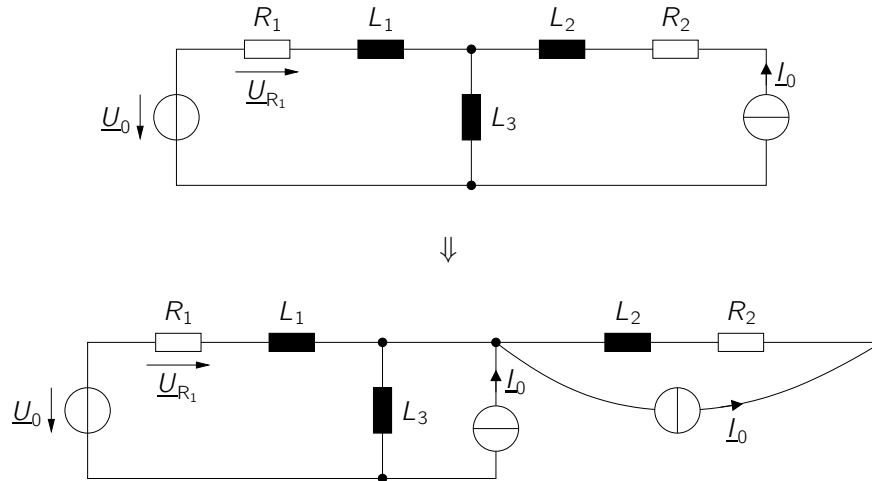


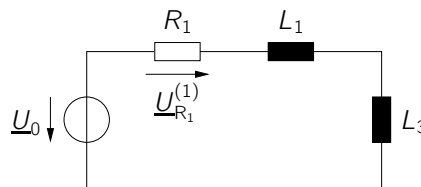
Aufgabe 1

a) Stromquelle über Knoten ziehen.



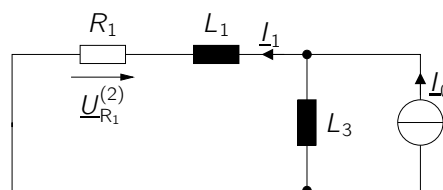
Superpositionsprinzip

(1) \underline{U}_0 aktiv; $\underline{I}_0 = 0$.



$$\underline{U}_{R_1}^{(1)} = \frac{R_1}{R_1 + j\omega(L_1 + L_3)} \underline{U}_0$$

(2) $\underline{U}_0 = 0$; \underline{I}_0 aktiv.



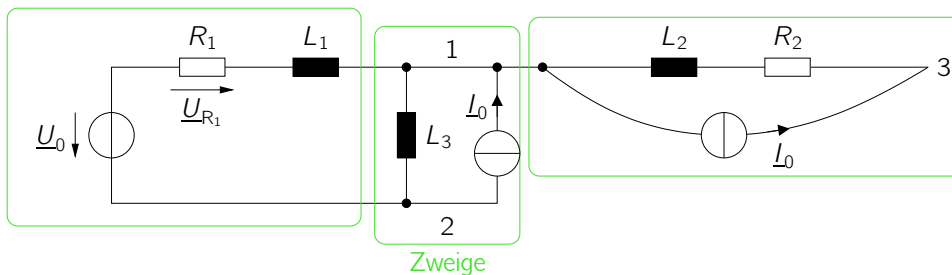
$$\underline{I}_1 = \frac{\frac{1}{j\omega L_1 + R_1}}{\frac{1}{j\omega L_1 + R_1} + \frac{1}{j\omega L_3}} \underline{I}_0 = \frac{j\omega L_3}{R_1 + j\omega(L_1 + L_3)} \underline{I}_0$$

$$\underline{U}_{R_1}^{(2)} = -R_1 \underline{I}_1 = -\frac{j\omega R_1 L_3}{R_1 + j\omega(L_1 + L_3)} \underline{I}_0$$

Ergebnis:

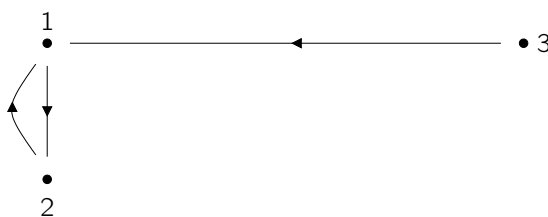
$$\underline{U}_{R_1} = \underline{U}_{R_1}^{(1)} + \underline{U}_{R_1}^{(2)} = \frac{R_1}{R_1 + j\omega(L_1 + L_3)} (\underline{U}_0 - j\omega L_3 \underline{I}_0)$$

b) In Form allgemeiner Zweige.

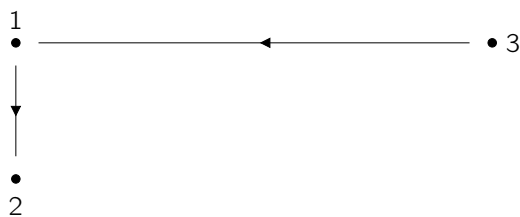


Hinweis: Es gibt verschiedene Lösungsmöglichkeiten dieser Aufgabe.

c) Graph, Baum und Co-Baum



Graph.



Baum.



Co-Baum.

Hinweis: Es gibt verschiedene Lösungsmöglichkeiten dieser Aufgabe.

d) Drücke Zeitverläufe in Phasordarstellung aus

$$\begin{aligned}
 u_0(t) &= 1 \text{ V} \cos(\omega t) = \text{Re}\left\{ \underbrace{1 \text{ V}}_{\underline{U}_0} e^{j\omega t} \right\} & \Rightarrow \quad \underline{U}_0 &= 1 \text{ V}, \\
 i_0(t) &= 0 & \Rightarrow \quad \underline{I}_0 &= 0, \\
 u_{R_1}(t) &= \frac{1 \text{ V}}{\sqrt{2}} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) = \text{Re}\left\{ \frac{1 \text{ V}}{\sqrt{2}} e^{j(\omega t - \frac{\pi}{4})} \right\} & \Rightarrow \quad \underline{U}_{R_1} &= \frac{1 \text{ V}}{\sqrt{2}} e^{-j\frac{\pi}{4}}.
 \end{aligned}$$

Setze gleich mit Ergebnis aus a).

$$\begin{aligned} & \underline{U}_{R_1} = \underline{U}_{R_1} \\ \Leftrightarrow & \frac{1 \text{ V}}{\sqrt{2}} e^{-j \frac{\pi}{4}} = \frac{R_1}{R_1 + j \omega (L_1 + L_3)} (\underline{U}_0 - j \omega L_3 \underline{I}_0) \\ \Leftrightarrow & \frac{1 \text{ V}}{\sqrt{2}} e^{j \frac{\pi}{4}} = \frac{R_1}{R_1 + j \omega (L_1 + L_3)} 1 \text{ V} \\ \Leftrightarrow & \frac{1}{\sqrt{2} (\cos(\frac{\pi}{4}) + j \sin(\frac{\pi}{4}))} = \frac{R_1}{R_1 + j \omega (L_1 + L_3)} \\ \Leftrightarrow & \frac{1}{1 + j} = \frac{1}{1 + j \omega \frac{L_1 + L_3}{R_1}} \\ \Leftrightarrow & 1 = \omega \frac{L_1 + L_3}{R_1} \end{aligned}$$

Aufgabe 2

a) Impedanz

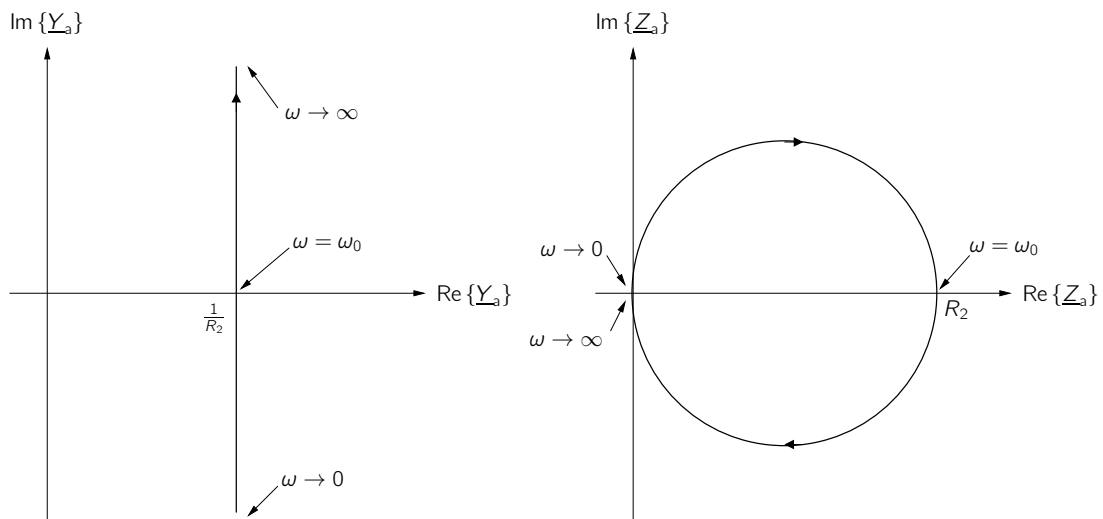
$$\underline{Z}_1 = R_1 + \frac{1}{j\omega C + \frac{1}{j\omega L} + \frac{1}{R_2}}$$

b) Konstruktion der Ortskurve

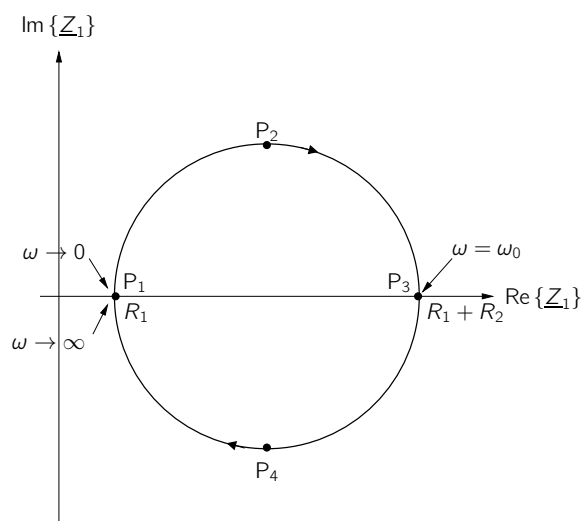
$$\underline{Y}_a = j\omega C + \frac{1}{j\omega L} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_2} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)$$

$$\underline{Z}_a = \frac{1}{\underline{Y}_a}$$

$$\underline{Z}_1 = R_1 + \underline{Z}_a$$



Ortskurven für \underline{Y}_a und \underline{Z}_a .



Ortskurve für \underline{Z}_1 .

Charakteristische Punkte:

$$P_1: \text{Minimum Realteil} \quad \Rightarrow \quad \underline{Z}_1 = R_1,$$

$$P_2: \text{Maximum Imaginärteil} \quad \Rightarrow \quad \underline{Z}_1 = R_1 + \frac{R_2}{2} + j \frac{R_2}{2},$$

$$P_3: \text{Maximum Realteil} \quad \Rightarrow \quad \underline{Z}_1 = R_1 + R_2,$$

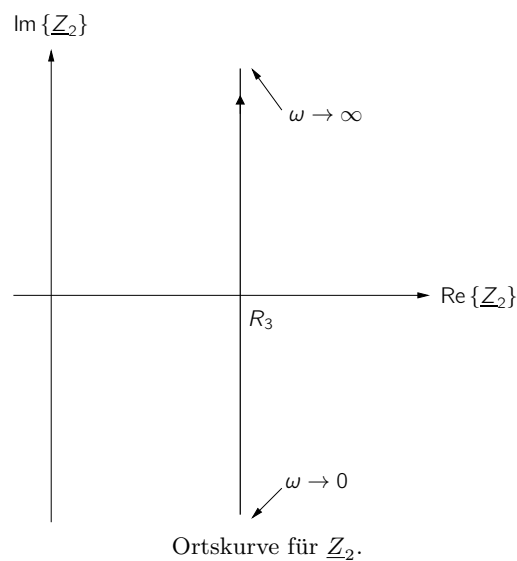
$$P_4: \text{Minimum Imaginärteil} \quad \Rightarrow \quad \underline{Z}_1 = R_1 + \frac{R_2}{2} - j \frac{R_2}{2}$$

mit Maximum des Realteils (P_3) bei

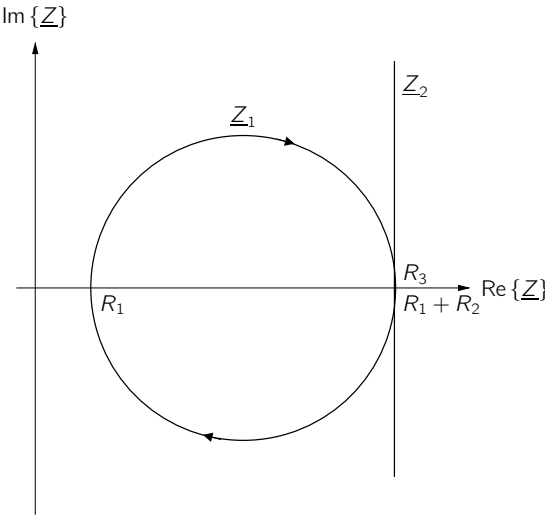
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

c) Wirkungsfunktion und Ortskurve

$$\underline{Z}_2 = R_3 + \frac{1}{j\omega C} + j\omega L = R_3 + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)$$



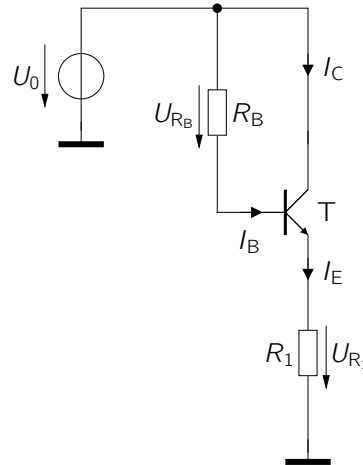
d) Aus folgender Abbildung lässt sich die Bedingung an die Bauelemente ablesen.



$$\Rightarrow R_3 \geq R_1 + R_2$$

Aufgabe 3

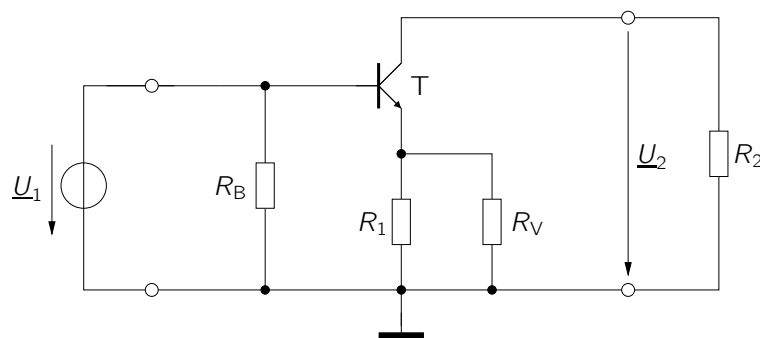
a) Gleichstrom-Ersatzschaltbild.



b) Auslegung von R_B :

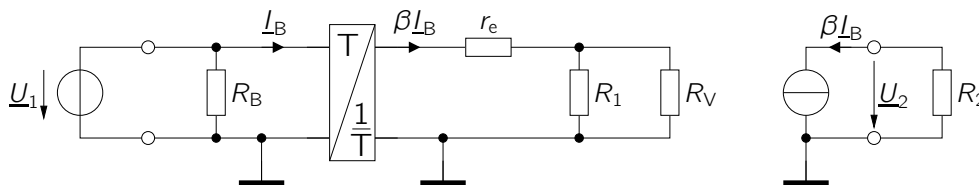
$$\begin{aligned}
 U_{CE} &\stackrel{!}{=} \frac{U_0}{2} \\
 U_{R_1} &= U_0 - U_{CE} = \frac{U_0}{2} \\
 \Rightarrow I_E &= \frac{U_{R_1}}{R_1} = \frac{U_0}{2R_1} \\
 I_C &\approx I_E, \text{ da } I_B \ll I_C \\
 \Rightarrow I_B &= \frac{I_C}{B_F} \approx \frac{I_E}{B_F} = \frac{U_0}{2B_F R_1} \\
 \Rightarrow U_{R_B} &= I_B R_B \approx \frac{U_0 R_B}{2B_F R_1} \\
 U_0 &= U_{R_B} + U_{BE,0} + U_{R_1} \\
 \Leftrightarrow U_0 &= \frac{U_0 R_B}{2B_F R_1} + U_{BE,0} + \frac{U_0}{2} \\
 \Leftrightarrow R_B &= B_F R_1 \left(1 - \frac{2U_{BE,0}}{U_0} \right)
 \end{aligned}$$

c) Wechselstrom-Ersatzschaltbild.

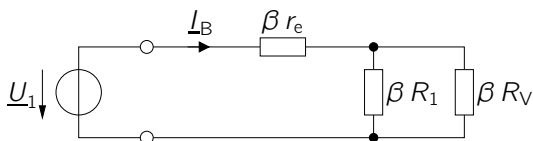


d) Berechnung der Spannungsübertragungsfunktion \underline{V}_u .

Durch Verwendung des T-Operator-Ersatzschaltbildes lässt sich das Wechselstrom-Ersatzschaltbild wie folgt darstellen.



Nach der Transformation mithilfe des T-Operators ergibt sich für die linke Seite:



$$I_B = \frac{U_1}{\beta r_e + (\beta R_1) \parallel (\beta R_V)} = \frac{U_1}{\beta} \frac{1}{r_e + \frac{R_1 R_V}{R_1 + R_V}}$$

$$U_2 = -\beta I_B R_2 = -U_1 R_2 \frac{1}{r_e + \frac{R_1 R_V}{R_1 + R_V}}$$

$$\underline{V}_u = \frac{U_2}{U_1} = -\frac{R_2}{r_e + \frac{R_1 R_V}{R_1 + R_V}}$$

e) Dimensionierung von R_V

$$\underline{V}_u = -\frac{R_2}{r_e + \frac{R_1 R_V}{R_1 + R_V}} \stackrel{!}{=} -1$$

$$R_2 - r_e = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_V}}$$

$$\frac{1}{R_V} = \frac{1}{R_2 - r_e} - \frac{1}{R_1} = \frac{R_1 - R_2 + r_e}{R_1(R_2 - r_e)}$$

$$R_V = \frac{R_1(R_2 - r_e)}{R_1 - R_2 + r_e}$$

Da alle Widerstände Werte ≥ 0 haben, muss gelten

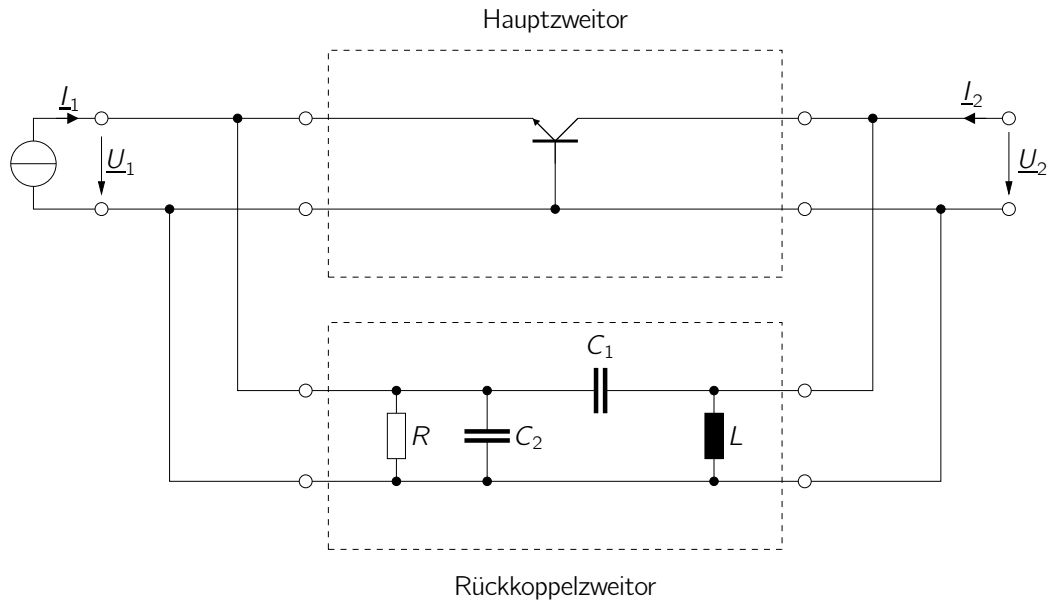
$$\begin{aligned} & R_V \geq 0 \\ \Leftrightarrow & R_1(R_2 - r_e) \geq 0 \quad \wedge \quad R_1 - R_2 + r_e \geq 0 \\ \Leftrightarrow & r_e \leq R_2 \quad \wedge \quad r_e \geq R_2 - R_1 \\ \Leftrightarrow & g_m \geq \frac{1}{R_2} \quad \wedge \quad g_m \leq \frac{1}{R_2 - R_1}. \end{aligned}$$

Also:

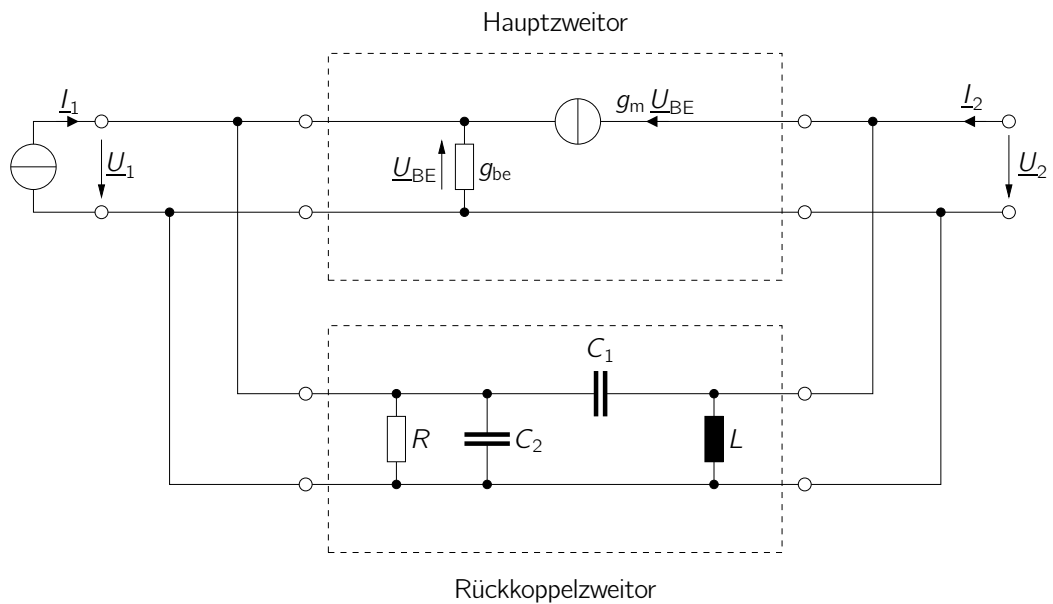
$$\frac{1}{R_2} \leq g_m \leq \frac{1}{R_2 - R_1}$$

Aufgabe 4

a) Darstellung als Haupt- und Rückkoppelzweitor.



b) Kleinsignalersatzschaltbild.



c) i) Parallel-Parallel-Kopplung.

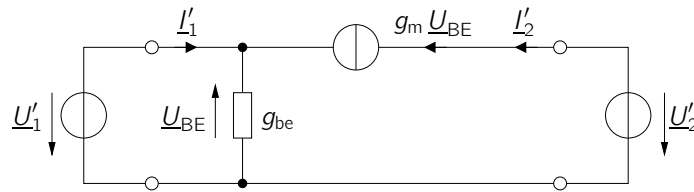
ii) Verwende $\underline{\mathbf{Y}}$ -Matrizen, da

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_1' \\ I_2' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} I_1'' \\ I_2'' \end{pmatrix} = \underline{\mathbf{Y}}' \begin{pmatrix} U_1' \\ U_2' \end{pmatrix} + \underline{\mathbf{Y}}'' \begin{pmatrix} U_1'' \\ U_2'' \end{pmatrix} = (\underline{\mathbf{Y}}' + \underline{\mathbf{Y}}'') \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix} = \underline{\mathbf{Y}} \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix}.$$

\Rightarrow $\underline{\mathbf{Y}}$ -Matrizen von Haupt- und Rückkoppelzweitor können addiert werden.

d) Zweitorparameter.

Für Hauptzweitor:



$$\underline{Y}'_{11} = \left. \frac{I'_1}{U'_1} \right|_{U'_2=0} = g_{be} + g_m$$

$$\underline{Y}'_{12} = \left. \frac{I'_1}{U'_2} \right|_{U'_1=0} = 0$$

$$\underline{Y}'_{21} = \left. \frac{I'_2}{U'_1} \right|_{U'_2=0} = -g_m$$

$$\underline{Y}'_{22} = \left. \frac{I'_2}{U'_2} \right|_{U'_1=0} = 0$$

$$\Rightarrow \underline{\mathbf{Y}}' = \begin{pmatrix} g_{be} + g_m & 0 \\ -g_m & 0 \end{pmatrix}$$

Für Rückkoppelzweitor:

$$\underline{Y}''_{11} = \left. \frac{I''_1}{U''_1} \right|_{U''_2=0} = \frac{1}{R} + j\omega(C_1 + C_2)$$

$$\underline{Y}''_{12} = \left. \frac{I''_1}{U''_2} \right|_{U''_1=0} = -j\omega C_1$$

$$\underline{Y}''_{21} = \left. \frac{I''_2}{U''_1} \right|_{U''_2=0} = -j\omega C_1$$

$$\underline{Y}''_{22} = \left. \frac{I''_2}{U''_2} \right|_{U''_1=0} = j\omega C_1 + \frac{1}{j\omega L}$$

$$\Rightarrow \underline{\mathbf{Y}}'' = \begin{pmatrix} \frac{1}{R} + j\omega(C_1 + C_2) & -j\omega C_1 \\ -j\omega C_1 & j\omega C_1 + \frac{1}{j\omega L} \end{pmatrix}$$

Gesamtmatrix:

$$\Rightarrow \underline{\mathbf{Y}} = \begin{pmatrix} g_{be} + g_m + \frac{1}{R} + j\omega(C_1 + C_2) & -j\omega C_1 \\ -g_m - j\omega C_1 & j\omega C_1 + \frac{1}{j\omega L} \end{pmatrix}$$

e) Transimpedanz

$$\underline{Z}_T = \left. \frac{U_2}{I_1} \right|_{I_2=0}$$

Es gilt

$$\begin{pmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{Y}_{11} & \underline{Y}_{12} \\ \underline{Y}_{21} & \underline{Y}_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{pmatrix}.$$

$$\begin{aligned} & \underline{I}_2 = 0 \\ \Leftrightarrow & \underline{Y}_{21} \underline{U}_1 + \underline{Y}_{22} \underline{U}_2 = 0 \\ \Leftrightarrow & \underline{U}_1 = -\frac{\underline{Y}_{22}}{\underline{Y}_{21}} \underline{U}_2 \\ \Rightarrow & \underline{I}_1 = \underline{Y}_{11} \underline{U}_1 + \underline{Y}_{12} \underline{U}_2 \\ & = \left(-\frac{\underline{Y}_{11} \underline{Y}_{22}}{\underline{Y}_{21}} + \underline{Y}_{12} \right) \underline{U}_2 \\ \Rightarrow & Z_T = \frac{1}{\underline{Y}_{12} - \frac{\underline{Y}_{11} \underline{Y}_{22}}{\underline{Y}_{21}}} = \frac{\underline{Y}_{21}}{\underline{Y}_{12} \underline{Y}_{21} - \underline{Y}_{11} \underline{Y}_{22}} \\ & = \frac{g_m + j\omega C_1}{(g_{be} + g_m + 1/R + j\omega(C_1 + C_2)) \cdot 1/j\omega L + j\omega C_1 (g_{be} + 1/R + j\omega C_2)}. \end{aligned}$$

Aufgabe 5

a) Berechnung der Wirkungsfunktion.

$$\begin{aligned}
 \underline{U}_1 &= \underline{U}_0 - R_0 \underline{I}_1 \\
 \underline{I}_1 &= \frac{\underline{U}_1 - \underline{U}_2}{R_1 + \frac{1}{sC}} = \frac{\underline{U}_1 - v_0 \underline{U}_1}{R_1 + \frac{1}{sC}} \\
 \Rightarrow \underline{U}_1 &= \underline{U}_0 - R_0 \frac{1 - v_0}{R_1 + \frac{1}{sC}} \underline{U}_1 \\
 \Leftrightarrow \left(R_1 + \frac{1}{sC}\right) \underline{U}_0 &= \left(R_1 + \frac{1}{sC} + R_0(1 - v_0)\right) \underline{U}_1 \\
 \Rightarrow \underline{F} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_0} &= \frac{v_0 \underline{U}_1}{\underline{U}_0} = \frac{v_0 \left(R_1 + \frac{1}{sC}\right)}{R_1 + \frac{1}{sC} + R_0(1 - v_0)} \\
 &= \frac{v_0 (sCR_1 + 1)}{1 + sC(R_1 + R_0(1 - v_0))}
 \end{aligned}$$

b) Die Funktion $\underline{Z}_{\text{ein}}(s)$ würde sich nicht zur Analyse der Stabilität der Gesamtschaltung eignen, da die Gesamtschaltung als Ursache die Quelle \underline{U}_0 hat, die Funktion $\underline{Z}_{\text{ein}}(s)$ jedoch \underline{I}_1 und nur Wirkungsfunktionen mit gleicher Ursache gleiche Pole und damit gleiche Stabilitätseigenschaften aufweisen.

c) Polstellen, Stabilitätsbedingung

Pole:

$$1 + sC(R_1 + R_0(1 - v_0)) = 0 \Leftrightarrow s_1 = \frac{-1}{C(R_1 + R_0(1 - v_0))}.$$

Die Gesamtschaltung ist stabil, wenn der Realteil aller Pole ≤ 0 .

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow s_1 &\leq 0 \\
 \Leftrightarrow C(R_1 + R_0(1 - v_0)) &\geq 0 \\
 \Leftrightarrow R_1 &\geq R_0(v_0 - 1)
 \end{aligned}$$

d) Heavisidescher Entwicklungssatz

$$\begin{aligned}
 u_2(t) &= \mathcal{L}^{-1} \{ \underline{U}_2(s) \} = \mathcal{L}^{-1} \{ \underline{F}(s) \underline{U}_0(s) \} = \mathcal{L}^{-1} \{ \underline{F}(s) \mathcal{L} \{ u_0(t) \} \} \stackrel{\mathcal{L} \{ u_0(t) \} = 1}{=} \mathcal{L}^{-1} \{ \underline{F}(s) \} \\
 &= \sum_{i=1}^1 \frac{\underline{Z}(s)}{\underline{N}'(s)} e^{st} \Big|_{s=s_i}
 \end{aligned}$$

mit

$$\begin{aligned}
 \underline{Z}(s) &= v_0 (sCR_1 + 1) \\
 \underline{N}(s) &= 1 + sC(R_1 + R_0(1 - v_0)) \\
 \Rightarrow \underline{N}'(s) &= C(R_1 + R_0(1 - v_0)).
 \end{aligned}$$

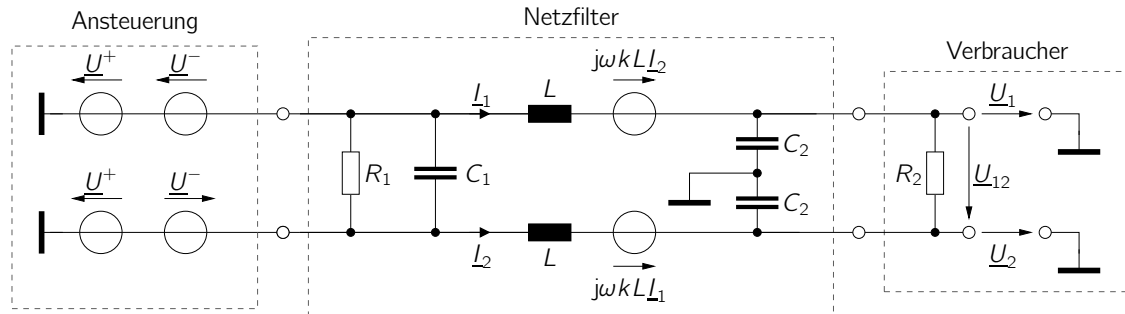
Also:

$$\begin{aligned}u_2(t) &= \frac{v_0 (s_1 C R_1 + 1)}{C (R_1 + R_0 (1 - v_0))} e^{s_1 t} \\&= \frac{v_0 \left(1 - \frac{C R_1}{C (R_1 + R_0 (1 - v_0))}\right)}{C (R_1 + R_0 (1 - v_0))} e^{-\frac{t}{C (R_1 + R_0 (1 - v_0))}} \\&= \frac{v_0 C R_0 (1 - v_0)}{C^2 (R_1 + R_0 (1 - v_0))^2} e^{-\frac{t}{C (R_1 + R_0 (1 - v_0))}}.\end{aligned}$$

- e) Es ist mit der Schaltung nicht möglich, eine sinusförmige Schwingung zu erzeugen, da der einzige Pol s_1 rein reell ist und für eine sinusförmige Schwingung (mindestens) zwei komplex konjugierte Pole mit nicht-verschwindendem Imaginärteil notwendig sind.

Aufgabe 6

a) Ansteuerung als Überlagerung von Gleich- und Gegentaktquellen:



Es gilt

$$\begin{aligned} \underline{U}^+ + \underline{U}^- &= \underline{U}_0 \\ \wedge \underline{U}^+ - \underline{U}^- &= 0 \\ \Rightarrow \underline{U}^+ &= \underline{U}^- = \frac{1}{2} \underline{U}_0. \end{aligned}$$

b) Darstellung als Gleich- und Gegentakt

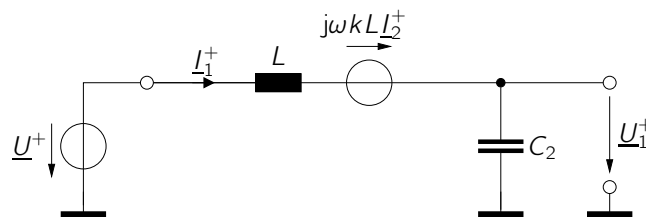
$$\begin{aligned} \underline{I}_1 &= \underline{I}_1^+ + \underline{I}_1^- \\ \underline{I}_2 &= \underline{I}_2^+ + \underline{I}_2^- \end{aligned}$$

Aus Symmetrie folgt:

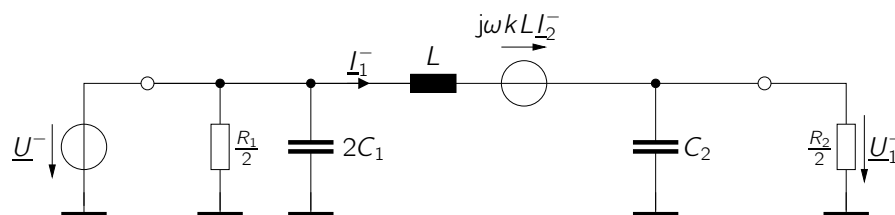
$$\begin{aligned} \underline{I}_1^+ &= \underline{I}_2^+ \\ \underline{I}_1^- &= -\underline{I}_2^- \end{aligned}$$

c) Einphasige Ersatzschaltbilder

Gleichtakt:



Gegentakt:



d) Berechnung von \underline{U}_1 .

Gleichtakt:

$$\begin{aligned}\underline{U}_1^+ &= \frac{1}{j\omega C_2} I_1^+ \\ I_1^+ &= \frac{\underline{U}^+ - j\omega k L I_2^+}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C_2}} \stackrel{b)}{=} \frac{\underline{U}^+ - j\omega k L I_1^+}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C_2}} \\ \Leftrightarrow I_1^+ &= \frac{\underline{U}^+}{j\omega L(1+k) + \frac{1}{j\omega C_2}} \\ \Rightarrow \underline{U}_1^+ &= \frac{1}{1 - \omega^2 L C_2(1+k)} \underline{U}^+\end{aligned}$$

Gegentakt:

$$\begin{aligned}\underline{U}_1^- &= \frac{1}{j\omega C_2 + \frac{2}{R_2}} I_1^- \\ I_1^- &= \frac{\underline{U}^- - j\omega k L I_2^-}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C_2 + \frac{2}{R_2}}} \stackrel{b)}{=} \frac{\underline{U}^- + j\omega k L I_1^-}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C_2 + \frac{2}{R_2}}} \\ \Leftrightarrow I_1^- &= \frac{\underline{U}^-}{j\omega L(1-k) + \frac{1}{j\omega C_2 + \frac{2}{R_2}}} \\ \Rightarrow \underline{U}_1^- &= \frac{1}{1 + j\omega L(1-k) \left(j\omega C_2 + \frac{2}{R_2} \right)} \underline{U}^-\end{aligned}$$

Gesamtergebnis:

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_1^+ + \underline{U}_1^- = \left(\frac{1}{1 - \omega^2 L C_2(1+k)} + \frac{1}{1 + j\omega L(1-k) \left(j\omega C_2 + \frac{2}{R_2} \right)} \right) \frac{1}{2} \underline{U}_0.$$

e) Berechnung von \underline{U}_{12} mit gleicher Vorgehensweise wie in b):

$$\begin{aligned}\underline{U}_1 &= \underline{U}_1^+ + \underline{U}_1^- \\ \underline{U}_2 &= \underline{U}_2^+ + \underline{U}_2^-\end{aligned}$$

Aus Symmetrie folgt:

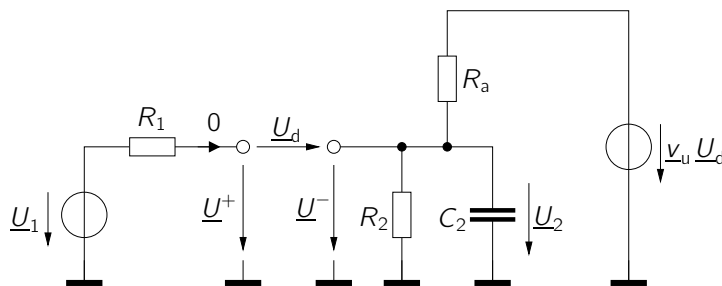
$$\begin{aligned}\underline{U}_1^+ &= \underline{U}_2^+ \\ \underline{U}_1^- &= -\underline{U}_2^-\end{aligned}$$

Es gilt:

$$\begin{aligned}\underline{U}_{12} &= \underline{U}_1 - \underline{U}_2 = (\underline{U}_1^+ + \underline{U}_1^-) - (\underline{U}_1^+ - \underline{U}_1^-) = 2 \underline{U}_1^- \\ &= \frac{2}{1 + j\omega L(1-k) \left(j\omega C_2 + \frac{2}{R_2} \right)} \frac{1}{2} \underline{U}_0 = \frac{\underline{U}_0}{1 + j\omega L(1-k) \left(j\omega C_2 + \frac{2}{R_2} \right)}.\end{aligned}$$

Aufgabe 7

a) Bestimmung des Frequenzgangs.



$$\underline{U}^+ = \underline{U}_1 - R_1 I_{R_1} \stackrel{I_{R_1}=0}{=} \underline{U}_1$$

$$\underline{U}^- = \underline{U}_2$$

$$\underline{U}_2 = \frac{R_2 \parallel \frac{1}{j\omega C_2}}{R_a + (R_2 \parallel \frac{1}{j\omega C_2})} v_u \underline{U}_d = \frac{1}{1 + R_a \left(\frac{1}{R_2 \parallel \frac{1}{j\omega C_2}} \right)} v_u \underline{U}_d$$

$$= \frac{1}{1 + R_a \left(\frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right)} v_u \underline{U}_d$$

$$\underline{U}_d = \underline{U}^+ - \underline{U}^- = \underline{U}_1 - \underline{U}_2$$

$$\Rightarrow \underline{U}_2 = \frac{1}{1 + R_a \left(\frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right)} v_u (\underline{U}_1 - \underline{U}_2)$$

$$\Leftrightarrow v_u \underline{U}_1 = \left(1 + v_u + R_a \left(\frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right) \right) \underline{U}_2$$

$$\Rightarrow \underline{F} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{v_u}{1 + v_u + R_a \left(\frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right)}$$

b) Grenzwert

$$\underline{F} \stackrel{|v_u| \rightarrow \infty}{\rightarrow} 1$$

c) Identifikation mit Regelschleifendarstellung.

$$\begin{aligned} \underline{F} &= \frac{\underline{F}_a}{1 + \underline{F}_a \underline{F}_2} \xrightarrow{|\underline{F}_a| \rightarrow \infty} \frac{1}{\underline{F}_2} \stackrel{!}{=} 1 \\ \Leftrightarrow \underline{F}_2 &= 1. \\ \frac{1}{\underline{F}} &= \frac{1}{\underline{F}_a} + \underline{F}_2 \\ \Leftrightarrow \frac{1}{\underline{F}_a} &= \frac{1}{\underline{F}} - \underline{F}_2 = \frac{1 + \underline{v}_u + R_a \left(\frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right)}{\underline{v}_u} - 1 = \frac{1}{\underline{v}_u} \left(1 + R_a \left(\frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right) \right) \\ \Leftrightarrow \underline{F}_a &= \frac{\underline{v}_u}{1 + R_a \left(\frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right)} \\ \underline{F}_0 = \underline{F}_a \underline{F}_2 &= \frac{\underline{v}_u}{1 + R_a \left(\frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right)}. \end{aligned}$$

d) Zur Info: Lösung zur Kontrolle entspricht berechneter Lösung mit

$$\begin{aligned} a &= 1 + \frac{R_a}{R_2} \quad \text{und} \\ R &= \frac{R_a R_2}{R_a + R_2}. \end{aligned}$$

Fahre fort mit Lösung zur Kontrolle.

Für $C_2 = 0$ gilt

$$\underline{F}_0(C_2 = 0) = \frac{1}{a} \underline{v}_u = \frac{v_0}{a} \frac{1}{1 + \frac{j\omega}{\omega_0}}.$$

Lösung Bode-Diagramm (siehe nächste Seite).

e) Bedingung für Bauteilparameter

$$\begin{aligned} 20 \text{ dB} \log \left(\left| \frac{v_0}{a} \right| \right) &= 80 \text{ dB} \\ \Leftrightarrow v_0 &= 10^4 a. \end{aligned}$$

f) Die Schaltung ist stabil, da die Phasenreserve 90° beträgt.

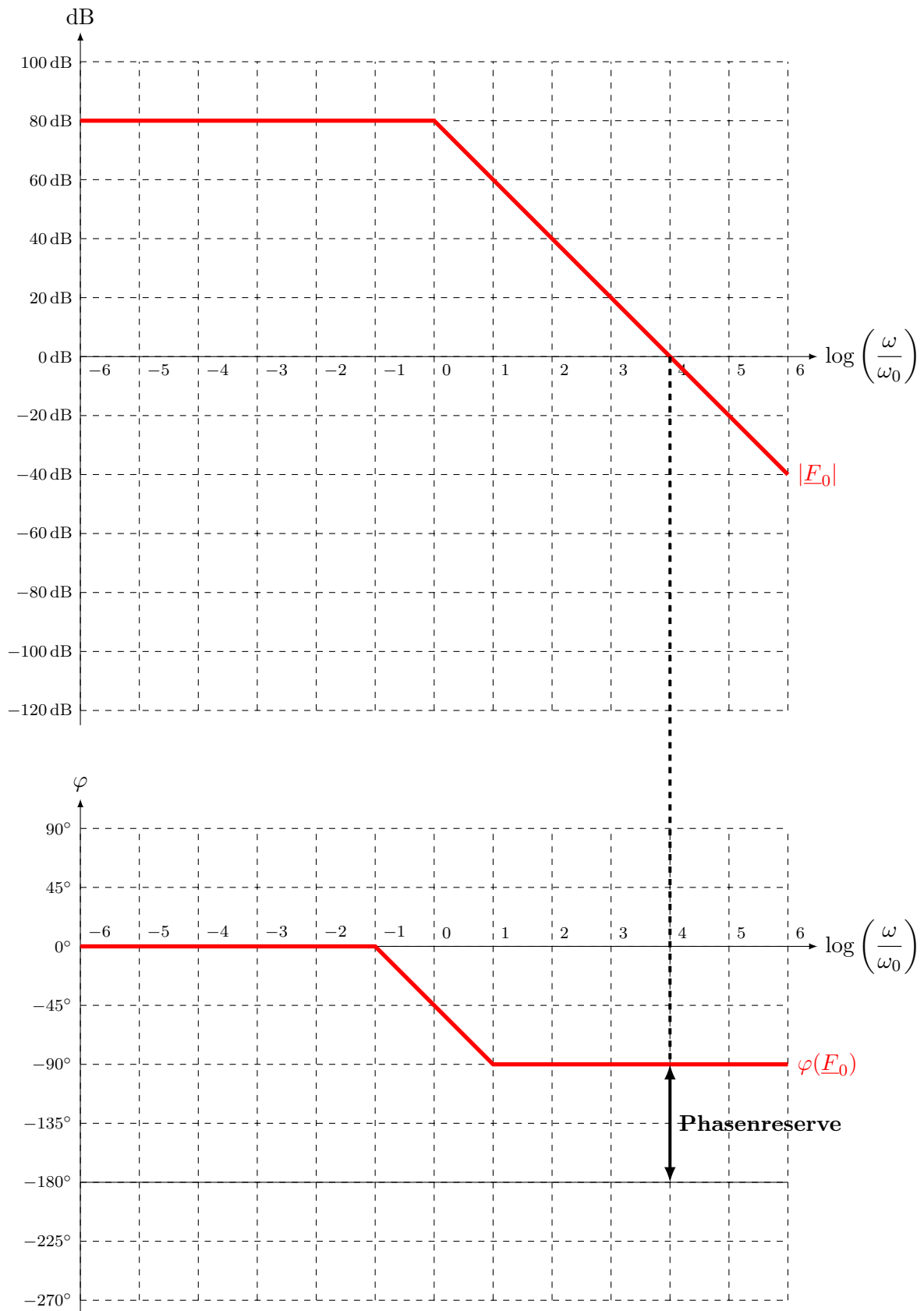


Abbildung 1: Lösung Bode-Diagramm für $C_2 = 0$.

g) Bestimmung von C_{\min} und C_{\max} .

Es gilt:

$$\underline{F}_0 = \frac{1}{a} \frac{v_u}{1 + j\omega RC_2} = \frac{v_0}{a} \frac{1}{\left(1 + \frac{j\omega}{\omega_0}\right) (1 + j\omega RC_2)} = \frac{v_0}{a} \frac{1}{\left(1 + \frac{j\omega}{\omega_0}\right) \left(1 + \frac{j\omega}{\omega_x}\right)} \quad \text{mit}$$
$$\omega_x = \frac{1}{RC_2}.$$

Anhand des Bode-Diagramms (siehe nächste Seite) lässt sich erkennen, dass die Phasenreserve bei den beiden Punkten

$$\omega_{x,1} = 10^{-4}\omega_0 \quad \text{und}$$
$$\omega_{x,2} = 10^4\omega_0$$

gerade 45° ist. Außerhalb dieses Bereichs ist sie größer, dazwischen kleiner.

Es gilt daher

$$C_2 = \frac{1}{R\omega_x} \geq \frac{1}{R\omega_{x,2}} = \frac{1}{10^4 R\omega_0} := C_{\min}$$
$$C_2 = \frac{1}{R\omega_x} \leq \frac{1}{R\omega_{x,1}} = \frac{10^4}{R\omega_0} := C_{\max}.$$

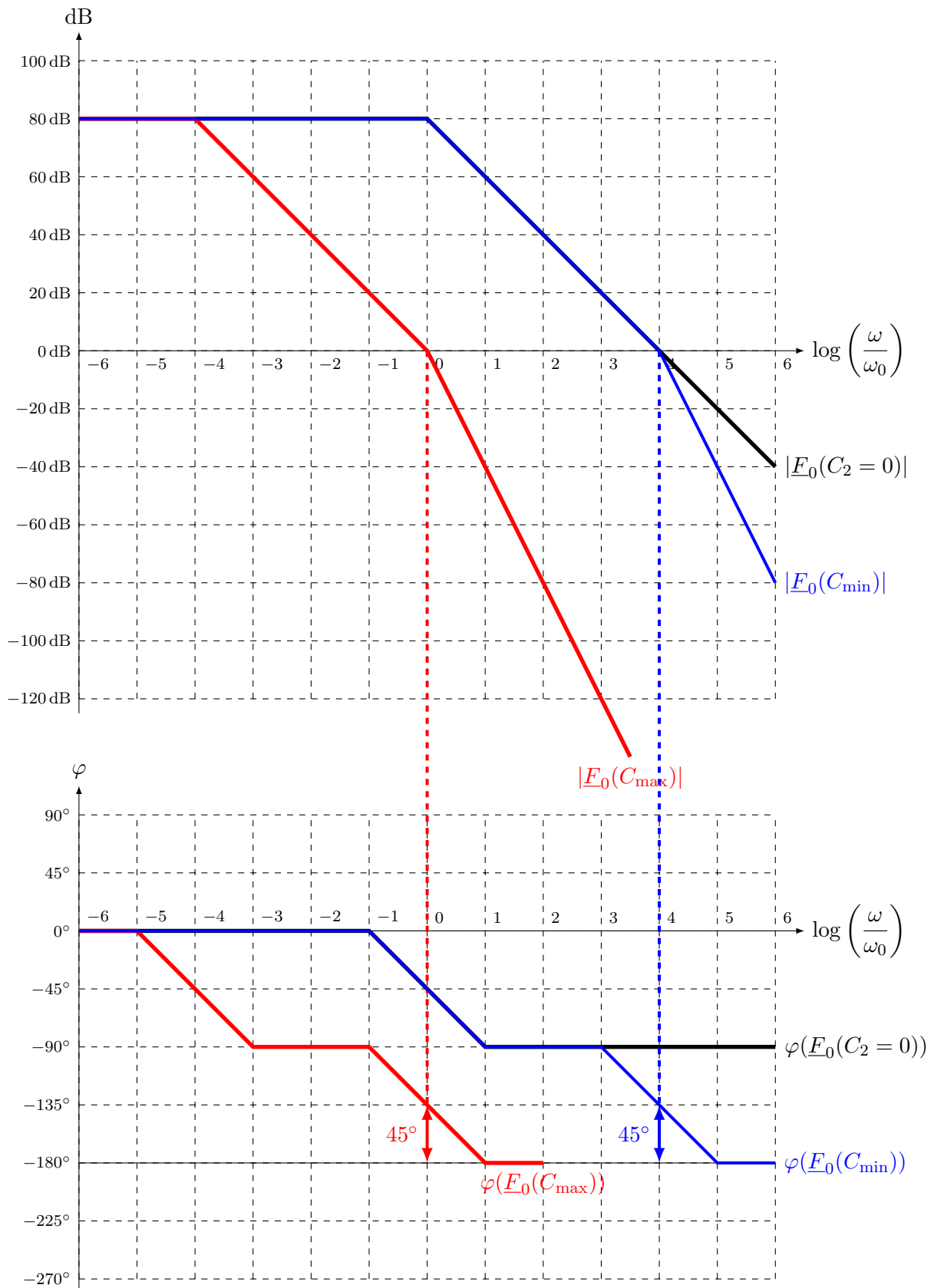


Abbildung 2: Lösung Bode-Diagramm zur Bestimmung von C_{\min} und C_{\max} .