Universität des Saarlandes
Lehrstuhl für Elektronik und Schaltungstechnik

Klausur Schaltungstechnik WS16/17

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

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

$\sum$ / 84 P — Note

Aufgabe 1) *Netzwerkberechnung* *Punkte:* / 13

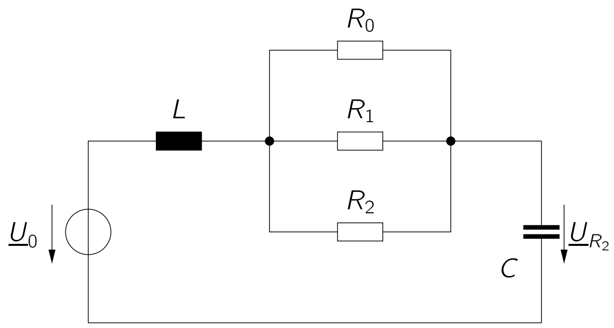


Abbildung 1: Zu berechnendes Netzwerk.

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 $\underline{U}_{R_2}$ über dem Widerstand R_2.

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

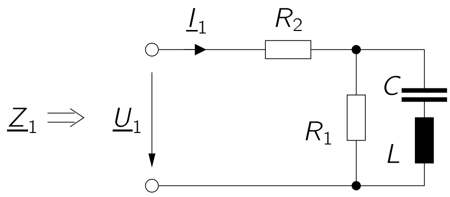


Abbildung 2: Zu untersuchendes Netzwerk.

Gegeben ist das Netzwerk aus Abb. 2.

a) Berechnen Sie die Impedanz

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

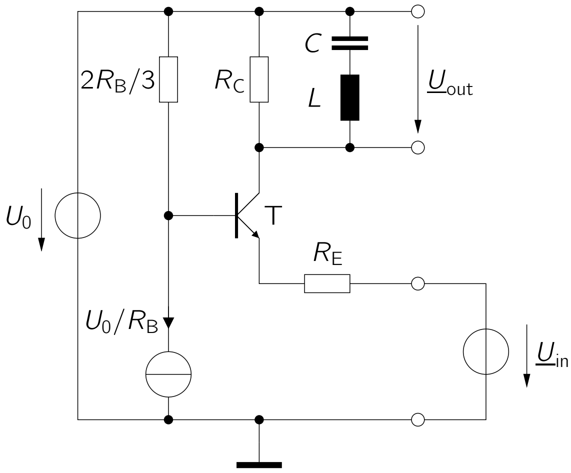
b) Zeichnen Sie qualitativ den Verlauf der Ortskurve der Impedanz $\underline{Z}_1$ im Frequenzbereich $0 \leq \omega \leq \infty$.

c) Markieren Sie die Punkte, bei denen Real- und Imaginärteil ihre Maximal- und Minimalwerte besitzen und geben Sie Ausdrücke für die zugehörigen Impedanzen 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.

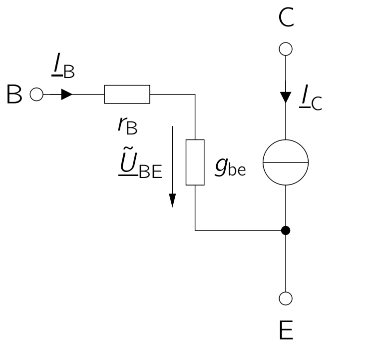
d) Stellen Sie eine Funktion auf, mit der sich der Realteil von $\underline{Z}_1$ in Abhängigkeit des zugehörigen Betrags von $\underline{Z}_1$ ermitteln lässt, also

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

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



Kleinsignal-Ersatzschaltbild von T



$$\underline{I}_{\mathrm{C}} = \beta_0\, \underline{I}_{\mathrm{B}} = g_{\mathrm{m}}\, \underline{\tilde{U}}_{\mathrm{BE}}$$

$$g_{\mathrm{m}} = \frac{1}{r_{\mathrm{e}}} = \beta_0\, g_{\mathrm{be}}$$

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. $\underline{U}_{\mathrm{in}}$ ist das Eingangssignal, welches eine monofrequente Wechselspannung darstellt. Der Transistor habe im normal-aktiven Bereich die (Großsignal-)Stromverstärkung $B = B_{\mathrm{F}}$.

a) Zeichnen Sie das Gleichstromersatzschaltbild der Schaltung.

b) Ermitteln Sie eine Dimensionierungsvorschrift für die Bauteilparameter, sodass an R_{C} im Arbeitspunkt $^1/_3$ der Versorgungsspannung U_0 abfällt.
Die Basis-Emitter-Spannung im Arbeitspunkt $U_{\mathrm{BE}} = U_{\mathrm{BE,0}}$ sei bekannt und konstant. Es gilt

$$I_{\mathrm{B}} \ll I_{\mathrm{C}},$$

d. h. der Basisstrom I_{B} kann gegenüber dem Kollektorstrom I_{C} vernachlässigt werden.

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

d) Berechnen Sie allgemein die Spannungsübertragungsfunktion $\underline{V}_{\mathrm{u}} = \frac{\underline{U}_{\mathrm{out}}}{\underline{U}_{\mathrm{in}}}$ der Schaltung. Sie können mit den Näherungen des T-Operator-Ersatzschaltbildes rechnen.

e) Bestimmen Sie die Resonanzfrequenz f_0 der Spannungsübertragungsfunktion $\underline{V}_{\mathrm{u}}$, d. h. die Frequenz, bei welcher der Betrag $|\underline{V}_{\mathrm{u}}| = 0$ verschwindet.

f) Wie groß darf die Amplitude der Eingangsspannung U_{in} maximal sein, damit gewährleistet ist, dass der Transistor T im normalaktiven Bereich bleibt? Begründen Sie Ihre Antwort.

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

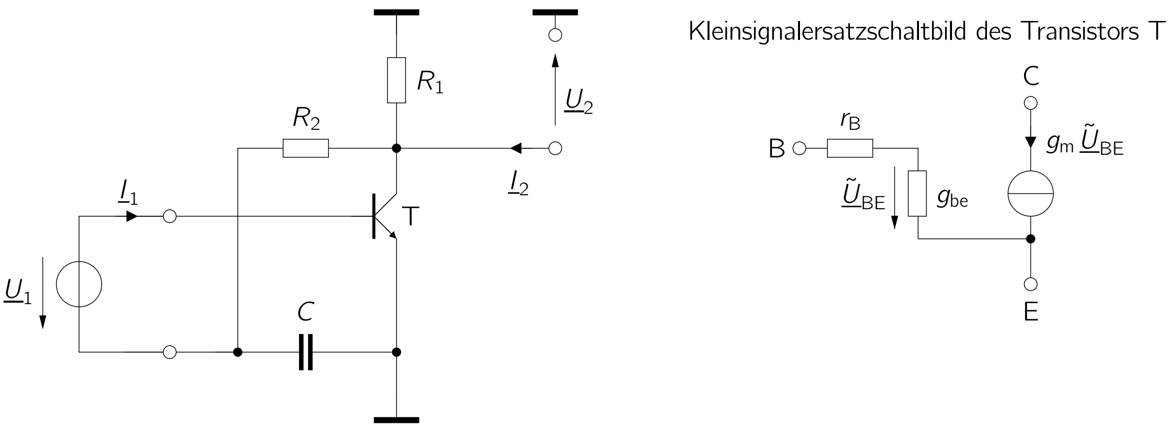


Abbildung 4: Wechselstromersatzschaltbild einer Transistorschaltung und Kleinsignalersatzschaltbild des zugehörigen Transistors.

Gegeben ist in Abb. 4 links das Wechselstromersatzschaltbild einer Transistorschaltung. Die Schaltung wird mit der Spannungsquelle $\underline{U}_1$ 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 (R_1, R_2, C) 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 Spannungsverstärkung $\underline{V}_\mathrm{u} = \left.\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right|_{\underline{I}_2=0}$ mit Hilfe der Matrizendarstellung.

Aufgabe 5) *Stabilität, Netzwerktheorie* *Punkte: / 11*

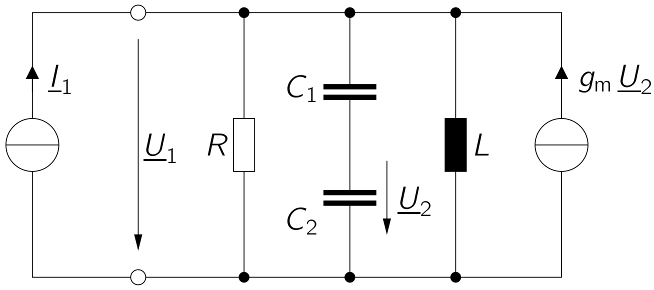


Abbildung 5: Zu untersuchende Schaltung.

Gegeben ist die Schaltung aus Abb. 5, welche einen Oszillator darstellt. Die Stromquelle $\underline{I}_1$ ist eine Hilfsquelle zum Anregen der Oszillation.
Es gilt: $R, C, L_1, L_2, g_\mathrm{m} \in \mathbb{R} > 0$.

a) Bestimmen Sie für die folgende Stabilitätsanalyse die Wirkungsfunktion $\underline{Z}_1(s) = \frac{\underline{U}_1(s)}{\underline{I}_1(s)}$.

b) Würde sich zur Analyse der Stabilität der *Gesamtschaltung* aus Abb. 5 auch die Übertragungsfunktion $\underline{Z}_2(s) = \frac{\underline{U}_2(s)}{\underline{I}_1(s)}$ eignen? Begründen Sie Ihre Antwort.

c) Berechnen Sie die Polstelle(n) der Wirkungsfunktion $\underline{Z}_1(s)$ aus Aufgabenteil a) und ermitteln Sie Bedingung(en) für die Bauteilparameter, so dass die Gesamtschaltung eine abklingende harmonische Oszillation erzeugt.

d) Mit welcher Frequenz (in Abhängigkeit der Bauteilparameter) schwingt die Schaltung in diesem Fall?

e) Es seien $i_1(t)$ und $u_1(t)$ die Zeitbereichsgrößen von $\underline{I}_1(s)$ und $\underline{U}_1(s)$. Geben Sie eine Formel für den Zeitverlauf $u_1(t)$ an, wenn der Zeitverlauf der ansteuernden Quelle $i_1(t) = \delta(t)$ einem Dirac-Impuls entspricht.
Hinweis: Zur inversen Laplace-Transformation eignet sich beispielsweise der Heavisidesche Entwicklungssatz.

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

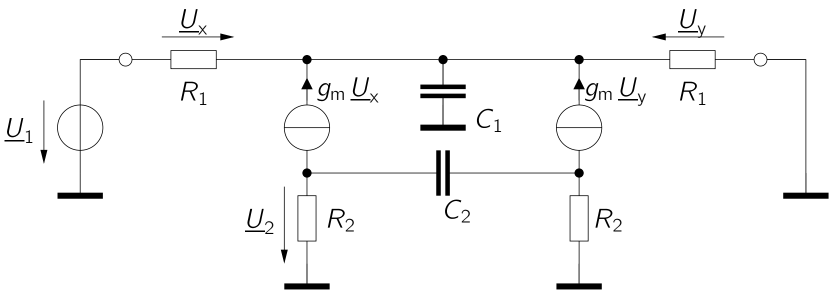


Abbildung 6: Zu berechnende Schaltung.

Gegeben ist die symmetrische Schaltung in Abb. 6, welche asymmetrisch mit der Spannung $\underline{U}_1$ angesteuert wird. Die Schaltung verfügt über zwei gesteuerte Stromquellen ($g_\mathrm{m}\underline{U}_\mathrm{x}$ und $g_\mathrm{m}\underline{U}_\mathrm{y}$), wobei $g_\mathrm{m} \in \mathbb{R} > 0$.

a) Bilden Sie die Ansteuerung in Abb. 6 äquivalent durch eine Überlagerung von Gleichtakt- und Gegentaktspannungsquellen nach. Bestimmen Sie die Phasoren der ansteuernden Gleich- und Gegentaktquellen in Abhängigkeit von $\underline{U}_1$.

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

c) Bestimmen Sie anhand der Überlagerung der Ergebnisse von Gleich- und Gegentakt-Ersatzschaltung die Spannung $\underline{U}_2$ in Abhängigkeit von $\underline{U}_1$ und der Bauteilparameter.

d) Erläutern Sie anhand der Gleichtaktübertragungsfunktion

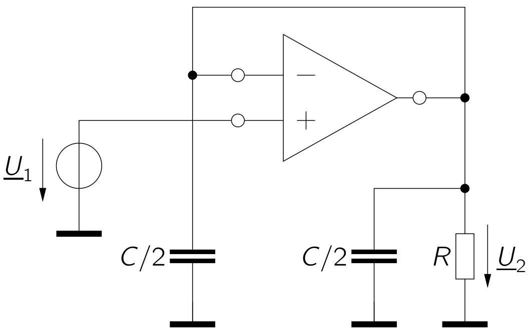
$$\underline{V}_\mathrm{u}^{+} := \frac{\underline{U}_2^{+}}{\underline{U}_1}$$

und der Gegentaktübertragungsfunktion

$$\underline{V}_\mathrm{u}^{-} := \frac{\underline{U}_2^{-}}{\underline{U}_1}$$

inwiefern die Schaltung bei hohen Frequenzen eher den Gleichtakt $\underline{U}_2^{+}$ oder den Gegentakt $\underline{U}_2^{-}$ unterdrückt.

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



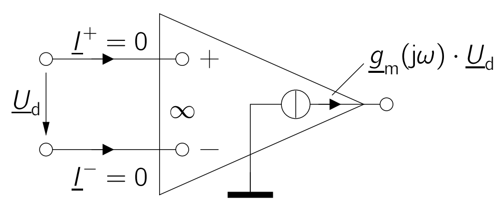


Abbildung 7: *Links:* zu analysierende Transkonduktanz-Verstärkerschaltung. *Rechts:* Modell des Transkonduktanz-Verstärkers.

Gegeben ist die in Abb. 7 links gezeigte Transkonduktanz-Verstärkerschaltung. Der Transkonduktanz-Verstärker beinhaltet eine gesteuerte Stromquelle am Ausgang, wie im Modell auf der rechten Seite dargestellt. Die Verstärkung $\underline{g}_\mathrm{m}(\mathrm{j}\omega)$ ist frequenzabhängig.

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 $|\underline{g}_\mathrm{m}(\mathrm{j}\omega)| \to \infty$ an?

c) Stellen Sie den Frequenzgang $\underline{F}(\mathrm{j}\omega)$ dar in der Form

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

und bestimmen Sie auf diese Weise $\underline{F}_2$ und $\underline{F}_a$ sowie die Schleifenverstärkung $\underline{F}_0$.

Für den Transkonduktanzverstärker gilt im Folgenden:

$$\underline{g}_\mathrm{m}(\mathrm{j}\omega) = \frac{R^{-1}}{1 + \frac{\mathrm{j}\omega}{\omega_0}} \quad \text{mit} \quad \omega_0 = (RC)^{-1}.$$

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

$$\underline{F}_0 = a\,\underline{g}_\mathrm{m} \left(1 + \frac{\mathrm{j}\omega RC}{\underline{g}_\mathrm{m} R}\right) \quad \text{mit} \quad a \in \mathbb{R} > 0.$$

d) Zeichnen Sie Betrag und Phase der Schleifenverstärkung $\underline{F}_0$ in das Bode-Diagramm auf der nächsten Seite (Abb. 8) ein.

e) Was ist über die Stabilität der Schaltung zu sagen? Begründen Sie Ihre Antwort.

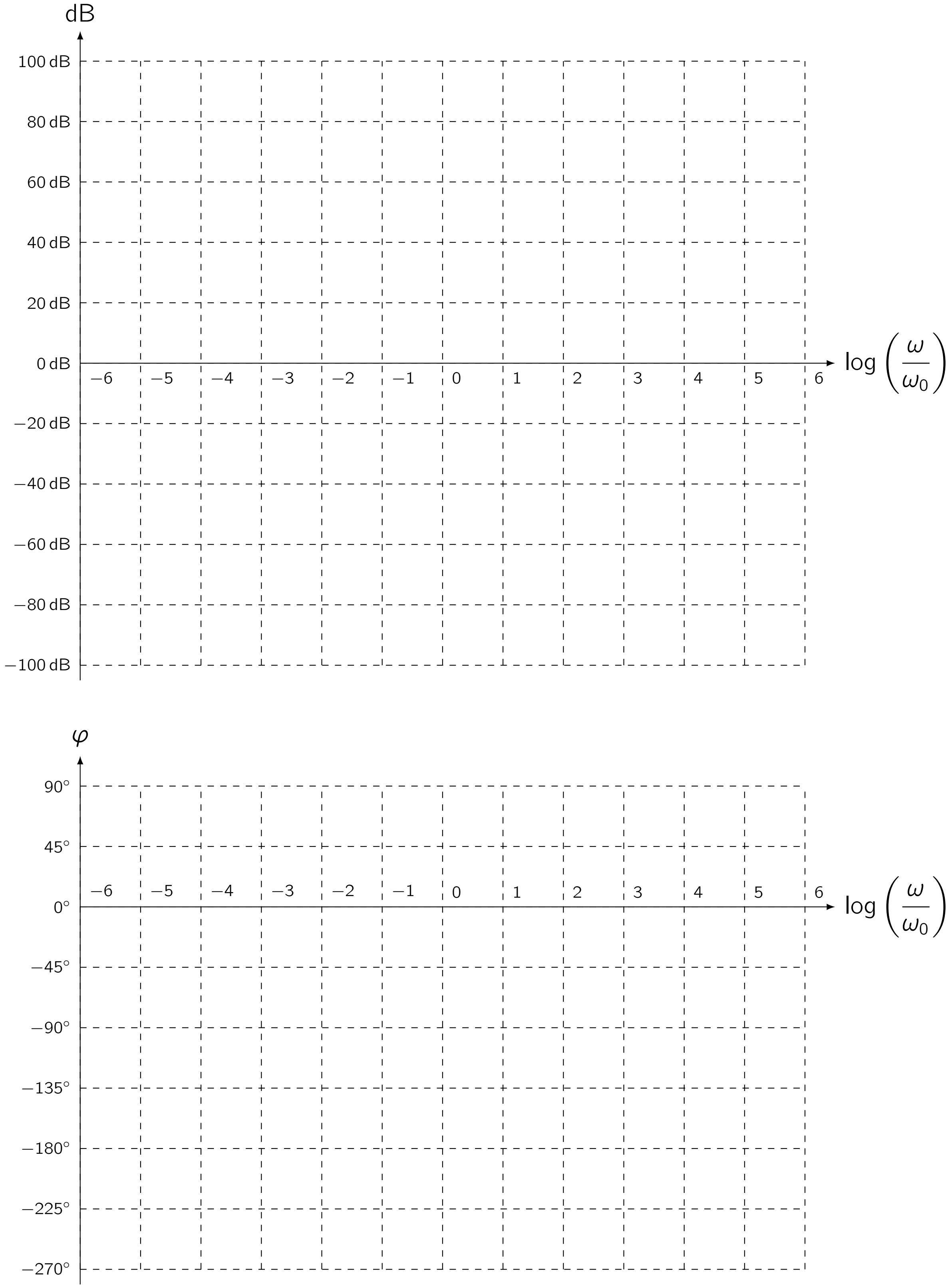


Abbildung 8: Bode-Diagramm.