Universität des Saarlandes
Lehrstuhl für Elektronik und Schaltungstechnik

Klausur Schaltungstechnik WS15/16

Name ....
Vornamen ....
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

A1	/ 14 P	**A2**	/ 11 P	**A3**	/ 13 P	**A4**	/ 14 P	**A5**	/ 12 P
A6	/ 13 P	**A7**	/ 14 P						

$\sum$ / 91 P — Note

Aufgabe 1) *Netzwerkberechnung* *Punkte:* */ 14*

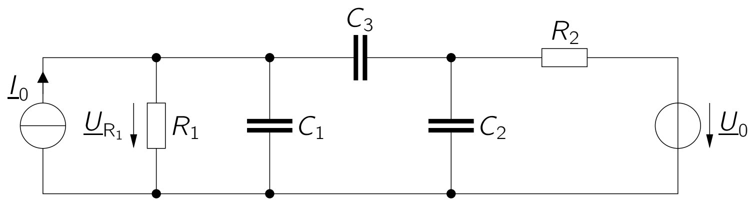

Abbildung 1: Zu berechnendes Netzwerk.

Gegeben ist das Netzwerk aus Abb. 1.

a) Zeichnen Sie den Graph, einen Baum und den zugehörigen Co-Baum für das Netzwerk aus Abb. 1. Nummerieren Sie die Zweige und Knoten in dem von Ihnen gezeichneten Graph.
Machen Sie bitte ersichtlich, welcher Zweig in Ihrem Graph welchem Zweig in dem zugrunde liegenden Netzwerk entspricht, beispielsweise, indem Sie die zu einem Zweig gehörenden Bauelemente umkreisen und die zugehörige Zweignummer daran schreiben.

b) Stellen Sie die allgemeine Knoteninzidenzmatrix $\mathbf{A_a}$ auf.

c) Wählen Sie einen Bezugsknoten und bestimmen Sie so die reduzierte Knoteninzidenzmatrix $\mathbf{A}$.

d) Geben Sie die Matrix mit den Zweigadmittanzen $\mathbf{Y}$ sowie die Vektoren für die Stromquellen $\mathbf{I_g}$ und Spannungsquellen $\mathbf{U_g}$ an.
Hinweis: Sie können mit Phasoren oder im Laplace-Bereich arbeiten. Sollten Sie im Laplace-Bereich arbeiten, gehen Sie davon aus, dass zum Zeitpunkt $t = 0$ keine Energie in den Kapazitäten gespeichert ist, Sie also keine Anfangswerte zu berücksichtigen brauchen.

e) Stellen Sie mithilfe Ihrer bisherigen Ergebnisse ein Gleichungssystem der Form

$$\mathbf{Y_n U_n} = \mathbf{I_{qn}}$$

auf, wobei $\mathbf{Y_n}$ die Knotenadmittanzmatrix, $\mathbf{I_{qn}}$ der Quellstromvektor und $\mathbf{U_n}$ der Vektor mit den gesuchten Knotenpotenzialen sind.

f) Bestimmen Sie die Spannung $\underline{U}_{R_1}$ über dem Widerstand R_1.

Aufgabe 2) *Komplexe Rechnung, Ortskurve* *Punkte: / 11*

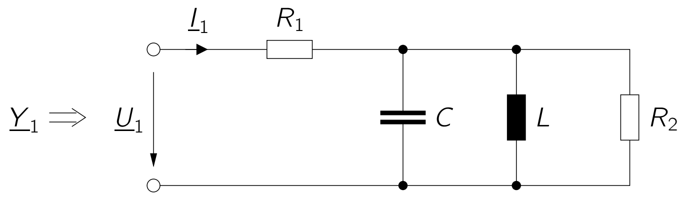

Abbildung 2: Zu untersuchendes Netzwerk.

Gegeben ist das Netzwerk aus Abb. 2.

a) Berechnen Sie die Admittanz (Wirkungsfunktion)

$$\underline{Y}_1 = \frac{\underline{I}_1}{\underline{U}_1}.$$

b) Zeichnen Sie qualitativ den Verlauf der Ortskurve der Admittanz $\underline{Y}_1$ im Frequenzbereich $0 \leq \omega \leq \infty$.

c) Markieren Sie die Punkte, bei denen Real- und Imaginärteil ihre Maximal- und Minimalwerte besitzen und geben Sie Ausdrücke für die zugehörigen Admittanzen an. Machen Sie dabei klar ersichtlich, bei welchem Punkt es sich um was (Maximum/Minimum von Realteil bzw. Imaginärteil) handelt und welcher Impedanzwert zu welchem Punkt gehört. Geben Sie zusätzlich die Frequenz an, bei der der Realteil minimal wird.

d) Stellen Sie eine Funktion auf, mit der sich der Betrag von $\underline{Y}_1$ in Abhängigkeit des zugehörigen Realteils von $\underline{Y}_1$ ermitteln lässt, also

$$|\underline{Y}_1| = f\left(\mathrm{Re}\left\{\underline{Y}_1\right\}\right).$$

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

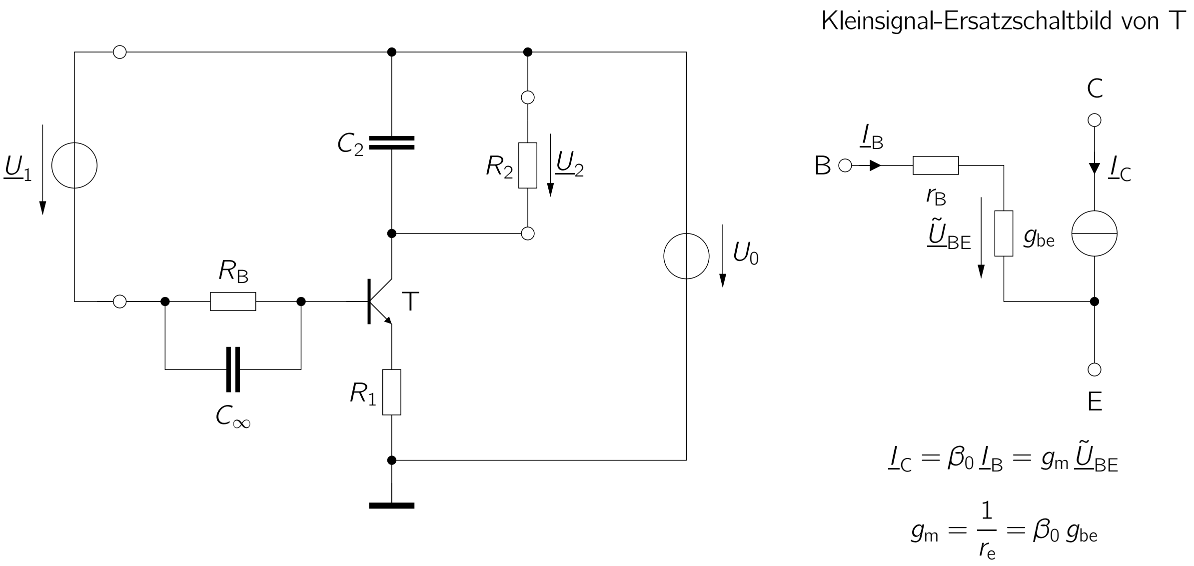

Abbildung 3: *Links:* Zu berechnende Schaltung. *Rechts:* Kleinsignal-Ersatzschaltbild des Transistors T.

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 monofrequente Wechselspannung darstellt. Der Transistor habe im normalaktiven Bereich die (Großsignal-)Stromverstärkung $B = B_F$. Die Kapazität C_∞ ist in erster Näherung für Frequenzen $\omega > 0$ als Kurzschluss zu betrachten.

a) Zeichnen Sie das Gleichstromersatzschaltbild der Schaltung.

b) Bestimmen Sie den Widerstand R_B in Abhängigkeit der übrigen Bauteilparameter so, dass an R_1 im Arbeitspunkt $1/3$ 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.

c) Wie groß darf R_2 maximal sein, damit der Transistor T im normalaktiven Bereich ist?

d) Zeichnen Sie das Wechselstromersatzschaltbild der Schaltung aus Abb. 3 links.

e) 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.

f) Bestimmen Sie die Grenzfrequenz $f_{3\,dB}$ der Spannungsübertragungsfunktion $\underline{V}_u$, d. h. die Frequenz, bei welcher der Betrag von $\underline{V}_u$ gegenüber dem Wert bei $f = 0$ um 3 dB abgefallen ist.

Aufgabe 4) *Zweitor-Rechnung* *Punkte: / 14*

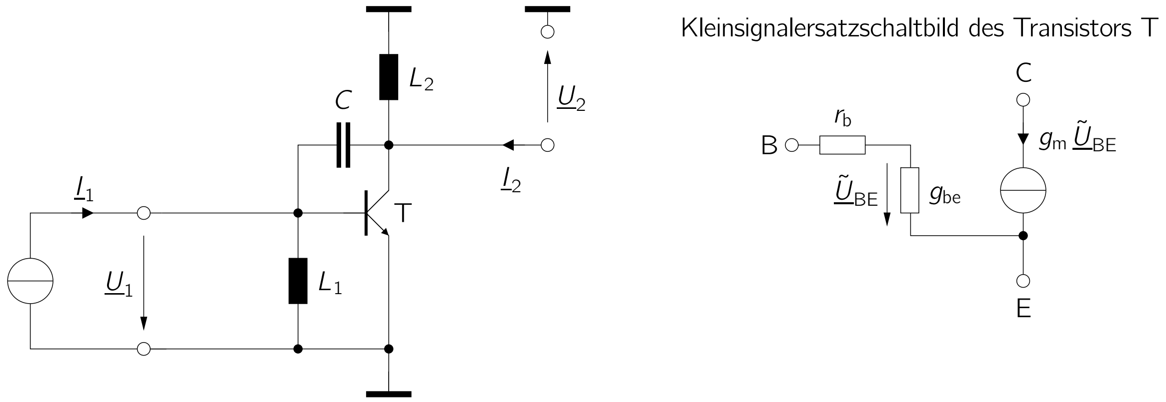

Abbildung 4: Wechselstromersatzschaltbild einer Transistorschaltung und Kleinsignalersatzschaltbild des zugehörigen Transistors.

Gegeben ist in Abb. 4 links das Wechselstromersatzschaltbild einer Transistorschaltung. Die Schaltung wird mit der Stromquelle $\underline{I}_1$ angesteuert. Für den Transistor T gilt das auf der rechten Seite dargestellte Kleinsignalersatzschaltbild.

a) 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 (C, L_1, L_2) dem Rückkopplungszweitor zu.

b) Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der Schaltung aus dem vorangegangenen Aufgabenpunkt. Verwenden Sie dazu das Transistor-Kleinsignalersatzschaltbild aus Abb. 4 rechts.

c) Beantworten Sie anhand des Kleinsignalersatzschaltbildes folgende Fragen.

   i) Um welche Art der Rückkopplung handelt es sich?

   ii) Welche Matrizendarstellung eignet sich für diese Art der Rückkopplung? 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 $\underline{Z}_\mathrm{T} = \left.\frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_1}\right|_{\underline{I}_2=0}$ mit Hilfe der Matrizendarstellung.

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

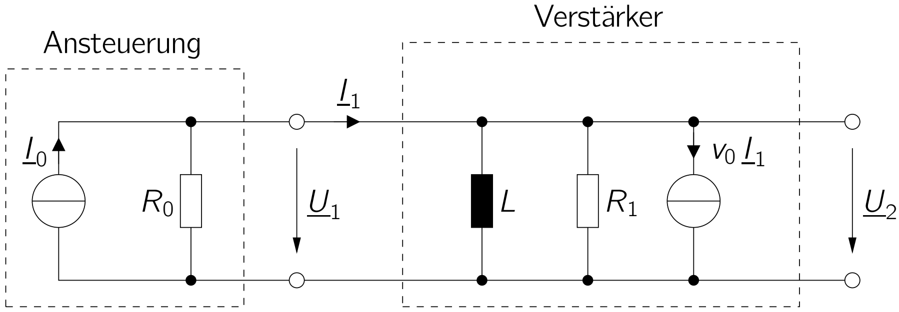

Abbildung 5: Zu untersuchende Schaltung.

Gegeben ist die Schaltung aus Abb. 5, welche das Modell eines Verstärkers mit zugehöriger Ansteuerung darstellt. Die Ansteuerung besteht aus einer realen Stromquelle $\underline{I}_0$ mit Innenwiderstand R_0.
Es gilt: $v_0 > 1$, $R_0 > 0$, $R_1 > 0$ und $L > 0$.

a) Zur folgenden Stabilitätsanalyse wird die Wirkungsfunktion $\underline{Z}_\mathrm{t}(s) = \frac{\underline{U}_2(s)}{\underline{I}_0(s)}$ (Transimpedanz der Gesamtschaltung) betrachtet. Bestimmen Sie diese.

b) Würde sich zur Analyse der Stabilität der *Gesamtschaltung* aus Abb. 5 auch die Spannungsverstärkung des Verstärkers $\underline{V}_\mathrm{u}(s) = \frac{\underline{U}_2(s)}{\underline{U}_1(s)}$ eignen? Begründen Sie Ihre Antwort.

c) Berechnen Sie die Polstelle(n) der Wirkungsfunktion $\underline{Z}_\mathrm{t}(s)$ aus Aufgabenteil a) und ermitteln Sie eine Bedingung für R_1, so dass die Gesamtschaltung stabil ist.

d) Es seien $i_0(t)$ und $u_2(t)$ die Zeitbereichsgrößen von $\underline{I}_0(s)$ und $\underline{U}_2(s)$. Geben Sie eine Formel für den Zeitverlauf $u_2(t)$ an, wenn der Zeitverlauf der ansteuernden Quelle $i_0(t) = \delta(t)$ einem Dirac-Impuls entspricht.
Hinweis: Zur inversen Laplace-Transformation eignet sich beispielsweise der Heavisidesche Entwicklungssatz.

e) Ist es mit der Schaltung aus Abb. 5 durch geeignete Wahl von R_0, R_1 und L prinzipiell möglich, eine sinusförmige Schwingung (aufklingend, stabil oder abklingend) zu erzeugen? Begründen Sie Ihre Antwort.

Aufgabe 6) *Gleichtakt-/Gegentaktzerlegung* *Punkte: / 13*

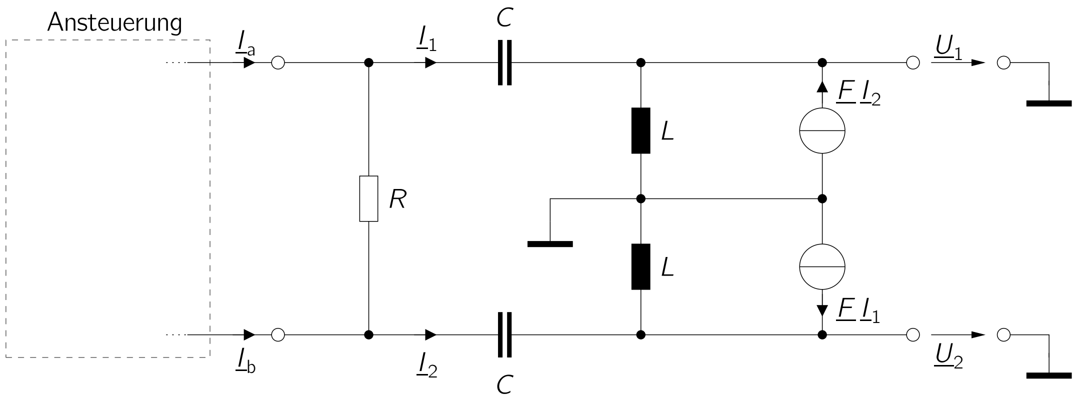

Abbildung 6: Zu berechnende Schaltung.

Gegeben ist die Schaltung in Abb. 6, welche mit den Strömen $\underline{I}_a$ und $\underline{I}_b$ angesteuert wird. Ferner verfügt die Schaltung über zwei gesteuerte Stromquellen ($\underline{F}\,\underline{I}_2$ und $\underline{F}\,\underline{I}_1$), welche vom Strom der jeweils gegenüberliegenden Seite ($\underline{I}_2$ bzw. $\underline{I}_1$) abhängen. Es ist $\underline{F} \in \mathbb{C}$ eine konstante komplexe Zahl.

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

b) Drücken Sie die Ströme $\underline{I}_1$ und $\underline{I}_2$ allgemein in Form von Gleich- und Gegentaktanteil aus. Welche Beziehung gilt zwischen den *Gleichtaktanteilen* von $\underline{I}_1$ und $\underline{I}_2$ und welche zwischen den *Gegentaktanteilen* von $\underline{I}_1$ und $\underline{I}_2$ aufgrund der Symmetrie des Netzwerks?

c) Zeichnen Sie das einphasige Gegentakt- und das einphasige Gleichtakt-Ersatzschaltbild des Gesamtnetzwerks.

d) Bestimmen Sie anhand der Überlagerung der Ergebnisse von Gleich- und Gegentakt-Ersatzschaltung die Spannung $\underline{U}_1$ in Abhängigkeit von $\underline{I}_a$, $\underline{I}_b$ und der Bauteilparameter. Verwenden Sie hierzu die Beziehung zwischen $\underline{I}_1$ und $\underline{I}_2$, die Sie in Teil b) ermittelt haben.

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

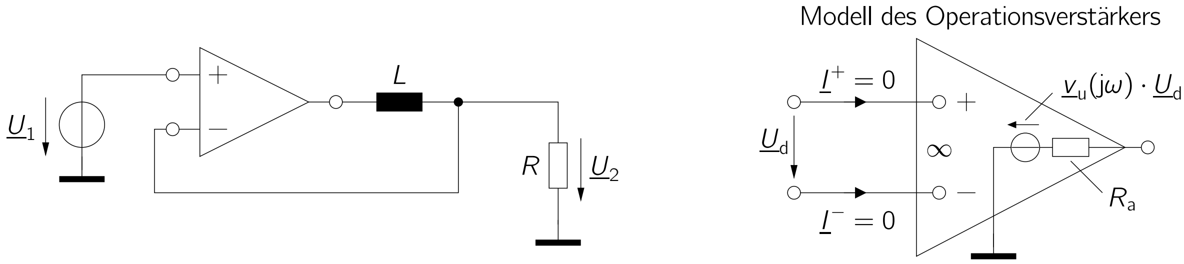

Abbildung 7.1: *Links:* zu analysierende Operationsverstärker-Schaltung. *Rechts:* Modell des Operationsverstärkers.

Gegeben ist die in Abb. 7.1 links gezeigte Operationsverstärkerschaltung. Das Modell des Operationsverstärkers, der eine frequenzabhängige Verstärkung $\underline{v}_u(\mathrm{j}\omega)$ und einen Ausgangswiderstand R_a aufweist, ist auf der rechten Seite dargestellt. Der Ausgang des Operationsverstärkers wird mit dem Widerstand R belastet.

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

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

c) Gehen Sie davon aus, dass der Sonderfall aus b) äquivalent zu einer unendlich hohen Verstärkung $\underline{F}_\mathrm{a}$ des Hauptzweitors in der Darstellung

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

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:

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

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

$$\underline{F}_0 = \frac{1}{a} \frac{\underline{v}_u(\mathrm{j}\omega)}{1 + \frac{\mathrm{j}\omega L}{R_2}} \quad \text{mit} \quad a, R_2 \in \mathbb{R} > 0.$$

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

$$|\underline{F}_0(\omega \to 0)|_\mathrm{dB} = 60\,\mathrm{dB}. \tag{1}$$

e) Geben Sie eine Bedingung für die Bauteilparameter an, so dass (1) erfüllt ist.

f) Was ist für den Fall $L = 0$ über die Stabilität der Schaltung zu sagen? Begründen Sie Ihre Antwort.

g) Für welchen Wertebereich $[L_\mathrm{min}, L_\mathrm{max}]$ von L wird eine Phasenreserve von 45° *unterschritten*, so dass die Stabilität der Schaltung gefährdet ist? Begründen Sie Ihr Vorgehen, beispielsweise durch Skizzen im Bode-Diagramm mit einer kurzen Erläuterung.

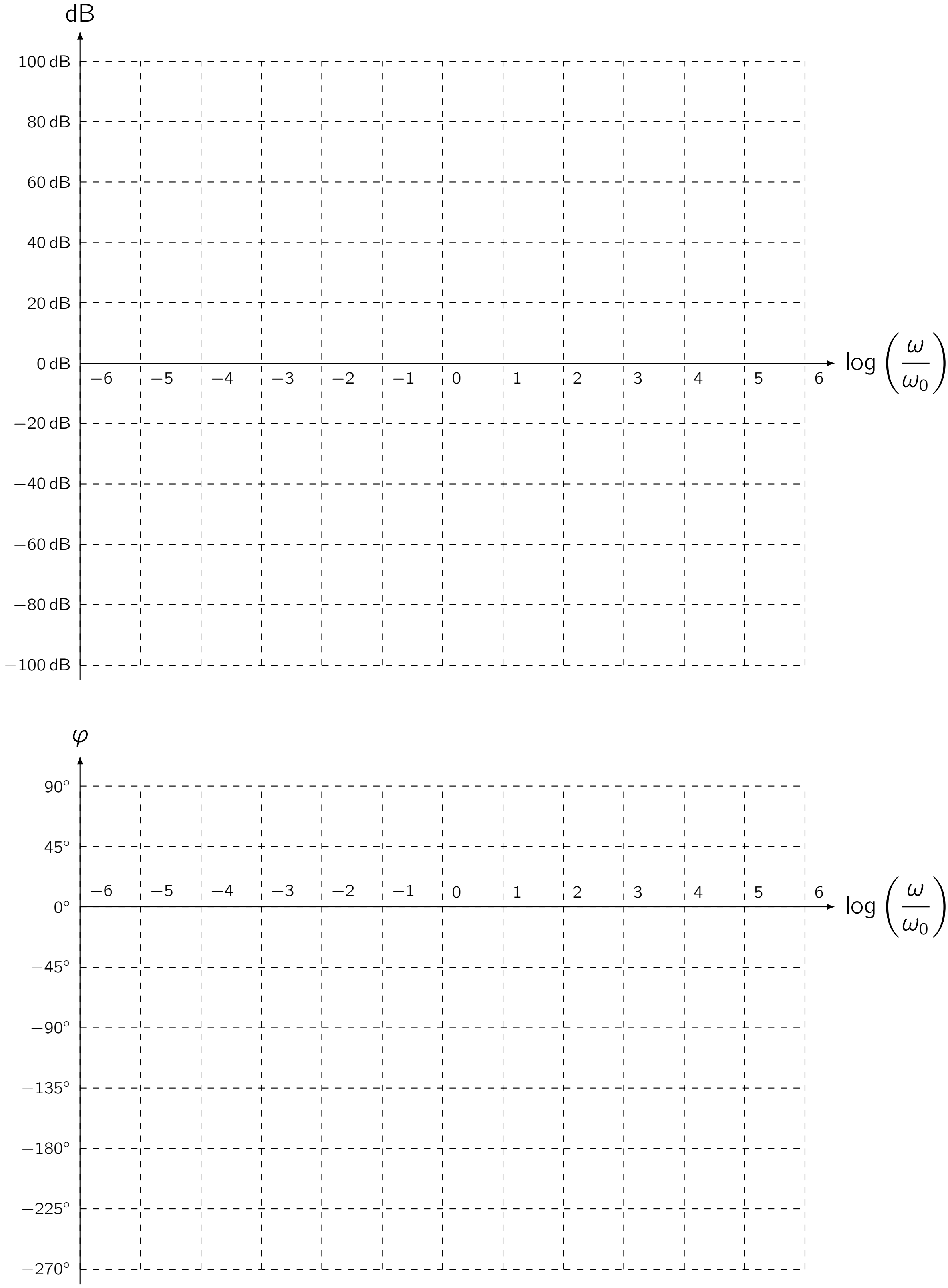

Abbildung 7.2: Bode-Diagramm.