Universität des Saarlandes
Lehrstuhl für Elektronik und Schaltungstechnik
Klausur Elektronik II WS13/14

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

$\sum$ / 90 P — Note

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

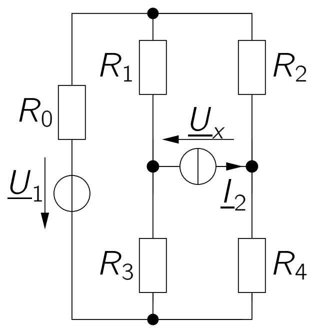


Abb. 1: Gegebenes Netzwerk.

Gegeben ist das Netzwerk in Abb. 1, in dem die Spannung $\underline{U}_x$ zu berechnen ist.

a) Zeichnen Sie den Graphen, sowie Baum und Co-Baum des Netzwerks aus Abb. 1 und nummerieren Sie die Knoten und Zweige.

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

c) Wählen Sie einen Bezugsknoten und leiten Sie die Knotenadmittanzmatrix $[Y_n]$ sowie die Knotenströme $[I_{qn}]$ des Netzwerks formal mit Hilfe der Knoteninzidenzmatrix her. Hinweis: Stellen Sie zunächst anhand des Graphen aus Aufgabenteil a) eine Matrix auf, welche die Anordnung der Zweigadmittanzen des Netzwerks wiedergibt. (In der Vorlesung mit $[Y]$ bezeichnet.)

d) Geben Sie mit Hilfe der Ergebnisse aus Aufgabenteil c) einen Ausdruck zur Berechnung der Spannung $\underline{U}_x$ an. Nehmen Sie hierzu an dass $R_1 = R_2 = R_x$ und $R_3 = R_4 = R_y$.

Aufgabe 2) *Komplexe Rechnung, Ortskurve* *Punkte: / 14*

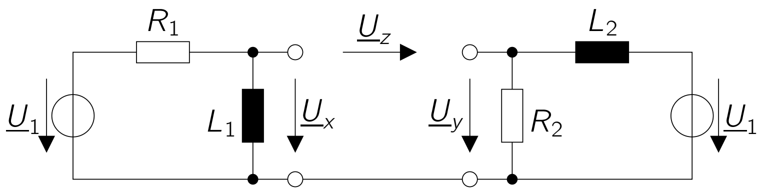


Abb. 2: Zu analysierende Schaltung.

Betrachtet wird die Schaltung aus Abb. 2 mit den Spannungen $\underline{U}_x, \underline{U}_y$ und $\underline{U}_z$. Es gilt: $\underline{U}_1 \in \mathbb{R}$

a) Berechnen Sie die Wirkungsfunktionen

$$\frac{\underline{U}_x}{\underline{U}_1} \qquad \text{und} \qquad \frac{\underline{U}_y}{\underline{U}_1}.$$

b) Zeichnen Sie qualitativ den Verlauf der Ortskurven der Spannungen $\underline{U}_x$ und $\underline{U}_y$ 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 Spannungen und die Frequenzen, bei denen die Punkte erreicht werden, an.

c) Die Ortskurve der Spannung $\underline{U}_z$ soll im Folgenden für zwei unterschiedliche Fälle konstruiert werden.

   i) *Fall 1:* Es gilt: $R_1\,L_2 = R_2\,L_1$.
   Zeichnen Sie die Ortskurve von $\underline{U}_z$ qualitativ. Geben Sie die Frequenzen an und markieren Sie die Punkte, bei denen Real- und Imaginärteil jeweils ihre Maximal- und Minimalwerte besitzen.

   ii) *Fall 2:* Es gilt:

$$\begin{aligned} R_2 &\gg \omega_x L_2 \qquad && \text{im Frequenzbereich } \omega \leq \omega_x \text{ und} \\ R_1 &\ll \omega_x L_1 \qquad && \text{im Frequenzbereich } \omega \geq \omega_x. \end{aligned}$$

   Zeichnen Sie die Ortskurve von $\underline{U}_z$ qualitativ. Markieren Sie die Punkte auf der Ortskurve, die den Frequenzen $0, \omega_x, \infty$ zugeordnet werden können.

Aufgabe 3) *Schaltungsdimensionierung* *Punkte: / 13*

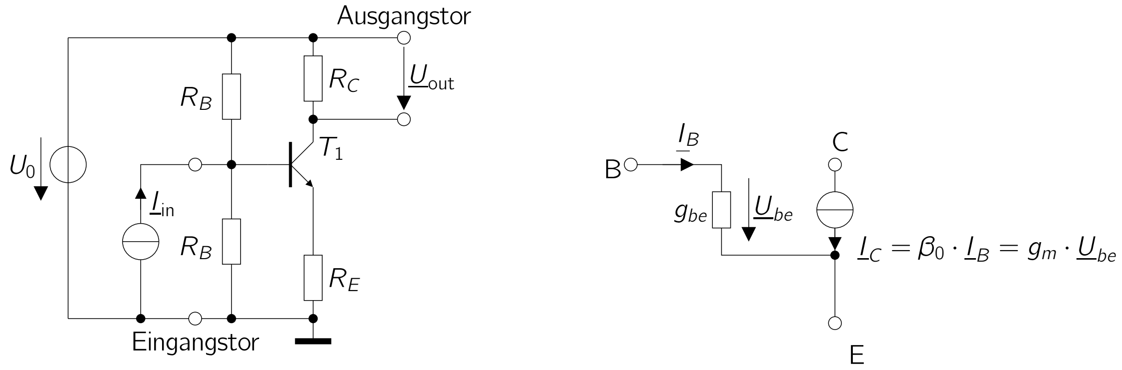


Abb. 3: *Links:* Zu berechnende Schaltung mit der Wechselstromquelle $\underline{I}_{\text{in}}$ für das Eingangssignal. *Rechts:* Kleinsignal-Ersatzschaltbild des Transistors T_1.

a) Bestimmen Sie unter der Annahme, dass die Basis-Emitter-Spannung im Arbeitspunkt $U_{BE} = U_{BE0}$ bekannt ist und der Basisstrom von T_1 vernachlässigt werden kann, den Kollektorstrom des Transistors im Arbeitspunkt (Formel). Wie groß ist die Steilheit g_m des Transistors?

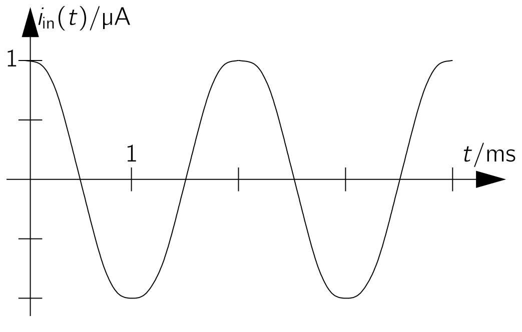
b) Geben Sie das maximale und das minimale Kollektorpotential an, für das sich der Transistor im normal aktiven Bereich befindet. Dimensionieren Sie den Lastwiderstand R_C so, dass das Kollektorpotential im Arbeitspunkt genau in der Mitte dieses Bereichs liegt.

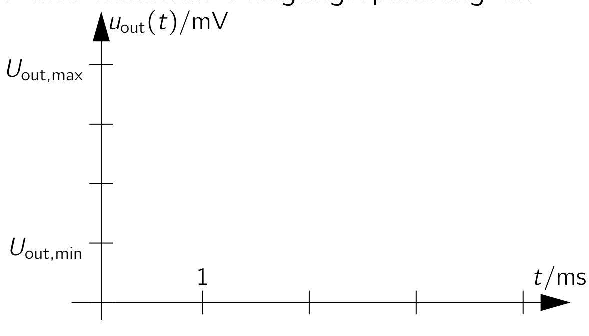
c) Zeichnen Sie das Wechselstromersatzschaltbild der Schaltung. Um welche Grundschaltung handelt es sich?

d) Berechnen Sie allgemein die Transimpedanz $\underline{Z}_{\text{trans}} = \frac{\underline{U}_{\text{out}}}{\underline{I}_{\text{in}}}$ der Schaltung unter der Berücksichtigung des Basisstroms. Sie können mit den Näherungen des T-Operator-Ersatzschaltbildes rechnen.

Im Folgenden gilt: $\underline{Z}_{\text{trans}} = \beta_0 R_C, \quad R_C = 100\,\Omega, \quad \beta_0 = 100, \quad U_0 = 4\,\text{V}.$

e) Gegeben sei das dargestellte Stromsignal $i_{\text{in}}(t)$, das in das Eingangstor eingespeist wird. Stellen Sie die zugehörige Spannung $u_{\text{out}}(t)$, die sich am Ausgangstor einstellt, grafisch dar. Geben Sie Zahlenwerte für die maximale und minimale Ausgangsspannung an.





f) Wie groß darf die Amplitude des Eingangssignals $i_{\text{in}}(t)$ maximal werden, damit der Transistor T_1 im normal aktiven Bereich bleibt?

Aufgabe 4) *Zweitor-Rechnung* *Punkte: / 13*

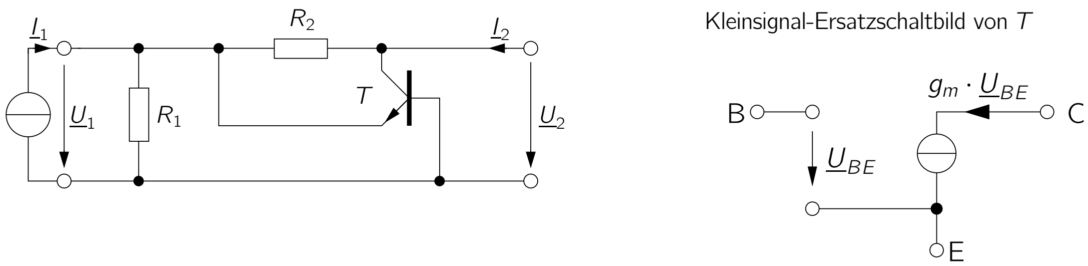


Abb. 4: Transistorschaltung und Kleinsignalersatzschaltbild des Transistors.

Gegeben ist die Schaltung in Abb. 4 links. Für den Transistor T gilt das auf der rechten Seite dargestellte Kleinsignalersatzschaltbild.

a) Formen Sie die Transistorschaltung für eine Berechnung mit einem Haupt- und einem Rückkopplungszweitor um. Ordnen Sie dazu den Transistor T dem Hauptzweitor und die restlichen Bauelemente dem Rückkopplungszweitor zu. Das Zweitor wird durch die Quelle $\underline{I}_1$ angesteuert.

b) Ersetzen Sie in der Schaltung aus Aufgabenteil a) den Transistor durch das in Abb. 4 rechts angegebene Ersatzschaltbild.

c) i) Um welche Art der Rückkopplung handelt es sich?

ii) Wählen Sie eine für die Art der Rückkopplung geeignete Matrizendarstellung aus. Begründen Sie Ihre Entscheidung!

d) Bestimmen Sie die Elemente der Matrix von Haupt- und Rückkopplungszweitor anhand des Kleinsignalersatzschaltbildes. Bestimmen Sie die Elemente der Matrix der Gesamtschaltung.

e) Bestimmen Sie die Transimpedanz $\underline{Z}_T = \left.\frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_1}\right|_{\underline{I}_2=0}$ mit Hilfe der Matrizendarstellung.

f) Interpretieren Sie das Ergebnis für die Transimpedanz $\underline{Z}_T$ aus Aufgabenteil e) hinsichtlich des Einflusses von R_2.

Aufgabe 5) *Stabilität, Netzwerktheorie* *Punkte: / 12*

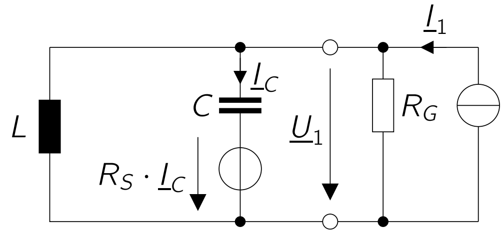


Abb. 5: Zu untersuchende Schaltung.

Gegeben ist das Kleinsignalersatzschaltbild einer Verstärkerschaltung in Abb. 5, deren Stabilität zu untersuchen ist. Der Verstärker wird durch die Stromquelle $\underline{I}_1$ angesteuert. Der Verstärker enthält die gesteuerte Spannungsquelle $R_S \cdot \underline{I}_C$, deren Spannung proportional zum Strom $\underline{I}_C$ durch die Kapazität C ist. Die Größen R_S, C, L und R_G sind reell, weiterhin ist $R_G > 0, L > 0, C > 0$ und insbesondere $R_S < 0$.

a) Geben Sie eine Beziehung für den Strom $\underline{I}_C$ in der Form $\underline{I}_C = \underline{F}(s)\,\underline{I}_1$ an. Darin ist $\underline{F}(s)$ die zugehörige Wirkungsfunktion.

b) Erläutern Sie warum sich neben $\underline{F}(s)$ auch $\underline{Z}(s) = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1}$ für die Stabilitätsanalyse der Schaltung eignet.

c) Berechnen Sie die Polstellen der Funktion $\underline{F}(s)$.

d) In welchem Wertebereich muss R_S liegen, damit die Schaltung mit $|\underline{I}_1| = 0\,\text{A}$ ein instabiles Verhalten in Form einer aufklingenden, sinusförmigen Oszillation aufweisen kann? Hinweis: Es gelte $R_G > -R_S$.

e) Welche Bedingung muss der Generatorwiderstand R_G erfüllen, damit sich das unter Aufgabenteil d) beschriebene Verhalten ergibt?

Aufgabe 6) *Gleichtakt-/Gegentaktzerlegung* *Punkte: / 14*

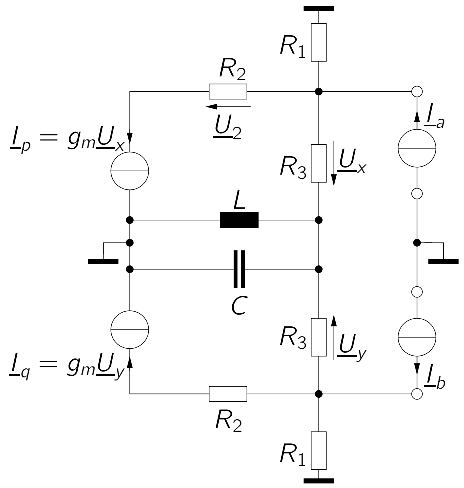


Abb. 6: Zu analysierende Schaltung.

Gegeben ist das in Abb. 6 dargestellte Netzwerk mit unsymmetrischer Ansteuerung an zwei Toren ($\underline{I}_a$,$\underline{I}_b$). Mit Hilfe der Gleichtakt-, Gegentaktzerlegung soll die Spannung $\underline{U}_2$ bestimmt werden.

a) Stellen Sie die Ansteuerung in Abbildung 6 äquivalent durch eine Überlagerung von Gleichtakt- und Gegentaktquellen dar. Bestimmen Sie die Phasoren der ansteuernden Gleich- und Gegentaktquellen in Abhängigkeit von $\underline{I}_a$ und $\underline{I}_b$.

b) Zeichnen Sie das einphasige Gegentakt- und das einphasige Gleichtakt-Ersatzschaltbild des Netzwerks.

c) Bestimmen Sie anhand der Überlagerung der Ergebnisse von Gleich- und Gegentakt-Ersatzschaltung die Spannung $\underline{U}_2$ in Abhängigkeit von $\underline{I}_a$ und $\underline{I}_b$.

d) Nehmen Sie im Folgenden an, dass die die Ströme $\underline{I}_p$ und $\underline{I}_q$ jeweils von der gegenüberliegenden Spannung $\underline{U}_y$ bzw U_x gesteuert werden, also

$$\underline{I}_p = g_m\underline{U}_y,$$
$$\underline{I}_q = g_m\underline{U}_x.$$

Erläutern Sie **kurz** welche Folgen diese Änderung für die Ergebnisse der Gleich- und Gegentaktbetrachtungen aus Aufgabenteil b) bzw. c) hat?

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

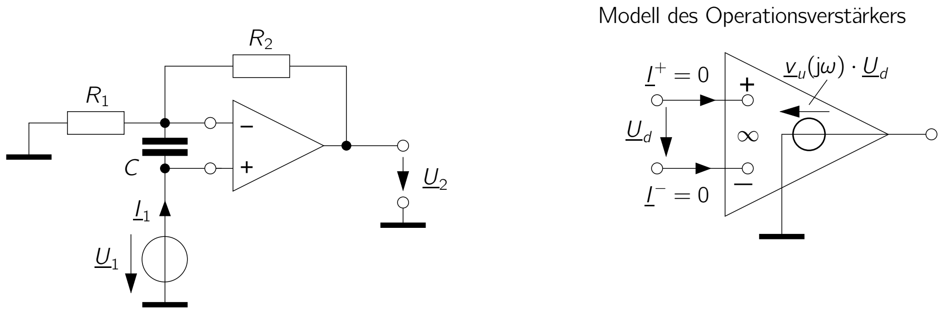


Abb. 7: *Links:* zu analysierende Operationsverstärker-Schaltung. *Rechts:* Modell des Operationsverstärkers.

Gegeben ist die in Abb. 7 links gezeigte Operationsverstärker-Schaltung mit einem Kondensator C zur Frequenzgangskompensation. Das Modell des Operationsverstärkers, der eine frequenzabhängige Verstärkung $\underline{v}_u(j\omega)$ aufweist, ist auf der rechten Seite dargestellt.

a) Bestimmen Sie allgemein den Frequenzgang $\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{U}_2(j\omega)}{\underline{U}_1(j\omega)}$ der Schaltung.

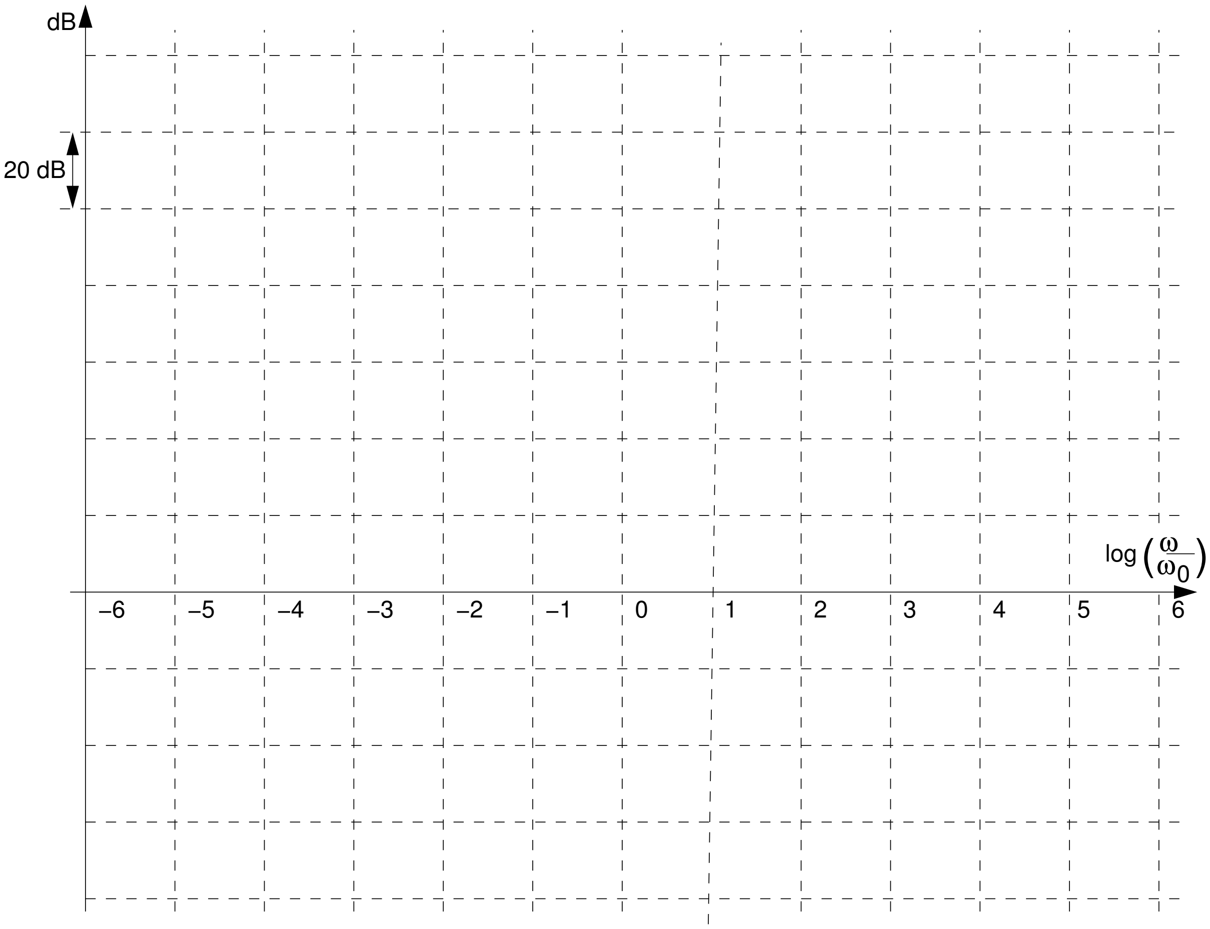
b) Welchen Wert nimmt $\underline{F}(j\omega)$ für den Sonderfall $|\underline{v}_u(j\omega)| \to \infty$ an?

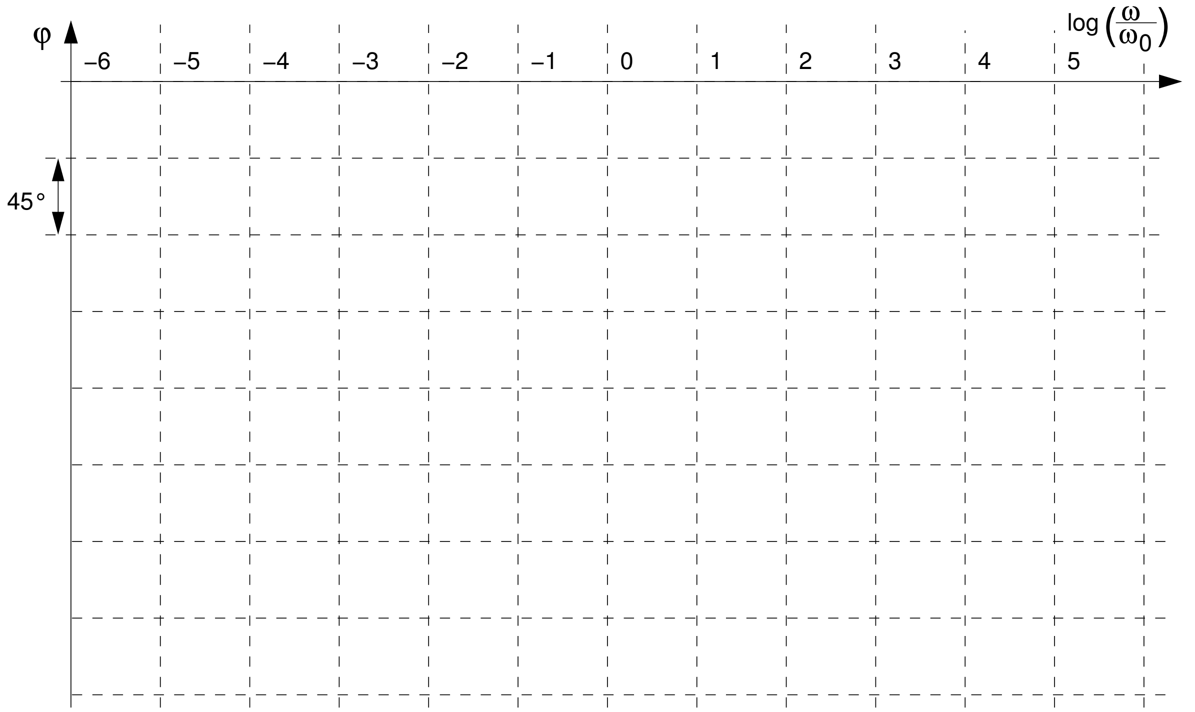
c) Stellen Sie den Frequenzgang in der Form $\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{F}_a}{1+\underline{F}_a F_2}$ dar. Achten Sie bei Ihrer Umformung bitte darauf, dass $F_2 \in \mathbb{R}$. Geben Sie $\underline{F}_a$, F_2 und die Schleifenverstärkung an.

Für den Operationsverstärker gilt im Folgenden: $\underline{v}_u(j\omega) = \frac{v_0}{(1+\frac{j\omega}{10\,\omega_0})\,(1+\frac{j\omega}{10000\,\omega_0})}$.

Falls Sie Aufgabenpunkt c) nicht lösen konnten, verwenden Sie im Folgenden $F_2 = a = const. \in \mathbb{R} > 0$ und $\underline{F}_a = \frac{\underline{v}_u(j\omega)}{(1+a)(1+j\omega\,\frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}\,C)}$.

d) Zeichnen Sie Betrag und Phase von $\underline{F}_a$ für den Fall $C = \frac{R_1+R_2}{\omega_0 R_1 R_2}$ in das Bode-Diagramm auf der nächsten Seite ein. Markieren und geben Sie den entsprechenden Wert für $\underline{F}_a(\omega \to 0)$ an der Betragsachse an.


dB
20 dB
log $\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$
–6
–5
–4
–3
–2
–1
0
1
2
3
4
5
6


φ
45°
log $\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$
–6
–5
–4
–3
–2
–1
0
1
2
3
4
5