

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.

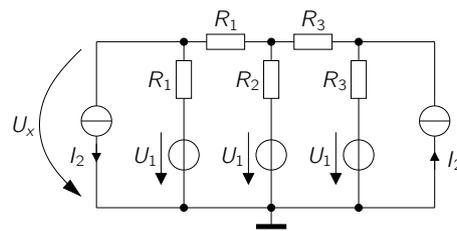
Beachten Sie bitte die an jeder Aufgabe **angegebene Punktzahl**. Sie ist ein Anhaltspunkt für die Schwierigkeit und den erforderlichen Arbeitsaufwand.

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

Auswertung Ihrer Klausur

A1 / 12 P	A2 / 10 P	A3 / 11 P	A4 / 12 P	A5 / 11 P
A6 / 12 P	A7 / 12 P			

Σ / 80 P — Note

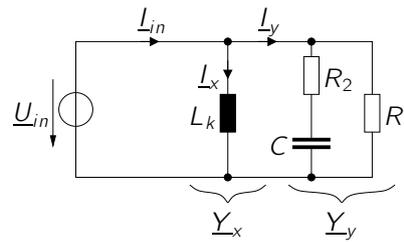
Aufgabe 1) Elementare Netzwerkberechnung, äquivalente Umformung Punkte: / 12**Abb. 1:** Gegebenes Netzwerk.

Gegeben ist das Netzwerk in Abb. 1, in dem die Spannung U_x zu berechnen ist.

- Geben Sie für das Netzwerk in Abb. 1 einen Baum und den zugehörigen Co-Baum an.
- Wieviel Zweige mit unabhängigen Strömen sind für das Netzwerk zu berechnen, wenn die Quellströme und -spannungen bekannt sind?
- Es gilt $U_1 = 2 R_0 I_2$ und $R_n = n R_0$. Geben Sie einen Ausdruck für U_x der Form $U_x = a U_1$ an. Welchen Wert hat a ?
- Geben Sie die gesamte Verlustleistung, die in den Widerständen umgesetzt wird, durch einen Term der Form $P = b \frac{U_1^2}{R_0}$ an.

Aufgabe 2) Komplexe Rechnung, Ortskurve

Punkte: / 10

**Abb. 2:** Schaltung mit den Admittanzen \underline{Y}_x und \underline{Y}_y .

Betrachtet wird die Schaltung aus Abb. 2 mit den Admittanzen $\underline{Y}_x := \frac{I_x}{U_{in}}$ und $\underline{Y}_y := \frac{I_y}{U_{in}}$.

- Berechnen Sie die Admittanzen \underline{Y}_x und \underline{Y}_y .
- Zeichnen Sie qualitativ den Verlauf der Ortskurven der in Aufgabenteil a) berechneten Admittanzen 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.
- Für die Gesamtschaltung aus Abb. 2 soll der **maximale** Wert für L_k in Abhängigkeit von R_1 , R_2 und C bestimmt werden, der benötigt wird, um für eine gegebene Kreisfrequenz $0 \leq \omega_x < \infty$ eine rein reelle Eingangsimpedanz zu bewirken.

Aufgabe 3) Schaltungsdimensionierung

Punkte: / 11

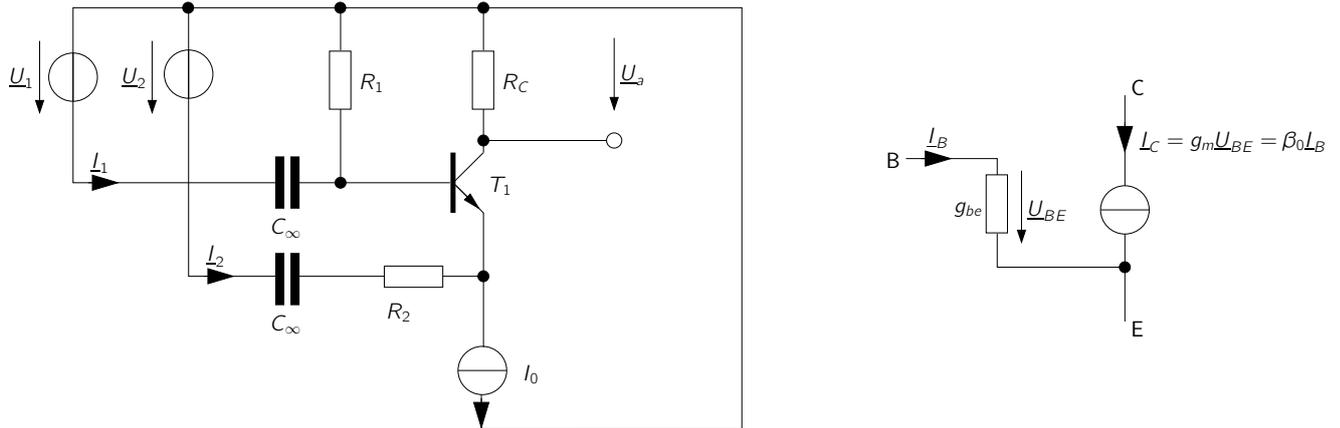


Abb. 3: Links: Zu berechnende Schaltung mit den Signalspannungen \underline{U}_1 und \underline{U}_2 am Eingang und \underline{U}_a am Ausgang. Rechts: Kleinsignal-Ersatzschaltbild des Transistors T_1 .

Gegeben ist die in Abbildung 3 links gezeigte Schaltung zur Subtraktion der beiden gleichfrequenten Kleinsignalspannungen \underline{U}_1 und \underline{U}_2 . Die Schaltung ist so zu dimensionieren, dass

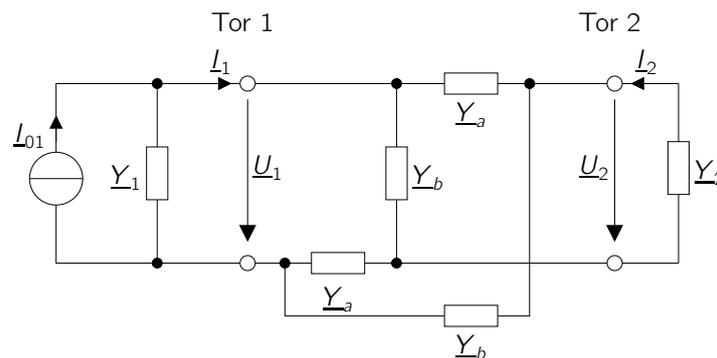
$$\underline{U}_a = \underline{U}_2 - \underline{U}_1$$

gilt. Die beiden Koppelkapazitäten C_∞ sind in erster Näherung als Kurzschlüsse für $\omega > 0$ zu betrachten. Für den Transistor gilt das Kleinsignal-Ersatzschaltbild aus Abbildung 3 rechts. I_0 ist eine Gleichstromquelle.

- Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild der Schaltung.
- Bestimmen Sie die Widerstände R_1 und R_C in Abhängigkeit des Arbeitspunktstroms I_0 und der Gleichstrom Stromverstärkung B so, dass gilt: $U_{CE} = 10U_{BE}$ und $U_a = 5U_{BE}$. U_{BE} kann als konstant angenommen werden.
- Zeichnen Sie das Wechselstrom-Ersatzschaltbild der Schaltung.
- Berechnen Sie die Spannungsverstärkungen $\left. \frac{\underline{U}_a}{\underline{U}_1} \right|_{\underline{U}_2=0}$ und $\left. \frac{\underline{U}_a}{\underline{U}_2} \right|_{\underline{U}_1=0}$ und ermitteln Sie damit anhand des Überlagerungssatzes die Ausgangsspannung $\underline{U}_a = \underline{U}_a(\underline{U}_1, \underline{U}_2)$ für den allgemeinen Fall.
Hinweis: Sie können mit den Näherungen des T-Operator-Ersatzschaltbildes rechnen. Es gilt $1 + \beta_0 \approx \beta_0$.
- Nutzen Sie die in b) und d) gewonnenen Ergebnisse, um I_0 so zu wählen, dass $\underline{U}_a = \underline{U}_2 - \underline{U}_1$.

Aufgabe 4) Zweitor-Rechnung

Punkte: / 12

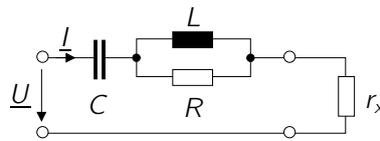
**Abb. 4:** Gegebene Schaltung.

Gegeben ist die Schaltung in Abb. 4, die das Signal der Quelle I_{01} , Y_1 mittels des Netzwerks aus den Admittanzen Y_a , Y_b auf die Last Y_2 überträgt. Es soll das Übertragungsverhalten zwischen den Toren mit Hilfe der Zweitor-Theorie ermittelt werden.

- a) Formen Sie das Netzwerk aus Y_a und Y_b so um, dass es aus einer Zusammenschaltung von zwei Zweitoren dargestellt wird. Dabei soll das eine Zweitor nur die Admittanzen Y_a und das andere nur die Admittanzen Y_b enthalten.
- b)
 - i) Um welche Kopplung der Zweitore handelt es sich?
 - ii) Welche Zweitorparameter eignen sich für die Berechnung? Begründen Sie die Wahl anhand gemeinsamer Spannungen bzw. Ströme an den Toren der beiden Zweitore.
- c) Berechnen Sie die Elemente der beiden Zweitore und die resultierenden Elemente des zusammenschalteten Zweitores.
- d) Bestimmen Sie die Stromübertragungsfunktion $F_I = \frac{I_2}{I_1}$ der Gesamtschaltung in Abb. 4. Geben Sie eine Dimensionierung der Zweitorelemente an, für die $F_I = 0$ gilt.

Aufgabe 5) Stabilität, Netzwerktheorie

Punkte: / 11

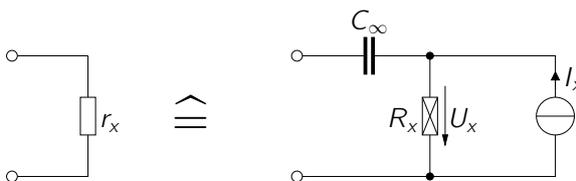
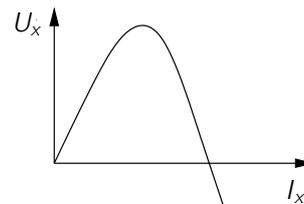
**Abb. 5a:** Zu untersuchende Schaltung.

Die in Abb. 5a 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: $C > 0$, $L > 0$, $R > 0$, $-R_0 < r_x < R_0$ mit $R_0 > 0$.

- Bestimmen Sie die Ausgangsadmittanz $\underline{Y}(s) = \frac{I}{U}$ des Oszillators in Abhängigkeit von der komplexen Frequenz.
- Begründen Sie, warum die Polstellen der Ausgangsadmittanz und nicht der Ausgangsimpedanz die Schwingfrequenz des dargestellten Oszillators bestimmen.
- Bestimmen Sie die Polstellen von $\underline{Y}(s)$ aus Aufgabenteil a).
- Welche Bedingung muss der Widerstand r_x erfüllen, damit sich am Ausgangstor des Oszillators eine Schwingung mit konstanter Spannungsamplitude einstellt?
- Geben Sie die Bedingung für eine harmonische Schwingung und die Schwingfrequenz des Oszillators in Abhängigkeit von den Bauelementen an.

Um die Bedingung aus Aufgabenteil d) erfüllen zu können, wird anstelle des Widerstands r_x ein nichtlineares Bauelement R_x eingesetzt, dessen Arbeitspunktstrom durch die Stromquelle I_x eingestellt werden kann (vgl. Abb. 5b). Die Kapazität C_∞ kann für alle Betriebsfrequenzen als idealer Kurzschluss angenommen werden.

**Abb. 5b:** Schaltung mit nichtlinearem Bauelement zur Realisierung von r_x .**Abb. 5c:** Kennlinie des nichtlinearen Bauelements R_x .

In Abb. 5c ist die Kennlinie des nichtlinearen Bauelementes R_x dargestellt, die sich durch die Gleichung

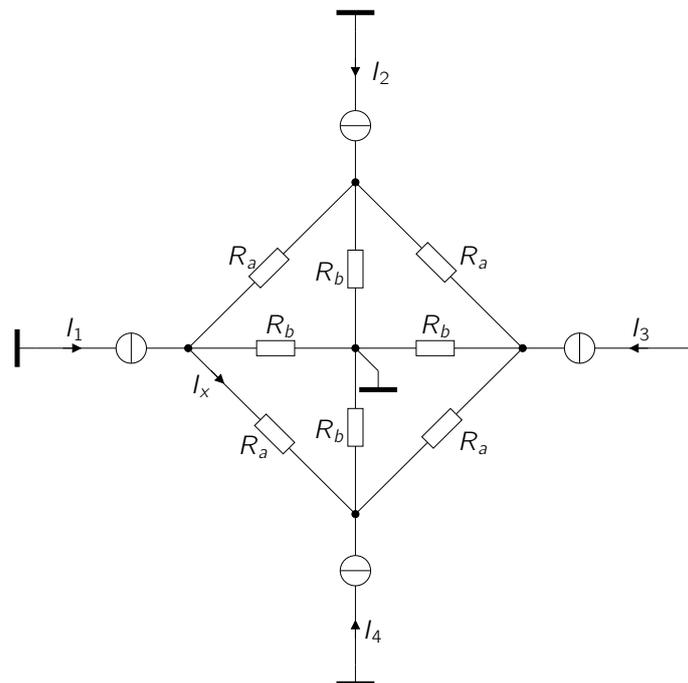
$$U_x = a I_x - b I_x^2 \quad \text{mit } I_x > 0, a > 0, b > 0$$

beschreiben lässt.

- Markieren Sie in Abb. 5c den Bereich der Kennlinie, in dem $r_x = \frac{dU_x}{dI_x} < 0$ gilt.
- Geben Sie einen Arbeitspunkt-Strom $I_x = I_{x0}$ an, der notwendig ist, um die Bedingung aus Aufgabenteil d) zu erfüllen.

Aufgabe 6) *Gleichtakt-/Gegentaktzerlegung*

Punkte: / 12

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

Gegeben ist die in Abb. 6 gezeigte Schaltung, die durch die Quellen \underline{I}_1 , \underline{I}_2 , \underline{I}_3 , \underline{I}_4 an vier Toren angesteuert wird. Alle vorkommenden Widerstände sind linear, es gilt also der Überlagerungssatz

$$\underline{I}_x = H_1 \underline{I}_1 + H_2 \underline{I}_2 + H_3 \underline{I}_3 + H_4 \underline{I}_4.$$

- 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{I}_1 , \underline{I}_2 , \underline{I}_3 und \underline{I}_4 .
- Bestimmen Sie den Strom \underline{I}_x in Abhängigkeit von \underline{I}_1 , \underline{I}_2 , \underline{I}_3 und \underline{I}_4 mit Hilfe der Gleichtakt-/Gegentakt-Zerlegung aus Aufgabenteil a).

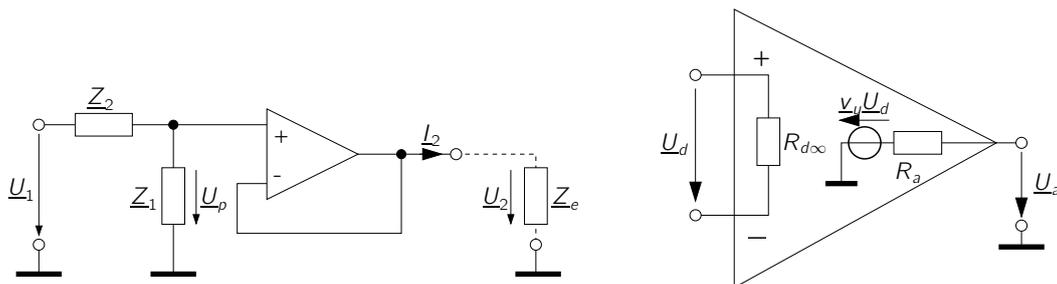
Aufgabe 7) Frequenzgang, Operationsverstärker, Bode-Diagramm Punkte: / 12

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

Gegeben ist die in Abbildung 7 links gezeigte Filter-Schaltung aus einem Spannungsteiler \underline{Z}_1 , \underline{Z}_2 mit Entkopplung der Ausgangsspannung durch einen Operationsverstärker mit dem Ersatzschaltbild auf der rechten Seite der Abbildung. Durch Kaskadierung von zwei solchen Schaltungen soll ein Bandpassfilter entstehen, das Frequenzen in einem Bereich von $\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2$ überträgt.

- a) Berechnen Sie allgemein den Frequenzgang $\underline{F} = \frac{U_p U_2}{U_1 U_p} = \frac{U_2}{U_1}$ der Schaltung aus Abbildung 7. Nehmen Sie dabei an, dass der Ausgang durch die Eingangsimpedanz \underline{Z}_e einer nachfolgenden Schaltung belastet wird und dass der Eingangswiderstand $R_{d\infty}$ 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 $\underline{U}'_2 = \underline{U}''_1$. Der Ausgang der zweiten Stufe soll unbelastet sein ($\underline{I}''_2 = 0$).

- b) Geben Sie den Frequenzgang der kaskadierten Filterschaltung $\underline{F}_k = \frac{U''_2}{U'_1}$ in einer zur Darstellung im Bode-Diagramm geeigneten Produktform an. Dabei soll gelten $\underline{Z}'_1 = R_1$, $\underline{Z}'_2 = j\omega L_2$, $\underline{Z}''_1 = j\omega L_1$, $\underline{Z}''_2 = R_2$. Für die Verstärkung der Operationsverstärker gilt $\underline{v}'_u = \underline{v}''_u = \alpha \in \mathbb{R}$, $\alpha \gg 1$.
- c) Der Betragsverlauf des Filters soll eine Mittenfrequenz ω_0 , eine untere Grenzfrequenz $\omega_1 = \frac{\omega_0}{10}$ und eine obere Grenzfrequenz $\omega_2 = 10\omega_0$ besitzen. Geben Sie Dimensionierungsvorschriften für die Elemente L_1 , L_2 , R_1 , R_2 des Filters an, mit denen dieser Betragsverlauf erzielt wird. Nehmen Sie als Näherung an, dass gilt $\alpha R_2 \gg R_a$.
- 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

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

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

Name: _____

Matr.#: _____

