

Aufgabe 1 (6 Punkte): Netzwerkberechnung

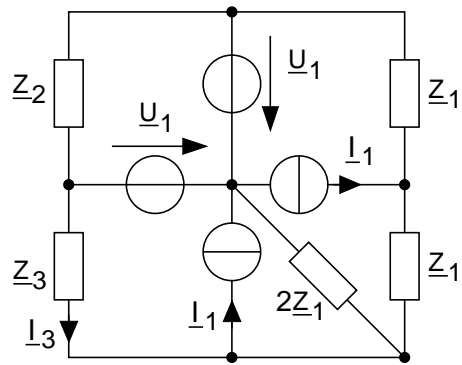


Abbildung 1: Netzwerk zur Berechnung.

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.

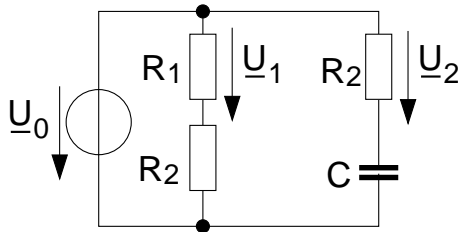
Aufgabe 2 (10 Punkte): Komplexe Rechnung, Ortskurve

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

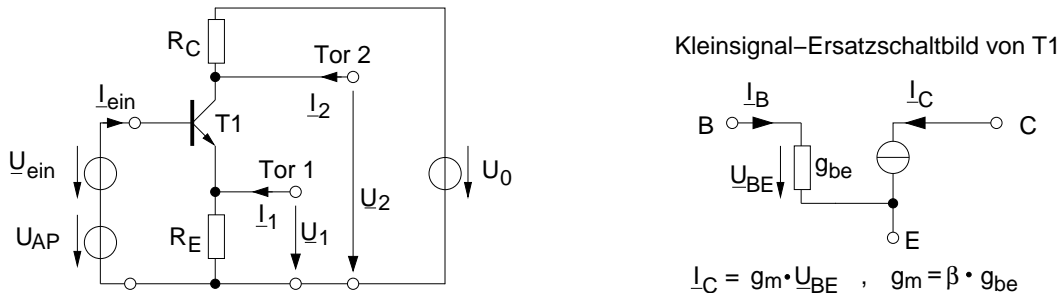


Abbildung 3: Zu dimensionierende Verstärkerschaltung mit zwei Ausgangstoren (Tor1, 2).

Abbildung 3, links, zeigt eine Verstärkerschaltung mit der Gleichspannungsquelle U_{AP} zur Arbeitspunkteinstellung und der Wechselspannungsquelle \underline{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 β und g_m die Verstärkungen

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

sowie die Eingangsimpedanz

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

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

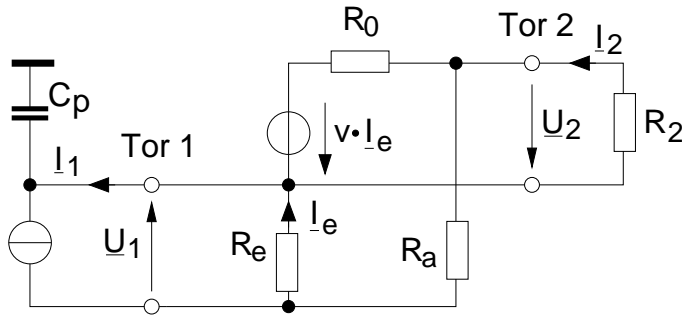
Aufgabe 4 (14 Punkte): Rückkopplung, Zweitor

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?

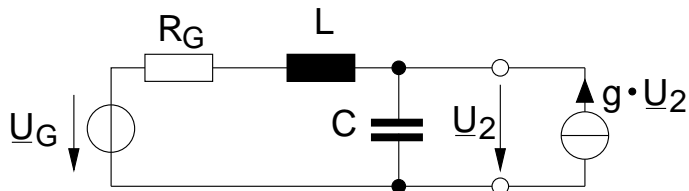
Aufgabe 5 (11 Punkte): Stabilität, Netzwerk

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?

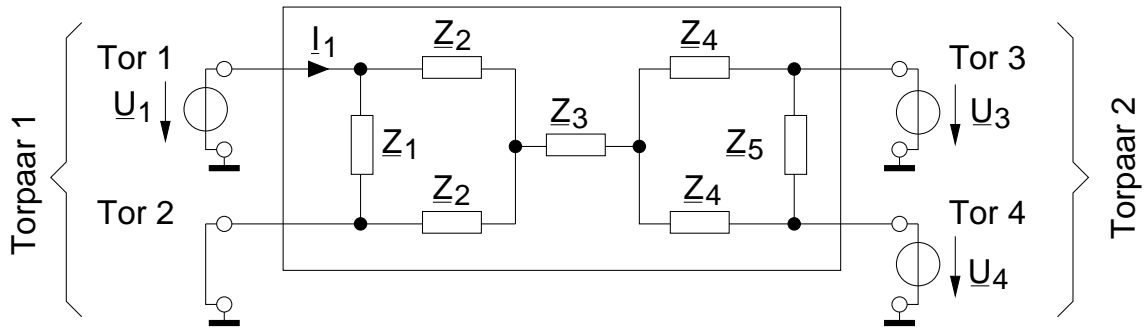
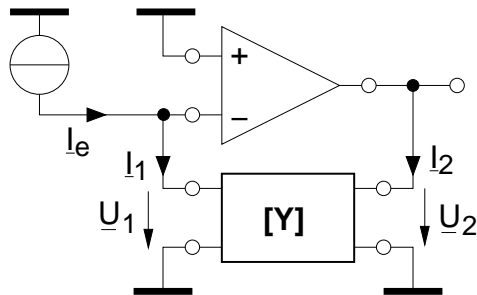
Aufgabe 6 (12 Punkte): Gleichtakt-, Gegentaktzerlegung

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

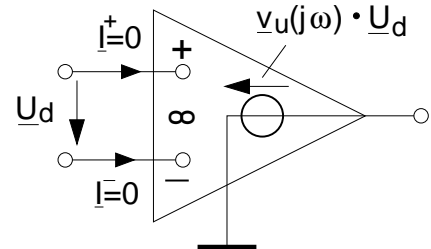
Für das symmetrische Netzwerk mit unsymmetrischen Ansteuerungen in Abb. 6 soll mit Hilfe der Gleichtakt-, Gegentaktzerlegung der Strom \underline{I}_1 in Tor 1 berechnet werden. Hinweis: Die Ansteuerungen an beiden Torpaaren können bei Bedarf getrennt betrachtet und mittels Überlagerungssatz kombiniert 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 ω_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 ω_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

