



**Aufgabe 1 (5 Punkte):** Netzwerkberchnung

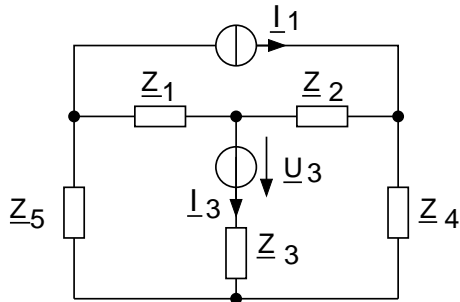


Abb. 1: Gegebenes Netzwerk.

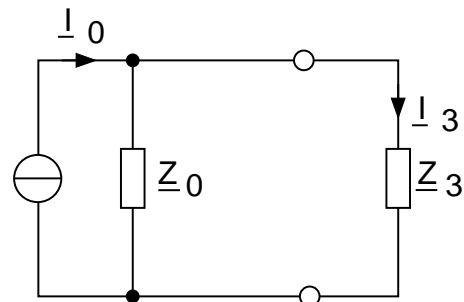


Abb. 2: Äquivalentes Netzwerk zu Abb. 1.

Gegeben ist das Netzwerk in Abbildung 1, das in das für den Strom durch  $Z_3$  äquivalente Netzwerk umzuwandeln ist.

1) Ermitteln Sie mit einem Verfahren Ihrer Wahl, für das äquivalente Netzwerk in Abb.2 den Quellstrom  $I_0$  und die Quellimpedanz  $Z_0$  so, daß durch  $Z_3$  der gleiche Strom  $I_3$ , wie im Netzwerk nach Abb.1 fließt.

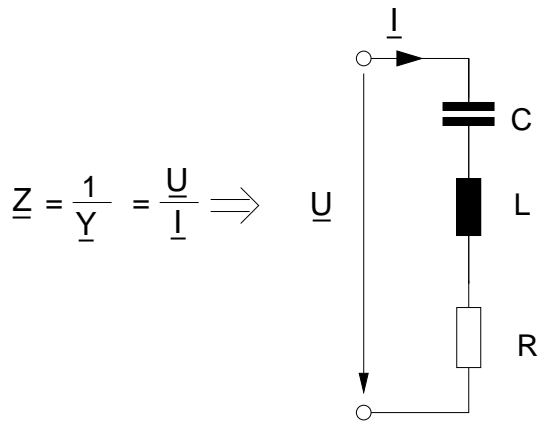
Aufgabe 2 (5 Punkte): Ortskurve

Abb. 3: Netzwerk für Ortskurvenbestimmung.

Gegeben ist das Netzwerk in Abbildung 3.

- 1) Zeichnen Sie die Ortskurve der Eingangsimpedanz  $\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}}$  des Netzwerkes für  $0 \leq \omega \leq \infty$ . Markieren Sie die Punkte  $\omega = 0$  und  $\omega = \infty$  auf der Ortskurve. Geben Sie  $\omega$  im Schnittpunkt mit der reellen Achse an.
- 2) Zeichnen Sie die Ortskurve der Eingangsadmittanz  $\underline{Y} = \frac{\underline{I}}{\underline{U}}$ . Markieren Sie die Punkte  $\omega = 0$  und  $\omega = \infty$  auf der Ortskurve. Geben Sie  $\omega$  in den Schnittpunkten mit der reellen Achse an.

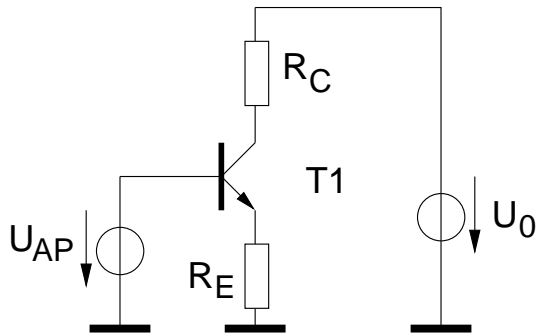
**Aufgabe 3 (5 Punkte): Arbeitspunkt, Wärmewiderstand**

Abb. 4:  
Schaltung zur Bestimmung von  $R_C$ .

Gegeben ist die Schaltung in Abb. 4. Für die Werte im Arbeitspunkt gilt  $U_{AP} = 2\text{ V}$ ,  $U_0 = 11\text{ V}$ . Die Basis-Emitter-Spannung des Transistors kann für alle Kollektorströme als konstant  $U_{BE} = 0,9\text{ V}$  angenommen werden. Die Stromverstärkung des Transistors sei unendlich.

- 1) Welchen Wert muß das Verhältnis  $\frac{R_C}{R_E}$  haben, damit die Verlustleistung des Transistors im Arbeitspunkt Null ist?
- 2) Nehmen Sie  $\frac{R_C}{R_E} = 10$  an. Wie groß ist die Verlustleistung des Transistors, wenn  $U_{AP} = 0\text{ V}$  gilt?

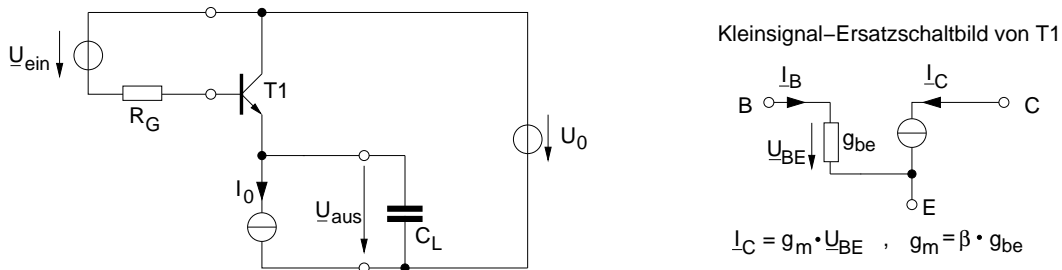
**Aufgabe 4 (12 Punkte): Schaltungsberechnung, Dimensionierung, Arbeitspunkt**

Abb. 5: Belasteter Emitterfolger.

Gegeben ist die Schaltung des belasteten Emitterfolgers in Abb. 5. Für den Transistor kann ein Basisbahnwiderstand von Null und eine endliche, reelle Stromverstärkung  $\beta_0$  angenommen werden. Der Generatorwiderstand beträgt  $R_G = 50 \Omega$ . Die Temperaturspannung  $U_T$  beträgt  $26 \text{ mV}$ .

Hinweis: Sie können mit den Näherungen der Wirkungsersatzschaltbilder des Bipolartransistors arbeiten.

- 1) Bestimmen Sie den Frequenzgang  $\underline{F}(j\omega) = \frac{U_{\text{aus}}(j\omega)}{U_{\text{ein}}(j\omega)}$  der Schaltung.
- 2) Geben Sie mit Hilfe des Ergebnisses aus Aufgabenpunkt 1) einen Ausdruck für die 3 dB-Grenzfrequenz  $\omega_0$  der Schaltung an, bei der gilt:  $20 \cdot \log \frac{|\underline{F}(\omega_0)|}{|\underline{F}(\omega = 0)|} = -3 \text{ dB}$ .
- 3) Wie müssen  $C_L$ ,  $I_0$ ,  $R_G$ , und  $\beta_0$  nach dem Ergebniss aus 2) gewählt werden, damit die Grenzfrequenz möglichst groß wird?
- 4) Geben Sie eine Bedingung ( $\ll$ ,  $\gg$ ) für den Arbeitspunkt-Strom  $I_0$  an, ab der sich die Grenzfrequenz durch  $I_0$  nur noch vernachlässigbar erhöht.
- 5)  $U_{\text{ein}}$  ist eine reine Wechsellspannungsquelle ohne Gleichanteil. Wie groß darf die Amplitude  $|U_{\text{ein}}|$  maximal sein, damit der Transistor auch während der Aussteuerung im normal-aktiven Bereich bleibt? Vernachlässigen Sie für diese Überlegung den Spannungsabfall an  $R_G$ .

**Aufgabe 5 (15 Punkte): Rückkopplung, Zweitor**

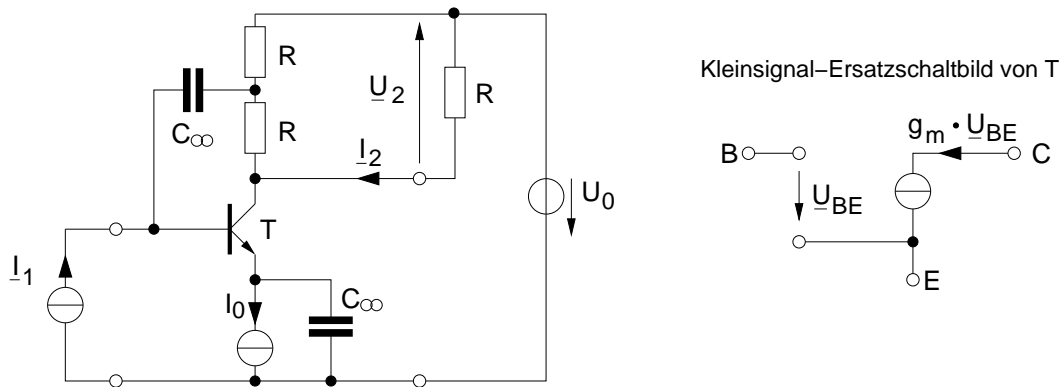


Abbildung 5: Transimpedanzverstärker und Kleinsignalerersatzschaltbild des Transistors T.

Gegeben ist die Schaltung eines Transimpedanzverstärkers in Abbildung 5 links. Darin kann  $C_\infty$  für alle Signalfrequenzen als unendlich groß angenommen werden. Für den Transistor T gilt das auf der rechten Seite dargestellte Kleinsignalerersatzschaltbild.

- 1) Zeichnen Sie das komplette Wechselstromersatzschaltbild und das Kleinsignalerersatzschaltbild des Transimpedanzverstärkers aus Abb. 5 unter Verwendung jeweils eines Haupt- und eines Rückkopplungszweitors. Ordnen Sie darin den Transistor T dem Hauptzweitor und die restlichen Bauelemente dem Rückkopplungszweitor zu.
- 2) Um welche Art der Rückkopplung handelt es sich? Ist die Torbedingung für jedes der beiden Zweitore erfüllt? Begründen Sie Ihre Antworten!
- 3) Wählen Sie eine für die Art der Rückkopplung geeignete Matrizendarstellung aus. Zeigen Sie anhand der Addition der Einzelmatrizen, warum der von Ihnen gewählte Matrizentyp vorteilhaft ist.
- 4) Bestimmen Sie die Elemente der Matrix von Haupt - und Rückkopplungszweitor anhand des Kleinsignalerersatzschaltbildes. Bestimmen Sie die Elemente der Matrix der Gesamtschaltung.
- 5) Bestimmen Sie die Transimpedanz  $\underline{Z}_T = \left. \frac{U_2}{I_1} \right|_{I_2=0}$  mit Hilfe der Matrizendarstellung.
- 6) Geben Sie einen vereinfachten Ausdruck für  $\underline{Z}_T$  für den Fall  $R g_m \gg 1$  an.

**Aufgabe 6 (12 Punkte): Stabilität, Ortskurve**

Die Wirkungsfunktion  $\underline{H}(s)$  eines Netzwerks wird messtechnisch im Bereich  $s = j\omega$  für positive Frequenzen mit  $0 \leq \omega < \infty$  bestimmt. Der ermittelte Verlauf wird durch die Funktion

$$\underline{H}(j\omega) = H_0 + \frac{H_R}{1 + \frac{j\omega}{\omega_0}}, \quad \omega \geq 0 \quad (1)$$

approximiert. Darin sind  $H_0, H_R, \omega_0$  reelle Konstanten mit Werten größer Null.

- 1) Skizzieren Sie für  $H_0 = 0, H_R = 1$  den qualitativen Verlauf Ortskurve von  $\underline{H}(j\omega)$  im Bereich  $0 \leq \omega \leq \infty$ . Markieren Sie die Punkte  $\omega = n \omega_0, \quad n = 0, 1, 2, \infty$ .
- 2) Welche Bedingungen stellt das Schwarzsche Spiegelungsprinzip an den Betrag und die Phase einer Wirkungsfunktion?
- 3) Zeigen Sie, daß die Wirkungsfunktion aus Gleichung 1) das Schwarzsche Spiegelungsprinzip erfüllt. Hinweis: Sie können das Ergebnis aus Aufgabenteil 2) verwenden.
- 4) Geben Sie eine Bedingung für  $H_0$  an, damit  $\underline{H}(j\omega)$  den Nullpunkt umrundet. Geben Sie für diesen Fall die Anzahl und Lage der Pole und Nullstellen der zu  $\underline{H}(j\omega)$  gehörenden Wirkungsfunktion  $\underline{H}(s)$  an und diskutieren Sie die daraus resultierende Stabilität.

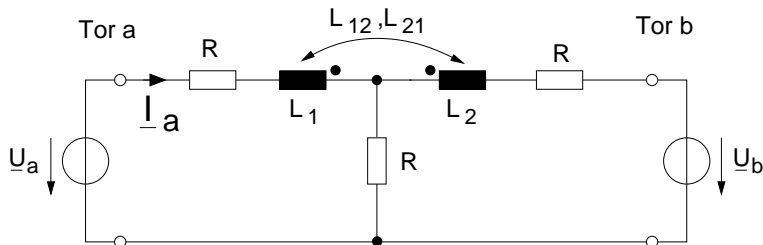
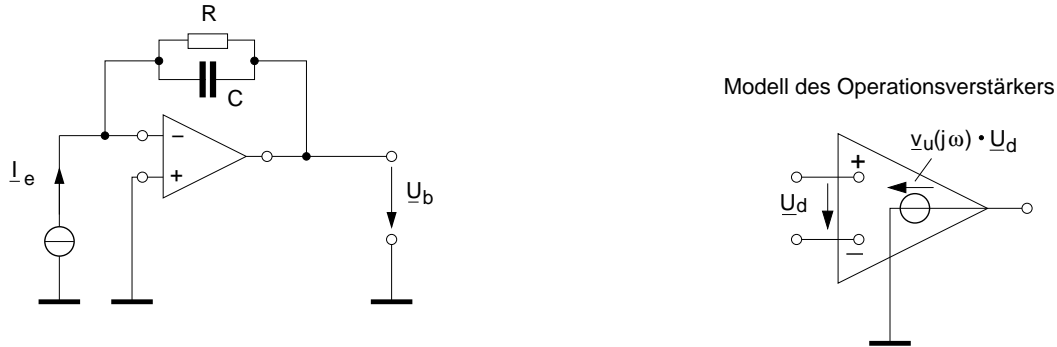
**Aufgabe 7 (8 Punkte): Gleichtakt- Gegentaktzerlegung**Abb. 7: Symmetrisches Netzwerk mit beliebiger Ansteuerung  $\underline{U}_a$ ,  $\underline{U}_b$ .

Abbildung 7 zeigt ein bezüglich der Tore a und b symmetrisches Zweitor. Die Ansteuerung erfolgt über zwei Spannungsquellen mit beliebigen Phasoren  $\underline{U}_a$  und  $\underline{U}_b$ . Die beiden Induktivitäten  $L_1 = L_2$  sind über die Gegeninduktivität  $L_{12} (= L_{21})$  gekoppelt.

- 1) Stellen Sie die Ansteuerung in Abbildung 7 äquivalent durch eine Überlagerung von Gleichtakt- und Gegentaktquellen dar. Bestimmen Sie die Phasoren der ansteuernden Gleich- und Gegentaktquellen in Abhängigkeit von  $\underline{U}_a$  und  $\underline{U}_b$ .
- 2) Zeichnen Sie das einphasige Gegentakt- und das einphasige Gleichtakt-Ersatzschaltbild des Netzwerks.
- 3) Bestimmen Sie anhand der Überlagerung der Ergebnisse von Gleich- und Gegentakt-Ersatzschaltung den Eingangsstrom  $\underline{I}_a$  für den Fall  $U_a = U_b$ .



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



Gegeben ist die in der Abbildung oben links gezeigte Operationsverstärkerschaltung eines nicht invertierenden Verstärkers. Das Modell des Operationsverstärkers ist auf der rechten Seite dargestellt.

1) Bestimmen Sie allgemein die Verstärkung  $\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{U}_b(j\omega)}{\underline{I}_e(j\omega)}$  der Schaltung unter Verwendung der komplexen Verstärkung  $\underline{v}_u(j\omega)$  des Operationsverstärker-Modells.

2) Vergleichen Sie das Ergebnis unter 1) mit dem Frequenzgang eines rückgekoppelten Systems

$$\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{F}_a(j\omega)}{1 + \underline{F}_a(j\omega) \underline{F}_2(j\omega)}$$

Bestimmen Sie anhand des Vergleichs die Gleichungen für die Frequenzgänge  $\underline{F}_a(j\omega)$  des Verstärkerzweiters und  $\underline{F}_2(j\omega)$  des Rückkopplungszweiters.

3) Wie groß ist  $\underline{F}(j\omega)$  wenn gilt  $|\underline{v}_u| \rightarrow \infty$  ?

Im Folgenden gilt:  $\frac{1}{RC} = \omega_{RC} = \frac{\omega_0}{10}$ .

Für die komplexe Verstärkung des Operationsverstärkers soll gelten:

$$\underline{v}_u(j\omega) = \frac{v_0}{(1 + \frac{j\omega}{\omega_0})(1 + \frac{j\omega}{10 \omega_0})(1 + \frac{j\omega}{100 \omega_0})}$$

mit der statischen Verstärkung  $v_0 = 10^4$ .

4) Zeichnen Sie Betrag und Phase der Schleifenverstärkung  $\underline{F}_a(j\omega) \underline{F}_2(j\omega)$  im Bereich  $0,01 \omega_0 \dots 100 \omega_0$  in das Bodediagramm auf der nächsten Seite. Verwenden Sie Geradennäherungen.

5) Bestimmen Sie ob die Schaltung stabil ist und ermitteln Sie den Phasenrand (Phasenreserve) der Schaltung aus dem Verlauf der Schleifenverstärkung im Bodediagramm.

6) Geben Sie eine Bedingung für die statische Verstärkung  $v_0$  an, unter der die Phasenreserve der Schaltung mindestens  $45^\circ$  beträgt.

Bode Diagramm Vorlage

