



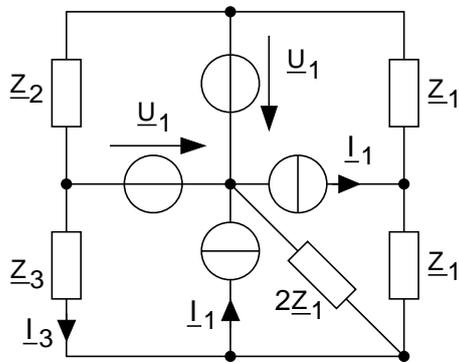
Aufgabe 1 (6 Punkte): Netzwerkberechnung

Abbildung 1: Netzwerk zur Berechnung.

Gegeben ist das Netzwerk in Abbildung 1.

Ermitteln Sie mit einem Verfahren Ihrer Wahl den Strom  $I_3$  durch die Impedanz  $Z_3$ .  
Hinweis: Das Netzwerk lässt sich durch äquivalente Umformung vereinfachen.

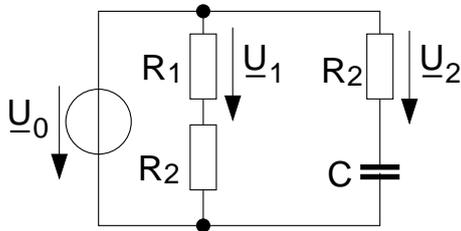
**Aufgabe 2 (10 Punkte): Komplexe Rechnung, Ortskurve**

Abbildung 2: Netzwerk für Ortskurvenbestimmung.

Gegeben ist das Netzwerk in Abbildung 2, für das die Ortskurve der komplexen Wirkungsfunktion  $\frac{\underline{U}_1 - \underline{U}_2}{\underline{U}_0}$  zu bestimmen ist.

- 1) Bestimmen Sie  $R_2$  so, daß für den Betrag  $|\underline{U}_1 - \underline{U}_2| = \text{const.}$  gilt (d.h. keine Frequenzabhängigkeit).
- 2) Zeichnen Sie für den unter 1) gefundenen Wert von  $R_2$  die Ortskurven der Wirkungsfunktion  $\frac{\underline{U}_1 - \underline{U}_2}{\underline{U}_0}$  im Frequenzbereich  $0 \leq \omega \leq \infty$ . Markieren Sie die Punkte  $\omega = 0$ ,  $\omega = (R_1 C)^{-1}$  und  $\omega = \infty$  auf der Ortskurve.

**Aufgabe 3 (13 Punkte): Schaltungsdimensionierung und -berechnung**

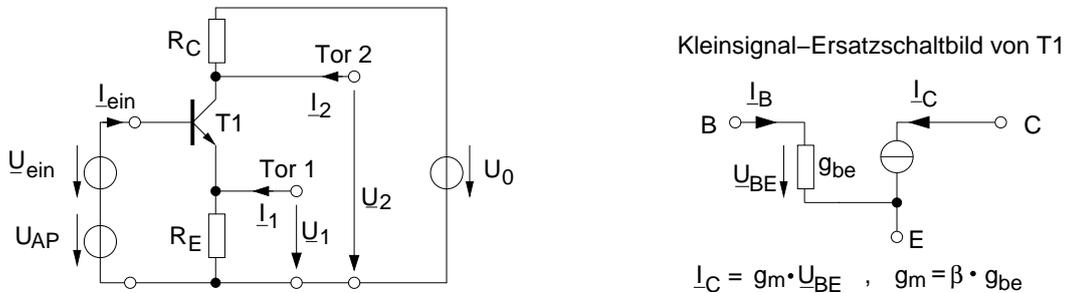


Abbildung 3: Zu dimensionierende Verstärkerschaltung mit zwei Ausgangstoren (Tor1, 2).

Abbildung 3, links, zeigt eine Verstärkerschaltung mit der Gleichspannungsquelle  $U_{AP}$  zur Arbeitspunkteinstellung und der Wechselspannungsquelle  $U_{ein}$  für das Eingangssignal. Die rechte Seite zeigt das Kleinsignalmodell des Transistors T1.

**Arbeitspunktberechnung**

1) Geben Sie eine Dimensionierung an, bei der im Arbeitspunkt über  $R_C$ ,  $R_E$  und der Kollektor-Emitter-Strecke des Transistors eine Spannung in jeweils gleicher Höhe abfällt. An den beiden Toren sei keine Last angeschlossen. Für die Berechnung kann  $B \gg 1$  angenommen werden.

**Kleinsignal-Wechselstromberechnung**

Sie können mit den Näherungen des Transformationszweitor (T-Operator) - Ersatzschaltbildes rechnen.

Im folgenden gilt die unter 1) ermittelte Dimensionierung.

2)a) Berechnen Sie die Steilheit  $g_m$  des Transistors.

b) Geben Sie eine Bedingung für die Betriebsspannung an, unter der gilt  $R_E > \frac{10}{g_m}$ .

3) Berechnen Sie allgemein in Abhängigkeit von  $\beta$  und  $g_m$  die Verstärkungen

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

sowie die Eingangsimpedanz

$$Z_e = \frac{U_{ein}}{I_{ein}} \Big|_{I_1=0, I_2=0}$$

4) Geben Sie für jeder der unter 3) ermittelten Verstärkungen  $v_{a1}$  und  $v_{a2}$  eine Beziehung in Abhängigkeit von der Eingangsimpedanz  $Z_e$  an. Was folgt demnach für die Verstärkungen, wenn die Eingangsimpedanz erhöht wird? Was muss gelten, damit gilt  $|v_{a1}| = |v_{a2}|$ ?

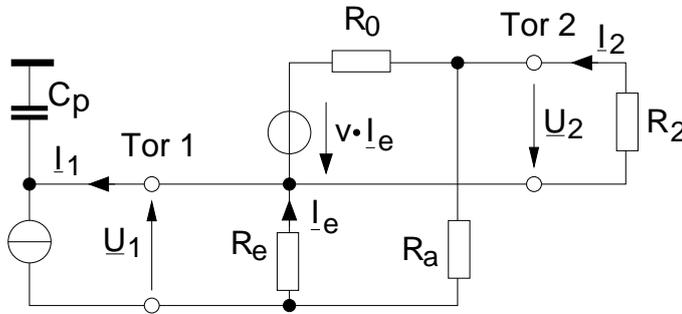
**Aufgabe 4 (14 Punkte): Rückkopplung, Zweitor**

Abbildung 4: Kleinsignalersatzschaltbild einer rückgekoppelten Transistorschaltung.

Gegeben ist das Kleinsignal-Wechselstromersatzschaltbild einer rückgekoppelten Transistorschaltung in Abbildung 4.

1) Welche Bedingung muss die, gegen einen Knoten außerhalb des untersuchten Netzwerks gehende Streukapazität  $C_p$  erfüllen, damit die Torbedingungen an den Toren 1 und 2 erfüllt sind? Was folgt daraus für die weitere Berechnung?

Zur Vereinfachung wird im folgenden die Schaltung ohne  $C_p$  betrachtet.

2) Formen Sie das Ersatzschaltbild für eine Berechnung mit einem Haupt- und einem Rückkopplungszweitor um. Ordnen Sie dazu  $R_a$  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. Geben Sie jeweils für Tor 1 und 2 an, welche Torgröße (Strom bzw. Spannung) der Gesamtmatrix sich aus der Summe der Torgrößen der beiden Einzelmatrixen zusammensetzt.

4) Bestimmen Sie die Elemente der Matrix des Haupt- und des Rückkopplungszweitors, sowie die Elemente der daraus resultierenden Matrix der Gesamtschaltung.

5) Bestimmen Sie allgemein die Verstärkung  $Z_G = \frac{U_2}{I_1}$  für beliebige Werte des Abschlußwiderstandes  $R_2$  mit Hilfe der Matrixendarstellung.

6) Der Abschlußwiderstand  $R_2$  wird verringert und die Verstärkung  $v$  vergrößert, so dass gilt  $\frac{1}{R_2} = G_2 \rightarrow \infty$  und  $|v| \rightarrow \infty$ . Das Produkt  $R_2 v$  sei zunächst unbestimmt.

a) Vereinfachen Sie den Ausdruck für die Verstärkung nach 5) unter Berücksichtigung der Grenzwerte.

b) Wie groß muss das Produkt  $|R_2 v|$  mindestens werden, damit die Verstärkung den Idealwert  $|Z_G| = R_a$  annimmt?

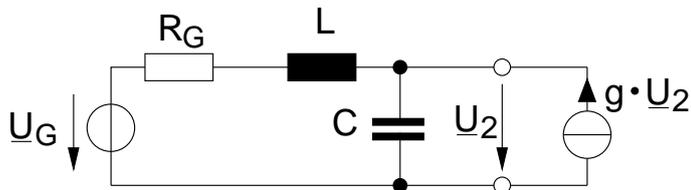
**Aufgabe 5 (11 Punkte): Stabilität, Netzwerk**

Abbildung 5: Kleinsignalersatzschaltbild einer Verstärkerschaltung.

Gegeben ist das Kleinsignalersatzschaltbild einer Verstärkerschaltung mit reellwertiger Steilheit  $g$  in Abbildung 5, deren Stabilität zu untersuchen ist. Der Verstärker wird durch die Quelle  $\underline{U}_G$  angesteuert.

- 1) Geben Sie eine Beziehung für die innere Spannung  $\underline{U}_2$  in der Form  $\underline{U}_2 = \underline{F}(s) \underline{U}_G$  an. Darin ist  $\underline{F}(s)$  die zugehörige Wirkungsfunktion.
- 2) Welche Eigenschaft muss  $\underline{F}(s)$  besitzen, damit trotz  $\underline{U}_G \rightarrow 0$  Werte  $\underline{U}_2(s) \neq 0$  möglich sind?
- 3) Für welchen Wertebereich der Steilheit  $g$  weist die Schaltung mit  $\underline{U}_G = 0$  ein instabiles Verhalten in Form einer aufklingenden, sinusförmigen Oszillation auf?
- 4) Welche Bedingung muss der Generatorwiderstand  $R_G$  erfüllen, damit sich das unter 3) beschriebene Verhalten ergibt?

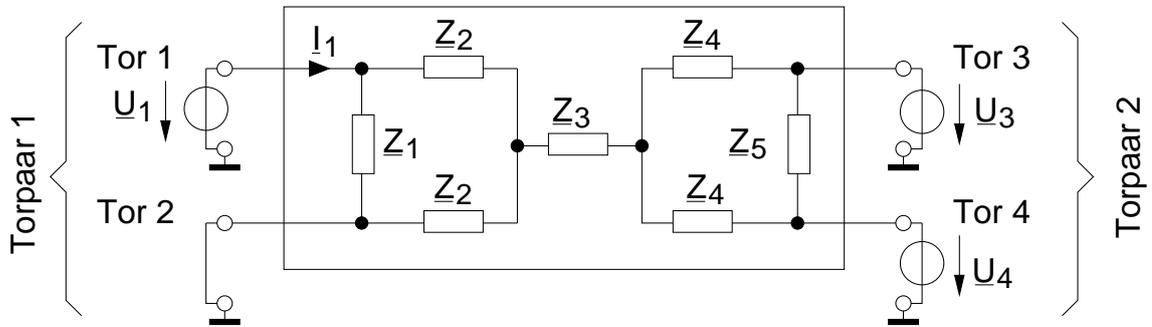
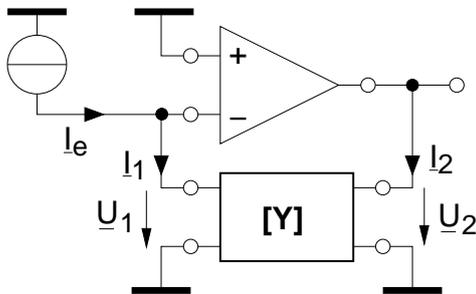
**Aufgabe 6 (12 Punkte): Gleichtakt-, Gegentaktzerlegung**

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

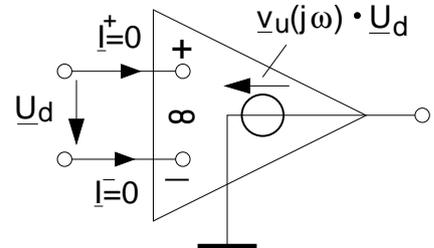
Für das symmetrische Netzwerk mit unsymmetrischen Ansteuerungen in Abb. 6 soll mit Hilfe der Gleichtakt-, Gegentaktzerlegung der Strom  $\underline{I}_1$  in Tor 1 berechnet werden. Hinweis: Die Ansteuerungen an beiden Torpaaren können bei Bedarf getrennt betrachtet und mittels Überlagerungssatz kombiniert 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  $\underline{U}_1$ ,  $\underline{U}_3$  und  $\underline{U}_4$ .
- 2) Die Ansteuerungen an den Torpaaren werden getrennt betrachtet. Zeichnen Sie für die Ansteuerungen die jeweiligen einphasigen Gleich- und Gegentaktersatzschaltbilder des Netzwerks, welche die zu überlagernden Anteile von  $\underline{I}_1$  führen (insgesamt vier Ersatzschaltbilder).
- 3) Berechnen Sie für den Fall  $\underline{U}_1 = \underline{U}_3 + \underline{U}_4$  den Strom  $\underline{I}_1$  in Tor 1 mit Hilfe der Gleich- und Gegentaktersatzschaltbilder aus Aufgabenpunkt 2).

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



Modell des Operationsverstärkers



Gegeben ist die oben links gezeigte Operationsverstärkerschaltung mit Rückkopplung durch ein allgemeines Zweitor. Das Modell des Operationsverstärkers ist auf der rechten Seite dargestellt. Die  $[Y]$ -Matrix des Zweitors soll bekannt sein und lautet allgemein

$$[Y] = \begin{bmatrix} \underline{Y}_{11} & \underline{Y}_{12} \\ \underline{Y}_{21} & \underline{Y}_{22} \end{bmatrix}.$$

- 1) a) Bestimmen Sie allgemein die Verstärkung  $\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{U}_2(j\omega)}{\underline{I}_e(j\omega)}$  der Schaltung in Abhängigkeit der komplexen Verstärkung  $\underline{v}_u(j\omega)$  des Operationsverstärker-Modells und der Parameter der  $[Y]$ -Matrix des Rückkopplungszweitors.
- b) Begründen Sie in diesem Zusammenhang, welche Parameter von  $[Y]$  zur Berechnung von  $\underline{F}(j\omega)$  benötigt werden und warum bestimmte Parameter nicht in die Verstärkung  $\underline{F}(j\omega)$  eingehen.
- c) Stellen Sie das Ergebnis in der Form  $\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{F}_a}{1 + \underline{F}_a \underline{F}_2}$  dar und geben Sie den Ausdruck für die Schleifenverstärkung an. Welche Eigenschaft muss  $\underline{F}_a$  besitzen, damit die Stabilität der Gesamtschaltung mit Hilfe des vereinfachten Nyquist Stabilitätskriteriums untersucht werden kann?
- d) Welchen Wert nimmt  $\underline{F}(j\omega)$  an wenn gilt  $|\underline{v}_u| \rightarrow \infty$  ?

Im Folgenden gilt  $\underline{Y}_{11} = \underline{Y}_{22} = j\omega C + \frac{1}{R}$ ,  $\underline{Y}_{12} = \underline{Y}_{21} = \frac{-1}{R}$  und  $\underline{v}_u(j\omega) = v_0 = 10^4$ .

2) Zeichnen Sie den Verlauf von Betrag und Phase der Schleifenverstärkung der Operationsverstärkerschaltung in das Bode Diagramm auf der nächsten Seite ein. Verwenden Sie dazu die Definition  $\omega_0 = (RC)^{-1}$ .

Für die Verstärkung des Operationsverstärkers gilt nun  $\underline{v}_u(j\omega) = \frac{v_0}{(1 + \frac{j\omega}{\omega_0})(1 + \frac{j\omega}{\omega_x})}$ .

- 3) Die Eckfrequenz  $\omega_x$  des Operationsverstärkers kann von Ihnen im Bereich  $10^{-6} \omega_0 \dots 10^4 \omega_0$  eingestellt werden.
  - a) Zeichnen Sie beispielhaft Betrag und Phase der Schleifenverstärkung für den Fall  $\omega_x = 10^{-1} \omega_0$  in das Bodediagramm ein.
  - b) Geben Sie die Teilbereiche von  $\omega_x$  an, in denen die Schaltung stabil (Phasenreserve größer Null) und grenzstabil (Phasenreserve gleich Null) ist. Hinweis: Sie können mit den grafischen Näherungen des Bodediagramms arbeiten.

Bode Diagramm Vorlage

