



Name .....  
Vorname .....  
Matrikelnummer .....  
Studiengang .....

### 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, Handys, e-Book-Reader, 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. Verwenden Sie ausschließlich das vom Lehrstuhl gestellte Papier.

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.

### Auswertung Ihrer Klausur

---

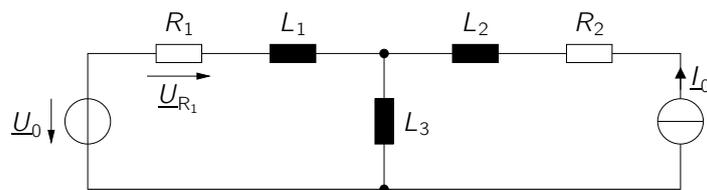
|                  |                  |                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>A1</b> / 11 P | <b>A2</b> / 11 P | <b>A3</b> / 13 P | <b>A4</b> / 14 P | <b>A5</b> / 12 P |
| <b>A6</b> / 14 P | <b>A7</b> / 14 P |                  |                  |                  |

---

$\Sigma$  / 89 P — Note

**Aufgabe 1) Netzwerkberechnung, Phasoren**

Punkte: / 11

**Abbildung 1:** Zu berechnendes Netzwerk.

Gegeben ist das Netzwerk aus Abb. 1.

- Bestimmen Sie mit einer Methode Ihrer Wahl die Spannung  $\underline{U}_{R_1}$  am Widerstand  $R_1$ .
- Formen Sie das Netzwerk aus Abb. 1 äquivalent so um, dass es in der Form allgemeiner Zweige ist.
- Zeichnen Sie den Graph, einen Baum und den zugehörigen Co-Baum für das von Ihnen in Aufgabenteil b) umgeformte Netzwerk.
- Die Quellen  $\underline{U}_0$  und  $\underline{I}_0$  haben die Zeitverläufe

$$u_0(t) = 1 \text{ V} \cos(\omega t) \quad \text{und} \\ i_0(t) = 0.$$

Welche Bedingung muss für die Bauteilparameter des Netzwerks aus Abb. 1 gelten, damit der Zeitverlauf der Spannung  $\underline{U}_{R_1}$  gleich

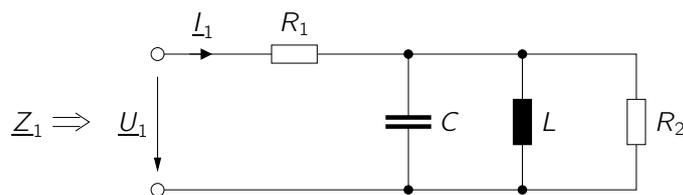
$$u_{R_1}(t) = \frac{1 \text{ V}}{\sqrt{2}} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right)$$

ist?

*Hinweis:* Arbeiten Sie mit der Phasordarstellung und nutzen Sie Ihr Ergebnis aus Teil a).

**Aufgabe 2)** Komplexe Rechnung, Ortskurve

Punkte: / 11

**Abbildung 2.1:** Zu untersuchendes Netzwerk.

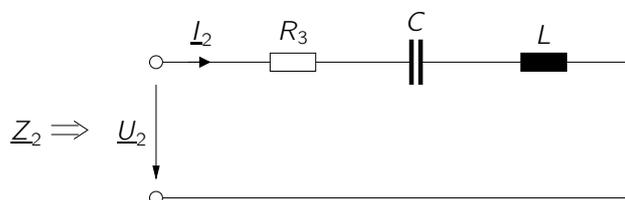
Gegeben ist das Netzwerk aus Abb. 2.1.

- a) Berechnen Sie die Impedanz (Wirkungsfunktion)

$$\underline{Z}_1 = \frac{U_1}{I_1}.$$

- b) Zeichnen Sie qualitativ den Verlauf der Ortskurve der Impedanz  $\underline{Z}_1$  im Frequenzbereich  $0 < \omega < \infty$ . Markieren Sie die Punkte, bei denen Real- und Imaginärteil ihre Maximal- und Minimalwerte besitzen und geben Sie Ausdrücke für die zugehörigen Impedanzen an. Geben Sie zusätzlich die Frequenz an, bei der der Realteil maximal wird.

Es ist zusätzlich das Netzwerk aus Abb. 2.2 gegeben.

**Abbildung 2.2:** Weiteres zu untersuchendes Netzwerk.

- c) Berechnen Sie die Impedanz (Wirkungsfunktion)

$$\underline{Z}_2 = \frac{U_2}{I_2}$$

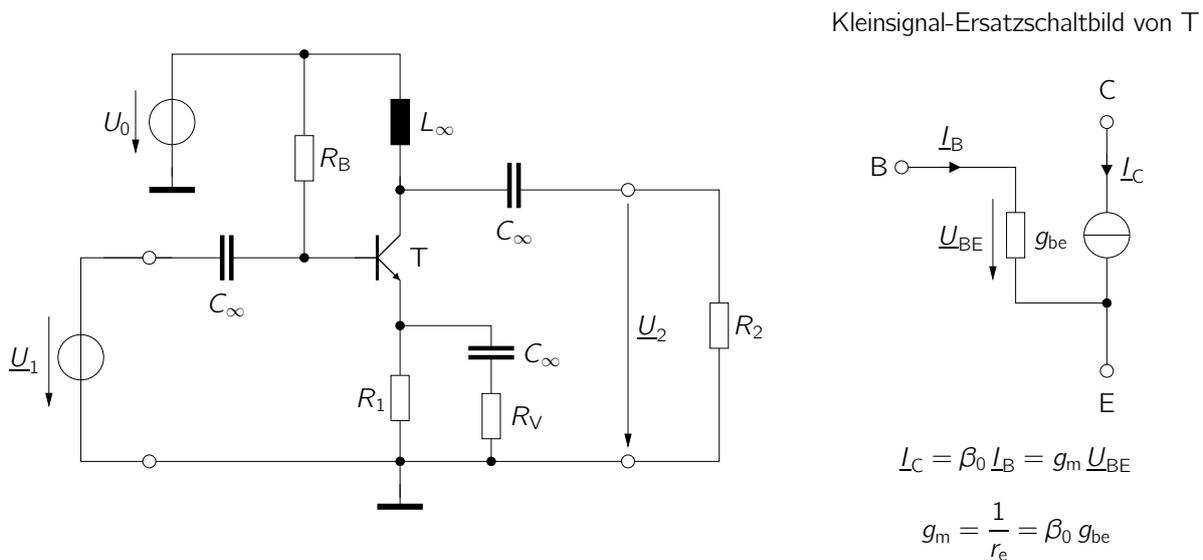
zu dem Netzwerk aus Abb. 2.2. Zeichnen Sie qualitativ die Ortskurve der Impedanz  $\underline{Z}_2$  im Frequenzbereich  $0 < \omega < \infty$ .

- d) Geben Sie eine Formel für  $R_3$  in Abhängigkeit der übrigen Bauteilparameter an, so dass gilt

$$\operatorname{Re}\{\underline{Z}_2\} \geq \operatorname{Re}\{\underline{Z}_1\} \quad \forall \omega \in (0, \infty).$$

**Aufgabe 3) Schaltungsdimensionierung**

Punkte: / 13



**Abbildung 3:** Links: Zu berechnende Schaltung. Rechts: Kleinsignal-Ersatzschaltbild des Transistors T.

Gegeben ist die in Abb. 3 gezeigte Verstärkerschaltung. Die Quelle  $U_0$  ist eine reine Gleichspannungsquelle zur Versorgung der Schaltung.  $\underline{U}_1$  ist das Eingangssignal, welches eine reine Wechselspannung darstellt. Der Widerstand  $R_V$  dient zum Einstellen der Verstärkung. Der Transistor habe im normalaktiven Bereich die (Großsignal-)Stromverstärkung  $B = B_F$ . Die Kapazitäten  $C_\infty$  sind in erster Näherung für Frequenzen  $\omega > 0$  als Kurzschluss, die Induktivität  $L_\infty$  für  $\omega > 0$  als Leerlauf zu betrachten.

- Zeichnen Sie das Gleichstromersatzschaltbild der Schaltung.
- Bestimmen Sie den Widerstand  $R_B$  in Abhängigkeit der übrigen Bauteilparameter so, dass im Arbeitspunkt zwischen Kollektor und Emitter des Transistors die Hälfte der Versorgungsspannung  $U_0$  abfällt.  
Die Basis-Emitter-Spannung im Arbeitspunkt  $U_{BE} = U_{BE,0}$  sei bekannt und konstant. Es gilt

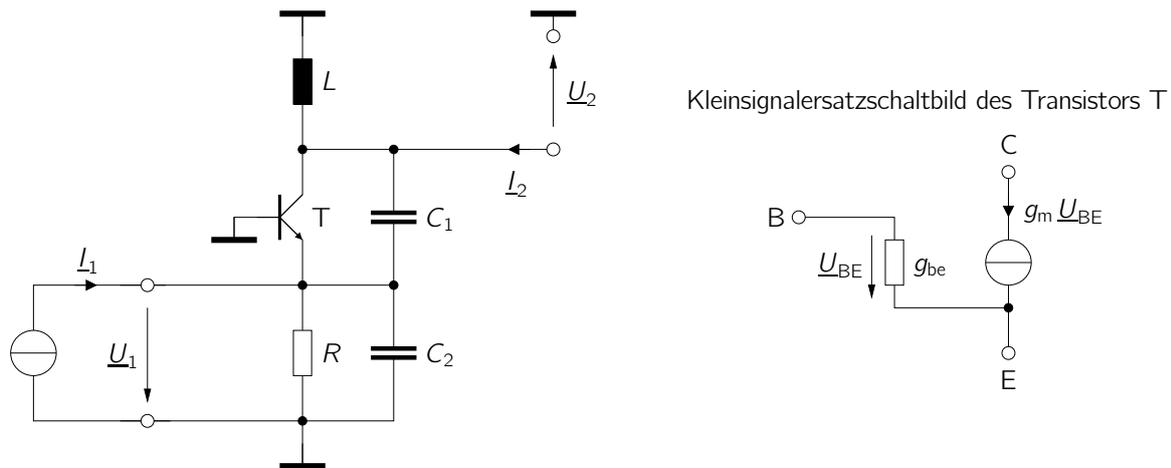
$$0 < I_B \ll I_C,$$

d. h. der Basisstrom  $I_B$  kann gegenüber dem Kollektorstrom  $I_C$  vernachlässigt werden, ist aber ungleich Null.

- Zeichnen Sie das Wechselstromersatzschaltbild der Schaltung aus Abb. 3 links.
- Berechnen Sie allgemein die Spannungsübertragungsfunktion  $\underline{V}_u = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}$  der Schaltung. Sie können mit den Näherungen des T-Operator-Ersatzschaltbildes rechnen.
- Bestimmen Sie den Widerstand  $R_V$  so, dass gilt:  $\underline{V}_u = -1$ . In welchem Wertebereich muss die Steilheit des Transistors  $g_m = \frac{1}{r_e}$  liegen, damit  $\underline{V}_u = -1$  erzielt werden kann?  
*Hinweis:* Alle Widerstände besitzen Werte  $\geq 0$ .

**Aufgabe 4) Zweitor-Rechnung**

Punkte: / 14



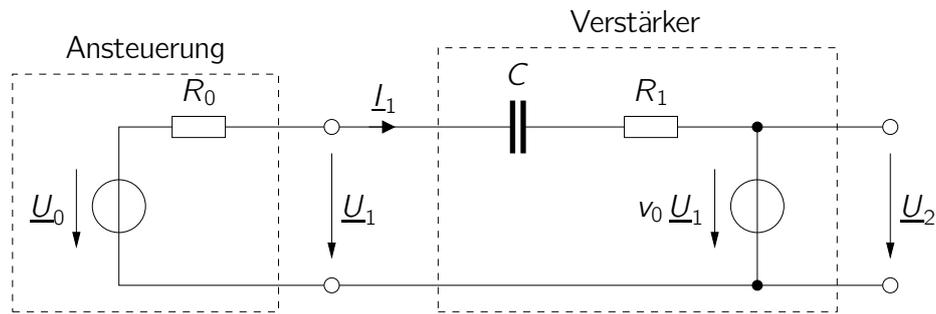
**Abbildung 4:** Wechselstromersatzschaltbild einer Transistorschaltung und zugehöriges Kleinsignalersatzschaltbild des Transistors.

Gegeben ist in Abb. 4 links das Wechselstromersatzschaltbild einer Transistorschaltung. Die Schaltung wird mit der Stromquelle  $I_1$  angesteuert. Für den Transistor T gilt das auf der rechten Seite dargestellte Kleinsignalersatzschaltbild.

- Formen Sie das Wechselstromersatzschaltbild der Transistorschaltung (Abb. 4 links) für eine Berechnung mit einem Haupt- und einem Rückkopplungszweitor um. Ordnen Sie dazu den Transistor T dem Hauptzweitor und die restlichen Bauelemente ( $R$ ,  $L$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ) dem Rückkopplungszweitor zu.
- Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der Schaltung aus dem vorangegangenen Aufgabenpunkt. Verwenden Sie dazu das Transistor-Kleinsignalersatzschaltbild aus Abb. 4 rechts.
- Um welche Art der Rückkopplung handelt es sich?
  - Wählen Sie eine für die Art der Rückkopplung geeignete Matrizendarstellung aus. Begründen Sie Ihre Entscheidung!
- Bestimmen Sie die Elemente der Matrix von Haupt- und Rückkopplungszweitor anhand des Kleinsignalersatzschaltbildes. Bestimmen Sie die Elemente der Matrix der Gesamtschaltung.
- Bestimmen Sie die Transimpedanz  $\underline{Z}_T = \left. \frac{U_2}{I_1} \right|_{I_2=0}$  mit Hilfe der Matrizendarstellung.

**Aufgabe 5) Stabilität, Netzwerktheorie**

Punkte: / 12

**Abbildung 5:** Zu untersuchende Schaltung.

Gegeben ist die Schaltung aus Abb. 5, welche das Modell eines Verstärkers mit zugehöriger Ansteuerung darstellt. Die Ansteuerung besteht aus einer realen Spannungsquelle  $\underline{U}_0$  mit Innenwiderstand  $R_0$ . Die Spannungsverstärkung des Verstärkers ist

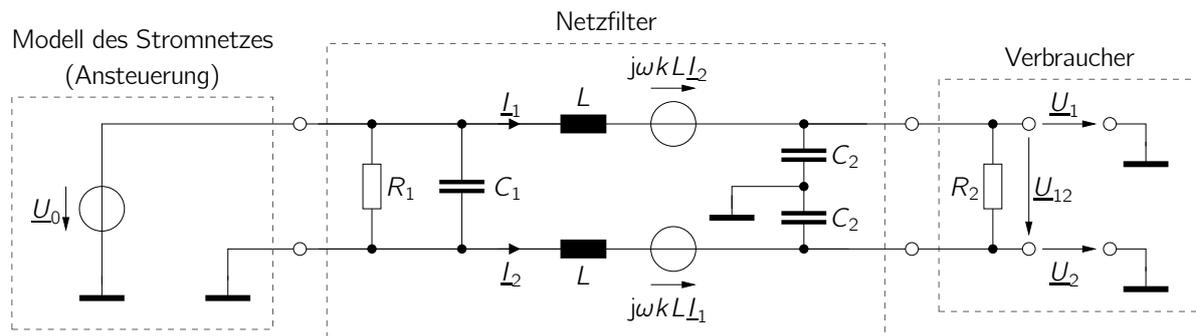
$$v_0 = \frac{\underline{U}_2(s)}{\underline{U}_1(s)} = \text{const.} \in \mathbb{R}.$$

Es gilt:  $v_0 > 1$ ,  $R_0 > 0$ ,  $R_1 > 0$  und  $C > 0$ .

- Zur folgenden Stabilitätsanalyse wird die Wirkungsfunktion  $\underline{F}(s) = \frac{\underline{U}_2(s)}{\underline{U}_0(s)}$  (Verstärkung der Gesamtschaltung) betrachtet. Bestimmen Sie diese.
- Würde sich zur Analyse der Stabilität der *Gesamtschaltung* aus Abb. 5 auch die Eingangsimpedanz des Verstärkers  $\underline{Z}_{\text{ein}}(s) = \frac{\underline{U}_1(s)}{\underline{I}_1(s)}$  eignen? Begründen Sie Ihre Antwort.
- Berechnen Sie die Polstelle(n) der Wirkungsfunktion  $\underline{F}(s)$  aus Aufgabenteil a) und ermitteln Sie eine Bedingung für  $R_1$ , so dass die Gesamtschaltung stabil ist.
- $u_0(t)$  und  $u_2(t)$  seien die Zeitbereichsgrößen von  $\underline{U}_0(s)$  und  $\underline{U}_2(s)$ . Geben Sie eine Formel für den Zeitverlauf  $u_2(t)$  an, wenn der Zeitverlauf der ansteuernden Quelle  $u_0(t) = \delta(t)$  einem Dirac-Impuls entspricht.  
*Hinweis:* Zur inversen Laplace-Transformation eignet sich beispielsweise der Heaviside'sche Entwicklungssatz.
- Ist es mit der Schaltung aus Abb. 5 durch geeignete Wahl von  $R_0$ ,  $R_1$  und  $C$  prinzipiell möglich, eine sinusförmige Schwingung (aufklingend, stabil oder abklingend) zu erzeugen? Begründen Sie Ihre Antwort.

**Aufgabe 6)** *Gleichtakt-/Gegentaktzerlegung*

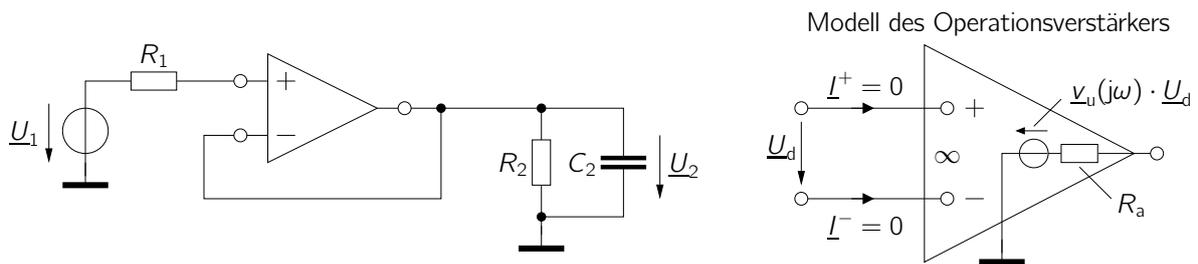
Punkte: / 14



**Abbildung 6:** Netzeingang eines Gerätes mit Modell des Stromnetzes, einem Netzfilter und dem Lastwiderstand  $R_2$  als Verbraucher.

In Abb. 6 ist die Eingangsbeschaltung eines Gerätes am Stromnetz gezeigt. Zwischen Stromnetz mit idealer Quelle  $\underline{U}_0$  und eigentlichem Verbraucher  $R_2$  befindet sich ein Netzfilter zum Unterdrücken von Störungen vom Stromnetz zum Verbraucher und umgekehrt. Das Netzfilter verfügt über gekoppelte Induktivitäten, deren Kopplung im Schaltbild aus Abb. 6 durch gesteuerte Spannungsquellen ( $j\omega k L I_2$  bzw.  $j\omega k L I_1$ ) modelliert ist. Die gesteuerten Quellen hängen vom Strom der jeweils gegenüberliegenden Seite ( $I_2$  bzw.  $I_1$ ) ab. Die Konstante  $k$  ist  $\in [0,1]$ .

- Stellen Sie die Ansteuerung in Abb. 6 äquivalent durch eine Überlagerung von Gleichtakt- und Gegentaktquellen dar. Bestimmen Sie die Phasoren der ansteuernden Gleich- und Gegentaktquellen in Abhängigkeit von  $\underline{U}_0$ .
- Drücken Sie die Ströme  $I_1$  und  $I_2$  in Form von Gleich- und Gegentaktanteil aus. Welche Beziehung gilt zwischen den *Gleichtaktanteilen* von  $I_1$  und  $I_2$  und welche zwischen den *Gegentaktanteilen* von  $I_1$  und  $I_2$  aufgrund der Symmetrie des Netzwerks?
- Zeichnen Sie das einphasige Gegentakt- und das einphasige Gleichtakt-Ersatzschaltbild des Gesamtnetzwerks.
- Bestimmen Sie anhand der Überlagerung der Ergebnisse von Gleich- und Gegentakt-Ersatzschaltung die Spannung  $\underline{U}_1$  in Abhängigkeit von  $\underline{U}_0$  und der Bauteilparameter. Verwenden Sie hierzu die Beziehung zwischen  $I_1$  und  $I_2$ , die Sie in Teil b) ermittelt haben.
- Ermitteln Sie mithilfe der zuvor erhaltenen Ergebnisse die Spannung  $\underline{U}_{12}$  am Lastwiderstand  $R_2$  in Abhängigkeit von  $\underline{U}_0$  und der Bauteilparameter.

**Aufgabe 7) Frequenzgang, Operationsverstärker, Bode-Diagramm** Punkte: / 14

**Abbildung 7.1:** Links: zu analysierende Operationsverstärker-Schaltung. Rechts: Modell des Operationsverstärkers.

Gegeben ist die in Abb. 7.1 links gezeigte Operationsverstärkerschaltung. Das Modell des Operationsverstärkers, der eine frequenzabhängige Verstärkung  $v_u(j\omega)$  und einen Ausgangswiderstand  $R_a$  aufweist, ist auf der rechten Seite dargestellt. Der Ausgang des Operationsverstärkers wird mit  $R_2$  und  $C_2$  belastet.

- Bestimmen Sie allgemein den Frequenzgang  $\underline{F}(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)}$  der Schaltung.
- Welchen Wert nimmt  $\underline{F}(j\omega)$  für den Sonderfall  $|v_u(j\omega)| \rightarrow \infty$  an?
- Gehen Sie davon aus, dass der Sonderfall aus b) äquivalent zu einer unendlich hohen Verstärkung  $\underline{F}_a$  des Hauptzweiters in der Darstellung

$$\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{F}_a}{1 + \underline{F}_a \underline{F}_2}$$

ist und bestimmen Sie auf diese Weise  $\underline{F}_2$ . Geben Sie außerdem  $\underline{F}_a$  und die Schleifenverstärkung  $\underline{F}_0$  an.

Für den Operationsverstärker gilt im Folgenden:

$$v_u(j\omega) = \frac{v_0}{1 + \frac{j\omega}{\omega_0}} \quad \text{mit} \quad v_0, \omega_0 \in \mathbb{R} > 0.$$

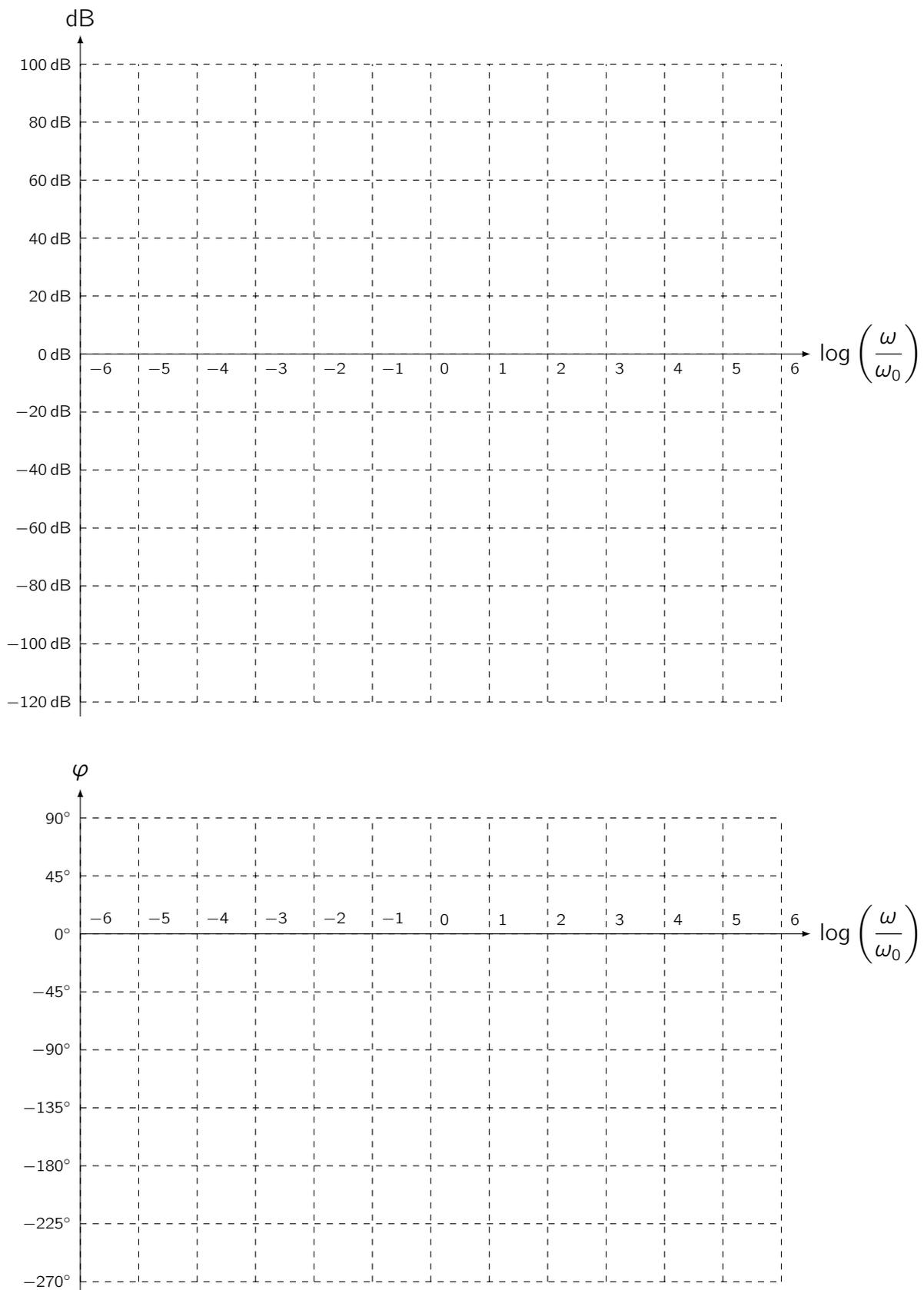
Falls Sie Aufgabenpunkt c) nicht lösen konnten, verwenden Sie stattdessen

$$\underline{F}_0 = \frac{1}{a} \frac{v_u(j\omega)}{1 + j\omega RC_2} \quad \text{mit} \quad a, R \in \mathbb{R} > 0.$$

- Zeichnen Sie Betrag und Phase der Schleifenverstärkung  $\underline{F}_0$  für den Fall  $C_2 = 0$  in das Bode-Diagramm auf der nächsten Seite (Abb. 7.2) ein. Dabei soll gelten

$$|\underline{F}_0(\omega \rightarrow 0)|_{\text{dB}} = 80 \text{ dB}. \quad (1)$$

- Geben Sie eine Bedingung für die Bauteilparameter an, so dass (1) erfüllt ist.
- Was ist für den Fall  $C_2 = 0$  über die Stabilität der Schaltung zu sagen? Begründen Sie Ihre Antwort.
- Für welchen Wertebereich  $[C_{\min}, C_{\max}]$  von  $C_2$  wird eine Phasenreserve von  $45^\circ$  unterschritten, so dass die Stabilität der Schaltung gefährdet ist? Begründen Sie Ihr Vorgehen, beispielsweise durch Skizzen im Bode-Diagramm mit einer kurzen Erläuterung.

**Abbildung 7.2:** Bode-Diagramm.