Universität des Saarlandes
Lehrstuhl für Elektronik und Schaltungstechnik
# Klausur Elektronik II SS14

| | |
|---|---|
| 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** | / 9 P | **A2** | / 12 P | **A3** | / 11 P | **A4** | / 14 P | **A5** | / 12 P |
| **A6** | / 11 P | **A7** | / 12 P | | | | | | |

$\sum$ / 81 P — Note

**Aufgabe 1)** *Netzwerkberechnung* *Punkte: / 9*

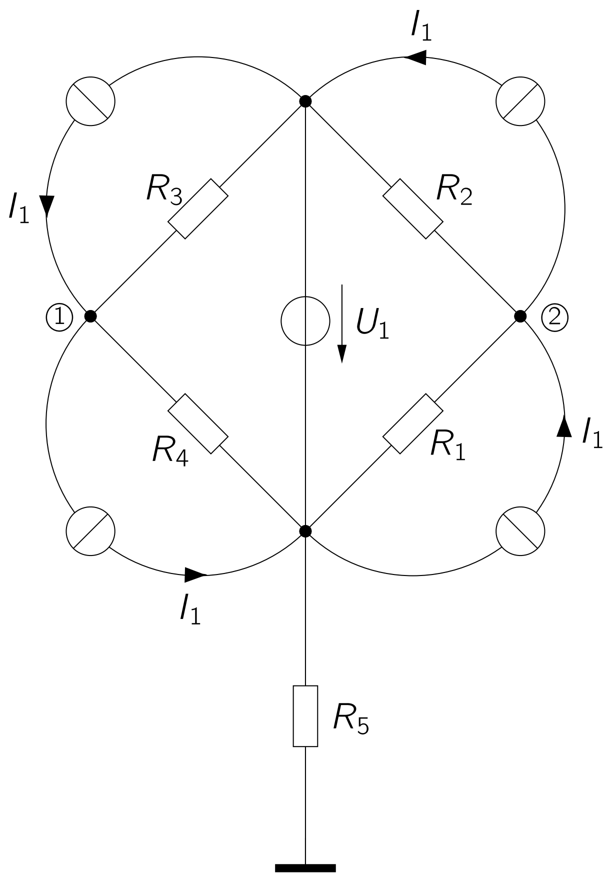



**Abbildung 1:** Zu berechnende Schaltung.

a) Geben Sie für die in Abb. 1 dargestellte Schaltung einen Baum und den zugehörigen Co-Baum an.

b) Ermitteln Sie eine Gleichung für den Spannungsabfall zwischen den mit ① und ② markierten Knoten. Verwenden Sie hierzu eine Methode Ihrer Wahl.

c) Berechnen Sie die gesamte Verlustleistung $P_\Sigma$ der Schaltung.

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

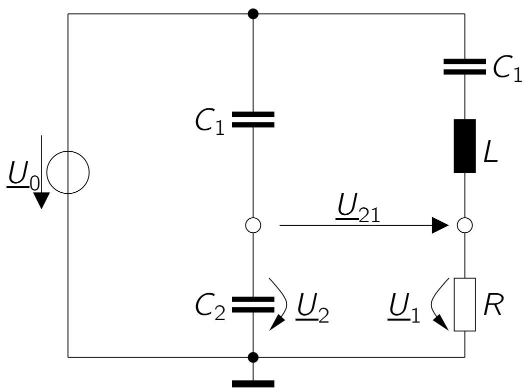



**Abbildung 2:** Zu untersuchendes Netzwerk mit den Spannungen $\underline{U}_0, \underline{U}_1, \underline{U}_2$ und $\underline{U}_{21}$.

Gegeben ist das Netzwerk in Abb. 2.

a) Berechnen Sie die Wirkungsfunktionen

$$\frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_0} \qquad \text{und} \qquad \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_0}.$$

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

c) Zeichnen Sie qualitativ die Ortskurve der Spannung $\underline{U}_2$ im Frequenzbereich $0 < \omega < \infty$.

d) Geben Sie eine Formel für $C_2$ an, so dass für den Betrag $|\underline{U}_{21}| = |\underline{U}_2 - \underline{U}_1| = const.$ gilt (d. h. keine Frequenzabhängigkeit)?

e) Konstruieren Sie mit Hilfe der Ergebnisse aus den Aufgabenteilen b), c) und d) die Ortskurve von $\underline{U}_{21}$.

**Aufgabe 3)** *Schaltungsdimensionierung* *Punkte:* / 11

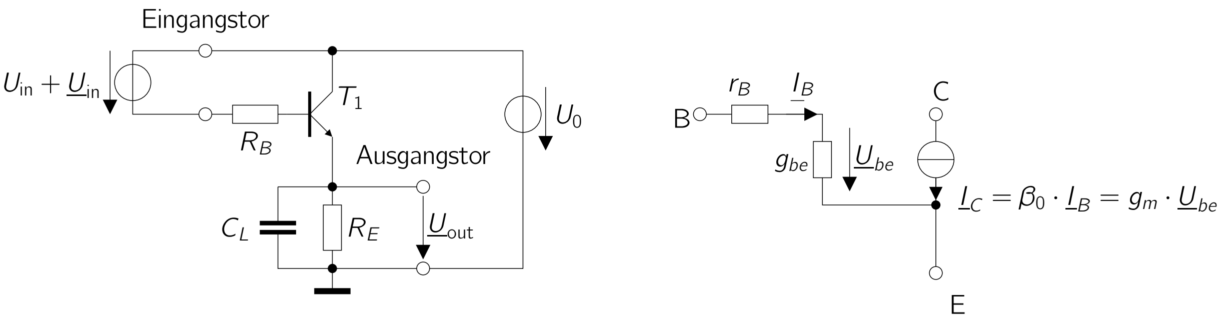



**Abbildung 3:** *Links:* Zu berechnende Schaltung. *Rechts:* Kleinsignal-Ersatzschaltbild des Transistors $T_1$.

Gegeben ist die in Abb. 3 gezeigte Schaltung. Das Eingangssignal $U_{in} + \underline{U}_{in}$ weist einen Gleichanteil $U_{in}$ und einen Wechselanteil $\underline{U}_{in}$ auf.

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 $I_C$ des Transistors im Arbeitspunkt (Formel). Leiten Sie aus der Formel für $I_C$ die Steilheit $g_m$ des Transistors ab.

b) Geben Sie den minimalen und maximalen Gleichanteil $U_{in}$ des Eingangssignals an, so dass der Transistor $T_1$ sich im normalaktiven Bereich befindet.

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

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

e) Im Folgenden sei $R_E = r_E + (r_B + R_B)/\beta$. Bestimmen Sie den Wert der Spannungsübertragungsfunktion im Gleichstromfall, d.h. $V_{\mathrm{u}}(0) = \left.\frac{\underline{U}_{out}}{\underline{U}_{in}}\right|_{\omega=0}$.

Bei welcher Frequenz $\omega_0$ liegt von diesem Wert $\mathrm{V_u}(0)$ ausgehend die -3dB Grenzfrequenz $\omega_0$ von $\mathrm{V_u}$, d.h. $|\underline{V}_{\mathrm{u}}(\omega_0)| = \mathrm{V_u}(0)/\sqrt{2}$?

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

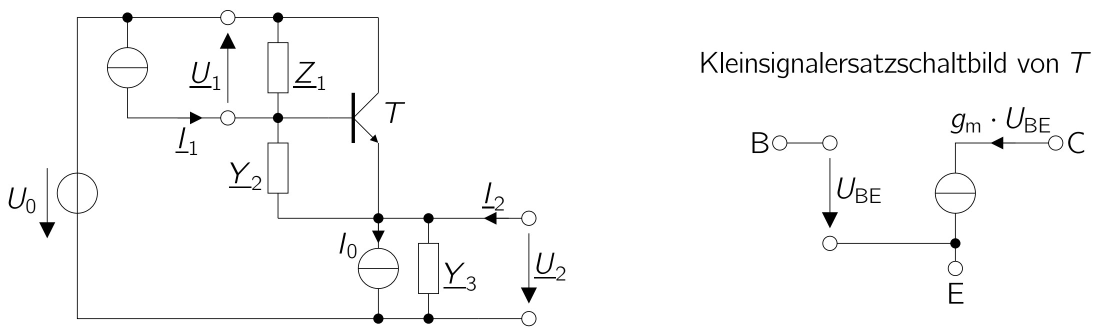



**Abbildung 4:** Transistorschaltung und Kleinsignalersatzschaltbild des Transistors.

Gegeben ist die Schaltung in Abb. 4 links mit den Gleichstrom- und -spannungsquellen $U_0$ und $I_0$, sowie der Wechselstromansteuerung durch $\underline{I}_1$. Für den Transistor $T$ gilt das auf der rechten Seite dargestellte Kleinsignalersatzschaltbild.

a) Zeichnen Sie das Wechselstromersatzschaltbild der dargestellten Transistorschaltung.

b) Formen Sie das Wechselstromersatzschaltbild der Transistorschaltung für eine Berechnung mit einem Haupt- und einem Rückkopplungszweitor um. Ordnen Sie dazu den Transistor $T$, *sowie die Impedanz* $\underline{Z}_1$ dem Hauptzweitor und die restlichen Bauelemente ($\underline{Y}_2$, $\underline{Y}_3$) dem Rückkopplungszweitor zu.

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

d) 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!

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

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

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

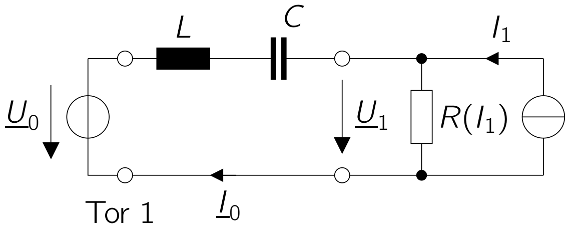



**Abbildung 5.1:** Zu untersuchende Schaltung.

Gegeben ist der Reihenschwingkreis in Abb. 5.1, dessen Dämpfung durch den gesteuerten Widerstand $R(I_1)$ einstellbar ist. Die Steuerung von $R(I_1)$ erfolgt mit Hilfe der Konstantstromquelle $I_1$ (ohne Wechselstromanteil). Der Reihenschwingkreis wird durch die Quelle $\underline{U}_0$ angeregt. Die Reaktanzen $L$ und $C$ sind positiv reellwertig.

a) Zur folgenden Stabilitätsanalyse wird die Wirkungsfunktion $\underline{Y}_{in} = \frac{\underline{I}_0}{\underline{U}_0}$ (Eingangsadmittanz) betrachtet. Bestimmen Sie diese.

b) Definieren Sie eine weitere beliebige Wirkungsfunktion des Netzwerks, die ebenfalls zur Stabilitätsanalyse herangezogen werden könnte. Erläutern Sie ihre Wahl.
**Hinweis:** Die gefundene Wirkungsfunktion soll nicht berechnet werden.

c) Berechnen Sie die Polstellen der Eingangsadmittanz $\underline{Y}_{in}$ und bestimmen sie die Grenzwerte von $R(I_1)$, zwischen denen eine aufklingende sinusförmige Schwingung entsteht.

d) Markieren Sie in Abb. 5.2 die Bereiche der drei gezeigten Kennlinien von $R(I_1)$, in denen das in c) gewünschte Verhalten auftritt.

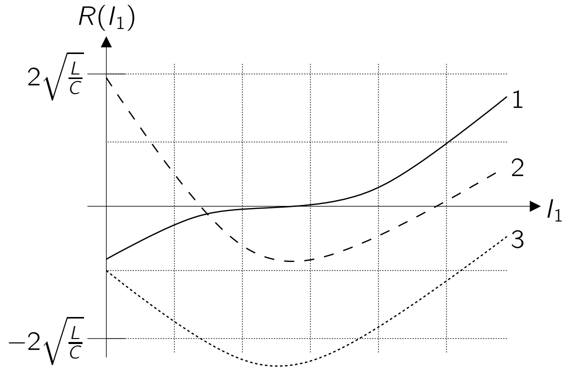



**Abbildung 5.2:** Kennlinie der Dämpfung $R(I_1)$.

e) $i_0(t)$ und $u_0(t)$ seien entsprechend Abb. 5.1 die Zeitbereichsgrößen von $\underline{I}_0$ und $\underline{U}_0$. Geben Sie eine Formel an, mit deren Hilfe der Eingangsstrom $i_0(t)$ für eine diracförmige Anregung $u_0(t) = \delta(t)$ beschrieben wird (Heavisidescher Entwicklungssatz). Erläutern Sie, welche Terme dieser Formel das Aufklingen und die sinusförmige Schwingung beschreiben.

**Aufgabe 6)** *Gleichtakt-/Gegentaktzerlegung* *Punkte: / 11*

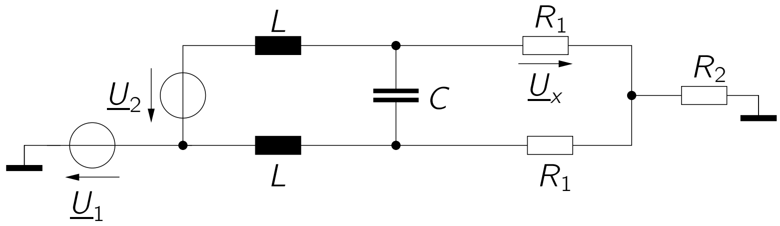



**Abbildung 6:** Zu analysierende Schaltung.

Gegeben ist das in Abb. 6 dargestellte Netzwerk mit den Quellen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$. Es gilt $R_1 \neq R_2$. Mit Hilfe der Gleichtakt-, Gegentaktzerlegung soll die Spannung $\underline{U}_x$ bestimmt werden.

a) Stellen Sie die Ansteuerung in Abb. 6 äquivalent durch eine Überlagerung von Gleichtakt- und Gegentaktquellen dar. Gegebenenfalls ist es hierzu hilfreich, zunächst äquivalente Umformungen an den Quellen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$ durchzuführen. Bestimmen Sie die Phasoren der ansteuernden Gleich- und Gegentaktquellen in Abhängigkeit von $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$.

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 $\underline{U}_x$ in Abhängigkeit von $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$.

d) Wie ändert sich das Ergebnis, wenn $R_2$ weggelassen ($R_2 \to \infty$) wird?

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

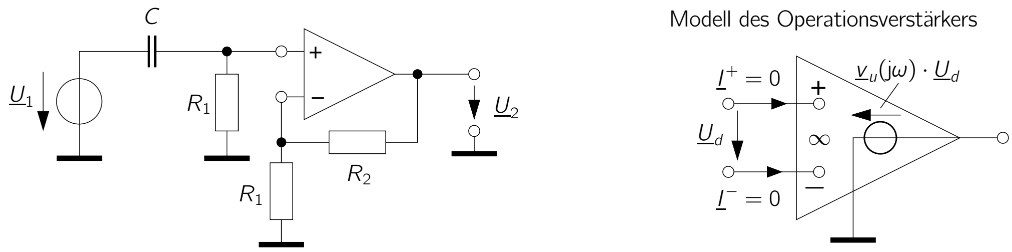



**Abbildung 7.1:** *Links:* zu analysierende Operationsverstärker-Schaltung. *Rechts:* Modell des Operationsverstärkers.

Gegeben ist die in Abb. 7.1 links gezeigte Verstärkerschaltung bestehend aus einem Hochpass mit C und R1 sowie einem nicht-invertierend beschalteten Operationsverstärker. 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?

Für den Operationsverstärker gilt im Folgenden

$$\underline{v}_u(j\omega) = \frac{v_0}{1 + \frac{j\omega}{\omega_0}}.$$

Falls Sie Aufgabenpunkt a) nicht lösen konnten, verwenden Sie hierfür und im Folgenden

$$\underline{F}(j\omega) = \frac{1}{100}\,(R_1 + R_2)\,\frac{\frac{j\omega}{\omega_0}}{1 + j\omega R_1 C}\;\frac{1}{1 + \frac{j\omega(R_1+R_2)}{100\omega_0 v_0}}.$$

c) Setzen Sie die frequenzabhängige Verstärkung des Operationsverstärkers in den Frequenzgang $\underline{F}(j\omega)$ aus Aufgabenteil a) ein und zeichnen Sie Betrag und Phase von $\underline{F}(j\omega)$ in das Bode-Diagramm auf der nächsten Seite (Abb. 7.2) ein. Verwenden Sie hierbei folgende Bauteilwerte:

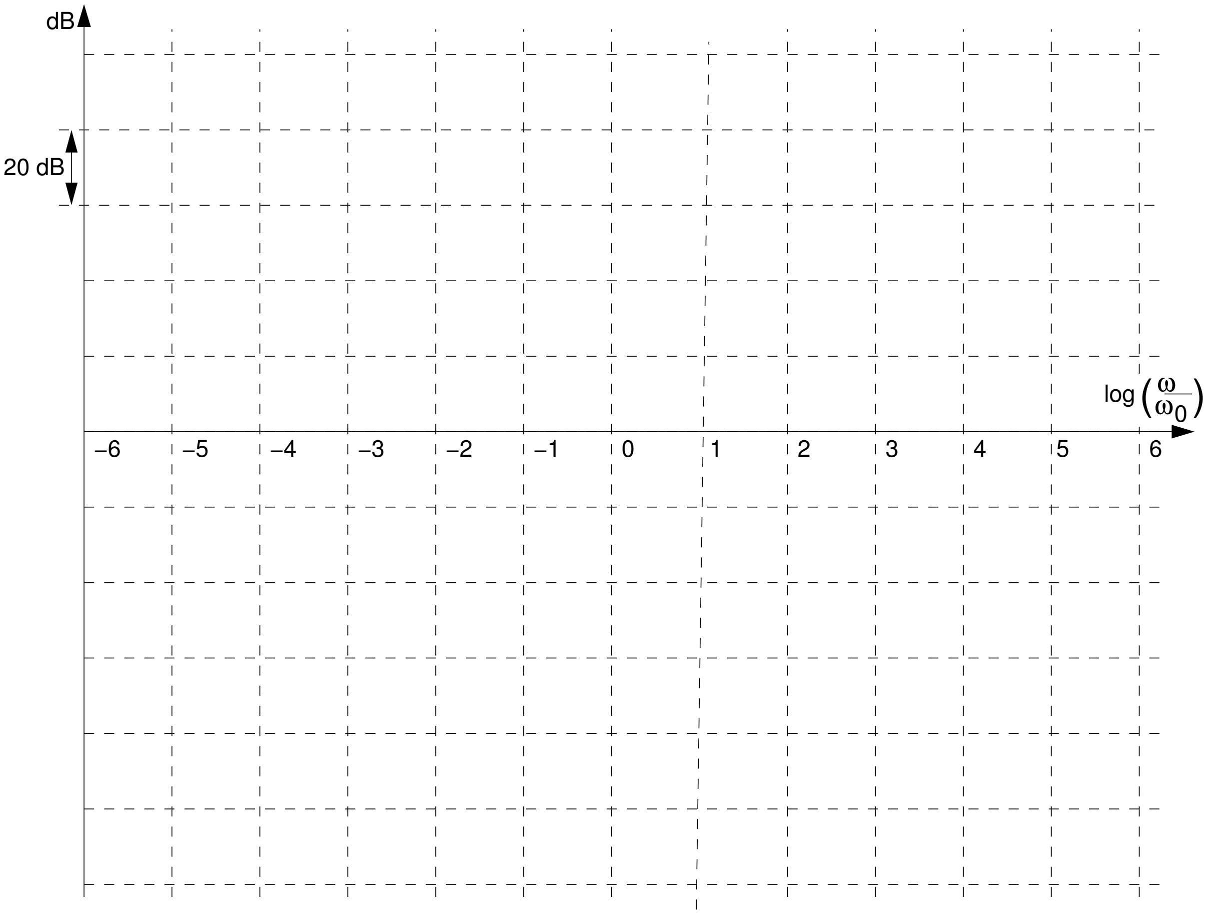
$$R_1 = 99\,\Omega, \qquad R_2 = 901\,\Omega,$$
$$C = \frac{1}{R_1\omega_0}, \qquad v_0 = 1000.$$

Markieren und geben Sie den Wert für den maximal über der Frequenz erreichten Betrag an der Betragsachse an.

d) Bei welchen (Winkel-)Frequenzen $\omega$ schneidet der Betragsgang die 0-dB-Achse?

e) Wie ändert sich das Ergebnis aus Aufgabenteil d), wenn der Widerstand $R_2$ auf einen Wert von $R_1 = 99\,\Omega$ verringert wird? Begründen Sie Ihre Antwort.

**Hinweis:** Betrachten Sie dazu anhand des analytisch bestimmten Frequenzgangs $\underline{F}(j\omega)$, wie die Knickfrequenzen und der maximale Betrag des Frequenzgangs von $R_2$ abhängen und was dies für die Schnittpunkte bedeutet.



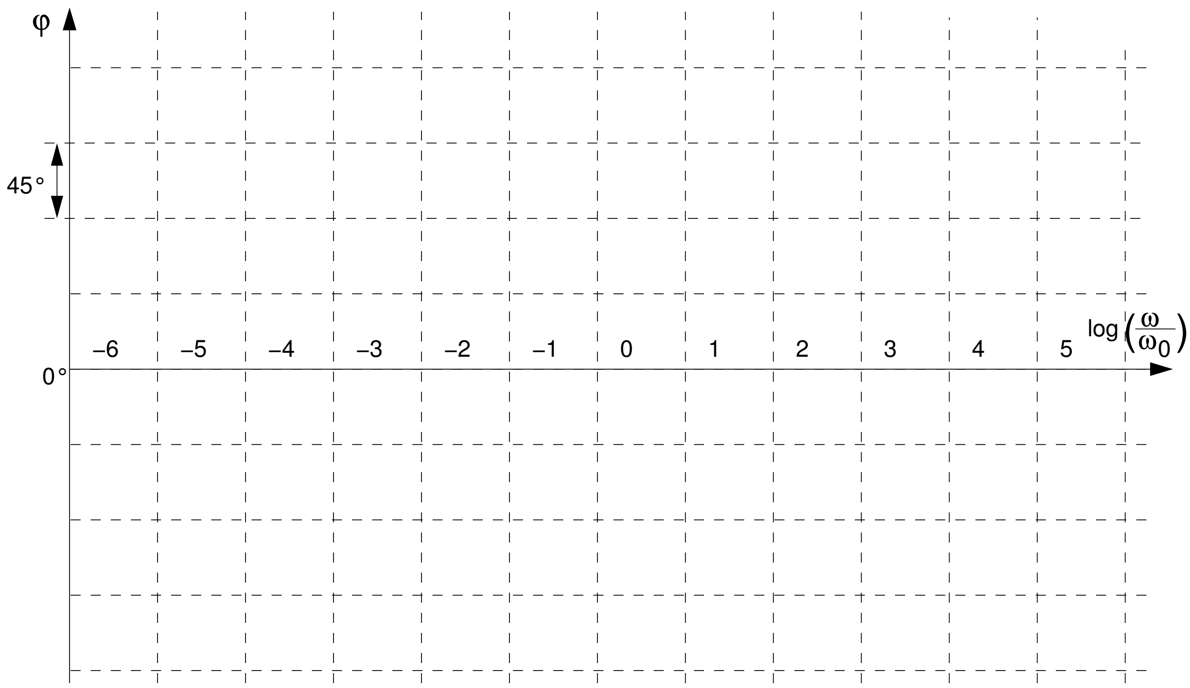




**Abbildung 7.2:** Bode-Diagramm.