



Name
Vorname
Matrikelnummer
Studiengang (Semester)

Wichtige Hinweise zur Bearbeitung

Die Bearbeitungszeit der Aufgaben beträgt **120 Minuten**. Es sind **alle Hilfsmittel** erlaubt, mit Ausnahme elektronischer Geräte, die zur Kommunikation verwendet werden können. Dazu gehören zum Beispiel: Laptops, PDAs, Handys, etc.

Gewertet werden nur Lösungen mit **vollständigem Lösungsweg** und Begründung.

Verwenden Sie bitte für jede Aufgabe ein eigenes Lösungsblatt, das Sie mit Ihrem **Namen, Ihrer Matrikelnummer und der Nummer** der darauf bearbeiteten Aufgabe versehen.

In etwa die Hälfte der mittleren Gesamtpunktzahl von sechs Aufgaben ist zum Bestehen erforderlich.

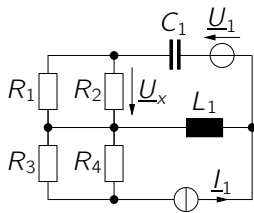
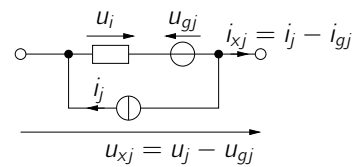
Beachten Sie bitte die an jeder Aufgabe **angegebene Punktzahl**. Sie ist ein Anhaltspunkt für die Schwierigkeit und den erforderlichen Arbeitsaufwand.

Heften Sie bitte **alle** Aufgaben- und Lösungsblätter, die Sie abgeben, zusammen.

Auswertung Ihrer Klausur

A1 / 14 P	A2 / 12 P	A3 / 12 P	A4 / 12 P	A5 / 14 P
A6 / 12 P	A7 / 12 P			

Σ / 88 P — Note

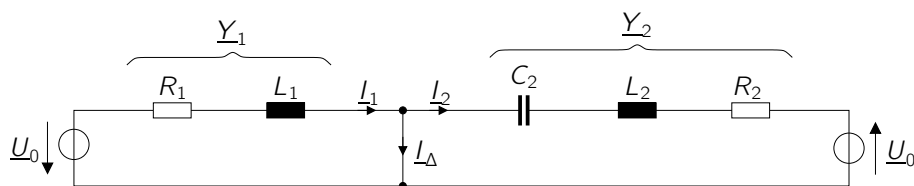
Aufgabe 1) Elementare Netzwerkberechnung, äquivalente Umformung Punkte: / 14**Abb. 1.1:** Gegebenes Netzwerk.**Abb. 1.2:** Allgemeiner Zweig.

Gegeben ist das Netzwerk in Abb. 1.1, in dem die Spannung U_x zu berechnen ist.

- Zeichnen Sie das Netzwerk in Abb. 1.1 so um, dass es durch allgemeine Zweige mit begleiteten Quellen dargestellt wird. (vgl. Abb. 1.2)
- Zeichnen Sie den Graphen, sowie Baum und Co-Baum des umgeformten Netzwerks aus a) und nummerieren Sie die Knoten und Zweige.
- Stellen Sie die Knoteninzidenzmatrix $[A]$ des umgeformten Netzwerks auf.
- Wählen Sie einen Bezugsknoten und leiten Sie die Knotenadmittanzmatrix $[Y_n]$ sowie die Knotenströme $[I_{qn}]$ des umgeformten Netzwerks formal mit Hilfe der Knoteninzenzmatrix her.
Hinweis: Stellen Sie zunächst anhand des Graphen aus Aufgabenteil b) eine Matrix auf, welche die Anordnung der Zweigadmittanzen des Netzwerks wiedergibt. (In der Vorlesung mit $[Y]$ bezeichnet.)
- Geben Sie mit Hilfe der Ergebnisse aus Aufgabenteil c) einen Ausdruck zur Berechnung der Spannung U_x an.

Aufgabe 2) Komplexe Rechnung, Ortskurve

Punkte: / 12

**Abb. 2:** Schaltung mit den Admittanzen \underline{Y}_1 und \underline{Y}_2 .

Betrachtet wird die Schaltung aus Abb. 2 mit den Admittanzen $\underline{Y}_1 := \frac{I_1}{U_0}$ und $\underline{Y}_2 := \frac{I_2}{U_0}$.
Es gilt: $\underline{U}_0 \in \mathbb{R}$

- Berechnen Sie die Admittanzen \underline{Y}_1 und \underline{Y}_2 .
- Zeichnen Sie qualitativ den Verlauf der Ortskurven der Ströme I_1 und I_2 im Bereich $0 \leq \omega \leq \infty$. Markieren Sie die Punkte, bei denen Real- und Imaginärteil jeweils ihre Maximal- und Minimalwerte besitzen und geben Sie die zugehörigen Werte der Admittanzen an.
- Welche Bedingung muss erfüllt sein, damit die Ortskurven von I_1 und I_2 jeweils die gleichen Punkte mit der reellen Achse gemeinsam haben?

Es gilt im Folgenden: $R_1 = R_2 = R_0$.

- Wie müssen die Bauelemente der Schaltung dimensioniert werden (Formel!), damit bei einer beliebig wählbaren Frequenz $0 < \omega_x < \infty$ der Strom I_Δ den größtmöglichen Betrag und keinen Realteil besitzt, d. h. es soll gelten: $|I_\Delta(\omega_x)| \geq |I_\Delta(\omega)|$, $0 \leq \omega \leq \infty$ und $\Re\{I_\Delta(\omega_x)\} = 0$.

Aufgabe 3) Schaltungsdimensionierung

Punkte: / 12

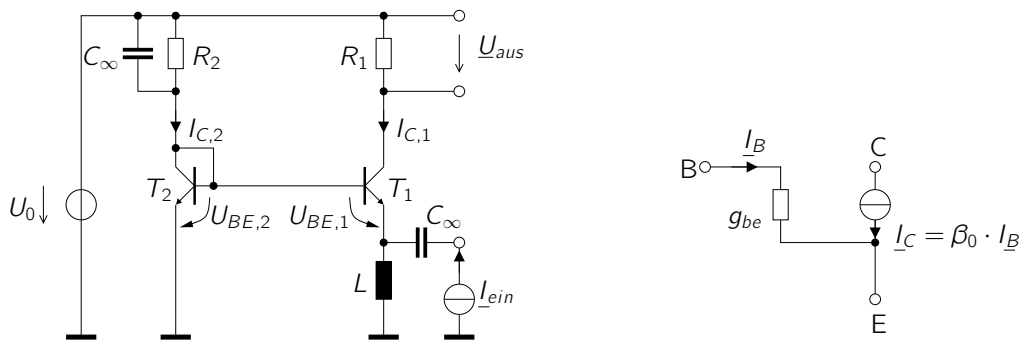


Abb. 3: Links: Zu berechnende Schaltung mit dem Signalstrom I_{ein} am Eingang und U_{aus} am Ausgang. Rechts: Kleinsignal-Ersatzschaltbild der Transistoren T_1 und T_2 .

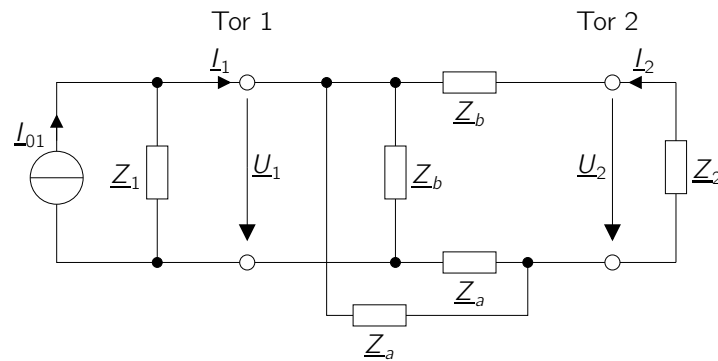
Gegeben ist die in Abbildung 3 links gezeigte Schaltung zur Wandlung eines Eingangstroms I_{ein} in eine Ausgangsspannung U_{aus} . Die beiden Koppelkapazitäten C_∞ sind in erster Näherung als Kurzschlüsse für $\omega > 0$ zu betrachten. Für die beiden identischen¹ Transistoren T_1 und T_2 gilt das Kleinsignal-Ersatzschaltbild aus Abbildung 3 rechts. I_{ein} ist eine reine Wechselstromquelle.

- Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild der Schaltung.
- Bestimmen Sie den maximalen Aussteuerbereich $[U_{aus,min} \dots U_{aus,max}]$ von U_{aus} , für den sich T_1 im normalaktiven Bereich befindet. Wählen Sie den Ruhestrom $I_{C,1}$ so, dass U_{aus} im Arbeitspunkt in der Mitte dieses Aussteuerbereichs liegt. Die Basis-Emitter-Spannung $U_{BE,1}$ sei konstant und habe den Wert $U_{BE,0}$.
- Wie muss R_2 eingestellt werden, dass der Ruhestrom $I_{C,1}$ von T_1 den in Teil b) bestimmten Wert annimmt? Die Basis-Emitter-Spannung $U_{BE,2}$ sei konstant und entspreche der Basis-Emitter-Spannung $U_{BE,1}$ von T_1 , d. h. es gilt: $U_{BE,1} = U_{BE,2}$. Die Basisströme von T_1 und T_2 seien vernachlässigbar. Hinweis: Sollten Sie den Ruhestrom $I_{C,1}$ in Teil b) nicht bestimmt haben, können Sie mit einem symbolischen Wert von $I_{C,1} = I_0$ rechnen.
- Zeichnen Sie das Wechselstrom-Ersatzschaltbild der Schaltung. Um welche Grundschaltung handelt es sich bezüglich T_1 ?
- Bestimmen Sie mit einer Methode ihrer Wahl (z.B. T-Operator Ersatzschaltbild) die 3dB-Grenzfrequenz des Betrages $|\underline{Z}_T|$ der Transimpedanz $\underline{Z}_T = \frac{U_{aus}}{I_{ein}}$ in Abhängigkeit des Ruhestroms $I_{C,1}$ von T_1 . Skizzieren Sie den Betragsgang.

¹Die Fläche und die Temperatur der beiden Transistoren ist gleich, damit sind insbesondere auch der Sättigungsstrom I_S und die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} bei gleichem Strom I_C gleich.

Aufgabe 4) Zweitor-Rechnung

Punkte: / 12

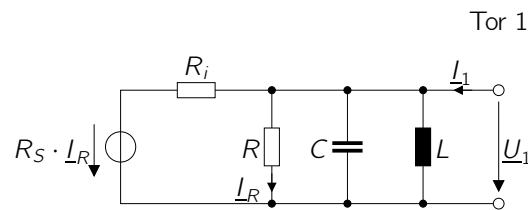
**Abb. 4:** Gegebene Schaltung.

Gegeben ist die Schaltung in Abb. 4, die das Signal der Quelle L_{01} , Z_1 mittels des Netzwerks aus den Impedanzen Z_a , Z_b auf die Last Z_2 überträgt. Es soll das Übertragungsverhalten zwischen den Toren mit Hilfe der Zweitor-Theorie ermittelt werden.

- Formen Sie das Netzwerk aus Z_a und Z_b so um, dass es aus einer Zusammenschaltung von zwei Zweitoren dargestellt wird. Dabei soll das eine Zweitor nur die Admittanzen Z_a und das andere nur die Admittanzen Z_b enthalten.
- Um welche Kopplung der Zweitore handelt es sich?
 - Welche Zweitorparameter eignen sich für die Berechnung? Begründen Sie die Wahl anhand gemeinsamer Spannungen bzw. Ströme an den Toren der beiden Zweitore.
- Berechnen Sie die Elemente der beiden Zweitore und die resultierenden Elemente des zusammenschalteten Zweitores.
- Bestimmen Sie die Spannungsübertragungsfunktion $\underline{F}_U = \frac{U_2}{U_1}$ der Gesamtschaltung in Abb. 4. Geben Sie an, für welche Dimensionierungen der Zweitorelemente $\underline{F}_U = 0$ gilt.

Aufgabe 5) Stabilität, Netzwerktheorie

Punkte: / 14

**Abb. 5:** Entdämpfter Schwingkreis.

Die in Abb. 5 gezeigte Schaltung soll als Oszillator dimensioniert werden, der eine Spannung \underline{U} bei der Frequenz ω_0 an seinem Ausgangstor erzeugt.

Für die reellwertigen Bauelemente gilt: $C > 0$, $L > 0$, $R > 0$, $R_i > 0$, $R_S \in \mathbb{R}$

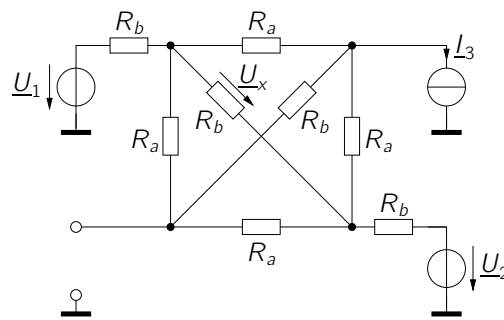
- Bestimmen Sie die Ausgangsimpedanz $\underline{Z}(s) = \frac{\underline{U}_1}{I_1}$ des Oszillators in Abhängigkeit von der komplexen Frequenz.
- Begründen Sie, warum die Polstellen der Ausgangsimpedanz und nicht der Ausgangsdmittanz die Schwingfrequenz des dargestellten Oszillators bestimmen.
- Bestimmen Sie die komplex konjugierten Polstellen von $\underline{Z}(s)$ aus Aufgabenteil a).
Wie groß muss R_S mindestens sein, damit der Schwingkreis entdämpft ist und die dargestellte Schaltung somit instabil ist?

Im Folgenden gilt: $4R = 4R_i = R_S$.

- Geben Sie die Bedingung für eine harmonische Schwingung und die Schwingfrequenz des Oszillators in Abhängigkeit von den Bauelementen an.
- Der Schwingkreis wird an Tor 1 im Zeitbereich mit einem Diracimpuls-förmigen Strom $i_1(t) = \delta(t)$ angeregt. Geben Sie eine Gleichung an, die den zeitlichen Verlauf der zugehörigen Spannung $u_1(t)$ beschreibt.
Hinweis: Zur inversen Laplace-Transformation gebrochen rationaler Funktionen eignet sich der Heavisidesche Entwicklungssatz.

Aufgabe 6) *Gleichtakt-/Gegentaktzerlegung*

Punkte: / 12

**Abb. 6:** Zu analysierende Schaltung.

Gegeben ist das in Abb. 6 dargestellte symmetrische Netzwerk mit unsymmetrischer Ansteuerung an vier Toren. Mit Hilfe der Gleichtakt-, Gegentaktzerlegung soll die Spannung \underline{U}_x bestimmt werden.

Hinweise:

Alle vorkommenden Widerstände sind linear, es gilt also der Überlagerungssatz.

Beachten Sie, dass auch ein unbeschaltetes Tor mit einer geeigneten Quelle beschaltet werden kann ohne das Netzwerk zu ändern.

- Stellen Sie die Ansteuerung an den vier Toren äquivalent durch eine Überlagerung von Gleichtakt- und Gegentaktquellen an jeweils zwei geeigneten Toren (Torpaare) dar. Zeichnen Sie zu jedem der beiden Torpaare die zugehörigen Symmetrielinie in das Schaltbild ein. Bestimmen Sie die Phasoren der vier ansteuernden Gleich- und Gegentaktquellen in Abhängigkeit von \underline{U}_1 , \underline{U}_2 und \underline{I}_3 .
- Bestimmen Sie die Spannung \underline{U}_x in Abhängigkeit von \underline{U}_1 , \underline{U}_2 und \underline{I}_3 mit Hilfe der Gleichtakt-/Gegentakt-Zerlegung aus Aufgabenteil a).

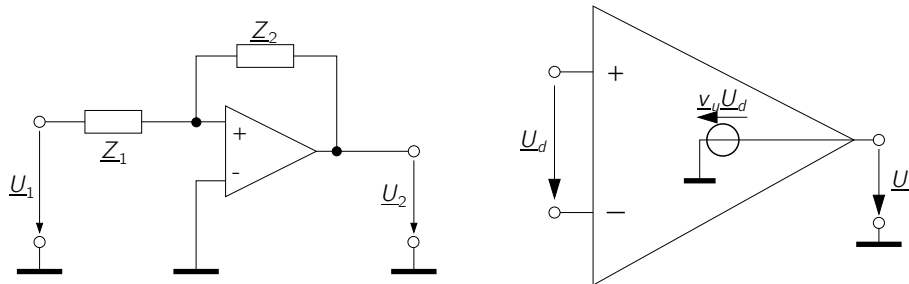
Aufgabe 7) Frequenzgang, Operationsverstärker, Bode-Diagramm Punkte: / 12

Abb. 7: Links: zu analysierende Operationsverstärkerschaltung. Rechts: Modell des Operationsverstärkers.

Gegeben ist die in Abbildung 7 links gezeigte Filter-Schaltung aus einem rückgekoppelten Operationsverstärker mit den Impedanzen Z_1 und Z_2 . Der Operationsverstärker hat das Ersatzschaltbild auf der rechten Seite der Abbildung. Durch Kaskadierung von zwei solchen Schaltungen soll ein Filter entstehen, dessen Betragsgang im Bereich $0 \leq \omega \leq \omega_0$ bei der Darstellung mit den Näherungen des Bode-Diagramms gleich 0 dB ist und ab ω_0 mit 20 dB pro Dekade ansteigt.

- a) Berechnen Sie allgemein den Frequenzgang $F = \frac{U_2}{U_1}$ der Schaltung aus Abbildung 7. Nehmen Sie dabei an, dass der Eingangswiderstand des Operationsverstärkers als unendlich groß angenommen werden kann.

Im Folgenden werden zwei Filterschaltungen aus Abbildung 7 kaskadiert. Impedanzen, Spannungen und Ströme der ersten Schaltung werden zur Unterscheidung mit einem Strich, die entsprechenden Größen der zweiten Schaltung mit zwei Strichen versehen. Aufgrund der Zusammenschaltung gilt $U'_2 = U''_1$.

- b) Geben Sie den Frequenzgang der kaskadierten Filterschaltung $F_k = \frac{U''_2}{U'_1}$ in einer zur Darstellung im Bode-Diagramm geeigneten Produktform an. Dabei soll gelten $Z'_1 = \frac{1}{j\omega C_1}$, $Z'_2 = R_1$, $Z''_1 = R_2$, $Z''_2 = R_2 + \frac{1}{j\omega C_2}$. Für die Verstärkung der Operationsverstärker gilt $v'_u = v''_u = \alpha \in \mathbb{R}$ mit $\alpha \gg 1$.
- c) Der Betragsverlauf des Filters soll bei der Darstellung mit den Näherungen des Bode-Diagramms bis zu einer Frequenz ω_0 gleich 0 dB sein und im Bereich $\omega > \omega_0$ mit 20 dB pro Dekade ansteigen. Geben Sie eine Dimensionierungsvorschrift für die Elemente C_1 , C_2 , R_1 , R_2 des Filters an, mit denen dieser Betragsverlauf erzielt wird.
- d) Zeichnen Sie den Betragsgang und den zugehörigen Phasengang in das nachfolgende Bode-Diagramm ein.
Hinweis: Falls Sie den vorhergehenden Aufgabenteil nicht lösen konnten, verwenden Sie

$$F_k = \frac{j\frac{\omega}{\omega_\lambda} \left(1 + j\frac{\omega}{\omega_\mu}\right)}{j\frac{\omega}{\omega_\nu}} \quad \text{mit } \omega_\lambda, \omega_\mu, \omega_\nu > 0.$$

Bestimmen Sie ω_λ , ω_μ und ω_ν mit Hilfe des Betragsganges nach Aufgabenteil c).

Name:

Matr.#:

