Universität des Saarlandes
Lehrstuhl für Elektronik und Schaltungstechnik

Klausur Elektronik II WS12/13

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	/ 13 P	**A2**	/ 12 P	**A3**	/ 12 P	**A4**	/ 12 P	**A5**	/ 14 P
A6	/ 12 P	**A7**	/ 12 P						

$\sum$ / 87 P — Note

Aufgabe 1) *Elementare Netzwerkberechnung, äquivalente Umformung* *Punkte: / 13*

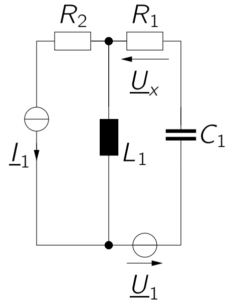


Abb. 1.1: Gegebenes Netzwerk.

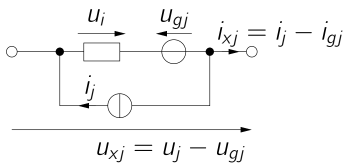


Abb. 1.2: Allgemeiner Zweig.

Gegeben ist das Netzwerk in Abb. 1.1, in dem die Spannung $\underline{U}_x$ zu berechnen ist.

a) Zeichnen Sie das Netzwerk in Abb. 1.1 so um, dass es durch allgemeine Zweige mit begleiteten Quellen dargestellt wird. (vgl. Abb. 1.2)

b) Zeichnen Sie den Graphen, sowie Baum und Co-Baum des umgeformten Netzwerks aus a) und nummerieren Sie die Knoten und Zweige.

c) Stellen Sie die Knoteninzidenzmatrix $[A]$ des umgeformten Netzwerks auf.

d) Wählen Sie einen Bezugsknoten und leiten Sie die Knotenadmittanzmatrix $[Y_n]$ sowie die Knotenströme $[I_{qn}]$ des umgeformten Netzwerks formal mit Hilfe der Knoteninzidenzmatrix 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.)

e) Geben Sie mit Hilfe der Ergebnisse aus Aufgabenteil c) einen Ausdruck zur Berechnung der Spannung $\underline{U}_x$ an.

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

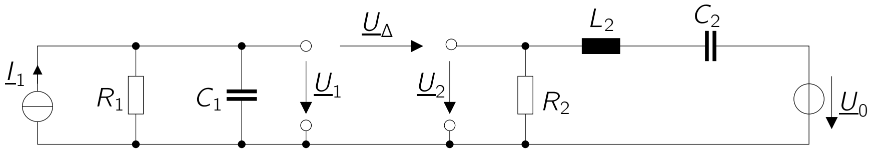


Abb. 2: Betrachtete Schaltung.

Betrachtet wird die Schaltung aus Abb. 2. Es gilt: $\underline{U}_0 \in \mathbb{R}$, $\underline{I}_1 \in \mathbb{R}$

a) Berechnen Sie die Spannungen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$ in Abhängigkeit der Quellen $\underline{U}_0$ und $\underline{I}_1$.

b) Zeichnen Sie qualitativ den Verlauf der Ortskurven der Spannungen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$ im Bereich $0 \leq \omega \leq \infty$. Markieren Sie die Punkte, bei denen Real- und Imaginärteil jeweils ihre Maximalwerte und besitzen und geben Sie die zugehörigen Werte der Spannungen an.

c) Welche Bedingung muss erfüllt sein, damit die Ortskurven von $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$ jeweils die gleichen Punkte mit der reellen Achse gemeinsam haben?

Es gilt im Folgenden: $\underline{U}_0 = R_1 \cdot \underline{I}_1$.

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

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

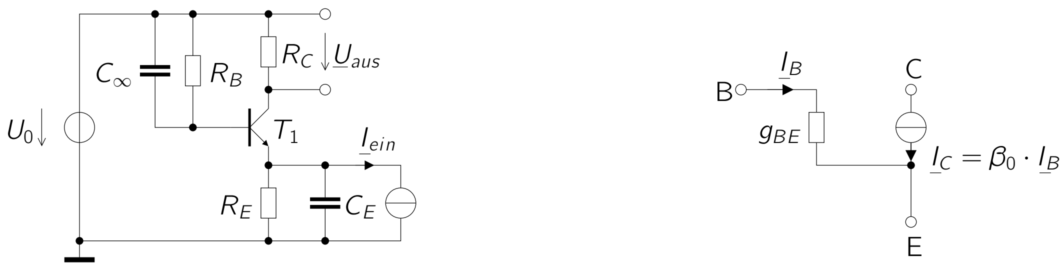


Abb. 3: *Links:* Zu berechnende Schaltung mit dem Signalstrom $\underline{I}_{ein}$ am Eingang und $\underline{U}_{aus}$ am Ausgang. *Rechts:* Kleinsignal-Ersatzschaltbild des Transistors T_1.

Gegeben ist die in Abbildung 3 links gezeigte Schaltung zur Wandlung eines Eingangstroms $\underline{I}_{ein}$ in eine Ausgangsspannung $\underline{U}_{aus}$. Der Abblockkondensator C_∞ ist in erster Näherung als Kurzschluss für $\omega > 0$ zu betrachten. Für den Transistor T_1 gilt das Kleinsignal-Ersatzschaltbild aus Abbildung 3 rechts. $\underline{I}_{ein}$ ist eine reine Wechselstromquelle.

a) Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild der Schaltung.

b) Bestimmen Sie das Verhältnis R_B/R_C so, dass sich T_1 am Rand des normal aktiven Bereichs befindet, d.h. sodass gilt $U_{CE} = U_{BE}$.

c) Zeichnen Sie das Wechselstrom-Ersatzschaltbild der Schaltung. Um welche Grundschaltung handelt es sich? Begründen Sie ihre Antwort!

d) Bestimmen Sie mit einer Methode ihrer Wahl (z.B. T-Operator Ersatzschaltbild) die Transimpedanz $\underline{Z}_T = \frac{\underline{U}_{aus}}{\underline{I}_{ein}}$.

e) Wählen Sie $g_m \cdot R_E$ so, dass der Betrag $|\underline{Z}_T| = 0.99 \cdot R_C$ für $\omega = 0$ beträgt. Wie hoch ist dann die 3dB Grenzfrequenz ω_{3dB}, mit $|\underline{Z}_T(\omega = \omega_{3dB})| = \frac{1}{\sqrt{2}}|\underline{Z}_T(\omega = 0)|$, wenn die Zeitkonstante $R_E \cdot C_E = 1\mu$s? *Hinweis:* Sollten Sie die Transimpedanz $\underline{Z}_T$ nicht bestimmt haben rechnen Sie statt mit $\underline{Z}_T$ mit $\underline{Z}'_T$, wobei

$$\underline{Z}'_T = R_C \cdot \frac{R_E}{R_E + 1/g_m} \cdot \frac{1}{1 + j\omega C_E \frac{R_E}{1+g_m R_E}}.$$

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

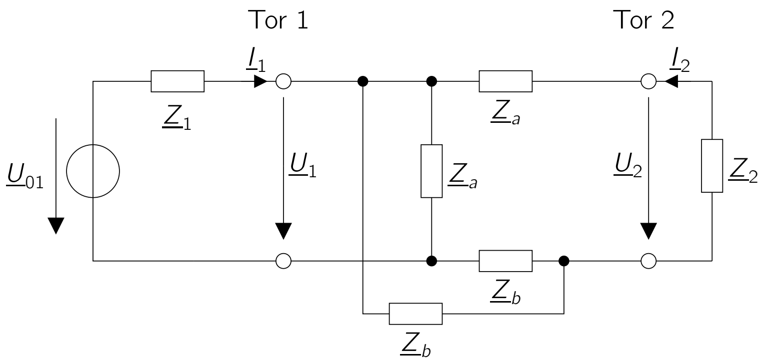


Abb. 4: Gegebene Schaltung.

Gegeben ist die Schaltung in Abb. 4, die das Signal der Quelle $\underline{I}_{01}$, $\underline{Z}_1$ 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 Admittanzen $\underline{Z}_a$ und das andere nur die Admittanzen $\underline{Z}_b$ 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 an, für welche Dimensionierungen der Zweitorelemente $\underline{F}_I = 0$ gilt.

Aufgabe 5) *Stabilität, Netzwerktheorie* *Punkte: / 14*

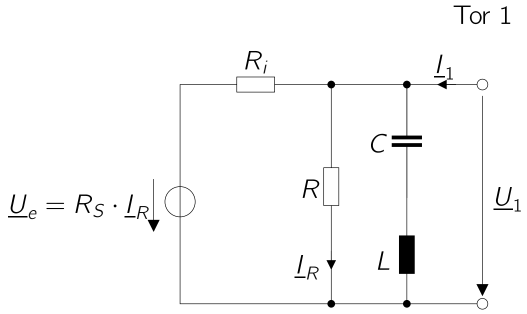


Abb. 5: Entdämpfter Schwingkreis.

Die in Abb. 5 gezeigte Schaltung soll als Oszillator dimensioniert werden, der eine Spannung $\underline{U}_1$ bei der Frequenz ω_0 an seinem Ausgangstor erzeugt.
Zur Entdämpfung wird eine *stromgesteuerte Spannungsquelle* eingesetzt: $\underline{U}_e = R_S \cdot \underline{I}_R$.
Für die reellwertigen Bauelemente gilt: $C > 0$, $L > 0$, $R > 0$, $R_i > 0$, $R_S \in \mathbb{R}$

a) Bestimmen Sie die Ausgangsimpedanz $\underline{Z}(s) = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1}$ 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 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: $4\,R = 4\,R_i = R_S$.

d) Geben Sie die Bedingung für eine harmonische Schwingung und die Schwingfrequenz des Oszillators in Abhängigkeit von den Bauelementen an.

e) 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*

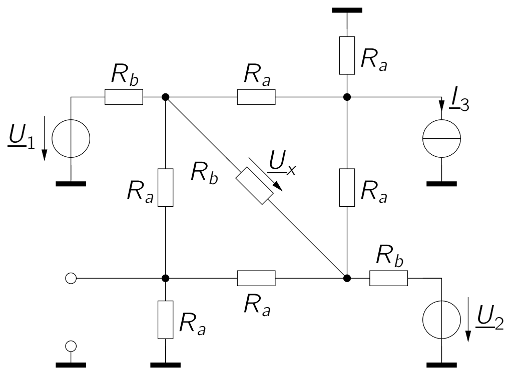


Abb. 6: Zu analysierende Schaltung.

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.

a) 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 $\underline{I}_3$.

b) 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

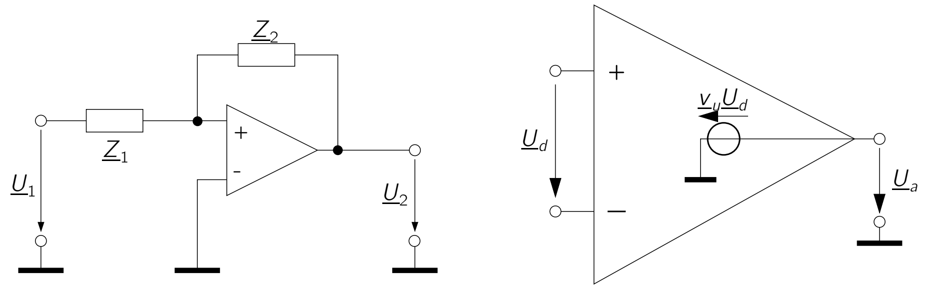


Abb. 7: *Links:* zu analysierende Operationsverstärkerschaltung. *Rechts:* Modell des Operationsverstärkers.

Gegeben ist die in Abbildung 7 links gezeigte Filter-Schaltung aus einem rückgekoppelten Operationsverstärker mit den Impedanzen $\underline{Z}_1$ und $\underline{Z}_2$. 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 $0 \leq \omega \leq 10\,\omega_0$ bei der Darstellung mit den Näherungen des Bode-Diagramms gleich 0 dB ist und ab $10\,\omega_0$ mit 20 dB pro Dekade ansteigt.

a) Berechnen Sie allgemein den Frequenzgang $\underline{F} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}$ 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 $\underline{U}_2' = \underline{U}_1''$.

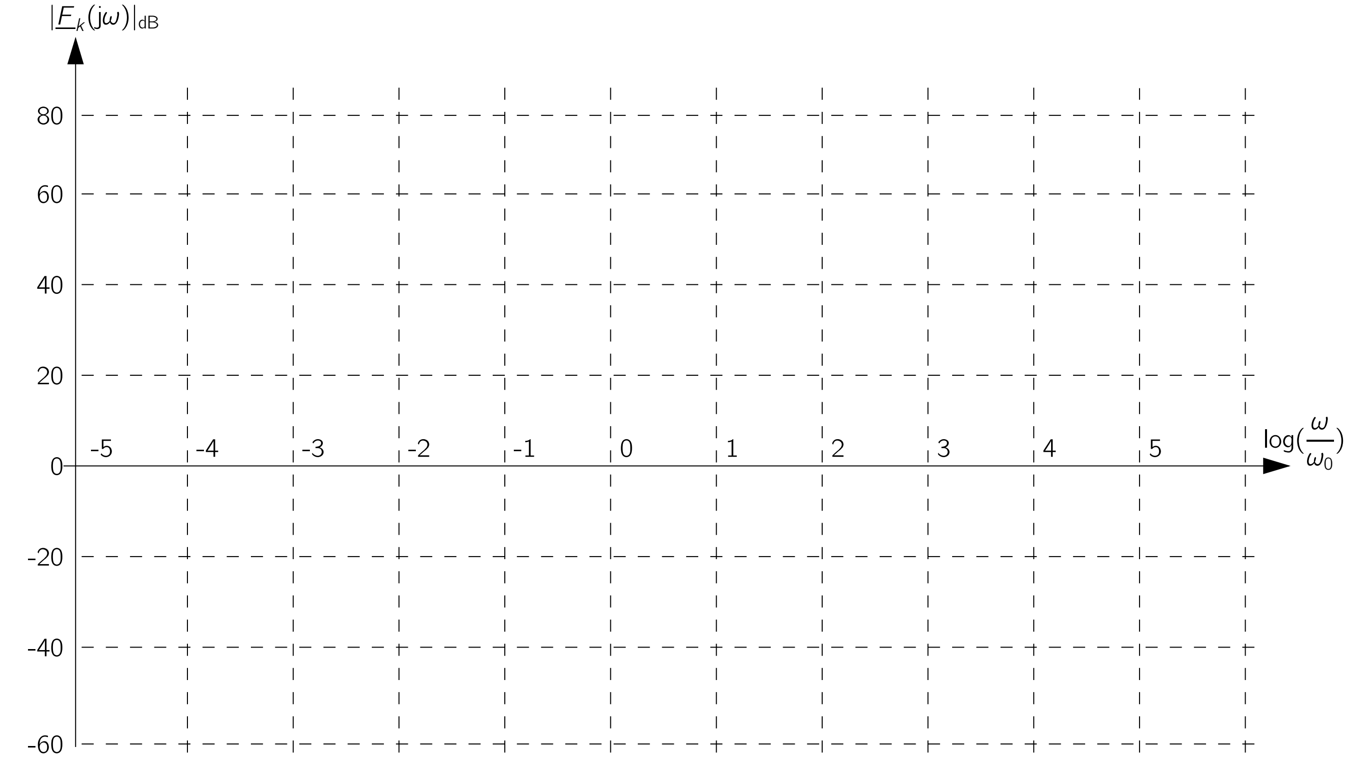
b) Geben Sie den Frequenzgang der kaskadierten Filterschaltung $\underline{F}_k = \frac{\underline{U}_2''}{\underline{U}_1'}$ in einer zur Darstellung im Bode-Diagramm geeigneten Produktform an. Dabei soll gelten $\underline{Z}_1' = R_1$, $\underline{Z}_2' = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}$, $\underline{Z}_1''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

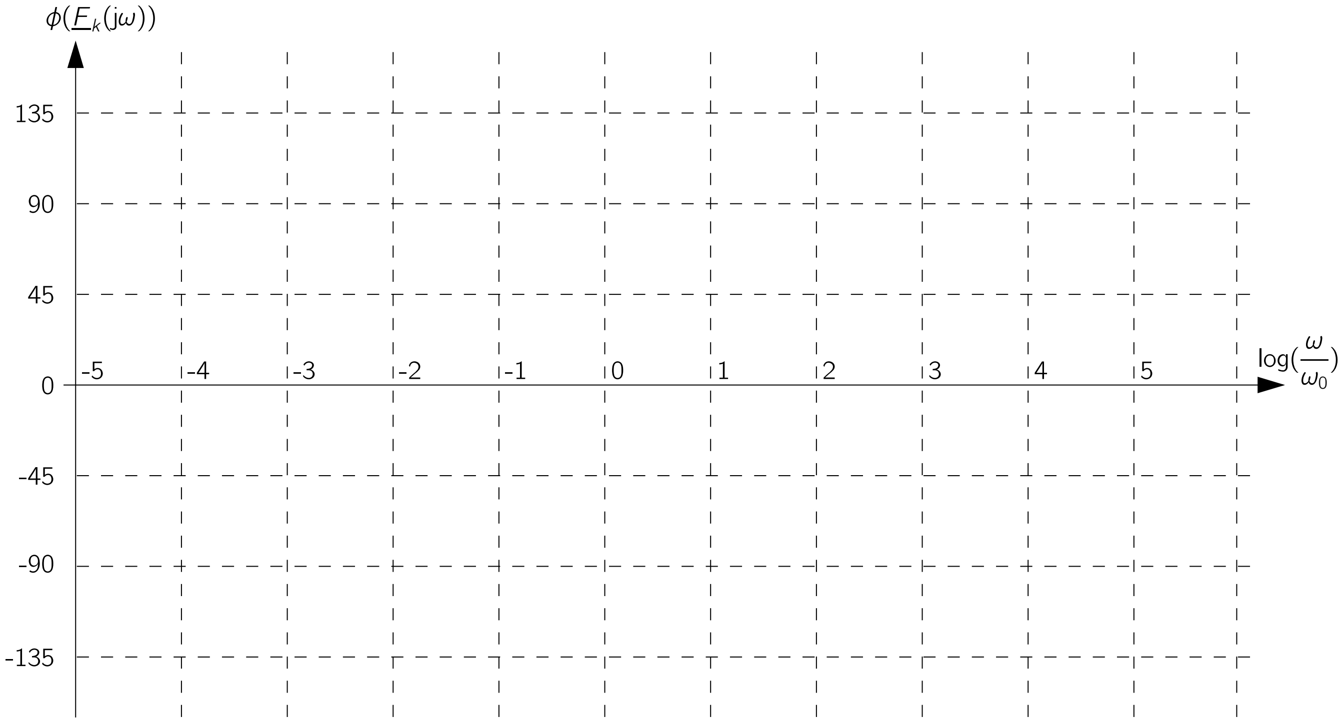
c) Der Betragsverlauf des Filters soll bei der Darstellung mit den Näherungen des Bode-Diagramms bis zu einer Frequenz $10\,\omega_0$ gleich 0 dB sein und im Bereich $\omega > 10\,\omega_0$ mit 20 dB pro Dekade ansteigen. Geben Sie eine Dimensionierungsvorschrift für die Elemente C_1, C_2, R_1, R_2 des 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

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

Bestimmen Sie $\omega_\lambda, \omega_\mu$ und ω_ν mit Hilfe des Betragsganges nach Aufgabenteil c).


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


$\phi(\underline{F}_k(j\omega))$
135
90
45
0
-45
-90
-135
-5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5
$\log(\frac{\omega}{\omega_0})$