



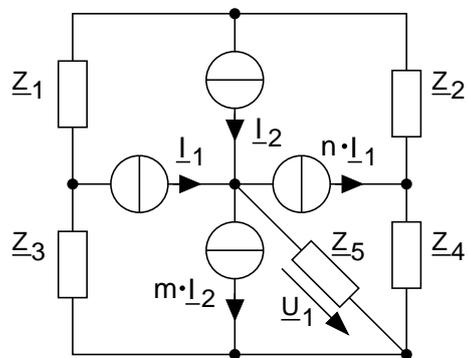
**Aufgabe 1 (6 Punkte):** Netzwerkberechnung

Abbildung 1: Netzwerk zur Berechnung.

Gegeben ist das Netzwerk in Abbildung 1.

Ermitteln Sie mit einem Verfahren Ihrer Wahl die Abhängigkeit der Spannung  $\underline{U}_1$  von den Quellströmen  $\underline{I}_1$  und  $\underline{I}_2$  und den Faktoren  $m$  und  $n$ . Hinweis: Das Netzwerk läßt sich durch äquivalente Umformung vereinfachen.

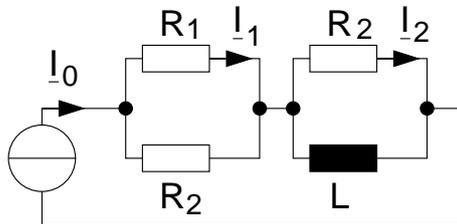
Aufgabe 2 (10 Punkte): Komplexe Rechnung, Ortskurve

Abbildung 2: Netzwerk für Ortskurvenbestimmung.

Gegeben ist das Netzwerk in Abbildung 2, für das die Ortskurve der komplexen Wirkungsfunktion  $\frac{I_1 - I_2}{I_0}$  zu bestimmen ist.

- 1) Bestimmen Sie  $R_1$  so, daß für den Betrag  $|I_1 - I_2| = \text{const.}$  gilt (d.h. keine Frequenzabhängigkeit).
- 2) Zeichnen Sie für den unter 1) gefundenen Wert von  $R_1$  die Ortskurven der Wirkungsfunktion  $\frac{I_1 - I_2}{I_0}$  im Frequenzbereich  $0 \leq \omega \leq \infty$ . Markieren Sie die Punkte  $\omega = 0$ ,  $\omega = R_2/L$  und  $\omega = \infty$  auf der Ortskurve.

**Aufgabe 3 (12 Punkte): Schaltungsdimensionierung und -berechnung**

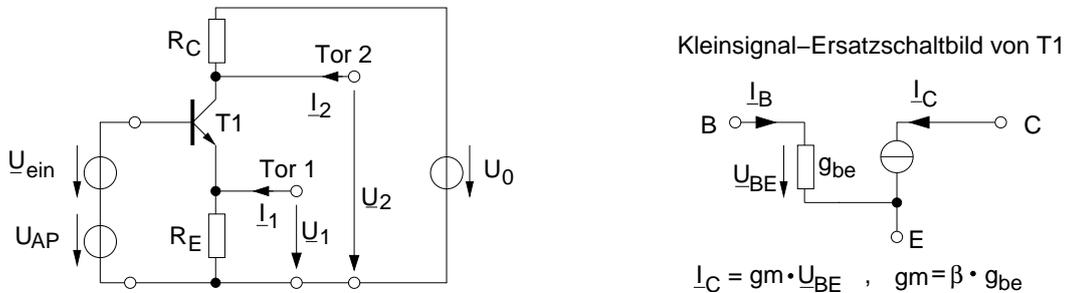


Abbildung 3: Zu dimensionierende Verstärkerschaltung mit zwei Ausgangstoren (Tor1, 2).

Abbildung 3, links, zeigt eine Verstärkerschaltung mit der Gleichspannungsquelle  $U_{AP}$  zur Arbeitspunkteinstellung und der Wechselspannungsquelle  $U_{ein}$  für das Eingangssignal. Die linke Seite zeigt das Kleinsignalmodell des Transistors T1. Es gilt  $\beta \gg 1$ .

Sie können im Folgenden für Kleinsignalberechnungen mit den Näherungen des Transformationszweitor (T-Operator) -Ersatzschaltbildes rechnen.

1) Dimensionieren Sie  $R_E$  und  $R_C$  für leerlaufende Ausgangstore ( $I_1 = I_2 = 0$ ) so, dass gilt  $|U_1| = |U_2|$ . Nehmen Sie für die Dimensionierung zunächst an, dass  $R_E \gg \frac{1}{g_m}$  erfüllt ist.

2) Um die Näherung  $R_E \gg \frac{1}{g_m}$  aus Aufgabenpunkt 1) zu erfüllen, soll gelten  $R_E = \frac{10}{g_m}$ . Welchen Wert muss  $U_{AP}$  in diesem Fall besitzen? Hinweis: nehmen Sie  $U_{BE} = const.$  an.

3) Berechnen Sie die Ausgangswiderstände der beiden Ausgangstore.

$$R_{a1} = \frac{U_1}{I_1} \Big|_{U_{ein}=0, I_2=0} \quad \text{und} \quad R_{a2} = \frac{U_2}{I_2} \Big|_{U_{ein}=0, I_1=0} .$$

4) Beide Ausgangstore sollen mit jeweils einem Lastwiderstand  $R_L = \frac{1}{g_m}$ , belastet werden, d.h es gilt  $\frac{U_1}{-I_1} = \frac{U_2}{-I_2} = R_L$ . Um welchen Faktor sinken die Ausgangsspannungen  $U_1$  und  $U_2$  durch diese Belastung gegenüber Leerlauf ab?

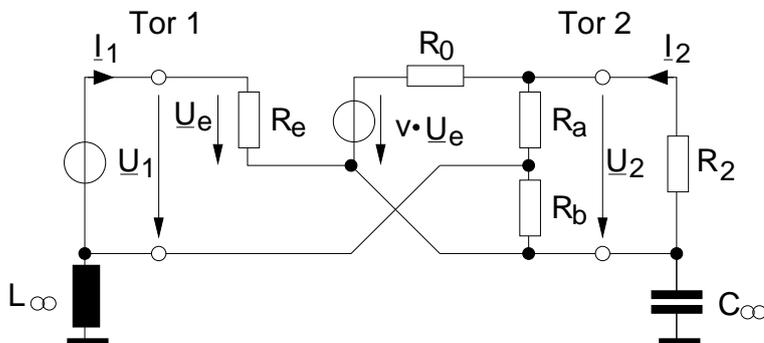
**Aufgabe 4 (16 Punkte): Rückkopplung, Zweitor**

Abbildung 4: Kleinsignalersatzschaltbild einer rückgekoppelten Transistorschaltung.

Gegeben ist die Schaltung in Abbildung 4. Darin können  $\omega C_\infty$  und  $\omega L_\infty$  für alle Betriebsfrequenzen als unendlich groß angenommen werden.

- 1) Zeichnen Sie das Wechselstromersatzschaltbild der Schaltung. Zeigen Sie z.B. mit Hilfe der Methode des Überknotens (Hülle) daß die Torbedingungen für Tor 1 und 2 erfüllt sind.
- 2) Formen Sie das Wechselstromersatzschaltbild für eine Berechnung mit einem Haupt- und einem Rückkopplungszweitor um. Ordnen Sie dazu  $R_a$  und  $R_b$  dem Rückkopplungszweitor und die restlichen Bauelemente zwischen Tor 1 und 2 dem Hauptzweitor zu.
- 3) Um welche Art der Rückkopplung handelt es sich? Wählen Sie eine für die Art der Rückkopplung geeignete Matrixendarstellung aus. Begründen Sie Ihre Entscheidung!
- 4) Bestimmen Sie die Elemente der Matrix des Haupt- und des Rückkopplungszweitors, sowie die Elemente der daraus resultierenden Matrix der Gesamtschaltung.
- 5) Bestimmen Sie die die Eingangswiderstände  $R_{e1} = \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{I_2=0}$  und  $R_{e2} = \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{U_2=0}$  mit Hilfe der Matrixendarstellung.
- 6) Welche der beiden Eingangsimpedanzen  $R_{e1}$  oder  $R_{e2}$  wird durch die Rückkopplung am stärksten beeinflusst?

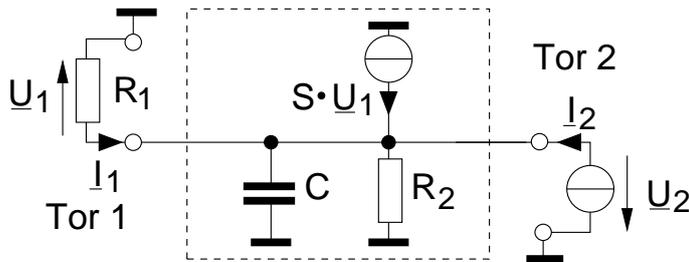
**Aufgabe 5 (10 Punkte): Stabilität, Netzwerk**

Abbildung 5: Kleinsignalersatzschaltbild einer Verstärkerschaltung mit Stromeinspeisung am Ausgangstor.

Gegeben ist das Kleinsignalersatzschaltbild einer Verstärkerschaltung mit reellwertiger Steilheit  $S$  in Abbildung 5, deren Stabilität zu untersuchen ist.

1) Analysieren Sie die Stabilität der Schaltung durch Betrachtung der Pole der Wirkungsfunktion (Ausgangsimpedanz)  $Z_a = \frac{U_2}{I_2}$  der Schaltung. Geben Sie eine Bedingung an, unter der die Schaltung stabil ist.

2) Betrachtet wird die Impulsantwort der Schaltung bei Anregung durch die Quelle  $I_2$  im Zeitbereich. Skizzieren Sie qualitativ für den Fall, dass die Stabilitätsbedingung unter Aufgabenpunkt 1) nicht erfüllt ist, den Verlauf der Spannung  $u_2(t)$  an Tor 2 im Zeitbereich. Geben Sie die Zeitkonstante an, mit der die Amplitude von  $u_2(t)$  über der Zeit anwächst.

Hinweis: Das Ergebnis kann mit Hilfe des Heavisideschen Entwicklungssatzes einfach hergeleitet werden.

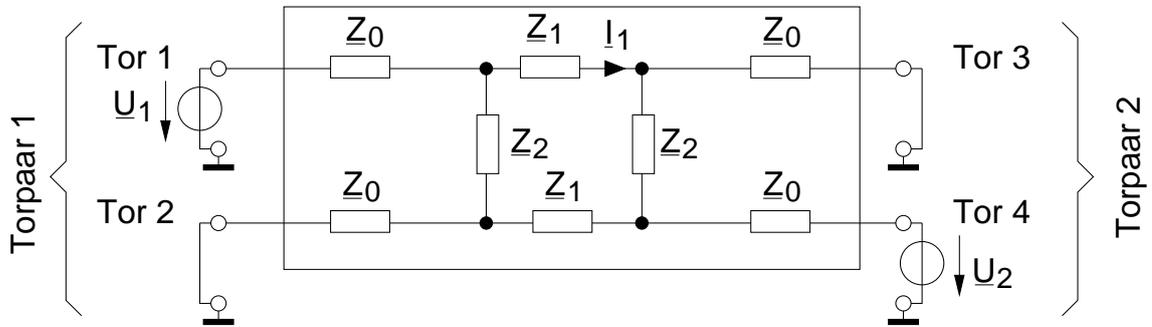
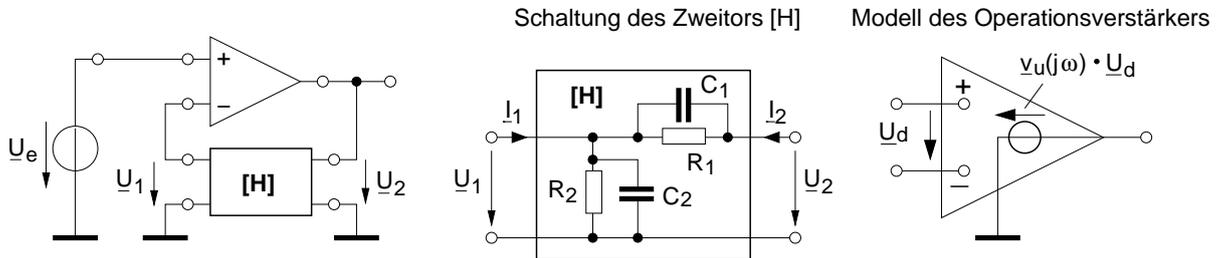
**Aufgabe 6 (12 Punkte): Gleichtakt- Gegentaktzerlegung**

Abbildung 6: Symmetrisches Netzwerk mit unsymmetrischer Ansteuerung an zwei Torpaaren.

Für das symmetrische Netzwerk mit unsymmetrischen Ansteuerungen in Abb. 6 soll mit Hilfe der Gleichtakt-, Gegentakt-Zerlegung der Strom  $\underline{I}_1$  berechnet werden. Hinweis: Die Ansteuerungen an beiden Torpaaren können bei Bedarf getrennt betrachtet und mittels Überlagerungssatz kombiniert werden.

- 1) Stellen Sie die unsymmetrische Ansteuerung an jedem der beiden Torpaaren äquivalent durch eine Überlagerung von Gleichtakt- und Gegentaktquellen dar. Bestimmen Sie die Phasoren der vier ansteuernden Gleich- und Gegentaktquellen in Abhängigkeit von  $\underline{U}_1$  und  $\underline{U}_2$ .
- 2) Die Ansteuerungen an den Torpaaren werden getrennt betrachtet. Zeichnen Sie für die Ansteuerungen die jeweiligen einphasigen Gleich- und Gegentaktersatzschaltbilder des Netzwerks, die die zu überlagernden Anteile von  $\underline{I}_1$  führen (insgesamt vier Ersatzschaltbilder).
- 3) Berechnen Sie für den Fall  $\underline{U}_1 = -\underline{U}_2$  den Strom  $\underline{I}_1$  durch die Impedanz  $\underline{Z}_1$  mit Hilfe der Gleich- und Gegentaktersatzschaltbilder aus Aufgabenpunkt 2).

**Aufgabe 7 (16 Punkte): Operationsverstärker, Bode-Diagramm.**



Gegeben ist die links gezeigte Operationsverstärkerschaltung mit Rückkopplung durch das, in der Mitte dargestellte Zweitor mit der Hybridparametermatrix  $[H]$ . Das Modell des Operationsverstärkers ist auf der rechten Seite dargestellt.

1) Bestimmen Sie allgemein die Verstärkung  $\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{U}_2(j\omega)}{\underline{U}_e(j\omega)}$  der Schaltung in Abhängigkeit der komplexen Verstärkung  $\underline{v}_u(j\omega)$  des Operationsverstärker-Modells und des Parameters  $\underline{H}_{12}(j\omega)$  des Rückkopplungszweiters. Erläutern Sie in diesem Zusammenhang, warum die Parameter  $\underline{H}_{11}$ ,  $\underline{H}_{21}$  und  $\underline{H}_{22}$  nicht in die Verstärkung  $\underline{F}(j\omega)$  eingehen.

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

3) Bestimmen Sie den Parameter  $\underline{H}_{12}(j\omega) = \left. \frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2} \right|_{I_1=0}$  aus der Schaltung des Rückkopplungszweiters  $[H]$  (Abbildung oben, Mitte). Formen Sie den Ausdruck so um, dass er für die Darstellung im Bode-Diagramm geeignet ist (d.h. der Gestalt  $H_{12}(1 + \frac{j\omega}{\omega_{z1}}) (1 + \frac{j\omega}{\omega_{z2}}) \dots (1 + \frac{j\omega}{\omega_{n1}})^{-1} (1 + \frac{j\omega}{\omega_{n2}})^{-1} \dots$ ),  $H_{12} = const.$ .

Im Folgenden gilt  $R_1 = R_2$  und  $\underline{v}_u(j\omega) = v_0 = 2000$

4) Zeichnen Sie den Verlauf von Betrag und Phase der Schleifenverstärkung der Operationsverstärkerschaltung für die drei Fälle  $C_2 = 19 C_1$ ,  $C_2 = C_1$  und  $C_2 = 0$  in das Bode Diagramm auf der nächsten Seite ein. Verwenden Sie dazu die Definition  $\omega_0 = (R_1 C_1)^{-1}$

Für die Verstärkung des Operationsverstärkers gilt nun  $\underline{v}_u(j\omega) = \frac{v_0}{(1 + \frac{j\omega}{\omega_1}) (1 + \frac{j\omega}{\omega_2}) \dots (1 + \frac{j\omega}{\omega_N})}$ .

5) Erläutern Sie, welcher der drei Fälle in Aufgabe 4) hinsichtlich der Verschlechterung der Stabilität durch den Tiefpaßcharakter von  $\underline{v}_u(j\omega)$  am kritischsten zu bewerten ist.

6) Die Anzahl  $N$  der Tiefpaßterme von  $\underline{v}_u(j\omega)$  ist unbekannt und Sie haben die Möglichkeit  $C_1$  und  $C_2$  beliebig ( $\geq 0$ ) zu dimensionieren. Welche Wahl treffen Sie, wenn gefordert ist, dass die Schaltung unabhängig von  $N$ , mindestens eine Phasenreserve von  $90^\circ$  aufweisen soll. Begründen Sie Ihre Wahl.

Bode Diagramm Vorlage

