Universität des Saarlandes
Lehrstuhl für Elektronik und Schaltungstechnik

Klausur Elektronik II SS11

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**	/ 12 P	**A3**	/ 12 P	**A4**	/ 12 P	**A5**	/ 13 P
A6	/ 12 P	**A7**	/ 12 P						

$\sum$ / 85 P — Note

Aufgabe 1) *Elementare Netzwerkberechnung, äquivalente Umformung* *Punkte:* / 12

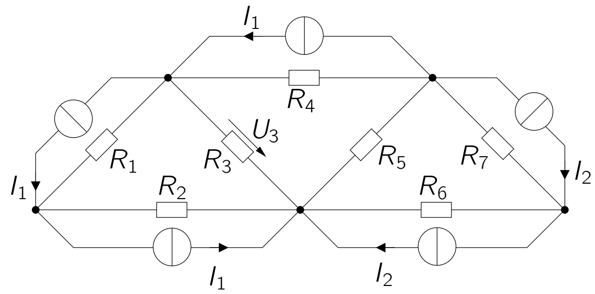


Abb. 1: gegebenes Netzwerk.

Gegeben ist das Netzwerk in Abb. 1, in dem die Spannung U_3 über dem Widerstand R_3 zu berechnen ist.

a) Geben Sie für das Netzwerk in Abb. 1 einen Baum und den zugehörigen Co-Baum an.

b) Wieviel Zweige mit unabhängigen Strömen sind für das Netzwerk zu berechnen, wenn die Stromquellenströme bekannt sind?

c) Es gilt $I_1 = 2\,I_2 = I_0$ und $R_n = n\,R_0$. Geben Sie einen Ausdruck für U_3 der Form $U_3 = a\,I_0\,R_0$ an. Welchen Wert hat a?

Aufgabe 2) *Komplexe Rechnung, Ortskurve* *Punkte: / 12*

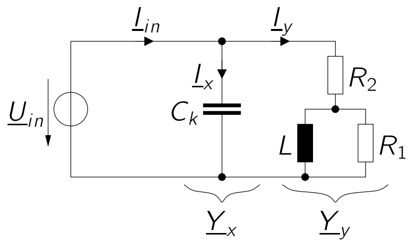


Abb. 2: Schaltung mit den Admittanzen $\underline{Y}_x$ und $\underline{Y}_y$.

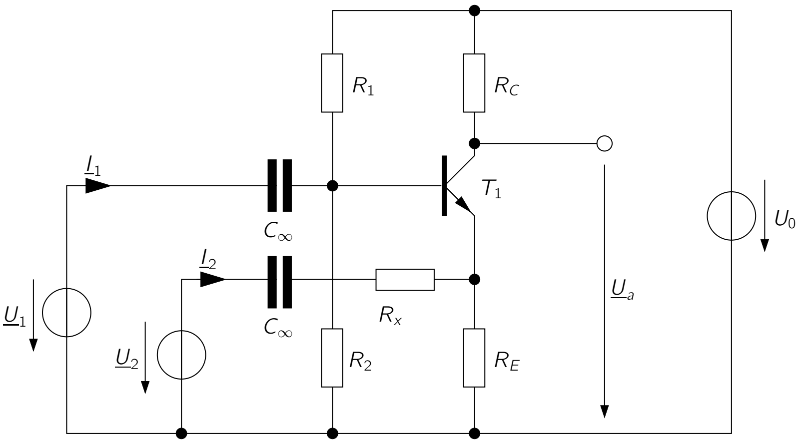
Betrachtet wird die Schaltung aus Abb. 2 mit den Admittanzen $\underline{Y}_x := \frac{\underline{I}_x}{\underline{U}_{in}}$ und $\underline{Y}_y := \frac{\underline{I}_y}{\underline{U}_{in}}$.

a) Berechnen Sie die Admittanzen $\underline{Y}_x$ und $\underline{Y}_y$.

b) Zeichnen Sie qualitativ den Verlauf der Ortskurven der in Aufgabenteil a) berechneten Admittanzen im Bereich $0 \leq \omega < \infty$. Markieren Sie die Punkte, bei denen Real- und Imaginärteil jeweils ihre Maximal- und Minimalwerte besitzen und geben Sie die zugehörigen Werte der Admittanzen an.

c) Für die Gesamtschaltung aus Abb. 2 soll der **maximale** Wert für C_k in Abhängigkeit von R_1, R_2 und L bestimmt werden, der benötigt wird, um für eine beliebige Kreisfrequenz $0 \leq \omega_x < \infty$ eine rein relle Eingangsimpedanz zu bewirken.

Aufgabe 3) *Schaltungsdimensionierung* *Punkte: / 12*



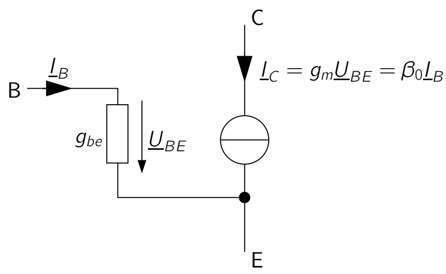


Abb. 3: *Links:* Zu berechnende Schaltung mit den Signalspannungen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$ am Eingang und $\underline{U}_a$ am Ausgang. *Rechts:* Kleinsignal-Ersatzschaltbild des Transistors T_1.

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 Ersatzschaltbild aus Abbildung 3 rechts.

a) Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild der Schaltung.

b) Geben Sie eine Beziehung zur Bestimmung von R_2 in Abhängigkeit von R_1 an, wenn über R_C im Arbeitspunkt die halbe Betriebsspannung abfallen soll. Es gilt $10R_E = R_C$ und $U_0 = 20U_{BE} = const.$ Der Basisstrom kann zur Arbeitspunkt-Berechnung vernachlässigt werden.

c) Zeichnen Sie das Wechselstrom-Ersatzschaltbild der Schaltung.

d) 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 $1 + \beta_0 \approx \beta_0$.

e) Geben Sie Bedingungen für R_E in Relation zu $r_e = \frac{1}{g_m}$ und R_x an, sowie eine Dimensionierungsvorschrift für R_C damit gilt $\underline{U}_a = \underline{U}_2 - \underline{U}_1$.

Aufgabe 4) *Zweitor-Rechnung* *Punkte: / 12*

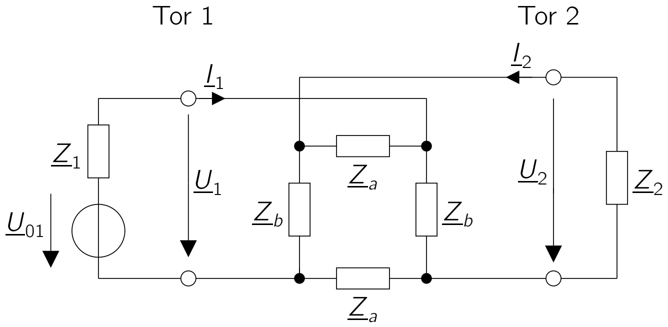


Abb. 4: gegebene Schaltung.

Gegeben ist die Schaltung in Abb. 4, die das Signal der Quelle $\underline{U}_{01}$, $\underline{Z}_1$ mittels des Netzwerks aus den Impedanzen $\underline{Z}_a$, $\underline{Z}_b$ auf die Last $\underline{Z}_2$ überträgt. Es soll das Übertragungsverhalten zwischen den Toren mit Hilfe der Zweitor-Theorie ermittelt werden.

a) Formen Sie das Netzwerk aus $\underline{Z}_a$ und $\underline{Z}_b$ so um, dass es aus einer Zusammenschaltung von zwei Zweitoren dargestellt wird. Dabei soll das eine Zweitor nur die Impedanzen $\underline{Z}_a$ und das andere nur die Impedanzen $\underline{Z}_b$ 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 zusammengeschalteten Zweitores.

d) Bestimmen Sie die Stromübertragungsfunktion $\underline{F}_I = \frac{\underline{I}_2}{\underline{I}_1}$ der Gesamtschaltung in Abb. 4. Geben Sie eine Dimensionierung der Zweitorelemente an, für die $\underline{F}_I = 0$ gilt.

Aufgabe 5) *Stabilität, Netzwerktheorie* *Punkte: / 13*

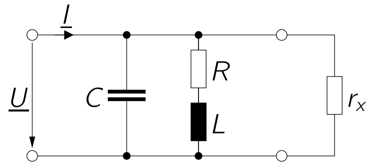


Abb. 5a: Zu untersuchende Schaltung.

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 $R_0 > 0$.

a) Bestimmen Sie die Ausgangsimpedanz $\underline{Z}(s) = \frac{\underline{U}}{\underline{I}}$ des Oszillators in Abhängigkeit von der komplexen Frequenz.

b) Begründen Sie, warum die Polstellen der Ausgangsimpedanz und nicht der Ausgangsadmittanz die Schwingfrequenz des dargestellten Oszillators bestimmen.

c) Bestimmen Sie die Polstellen von $\underline{Z}(s)$ aus Aufgabenteil a).

d) Welche Bedingung muss der Widerstand r_x erfüllen, damit sich am Ausgangstor des Oszillators eine Schwingung mit konstanter Spannungsamplitude einstellt?

e) 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.

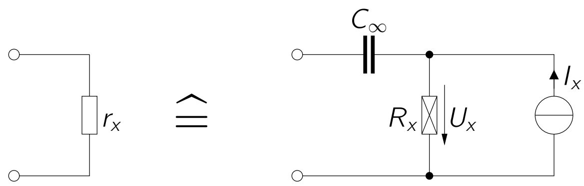


Abb. 5b: Schaltung mit nichtlinearem Bauelement zur Realisierung von r_x.

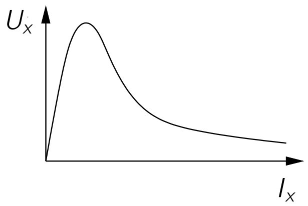


Abb. 5c: Kennlinie des nichtlinearen Bauelements R_x.

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

$$U_x = \frac{a\, I_x}{1 + b\, I_x^2} \qquad \text{mit } I_x > 0, a > 0, b > 0$$

beschreiben lässt.

f) Markieren Sie in Abb. 5c den Bereich der Kennlinie, in dem $r_x = \frac{\mathrm{d}U_x}{\mathrm{d}I_x} < 0$ gilt.

g) Geben Sie einen AP-Strom $I_x = I_{x0}$ an, der notwendig ist, um die Bedingung aus Aufgabenteil d) zu erfüllen.

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

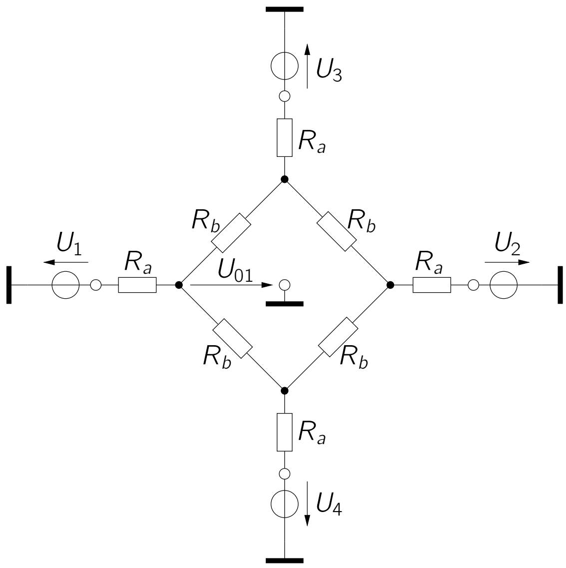


Abb. 6: Zu analysierende Schaltung.

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

$$\underline{U}_{01} = H_1\,\underline{U}_1 + H_2\,\underline{U}_2 + H_3\,\underline{U}_3 + H_4\,\underline{U}_4.$$

a) Stellen Sie die Ansteuerung an 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 $\underline{U}_1$,$\underline{U}_2$,$\underline{U}_3$ und $\underline{U}_4$.

b) Bestimmen Sie die Spannung $\underline{U}_{01}$ in Abhängigkeit von $\underline{U}_1$,$\underline{U}_2$,$\underline{U}_3$ und $\underline{U}_4$ mit Hilfe der Gleichtakt-/Gegentakt-Zerlegung aus Aufgabenteil a).

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

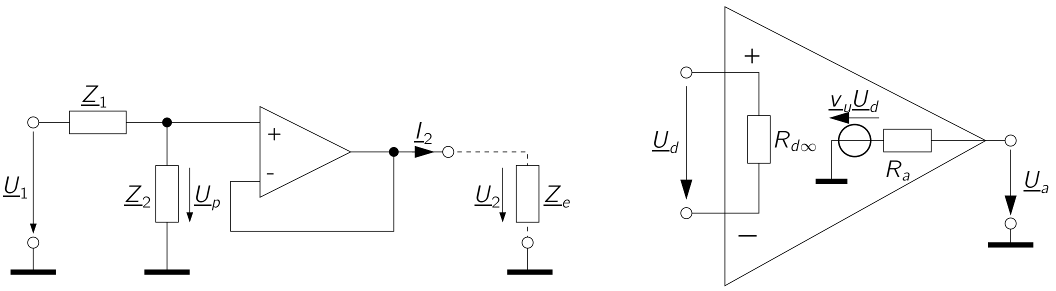


Abb. 7: *Links:* zu analysierende Operationsverstärkerschaltung. *Rechts:* Modell des Operationsverstärkers.

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 $\underline{F} = \frac{\underline{U}_p}{\underline{U}_1}\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_p} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}$ 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 ($\underline{I}_2'' = 0$).

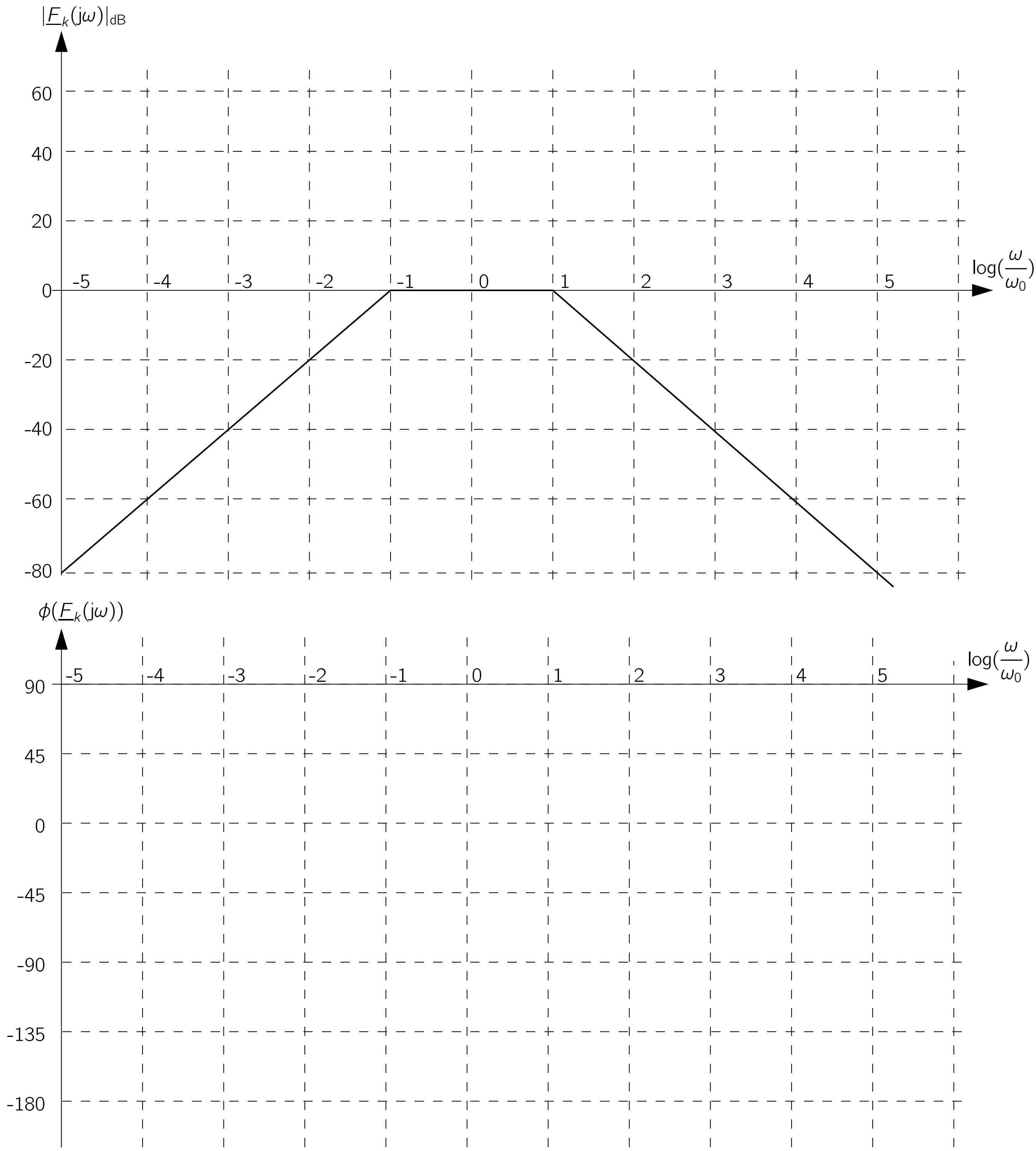
b) Geben Sie den Frequenzgang der kaskadierten Filterschaltung $\underline{F}_k = \frac{\underline{U}_2''}{\underline{U}_1'}$ in einer zur Darstellung im Bode-Diagramm geeigneten Produktform an. Dabei soll gelten $\underline{Z}_1' = \frac{1}{j\omega C_1}$, $\underline{Z}_2' = R_2$, $\underline{Z}_1'' = R_1$, $\underline{Z}_2'' = \frac{1}{j\omega C_2}$. Für die Verstärkung der Operationsverstärker gilt $\underline{v}_u' = \underline{v}_u'' = \alpha \in \mathbb{R}, \alpha \gg 1$.

c) Das Bode-Diagramm auf der folgenden Seite zeigt den gewünschten Betragsverlauf des Filters mit einer Mittenfrequenz ω_0, einer unteren Grenzfrequenz $\omega_1 = \frac{\omega_0}{10}$ und einer oberen Grenzfrequenz $\omega_2 = 10\,\omega_0$. Geben Sie Dimensionierungsvorschriften für die Elemente C_1, C_2, R_1, R_2 des Filters an, mit denen dieser Betragsverlauf erzielt wird. Nehmen Sie als Näherung an, dass gilt $\alpha\, R_1 \gg R_a$.

d) Zeichnen Sie den zugehörigen Phasengang in das nachfolgende Bode-Diagramm ein.
Hinweis: Falls Sie den vorhergehenden Aufgabenteil nicht lösen konnten, verwenden Sie

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

Bestimmen Sie $\omega_\lambda, \omega_\mu$ und ω_ν mit Hilfe des Betragsganges.



$|\underline{F}_k(j\omega)|_{dB}$
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5
$\log(\frac{\omega}{\omega_0})$
$\phi(\underline{F}_k(j\omega))$
90
45
0
-45
-90
-135
-180
-5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5
$\log(\frac{\omega}{\omega_0})$