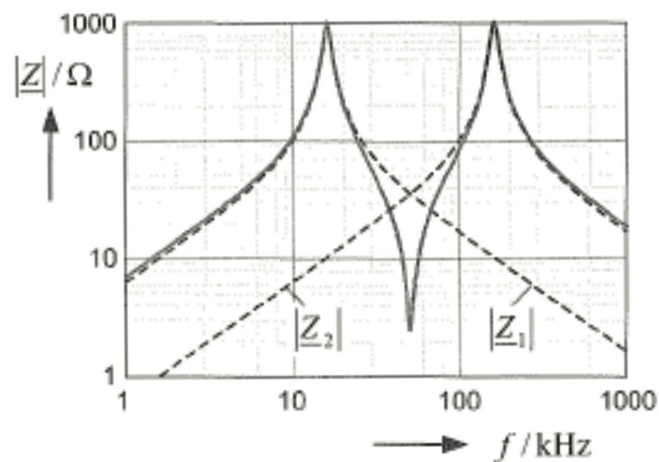
$$\underline{Z}_1 = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L_1} + j\omega C_1}$$

$$\underline{Z}_2 = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L_2} + j\omega C_2}$$

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L_1} + j\omega C_1} + \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L_2} + j\omega C_2}$$

$$\Rightarrow \underline{Z} = \frac{2\omega^2 L_1 L_2 G + j\omega [\omega^2 L_1 L_2 (C_1 + C_2) - L_1 - L_2]}{\omega^2 L_1 L_2 G^2 - (\omega^2 C_1 L_1) (\omega^2 C_2 L_2 - 1) + j\omega G [\omega^2 L_1 L_2 (C_1 + C_2) - L_1 - L_2]}$$

c)

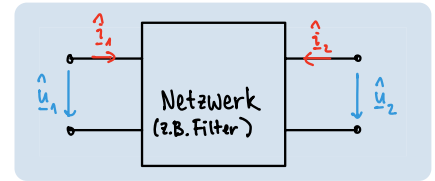


1.2 Bodeplots

Von letzter Woche:

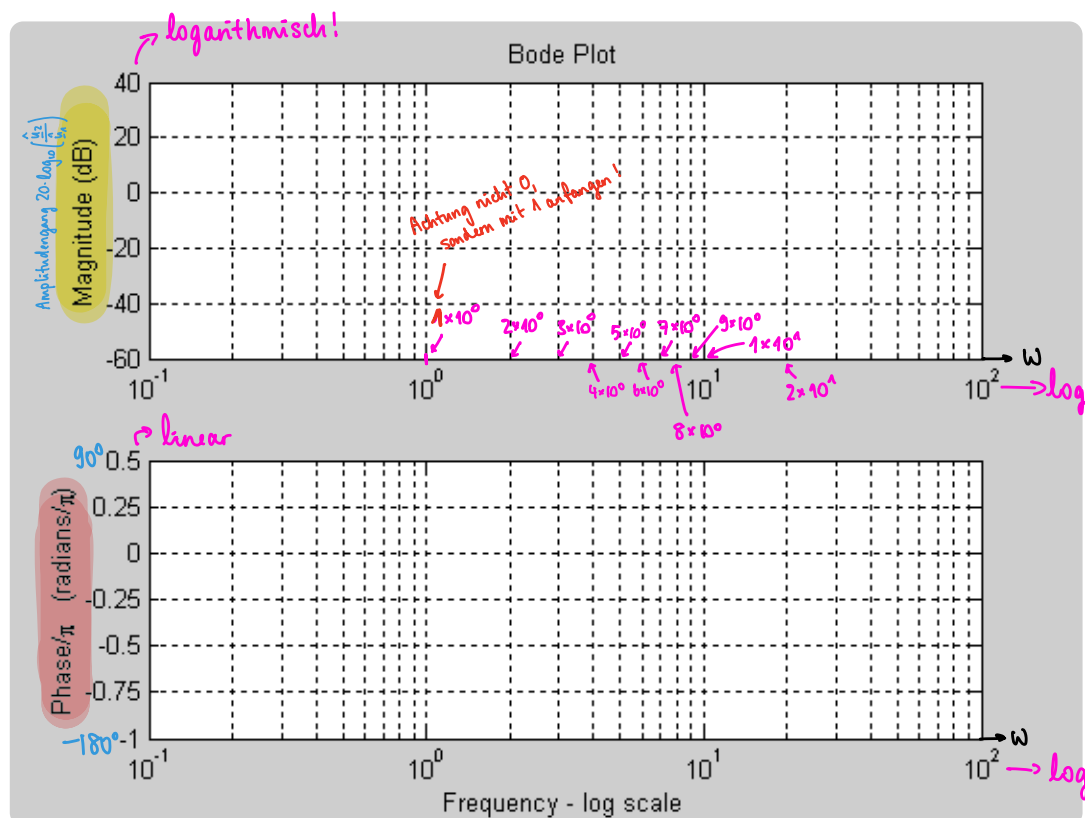
Die Übertragungsfunktion $\underline{F}(j\omega) = \frac{\hat{u}_2}{\hat{u}_1} = \frac{\hat{u}_2}{\hat{u}_1} e^{j\varphi_F}$ besteht aus

einem Amplitudengang $\frac{\hat{u}_2}{\hat{u}_1}$ und
 einem Phasengang $\varphi_F = \arctan\left(\frac{\text{Im}(\underline{F})}{\text{Re}(\underline{F})}\right)$



In NuS verwenden wir sehr oft dieses Modell ("Zweitor") um unsere NWe darzustellen!

- => Wir verwenden Bodeplots, um das Verhalten von Übertragungsfunktionen bei verschiedenen Frequenzen zu untersuchen!
- => Ein Bode-Plot besteht aus zwei Plots: Amplitudengang & Phasengang.
- => Da uns das Verhalten von Übertragungsfunktionen über mehrere Größenordnungen interessiert, verwenden wir logarithmische Skalen:



Heute lernen wir, wie wir diese Bodeplots zeichnen.

Bode-Diagramm → Asymptotennäherung

Gezeichnet wird von kleinen zu grossen Frequenzen, d.h. links nach rechts / Darstellung in dB-Skala → $F(\omega)[dB] = 20 \log_{10}(F(\omega))$

1. Faktorisieren der Funktion: $F_{ges}(j\omega) = K_0 \cdot (j\omega)^r \cdot \underbrace{F_1(j\omega) \cdot F_2(j\omega) \cdot \dots \cdot F_n(j\omega)}_{F_{ges}^*(j\omega)}$ (1)

Teilsysteme $F_i(j\omega)$ in Standardform

$$F_i(j\omega) = 1 + j\omega T_{n,i}$$

$$F_i(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega T_{p,i}}$$

$$F_i(j\omega) = 1 + 2d_i T_{n,i}(j\omega) + (j\omega)^2 T_{n,i}^2$$

$$F_i(j\omega) = \frac{1}{1 + 2d_i T_{p,i}(j\omega) + (j\omega)^2 T_{p,i}^2}$$

Steigungsänderung → **ZUSÄTZLICH** zur bereits vorhandenen **Steigung / Phase!**

Steigung +20dB/Dekade

Steigung -20dB/Dekade

Steigung +40dB/Dekade

Bedingung: $d_i \leq 1$, sonst Polynom mit 2 reellen Nullstellen

Steigung -40dB/Dekade

Bedingung: $d_i \leq 1$, sonst Polynom mit 2 reellen Polstellen

Phasenänderung

Phase +90° (zwischen $0.1\omega_i$ & $10\omega_i$)

Phase -90° (zwischen $0.1\omega_i$ & $10\omega_i$)

Phase +180° (siehe Punkt 9)

Phase -180° (siehe Punkt 9)

2. Teilsysteme nach aufsteigenden Eckfrequenzen $\omega_i = 1/T_{n,i}$ bzw. $\omega_i = 1/T_{p,i}$ sortieren (ω_1 = kleinste Eckfrequenz)

Amplitudengang (doppellogarithmische Darstellung)

3. Startpunkt: ω_1 ; $F_{dB}(\omega_1) = 20 \log_{10}(|K_0 F_{ges}^*(0)| \cdot \omega_1^r)$
4. Startpunkt nach links: Gerade mit Steigung $r \cdot 20\text{dB/Dekade}$ (Für $r = 0$ waagerechte Gerade)
5. Startpunkt nach rechts: Geradensegmente von einer Eckfrequenz bis zur nächst höheren Eckfrequenz. Bei jeder Eckfrequenz ω_i ändert Amplitudengang Steigung je nach Teilsystem, das zur Eckfrequenz gehört (s.o.).
Mehrfache Pol-/Nullstellen: Steigungsänderung mehrfach nehmen.
6. Annäherung: Ecken bei Eckfrequenz noch um $\pm 3\text{dB}$ bzw. Vielfachen davon bei mehrfachen Pol-/Nullstellen abrunden ($+n \cdot 3\text{dB}$ bei konvexem / $-n \cdot 3\text{dB}$ bei konkavem Verlauf). Dies gilt nur für konjugiert komplexe Pole mit Dämpfung $d_i > 1/2$.
Falls $d_i < 1/2$:
- Resonanzüberhöhung bei ω_i um $-20 \log_{10}(2d_i)\text{dB}$ oberhalb Geradennäherung
- Amplitude: $|F(j\omega_i)| = \frac{1}{2d_i}$
- Resonanzkreisfrequenz $\omega_r = \omega_i \sqrt{1 - 2d_i^2} \Rightarrow$ Punkt um $-20 \log_{10}(2d_i \sqrt{1 - d_i^2})\text{dB}$ oberhalb Geradennäherung

Phasengang (logarithmische x-Achse)

7. Startfrequenz ω_1 nach links:

$$\varphi(0) = \begin{cases} r \cdot 90^\circ & \text{falls } K_0 F_{ges}^*(0) > 0 \\ -180^\circ + r \cdot 90^\circ & \text{falls } K_0 F_{ges}^*(0) < 0 \end{cases}$$

8. Startpunkt nach rechts: Phase ändert sich bei jeder Eckfrequenz ω_i je nach Teilsystem (s.o.).
9. Annäherung: Glieder 1. Ordnung – Phasenverlauf mit $\pm 45^\circ/\text{Dekade}$ zwischen $0.1\omega_i$ und $10\omega_i$
Konjugiert komplexe Pole: Phasenänderung bei Eckfrequenz um so steiler, je kleiner d_i
Phasengang für Teilsystem $F_i(j\omega)$ ist punktsymmetrisch zu dazugehörigen Eckfrequenz ω_i .
10. $\omega \rightarrow \infty$: Phase φ_{ges} strebt gegen $(m - n) \cdot 90^\circ$ (n Grad Nenner- & m Grad Zählerpolynom).

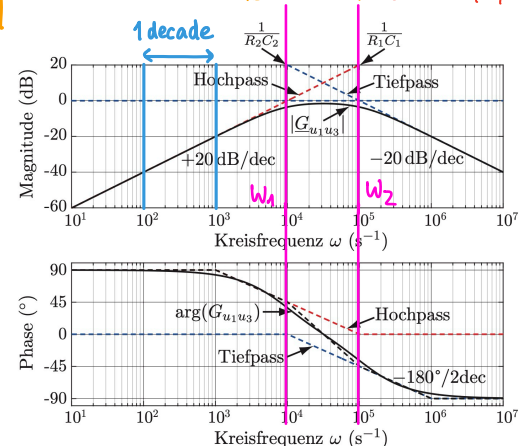
Generelles Vorgehen: Bodeplots werden von links nach rechts gezeichnet.

1. Übertragungsfunktion in Nullstellenform / nach Grundbausteinen (*) faktorisieren

=> z.T. mit Partialbruchzerlegung!
=> alle Parameter in dieser Form bestimmen! $K_0, r, \dots$

2. Eckfrequenzen ($\hat{=}$ Grenzfrequenz $\hat{=}$ 3dB-Grenzfrequenz) berechnen (aus den Grundbausteinen ablesen) & in beiden Plots einzeichnen

Sidenote: da es eine Geradennäherung ist, ist der "echte" Bodeplot etwas runder bei den Eckfrequenzen/Knicke. Die Eckfrequenzen sind genau dort, wo die Verstärkung (im "echten" Plot) um 3dB abnimmt! => 3dB-Grenzfrequenz



AMPLITUDENGANG

3. Startpunkt berechnen @ ω_1 (kleinste Eckfrequenz):
 $F_{dB}(\omega_1) = 20 \log_{10}(|K_0 F_{ges}^*(0)| \cdot \omega_1^r) \rightarrow$ im Plot einzeichnen.
Steigung nach links bestimmen & einzeichnen.

4. Steigung nach rechts:
Beiträge der einzelnen Grundbausteine bestimmen ($\rightarrow$ steht bei *) und einzeichnen

PHASENGANG

5. $\varphi(\omega=0)$ bestimmen.
 $\omega=0$ bis $\omega=\omega_1$ ist es immer eine Gerade
 $\rightarrow$ einzeichnen

6. Beiträge der einzelnen Grundbausteine bestimmen ($\rightarrow$ steht bei *) und einzeichnen

Beispielaufgabe

→ Aufgabe aus Serie 4

Aufgabe 1 Übertragungsfunktion und Bode Diagramm

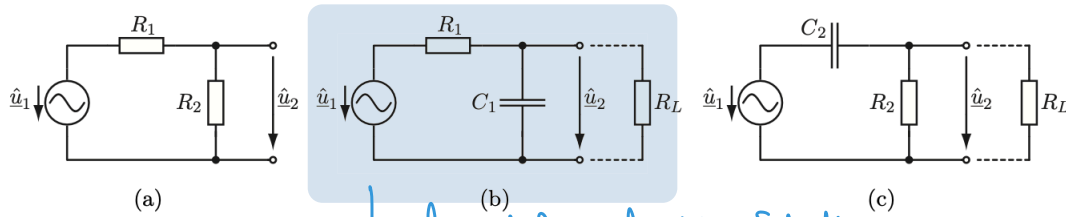
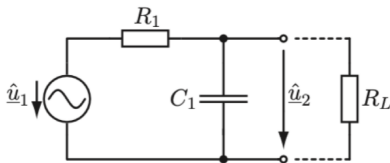


Abbildung 1: (a) Spannungsteiler, (b) RC-Tiefpassfilter, und (c) RC-Hochpassfilter.

Gegeben sind die in Abbildung 1 gezeigten Schaltungen mit einer sinusförmigen Quellenspannung $\hat{u}_1$ und den Bauteilwerten $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 1 \text{ nF}$ und $C_2 = 10 \text{ nF}$. Der Lastwiderstand R_L in Abbildung 1(b) und 1(c) wird erst in Aufgabenteil 1.3) berücksichtigt.

- 1.1) Bestimmen Sie für jede der in Abbildung 1 gezeigten Schaltungen die Übertragungsfunktion $\underline{G}_{u1u2}(j\omega) = \frac{\hat{u}_2(j\omega)}{\hat{u}_1(j\omega)}$ und konstruieren Sie die zugehörigen Bode Diagramme (Amplitudengang und Phasengang) im Bereich $\omega \in [10^1 \dots 10^7] \text{ s}^{-1}$ mit Hilfe der Asymptotennäherung. Verwenden Sie die dazu angehängten Diagramme in Abbildungen 7 - 9. Geben Sie in beiden Fällen die 3 dB-Grenzfrequenz an.

1.1)



$$\underline{G}_{u1u2}(j\omega) = \frac{\hat{u}_2(j\omega)}{\hat{u}_1(j\omega)} = \frac{\frac{1}{\hat{u}_1} \cdot \frac{\hat{u}_1 \cdot \underline{Z}_{C1}}{\underline{Z}_{C1} + \underline{Z}_{R1}}}{\frac{1}{\hat{u}_1}} = \frac{\frac{1}{j\omega C_1}}{\frac{1}{j\omega C_1} + R_1} = \frac{1}{1 + j\omega R_1 C_1}$$

Bodeplot zeichnen (mit Kochrezept in Zusammenfassung):

① $\underline{G}_{u1u2}(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega R_1 C_1} = T_{p,1}$ → bereits in faktorisierter Form: $K_0 = 1, r = 0$

② Eckfrequenzen (= 3dB-Grenzfrequenzen) → in diesem Fall nur 1 Eckfrequenz

$$\omega_1 = \frac{1}{T_{p,1}} = \frac{1}{R_1 C_1} = 10^5 \text{ s}^{-1} \rightarrow \text{in beiden Plots einzeichnen}$$

AMPLITUDENGANG:

③ Startpunkt: @ $\omega = \omega_1$:

$$F_{dB}(\omega_1) = 20 \cdot \log_{10} (|K_0 F_{ges}^*(\omega)| \cdot \omega_1^r) = 20 \cdot \log_{10} (|1 \times 1| \cdot (10^5 \text{ s}^{-1})^0) = 20 \cdot \log_{10} (1) = 0$$

→ einzeichnen

Steigung nach links: $r \cdot 20 \text{ dB/dec} = 0 \text{ dB/dec} \rightarrow \text{einzeichnen}$

④ Startpunkt nach rechts:

Wir haben den Grundbaustein $\frac{1}{1+j\omega R_1 C_1}$ $\rightarrow$ in $\otimes$ finden

$\Rightarrow$ Steigung -20 dB/Dekade (zusätzlich zur bereits vorhandenen Steigung !)

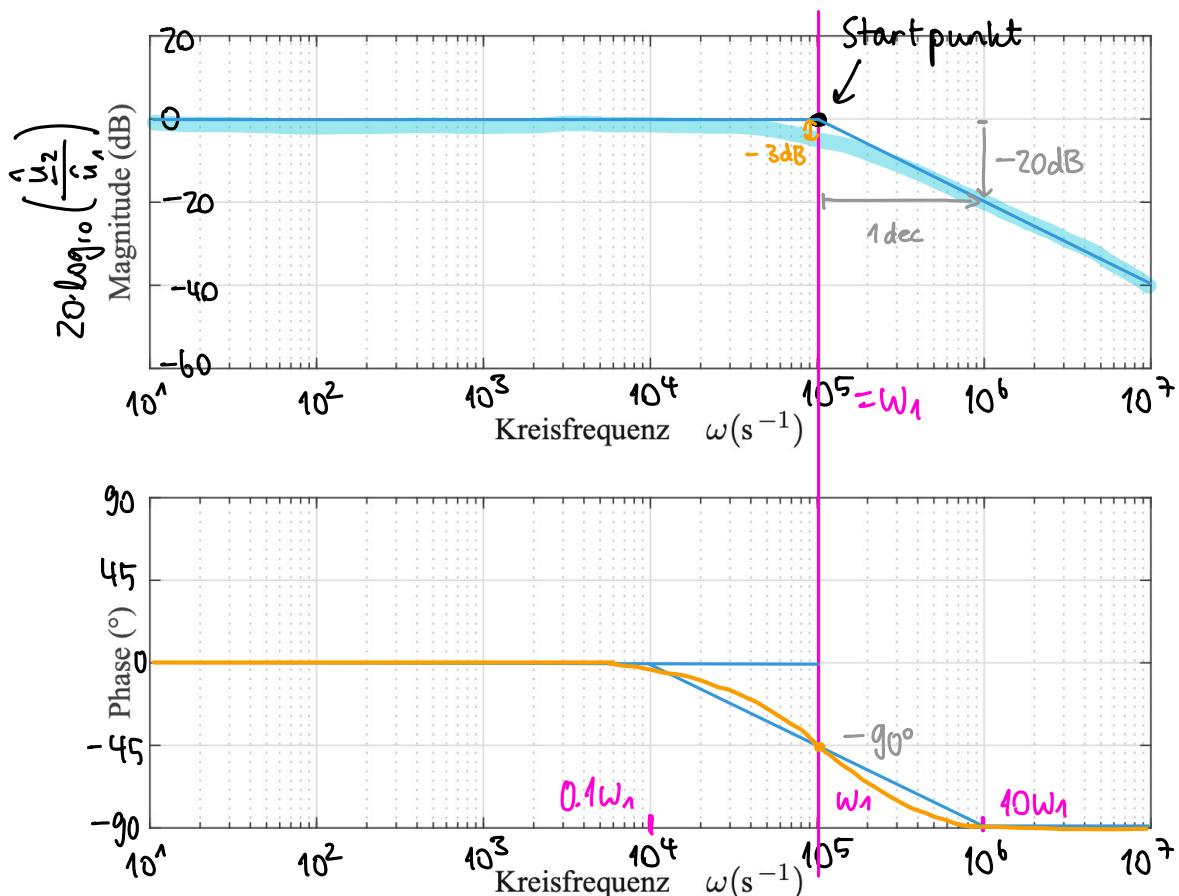
$\rightarrow$ in diesem Fall $0 \text{ dB} - 20 \text{ dB} = -20 \text{ dB}$

PHASENGANG:

⑤ da $K_0 F_{\text{ges}}^*(s) = 1 > 0 \Rightarrow \varphi(\omega=0) = r \cdot 90^\circ = 0^\circ \rightarrow \text{Gerade bis } \omega = \omega_n \text{ zeichnen (Steigung 0)}$

⑥ Wir haben den Grundbaustein $\frac{1}{1+j\omega R_1 C_1}$ $\rightarrow$ in $\otimes$ finden

$\Rightarrow$ Phase -90° zwischen $0.1\omega_n$ & $10\omega_n$



Beispielaufgabe

Sei die Übertragungsfunktion eines Bandpass-Filters gegeben als:

$$\underline{G}(j\omega) = \frac{j\omega R_2 C_2}{1+j\omega R_2 C_2} \cdot \frac{1}{1+j\omega R_1 C_1}$$

$$\text{mit } \frac{1}{R_1 C_1} = 10^4 \text{ s}^{-1} \quad \text{und} \quad \frac{1}{R_2 C_2} = 10^5 \text{ s}^{-1}.$$

Konstruiere das Bode-Diagramm dieses Bandpassfilters.

$$\begin{aligned} \textcircled{1} \quad \underline{G}(j\omega) &= j\omega R_2 C_2 \cdot \frac{1}{1+j\omega R_2 C_2} \cdot \frac{1}{1+j\omega R_1 C_1} \\ &= \underbrace{R_2 C_2}_{K_0} \cdot (j\omega)^{\textcircled{1}=r} \cdot \frac{1}{1+j\omega R_2 C_2} \cdot \frac{1}{1+j\omega R_1 C_1} \end{aligned}$$

$$\textcircled{2} \quad \omega_1 = \frac{1}{R_1 C_1} = 10^4 \text{ s}^{-1} \quad ; \quad \omega_2 = \frac{1}{R_2 C_2} = 10^5 \text{ s}^{-1} \quad \rightarrow \text{einzeichnen}$$

AMPLITUDENGANG:

$\textcircled{3}$ Startpunkt: @ $\omega = \omega_1$:

$$F_{dB}(\omega_1) = 20 \cdot \log_{10} (|K_0 F_{ges}^*(\omega)| \cdot \omega_1^r) = 20 \cdot \log_{10} (|R_2 C_2 \times 1| \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}) = 0 \text{ dB}$$

Steigung von Startpunkt nach links: $r \cdot 20 \text{ dB/dec} = 20 \text{ dB/dec} \rightarrow \text{einzeichnen}$

$\textcircled{4}$ @ $\omega = \omega_1$: Grundbaustein $\frac{1}{1+j\omega R_1 C_1}$ in $\otimes$ finden

$\Rightarrow$ Steigung -20 dB/dec (zusätzlich zur bereits vorhandenen Steigung !)

$$\Rightarrow 20 \text{ dB/dec} - 20 \text{ dB/dec} = 0 \text{ dB/dec bis } \omega = \omega_2$$

@ $\omega = \omega_2$: Grundbaustein $\frac{1}{1+j\omega R_2 C_2}$ in $\otimes$ finden

$\Rightarrow$ Steigung -20 dB/dec (zusätzlich zur bereits vorhandenen Steigung !)

$$\Rightarrow 0 \text{ dB/dec} - 20 \text{ dB/dec} = -20 \text{ dB/dec bis } \omega \rightarrow \infty$$

(da ω_2 die letzte Eckfrequenz ist).

PHASENGANG:

⑤ da $K_0 F_{ges}^*(s) = R_2 C_2 \times 1 = 10^{-5} > 0 \Rightarrow \varphi(0) = r \cdot 90^\circ = 90^\circ$

→ waagrechte Gerade bei $\varphi = 90^\circ$ bis $\omega = \omega_1$ zeichnen

⑥ 1. Eckfrequenz $\omega = \omega_1$:

Wir haben den Grundbaustein $\frac{1}{1+j\omega R_1 C_1}$ → in $\otimes$ finden

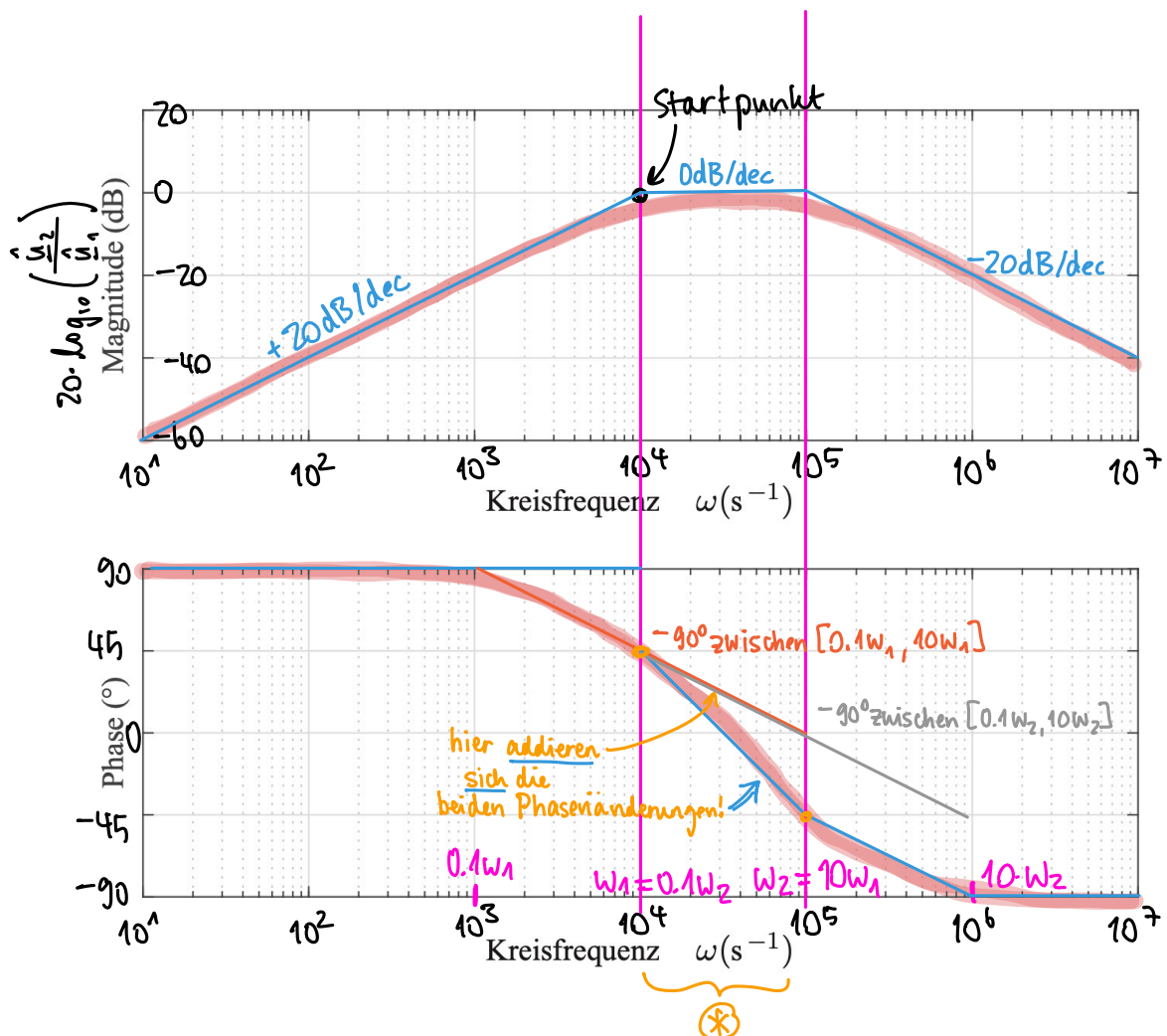
⇒ Phase -90° zwischen $0.1\omega_1$ & $10\omega_1$

2. Eckfrequenz $\omega = \omega_2$:

Wir haben den Grundbaustein $\frac{1}{1+j\omega R_2 C_2}$ → in $\otimes$ finden

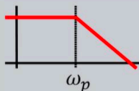
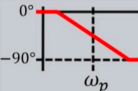
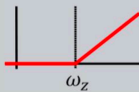
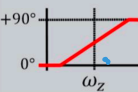
⇒ Phase -90° zwischen $0.1\omega_2$ & $10\omega_2$

⇒ da zwischen $0.1\omega_2$ und ω_2 ($\otimes$) bereits die Phasenänderung von der 1. Eckfrequenz ω_1 stattfindet (da $\otimes = [\omega_1, 10\omega_1]$) addieren sich dort die 2 Phasenänderungen.



Good to have's:

Für Filter 1. Ordnung:

	Formula	Amplitude	Phase
Left Half-Plane Pole	$\frac{1}{1 + \frac{j\omega}{\omega_p}}$	-20dB per decade from pole 	-90° over two decades 
Left Half-Plane Zero	$1 + \frac{j\omega}{\omega_z}$	+20dB per decade from zero 	+90° over two decades 

"Left half plane" heißt, dass der Pol/die NST einen negativen Realteil hat.

In NUS2 kommen nur solche Pole/NSTen vor und keine "Right half plane" Pole/NSTen (= Pole/NSTen mit einem positiven Realteil)

=> mehr dazu erst in SS2 im 4. Semester :)

Für Filter n-Ordnung:

Phasenänderung
↗ zw. 0.1 ω_i und 10 ω_i

Steigungsänderung
zusätzlich zur bereits vorhandenen Steigung!

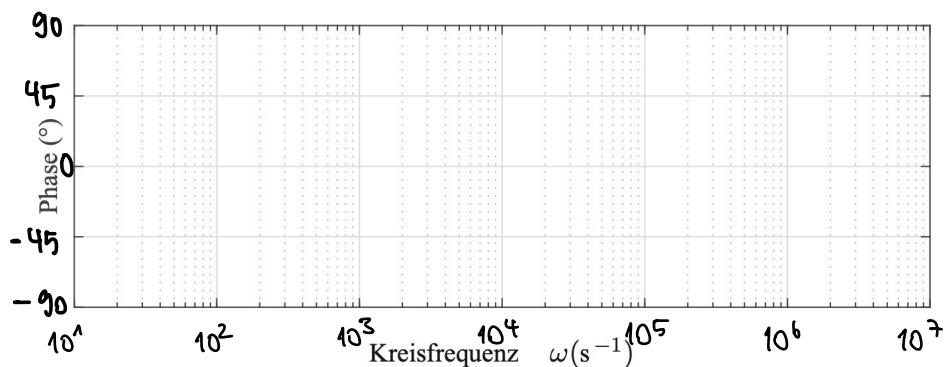
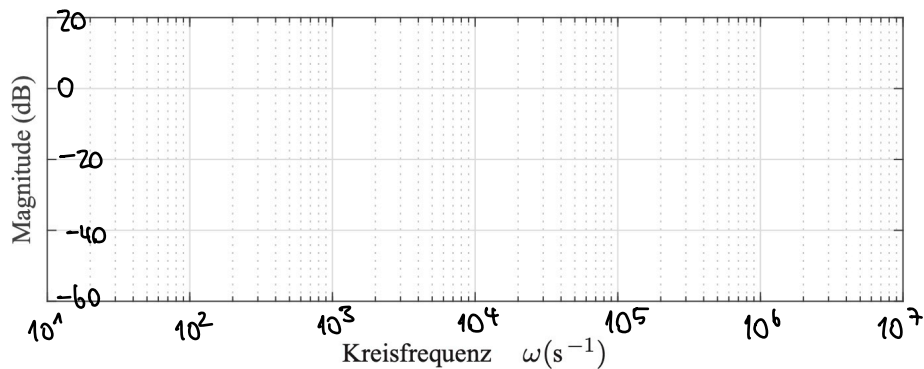
	$G(j\omega)$	$\phi(\omega = 0)$	$\phi(\omega = \infty)$	$\Delta M(\omega = 0)$	$\Delta M(\omega = \infty)$
Integrator	$\frac{1}{s}$	-90°	-90°	-20dB	-20dB
Differentiator	s	90°	90°	20dB	20dB
Negative Pole	$\frac{1}{(s+\alpha)}$	0°	-90°	0dB	-20dB
(Positive Pole)	$\frac{1}{(\alpha-s)}$	0°	90°	0dB	-20dB
Negative Zero	$(s+\alpha)$	0°	90°	0dB	20dB
(Positive Zero)	$(\alpha-s)$	0°	-90°	0dB	20dB

"Grundbausteine"
Phasengang
Amplitudengang

=> Um diese Tabellen verwenden zu können, muss man vorher noch die Übertragungsfunktion faktorisieren & in Grundbausteine-Form bringen & alle Eckfrequenzen berechnen, wie in den vorherigen Beispielen.

Gleiche Bsp.e wie vorher, nun mithilfe dieser Tabellen:

$$\underline{G}_{u1u2}(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega R_1 C_1} \quad \text{mit } R_1 C_1 = 10^{-5} \text{ s}$$



$$\underline{G}(j\omega) = j\omega R_2 C_2 \cdot \frac{1}{1+j\omega R_2 C_2} \cdot \frac{1}{1+j\omega R_1 C_1}$$

mit $R_1 C_1 = 10^{-4} \text{ s}$

$R_2 C_2 = 10^{-5} \text{ s}$

