Klausur Elektronik II, WS 2007/2008

Lösungsvorschlag

Aufgabe 1 (5 Punkte): Netzwerkberechnung

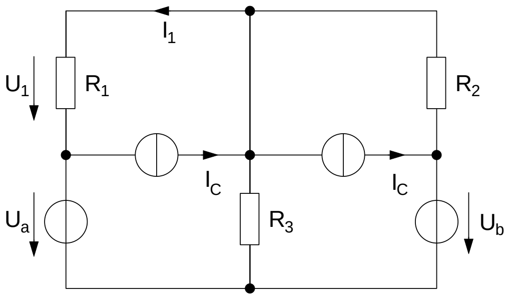


Abb.: Netzwerk zur Berechnung.

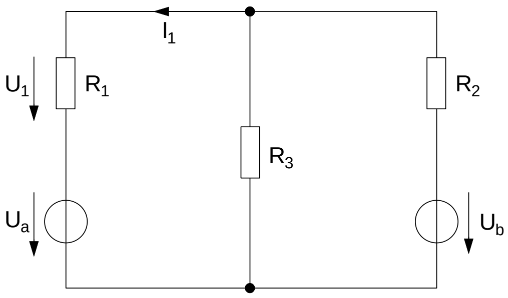
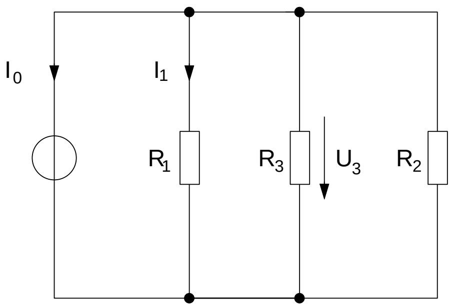


Abb.: I_C ist durch die Spannungsquellen
U_a und U_b kurzgeschlossen.
$\Rightarrow$ I_C hat keinen Anteil an I_1.



$$I_0 = \frac{U_a}{R_1} + \frac{U_b}{R_2}$$

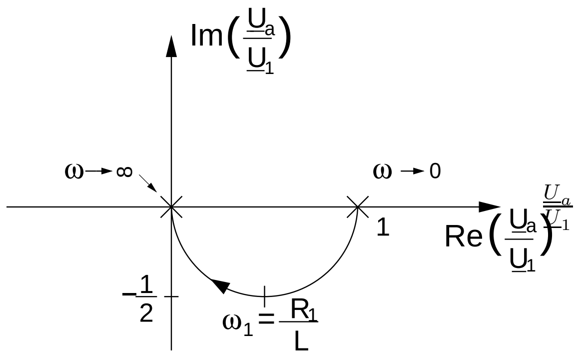
Abb.: U_a, R_1 und U_b, R_2 werden in Stromquellen mit
Innenleitwert umgewandelt.

$$
\begin{aligned}
U_3 &= I_0 \cdot \frac{1}{G_1+G_2+G_3} \\
U_1 &= U_3 - U_a \\
&= I_0 \cdot \frac{1}{G_1+G_2+G_3} - U_a \\
&= \left(\frac{U_a}{R_1} + \frac{U_b}{R_2}\right) \cdot \frac{1}{G_1+G_2+G_3} - U_a
\end{aligned}
$$

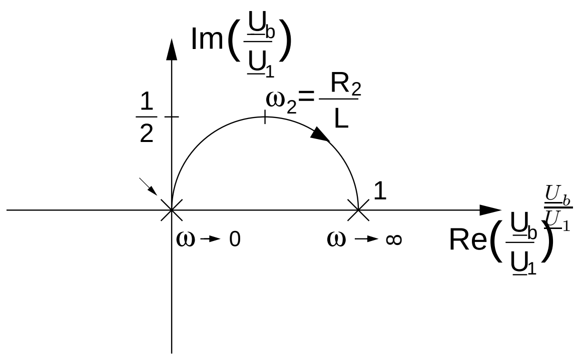
$$
P_1 = \frac{U_1^2}{R_1} = \frac{\left[\left(\frac{U_a}{R_1} + \frac{U_b}{R_2}\right) \cdot \frac{1}{G_1+G_2+G_3} - U_a\right]^2}{R_1}
$$

Aufgabe 2 (12 Punkte): Ortskurve

1) Ortskurven der Wirkungsfunktionen $\frac{\underline{U}_a}{\underline{U}_1}$ und $\frac{\underline{U}_b}{\underline{U}_1}$:



$$\frac{\underline{U}_a}{\underline{U}_1} = \frac{R_1}{R_1+j\omega L} = \frac{1}{1+j\cdot\frac{\omega L}{R_1}}$$



$$\frac{\underline{U}_b}{\underline{U}_1} = \frac{j\omega L}{R_2+j\omega L} = \frac{1}{1+\frac{R_2}{j\omega L}}$$

<u>mögliche Lösungswege:</u>

- anschaulich über Spannungsteiler
- mathematisch über Gleichung: $\omega = 0$, $\omega_1 = \frac{R_1}{L}$, $\omega_2 = \frac{R_2}{L}$ und $\omega = \infty$ einsetzen.
  Anschließend Betrag und Argument berechnen.
  Punkte lassen sich zu einem Halbkreis verbinden.

2) <u>Es gilt nun:</u> $R = R_1 = R_2$

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_a - \underline{U}_b = \left(\frac{R}{R+j\omega L} - \frac{j\omega L}{R+j\omega L}\right) \cdot \underline{U}_1$$

$$\Rightarrow \quad \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \left(\frac{R}{R+j\omega L} - \frac{j\omega L}{R+j\omega L}\right) = \underbrace{\frac{R-j\omega L}{R+j\omega L}}_{Betrag=1}$$

$$= -\frac{1-j\frac{\omega L}{R}}{1+j\frac{\omega L}{R}}$$

<u>$\omega = 0:$</u>

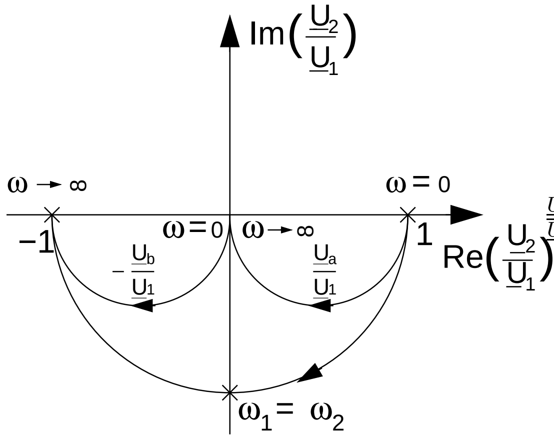
$$\Rightarrow \quad \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{1-j\cdot 0}{1+j\cdot 0} = 1$$

<u>$\omega = \frac{R}{L}:$</u>

$$\Rightarrow \quad \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{1-j}{1+j} = -j$$

<u>$\omega = \infty:$</u>

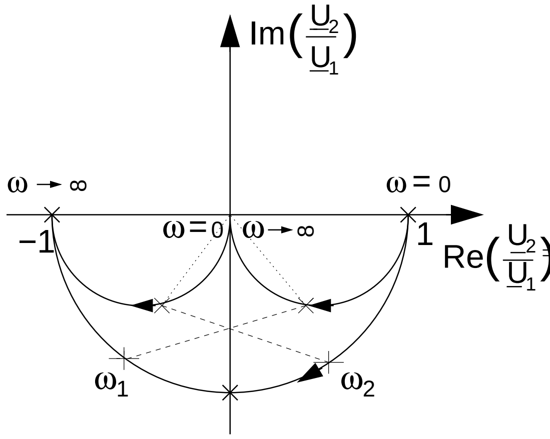
$$\Rightarrow \quad \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{-j\cdot\frac{\omega_\infty L}{R}}{j\cdot\frac{\omega_\infty L}{R}} = -1$$



$$\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{\underline{U}_a}{\underline{U}_1} + \left(- \frac{\underline{U}_b}{\underline{U}_1} \right)$$

Abb.: Konstruktion der Ortskurve $\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}$ durch Addition der beiden Ortskurven aus 1).

3) Verlauf der Ortskurve für den Fall $R_1 > R_2$:



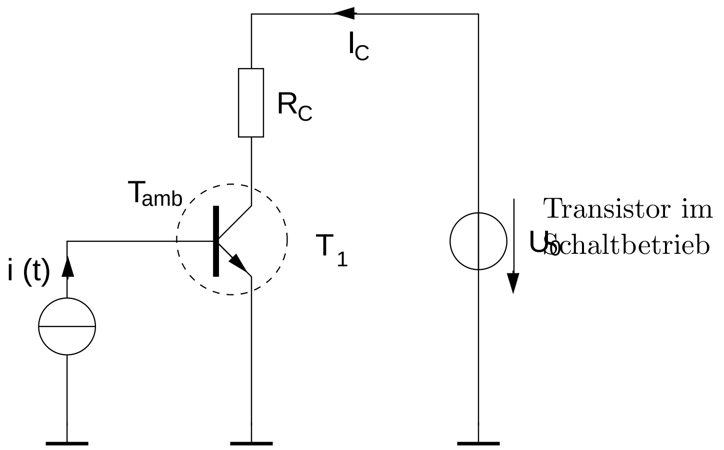
$R_1 > R_2$

$\Rightarrow \quad \omega_1 = \frac{R_1}{l} > \omega_2 = \frac{R_2}{L}$

Abb.: Die Ortskurve $\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}$ für den Fall $R_1 > R_2$. Die komplexen Zeiger ω_1 und ω_2 können durch Addition berechnet werden.

Aufgabe 3 (12 Punkte): Arbeitspunkt, Wärmewiderstand

1) Bestimmung der Verlustleistung $P(t)$ in Abh. des Steuerstroms $i(t)$:



Verlustleistung des Transistors: $P_V = U_{BE} \cdot I_b + U_{CE} \cdot I_c \approx U_{CE} \cdot I_c$

$$\begin{aligned}
\big(\beta = B = 100 \quad &\Rightarrow \quad I_C \gg I_b = i(t)\big) \\
U_{CE} &= U_0 - I_c \cdot R_C \\
I_c &= B \cdot i(t) \\
i(t) &= \frac{I_B}{T} \cdot t \\
\Rightarrow \quad P_V &= U_0 \cdot I_c - R_C \cdot I_c^2 \\
&= U_0 \cdot B \cdot i(t) - R_C \cdot B^2 \cdot i(t)^2
\end{aligned}$$

2) Ermittlung des zeitlichen Mittelwertes der Verlustleistung des Transistors über die Periode T:

$$\begin{aligned}
\bar{P}_m &= \frac{1}{T}\left(\int_0^T U_0 \cdot B \cdot i(t)\ dt - R_C \cdot B^2 \cdot \int_0^T i(t)^2\ dt \right) \\
&= \frac{1}{T}\left(\int_0^T U_0 \cdot B \cdot \frac{I_B}{T} \cdot t\ dt - R_C \cdot B^2 \cdot \int_0^T (\frac{I_B}{T} \cdot t)^2\ dt \right) \\
&= \frac{1}{T}\left(U_0 \cdot B \cdot \frac{I_B}{T} \cdot \frac{1}{2} T^2 - R_C \cdot B^2 \cdot \frac{I_B^2}{T^2} \cdot \frac{1}{3} T^3 \right) \\
&= \frac{U_0 \cdot B \cdot I_B}{2} - \frac{R_C \cdot B^2 \cdot I_B^2}{3}
\end{aligned}$$

3) Ungleichung für R_C mit der Bedingung, dass die max. zulässige Sperrschichttemperatur nicht überschritten wird:

$$\Delta T = T_{j,max} - T_{amb,max} = 110\ °\mathrm{C} - 60\ °\mathrm{C} = 50\ °\mathrm{C} = P_m \cdot R_{th}$$

$$\Rightarrow \quad P_m = \frac{50\,°\mathrm{C}\cdot\mathrm{W}}{50\,°\mathrm{C}} = 1\,\mathrm{W}$$

$$\geq \underbrace{\frac{U_0 \cdot B \cdot I_B}{2}}_{=\text{konst.}\,=\,2\,\mathrm{W}} - \frac{R_C \cdot B^2 \cdot I_B^2}{3} \qquad \Big|\, -2\,\mathrm{W}$$

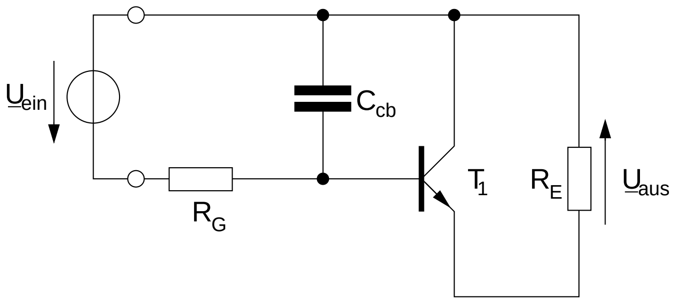
$$-1\,\mathrm{W} \geq -R_C \cdot \frac{1}{300}\,\mathrm{A}^2 \qquad \Big|\, :(-1)$$

$$\Rightarrow \quad R_C \geq 300\,\Omega$$

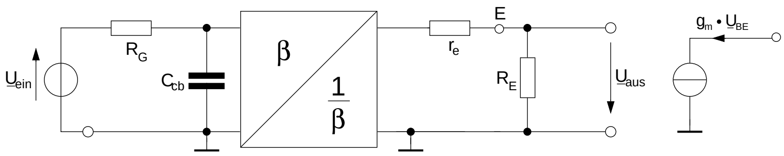
Aufgabe 4 (12 Punkte): Schaltungsberechnung, Dimensionierung

1) ges.: Frequenzgang $\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{U}_{aus}}{\underline{U}_{ein}}$

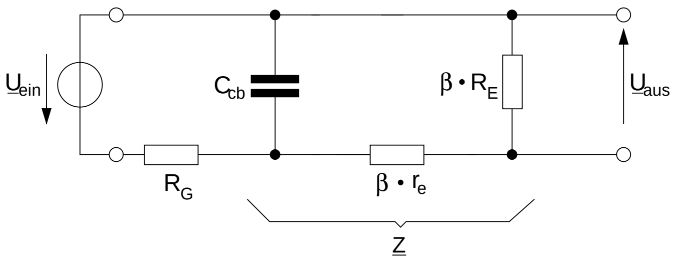
WS-ESB:



Wirkungsersatzschaltbild:



Vereinfachte Schaltung zur Berechnung des Eingangswiderstandes:



nur, für $r_e \ll R_E$!

Es sei $R_E' = \beta \cdot (R_E + r_e) \quad \wedge \quad \underline{Z} = R_E' || \underline{Z}_C = \frac{\frac{R_E'}{j\omega C_{cb}}}{R_E' + \frac{1}{j\omega C_{cb}}}$.

Spannungsteiler:

$$\frac{\underline{U}_{aus}}{\underline{U}_{ein}} = \frac{-\underline{Z}}{\underline{Z} + R_G} = -\frac{1}{1 + \frac{R_G}{\underline{Z}}}$$

$$= -\frac{1}{1 + \frac{R_G \cdot \left(R_E' + \frac{1}{j\omega C_{cb}}\right) \cdot j\omega C_{cb}}{R_E'}}$$

$$= -\frac{1}{\frac{R_E' + R_G}{R_E'} + j\omega R_G C_{cb}} = -\frac{1}{\frac{R_E' + R_G}{R_E'}} \cdot \frac{1}{1 + j \cdot \frac{\omega R_G C_{cb} R_E'}{R_E' + R_G}}$$

$$= -\frac{\frac{R_E'}{R_E' + R_G}}{1 + j \cdot \frac{\omega R_G C_{cb} R_E'}{R_E' + R_G}}$$

$$= -\frac{\underline{F}_a}{1 + \underline{F}_a \cdot \underline{F}_2}$$

2) $\underline{F}(\omega = 0) = -\frac{R_E'}{R_E' + R_G}$

Die 3 dB Grenzfrequenz ergibt sich zu:

$$\omega_{3\,dB} = \frac{R_E' + R_G}{R_E' \cdot R_G \cdot C_{cb}}.$$

3) Für $\beta \to \infty$ strebt R_E' ebenso gegen ∞.

$\lim\limits_{\beta \to \infty} \underline{F}(\omega = 0) = \frac{1}{R_G \cdot C_{cb}}$

$\lim\limits_{\beta \to \infty} \omega_{3\,dB} = -\frac{R_E'}{R_E'} = -1$

4) $R_E' = \beta \cdot \left(R_E + r_e\right) = \beta \cdot \left(R_E + \frac{U_T}{I_C}\right) \qquad I_C \uparrow \quad \text{für } U_0 \uparrow$

$\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad \Rightarrow \quad r_e \downarrow$

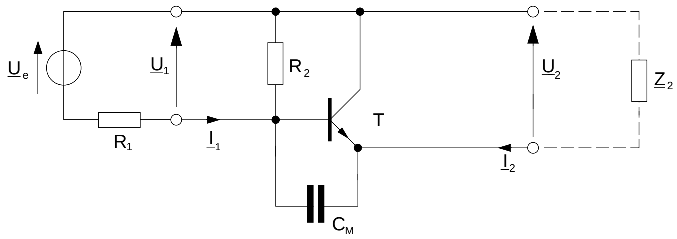
$$\lim_{r_e \to 0} R_E' = \beta \cdot R_E$$

$$\omega_g = \frac{R_G + \beta \cdot R_E}{C_{cb} \cdot R_G + \beta \cdot R_E}$$

$$\underline{F}(\omega = 0) = -\frac{\beta \cdot R_E}{\beta \cdot R_E + R_G}$$

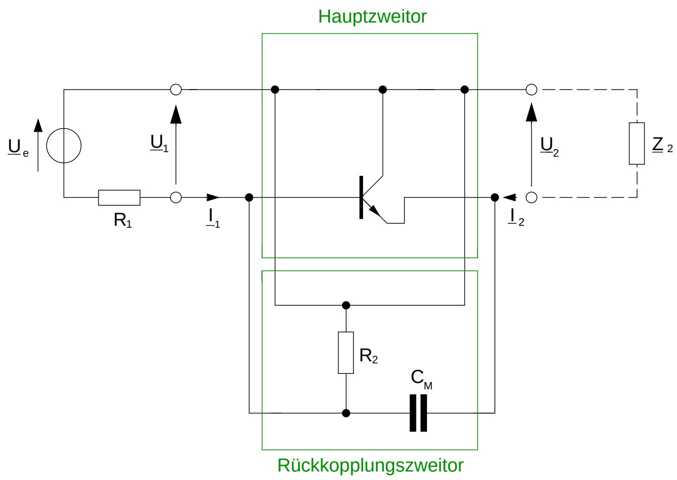
Aufgabe 5 (16 Punkte): Rückkopplung, Zweitor

1) Wechselstromersatzschaltbild:

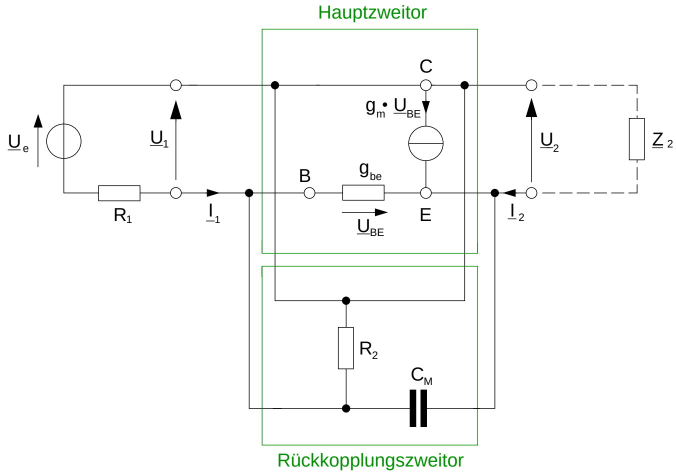


$\Rightarrow$ Kollektorgrundschaltung.

2) Darstellung in Haupt- und Rückkopplungszweitor



3) Erweiterung durch Kleinsignalersatzschaltbild



4) PPK-Rückkopplung:

$[\underline{Y}]-$ Parameter:
$[\underline{Y}] = [\underline{Y}^{(1)}] + [\underline{Y}^{(2)}]$

Bestimmungsgleichungen:

$$\underline{I}_1 = \underline{Y}_{11} \cdot \underline{U}_1 + \underline{Y}_{12} \cdot \underline{U}_2$$
$$\underline{I}_2 = \underline{Y}_{21} \cdot \underline{U}_1 + \underline{Y}_{22} \cdot \underline{U}_2$$

Matritzenschreibweise:

$$[\underline{Y}] = \underbrace{[\underline{Y}^{(1)}]}_{Hauptzweitor} + \underbrace{[\underline{Y}^{(2)}]}_{Rückkopplungszweitor} \quad \text{(Admittanzmatrix)}$$

Dabei bleiben die Spannungen gleich, die Ströme werden addiert.

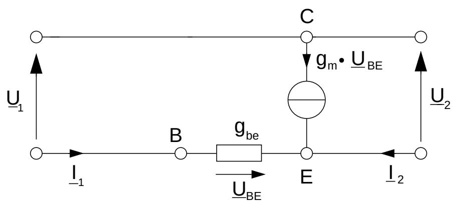
5) Hauptzweitor:

$$\underline{Y}_{11}^{(1)} = \left.\frac{\underline{I}_1}{\underline{U}_1}\right|_{\underline{U}_2=0} = g_{be}$$

$$\underline{Y}_{12}^{(1)} = \left.\frac{\underline{I}_1}{\underline{U}_2}\right|_{\underline{U}_1=0} = -g_{be}$$

$$\underline{Y}_{21}^{(1)} = \left.\frac{\underline{I}_2}{\underline{U}_1}\right|_{\underline{U}_2=0} = -(1+\beta)g_{be}$$

$$\underline{Y}_{22}^{(1)} = \left.\frac{\underline{I}_2}{\underline{U}_2}\right|_{\underline{U}_1=0} = (1+\beta)g_{be}$$



Hauptzweitor

$$\Rightarrow \left[\underline{Y}^{(1)}\right] = \begin{bmatrix} g_{be} & -g_{be} \\ -(1+\beta)g_{be} & (1+\beta)g_{be} \end{bmatrix}$$

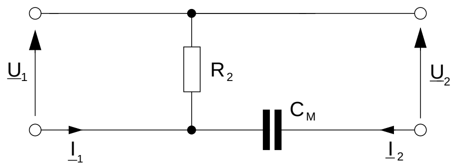
Rückkopplungszweitor:

$$\underline{Y}_{11}^{(2)} = \left.\frac{\underline{I}_1}{\underline{U}_1}\right|_{\underline{U}_2=0} = G_2 + j\omega C$$

$$\underline{Y}_{12}^{(2)} = \left.\frac{\underline{I}_1}{\underline{U}_2}\right|_{\underline{U}_1=0} = -j\omega C$$

$$\underline{Y}_{21}^{(2)} = \left.\frac{\underline{I}_2}{\underline{U}_1}\right|_{\underline{U}_2=0} = -j\omega C$$

$$\underline{Y}_{22}^{(2)} = \left.\frac{\underline{I}_2}{\underline{U}_2}\right|_{\underline{U}_1=0} = j\omega C$$



Rückkopplungszweitor

$$\Rightarrow \left[\underline{Y}^{(2)}\right] = \begin{bmatrix} G_2 + j\omega C & -j\omega C \\ -j\omega C & j\omega C \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \left[\underline{Y}\right] = \left[\underline{Y}^{(1)}\right] + \left[\underline{Y}^{(2)}\right] = \begin{bmatrix} g_{be} + G_2 + j\omega C & -g_{be} - j\omega C \\ -g_{be}(1+\beta) - j\omega C & (1+\beta)g_{be} + j\omega C \end{bmatrix}$$

6) Bestimmung der Eingangsimpedanz $\underline{Z}_{ein}$:

$$\begin{aligned}
\underline{Z}_{ein}^{-1} &= \frac{\underline{I}_1}{\underline{U}_1} = \underline{Y}_{11} + \underline{Y}_{12} \cdot \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} \\
&= \underline{Y}_{11} + \underline{Y}_{12} \cdot \frac{\underline{U}_2 \cdot \underline{Y}_{21}}{\underline{I}_2 - \underline{Y}_{22} \cdot \underline{U}_2} \qquad \left(\text{mit } \underline{Z}_2 = \frac{\underline{U}_2}{-\underline{I}_2}\right) \\
&= \underline{Y}_{11} + \underline{Y}_{12} \cdot \underline{Y}_{21} \cdot \frac{1}{\frac{\underline{I}_2}{\underline{U}_2} - \underline{Y}_{22}} \\
&= \underline{Y}_{11} + \underline{Y}_{12} \cdot \underline{Y}_{21} \cdot \frac{1}{-\frac{1}{\underline{Z}_2} - \underline{Y}_{22}}
\end{aligned}$$

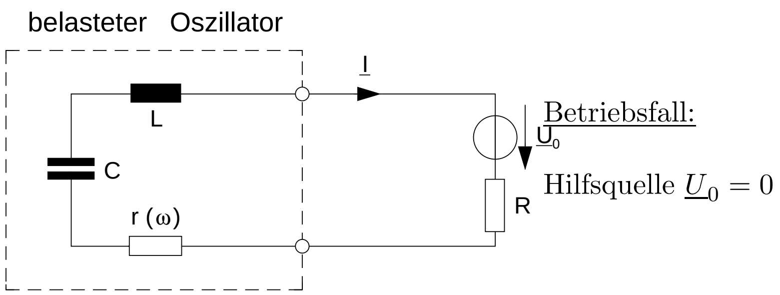
$$\underline{Z}_{ein} = \frac{1}{\underline{Y}_{11} - \underline{Y}_{12} \cdot \underline{Y}_{21} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\underline{Z}_2} + \underline{Y}_{22}}}$$

Nach dem Einsetzen der Werte ist Aufgabenteil 6) vollständig gelöst.

7) Optimale Rückkopplung: $\underline{Z}_2 \to \infty$

$\underline{Z}_{ein}^{-1} \approx g_{be} + G_2 + j\omega C - g_{be} - j\omega C = G_2$
$\Rightarrow \underline{Z}_{ein} = R_2$

Aufgabe 6 (16 Punkte): Stabilität, Ortskurve



1) $\underline{U}_0 = \underline{Z_{ges}} \cdot \underline{I}$ mit $\underline{Z_{ges}} = R + r(\omega) + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$

$\Leftrightarrow \quad \underline{I} = \frac{\underline{U}_0}{R + r(\omega) + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})}$

2) $\underline{Y} = \frac{\underline{I}}{\underline{U}_0} = \frac{1}{R + r(\omega) + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})}$

stabil, wenn $U_0 \to 0$ für $I \to 0$ gilt.

3) Bestimmung der Polstellen von $\frac{\underline{I}}{\underline{U}_0}$:

mit $s = \sigma + j \cdot \omega$ gilt:

$\underline{Y}(s) = \frac{1}{R + r(\omega) + (sL - \frac{1}{sC})}$

Sei R': $R' = R + r(\omega)$

$0 \stackrel{!}{=} R' + sL + \frac{1}{sC} = s^2 + s \cdot \frac{R'}{L} + \frac{1}{LC}$

$$\Rightarrow \quad s_{1,2} = -\frac{R'}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R'}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

a) Wurzel reell: $\Rightarrow$ $s_{1,2}$ reell $\Rightarrow$ keine Frequenz ($\omega = 0$).

b) Wurzel imaginär: $\Rightarrow$ $\omega = \pm\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R'}{2L}\right)^2}$.

4) Bedingung für $r(\omega)$, für die die Wirkungsfunktion $\underline{Y}$ instabil ist:

$$\sigma = -\frac{R'}{2L} \overset{!}{>} 0$$

<u>Somit gilt:</u>

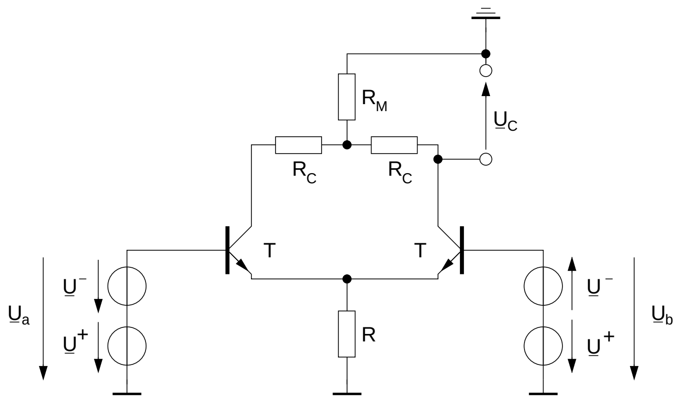
$$\begin{aligned} R' &< 0 \\ r + R &< 0 \\ r &< -R \end{aligned}$$

5) <u>Berechnung der Schwingfrequenz ω:</u>

$$\boxed{\omega = \pm\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R'}{2L}\right)^2}}$$

Aufgabe 7 (16 Punkte): Gleichtakt-, Gegentaktzerlegung

1) Ansteuerung erfolgt durch Überlagerung von Gleich- und Gegentaktquellen:



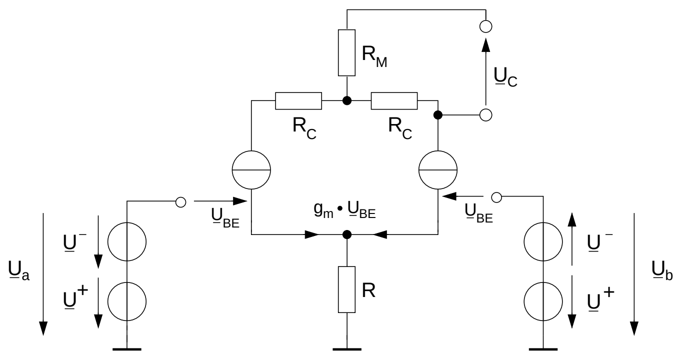
$\underline{U}_a = \underline{U}^+ + \underline{U}^-$

$\underline{U}_b = \underline{U}^+ - \underline{U}^- = 0\,\mathrm{V}$

$\boxed{\underline{U}^+ = \frac{\underline{U}_a + \underline{U}_b}{2} = \frac{\underline{U}_a}{2}}$

$\boxed{\underline{U}^- = \frac{\underline{U}_a - \underline{U}_b}{2} = \frac{\underline{U}_a}{2}}$

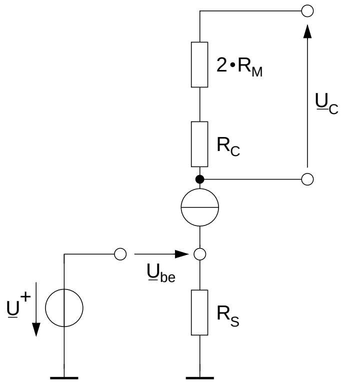
2) Kleinsignal-ESB des Differenzverstärkers:



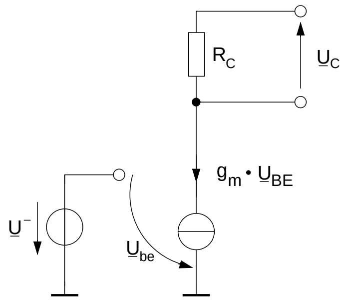
Kleinsignal-ESB mit Hilfe des Kleinsignal-Transistormodells.

3) Einphasiges Gleich- und Gegentaktersatzschaltbild:

Gleichtakt: +



Gegentakt: -



4) Reine Gegentaktansteuerung:

$\underline{U}_C^- = -R_C \cdot g_m \cdot \underline{U}_{be} = -R_C \cdot g_m \cdot \underline{U}^-$

5) Reine Gleichtaktansteuerung:

$\underline{U}_C^+ = -g_m \cdot \underline{U}_{be} \cdot \big(2 \cdot R_M + R_C\big)$

Bestimmung von $\underline{U_{be}}$:

$\underline{U}^+ - 2 \cdot R_S \cdot g_m \cdot \underline{U}_{be} = \underline{U}_{be}$

$\Leftrightarrow \quad \underline{U}_{be} = \frac{\underline{U}^+}{1+2 \cdot R_S \cdot g_m}$

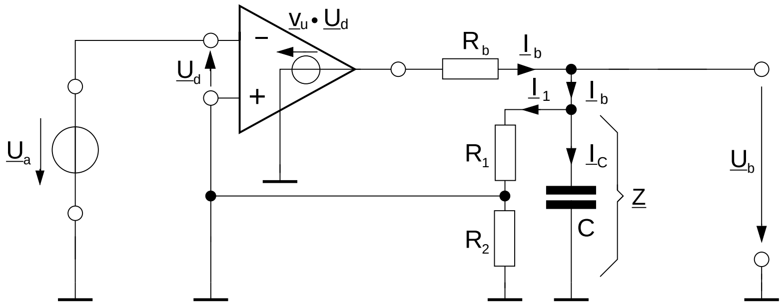
$\Rightarrow \quad \underline{U}_C^+ = -\frac{g_m \cdot \big(2 \cdot R_M + R_C\big)}{1+2 \cdot R_S \cdot g_m} \cdot \underline{U}^+$

6) Bestimmung der Spannung $\underline{U}_C$ durch Überlagerung von $\underline{U}_C^+$ und $\underline{U}_C^-$:

$\underline{U}_C = \underline{\underline{U}}_C^+ + \underline{U}_C^- = -\left(R_C \cdot g_m \cdot \frac{\underline{U}_a}{2} + \frac{g_m \cdot \big(2 \cdot R_M + R_C\big)}{1+2 \cdot R_S \cdot g_m} \cdot \frac{\underline{U}_a}{2}\right)$

Phasoren werden wieder durch $\underline{U}_a$ und $\underline{U}_b$ ersetzt.

Aufgabe 8 (12 Punkte): Operationsverstärker, Bode-Diagramm



1) Die Widerstände R_1 und R_2 sowie die Kapazität C lassen sich zur Vereinfachung der Rechnung (Schreibarbeit) zu $\underline{Z}$ zusammenfassen:

$$\underline{Z} = \frac{R_1+R_2}{1+j\omega C\left(R_1+R_2\right)}$$

Bestimmungsgleichungen:

I: $\quad \underline{U}_b = -\underline{v}_u \cdot \underline{U}_d \cdot \frac{\underline{Z}}{R_b+\underline{Z}}$

II: $\quad \underline{U}_d = \frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot \underline{U}_b - \underline{U}_a$

II in I: $\quad \underline{U}_b = -\frac{\underline{v}_u \cdot \underline{Z}}{R_b+\underline{Z}} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot \underline{U}_b - \underline{U}_a \right)$

$$\underline{U}_a = \underline{U}_b \cdot \left(\frac{R_b + \underline{Z}}{\underline{v}_u \cdot \underline{Z}} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$\frac{\underline{U}_b}{\underline{U}_a} = \frac{1}{\left(\frac{R_b+\underline{Z}}{\underline{v}_u \cdot \underline{Z}} + \frac{R_2}{R_1+R_2} \right)}$$

$$= \frac{1}{\frac{\left(R_b+\underline{Z}\right)\left(R_1+R_2\right)+R_2 \cdot \underline{v}_u \cdot \underline{Z}}{\underline{v}_u \cdot \underline{Z}\left(R_1+R_2\right)}}$$

$$= \frac{\underline{v}_u \cdot \underline{Z}(R_1 + R_2)}{(R_b + \underline{Z})(R_1 + R_2) + R_2 \cdot \underline{v}_u \cdot \underline{Z}}$$

2) <u>Vergleich mit der Wirkungsfunktion eines rückgekoppelten Systems:</u>

$$\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{v}_u \cdot \underline{Z}}{(R_b + \underline{Z}) + \underline{v}_u \cdot \underline{Z} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2}}$$

$$= \frac{\underline{v}_u \cdot \underline{Z} \cdot \frac{1}{(R_b+\underline{Z})}}{1 + \underline{v}_u \cdot \underline{Z} \cdot \frac{1}{(R_b+\underline{Z})} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2}}$$

$\Rightarrow \quad \underline{F}_a(j\omega) = \underline{v}_u \cdot \underline{Z} \cdot \frac{1}{(R_b+\underline{Z})}$

$\Rightarrow \quad \underline{F}_2(j\omega) = \frac{R_2}{R_1+R_2}$

3) $\underline{F}(j\omega) \overset{|\underline{v}_u| \to \infty}{=} \frac{1}{\underline{F}_2}$, da $|\underline{F}_a| \to \infty$.

4) <u>Zunächst gilt:</u> $\underline{v}_u = 2 \cdot 10^4, R_1 = R_2 = 1000\,\Omega, R_b = 32\,\Omega, C = 5\,\text{nF}$ und $\omega_0 = 10^6\, s^{-1}$.

$$\underline{F}_a = \frac{\underline{v}_u}{\frac{R_b}{\underline{Z}} + 1} = \frac{\underline{v}_u}{1 + \frac{R_b}{R_1+R_2} \cdot \Big(1 + j\omega C\big(R_1 + R_2\big)\Big)} \qquad \Big| \quad \cdot \big(R_1 + R_2\big)$$

$$= \frac{\underline{v}_u \cdot \big(R_1 + R_2\big)}{\big(R_1 + R_2 + R_b\big) \cdot 1 + j\omega C \cdot R_b \cdot \big(R_1 + R_2\big)} \qquad \Big| \quad : \big(R_1 + R_2 + R_b\big)$$

$$= \frac{\underline{v}_u \cdot \frac{\big(R_1+R_2\big)}{R_1+R_2+R_b}}{1 + j\omega\, \underbrace{C \cdot \frac{R_b \cdot \big(R_1 + R_2\big)}{R_1 + R_2 + R_b}}_{\overset{!}{=} \frac{1}{\omega_0}}}$$

$$\underline{F}_a \cdot \underline{F}_2 = \frac{\underline{v}_u \cdot \frac{\big(R_1+R_2\big)}{R_1+R_2+R_b}}{1 + j \cdot \frac{\omega}{\omega_0}} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}\underline{F}_a \qquad \Big| \quad \text{mit } R_1 + R_2 \gg R_b$$

$$\approx \frac{\underline{v}_u \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2}}{1 + j \cdot \frac{\omega}{\omega_0}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \underline{v}_u}{1 + j \cdot \frac{\omega}{\omega_0}} = \frac{10^4}{1 + j \cdot \frac{\omega}{\omega_0}} \qquad \Big| \quad \big(10^4 \overset{!}{=} 80\,\text{dB}\big)$$

5) Dieser Aufgabenteil wurde nicht in die Wertung aufgenommen.

Lösung:

Im Folgenden gilt:

$$\underline{v}_u(j\omega) = \frac{v_0}{\left(1+j\cdot\frac{\omega}{0{,}1\cdot\omega_0}\right)\cdot\left(1+j\cdot\frac{\omega}{10\cdot\omega_0}\right)} \quad ,$$

mit der statischen Verstärkung $v_0 = 2\cdot 10^4$.

$$\underline{F}_0 = F_a \cdot \underline{F}_2 = \underline{v}_u \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1+j\cdot\frac{\omega}{\omega_x}} = \frac{10^4}{\left(1+j\cdot\frac{\omega}{0{,}1\cdot\omega_0}\right)\cdot\left(1+j\cdot\frac{\omega}{10\cdot\omega_0}\right)\cdot\left(1+j\cdot\frac{\omega}{\omega_x}\right)}$$

$$\frac{1}{10000}\cdot\omega_0 = \frac{C_x\cdot R_b\cdot\left(R_1+R_2\right)}{R_1+R_2+R_b}$$

$$\Rightarrow \quad C_x = \frac{1}{10000}\cdot C = 5\cdot 10^4\,F = 500\,\mu F$$

Bode-Diagramm: