



ME2700

13. Oktober 2017

## Klausur: Grundlagen der Elektrotechnik 2

Sommersemester 2017

Matrikelnummer: \_\_\_\_\_

Nachname: \_\_\_\_\_

Vorname: \_\_\_\_\_

Studiengang: \_\_\_\_\_

			$\Sigma$
33	34	33	$\Sigma 100$

### HINWEISE:

- Die Prüfung dauert 90 min.
- Die maximal erreichbare Punktzahl beträgt 100 Punkte.
- In vielen Aufgaben sind mehrere Lösungswege möglich und korrekt.
- Bitte überprüfen Sie die Korrektheit Ihrer Angaben.
- Bitte informieren Sie uns *vor* Beginn der Klausur über ein etwaiges Unwohlsein.
- Beginnen Sie *nicht* mit dem Schreiben, bevor das Institutspersonal dies offiziell erlaubt.
- Verwenden Sie bitte *kein eigenes Papier* zum Notieren Ihrer Lösungen. Sie können auf Nachfrage zusätzliche Papierbögen vom Institutspersonal erhalten.

Zuwiderhandlung führt zu Nicht-Bestehen und/oder Ausschluss von der Klausur!

### ERLAUBTE HILFSMITTEL:

- Dokumentenechter Schreiber in blau oder schwarz, Bleistift für Skizzen.
- Farbige Stifte für Hervorhebungen in allen Farben außer rot und grün, sowie ähnlichen Farbtönen.
- Unterlagen aller Art.

### NICHT ERLAUBTE HILFSMITTEL:

- Elektronische Hilfsmittel (Taschenrechner, Mobiltelefone etc.). Bitte überprüfen Sie, dass Ihr Mobiltelefon vollständig deaktiviert und nicht leicht zugänglich verstaut ist.

Unterschrift (gelesen und verstanden): \_\_\_\_\_

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg!



## Aufgabe 1: Zeitbereich

			$\Sigma$
9	14	10	$\Sigma 33$

### a) Wissen & Verständnis (9 Punkte)

Der in Abbildung 1 dargestellte Sprung wird als Eingangsspannung  $u_{\text{in}}(t)$  auf die drei Schaltungen in Abbildung 2 gegeben. Abbildung 3 (i) bis (iii) zeigen die entsprechenden Verläufe der Ausgangsspannung  $u_{\text{out}}(t)$ . Ordnen Sie jeder der drei Schaltungen die dazugehörige Sprungantwort zu. Begründen Sie Ihre Antwort.

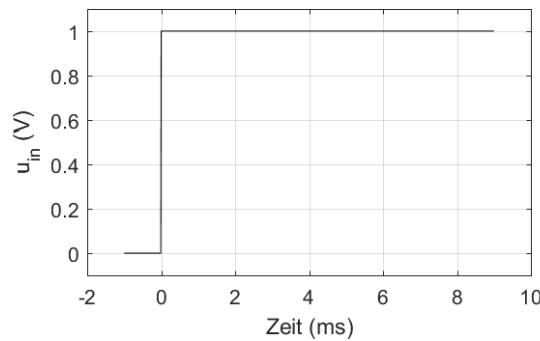


Abbildung 1: Verlauf der Eingangsspannung  $u_{\text{in}}(t)$ .

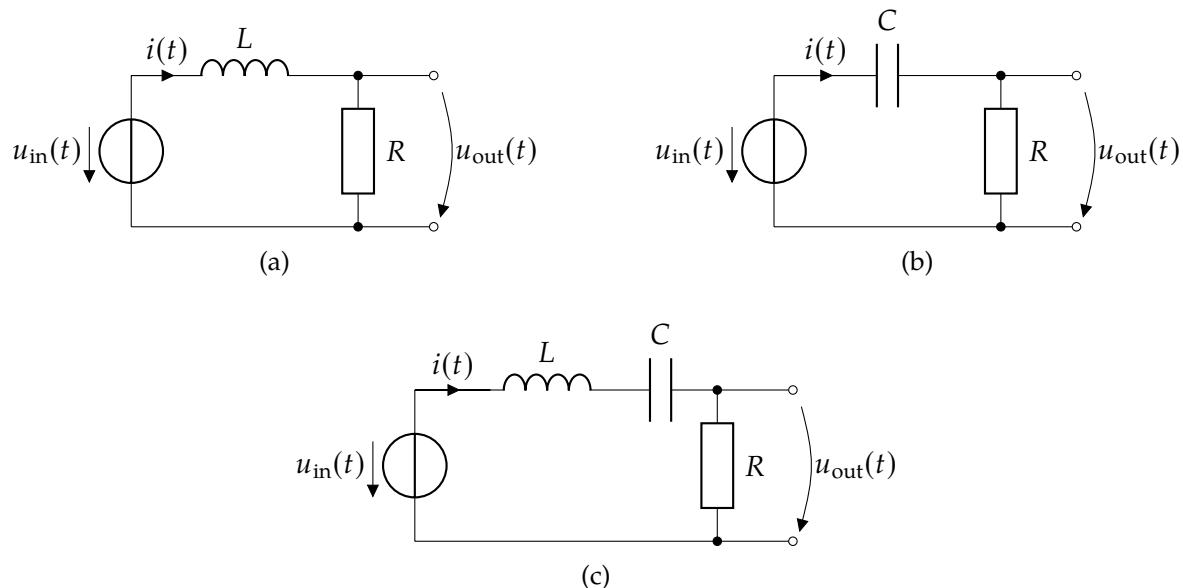
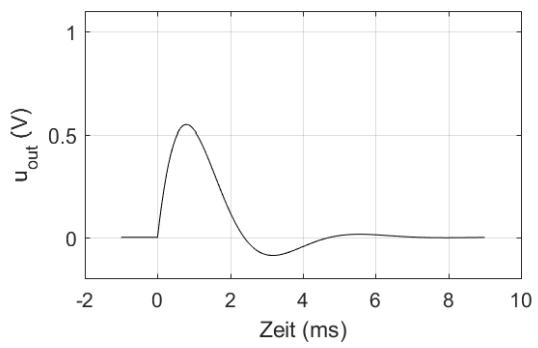
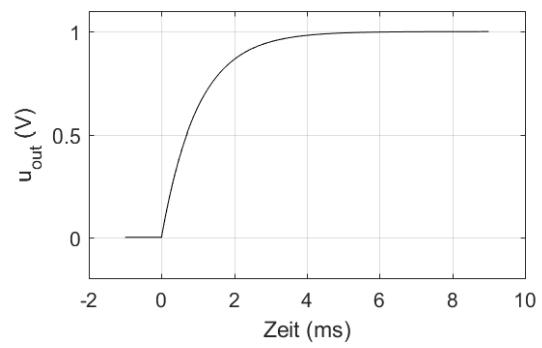


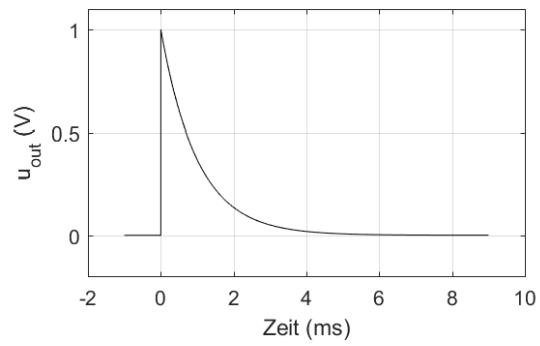
Abbildung 2: Drei Schaltungen mit dem in Abbildung 1 gegebenen Eingangsspannungsverlauf.



(i)



(ii)



(iii)

Abbildung 3: Die Sprungantworten der drei Schaltungen in Abbildung 2.

**Lösung:**

**b) Anwendung (14 Punkte)**

Betrachten Sie erneut die Schaltung in Abbildung 4a.

- i) Stellen Sie eine Differentialgleichung für den Strom  $i(t)$  in Abhängigkeit von der Eingangsspannung  $u_{\text{in}}(t)$ , sowie den Bauteilparametern  $R$  und  $L$  auf.

- ii) Bestimmen Sie die Lösung der Differentialgleichung für  $i(t = 0) = 0 \text{ A}$  und

$$u_{\text{in}}(t) = \begin{cases} 0 \text{ V}, & t < 0, \\ 1 \text{ V}, & t \geq 0. \end{cases}$$

- iii) Skizzieren Sie den Zeitverlauf des Stroms  $i(t)$  im leeren Diagramm in Abbildung 4b.

Erläutern Sie Ihren Lösungsweg für jeden der Aufgabenteile.

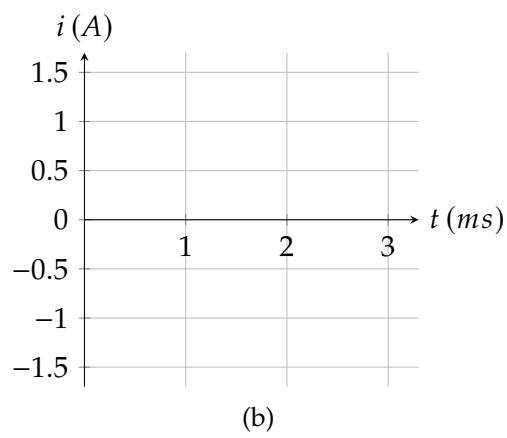
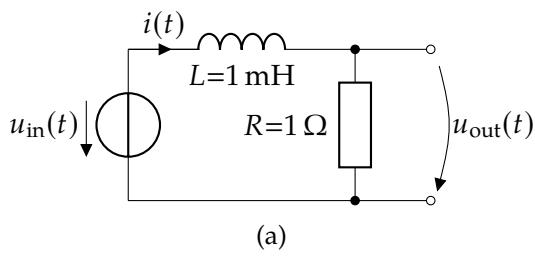


Abbildung 4

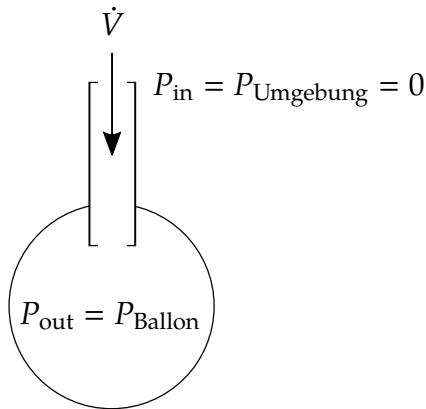
**Lösung:**

(bitte wenden)

**Lösung:**

### c) Transfer (10 Punkte)

In diesem Aufgabenteil soll ein elektrisches Ersatzschaltbild für den in Abbildung 5 schematisch dargestellten Versuchsaufbau bestimmt werden. Der Aufbau besteht aus einem elastischen, mit Luft gefüllten Ballon, sowie einem dünnen, in die Öffnung des Ballons gesteckten Rohr. In einem Experiment wurden folgende Beobachtungen gemacht:



- I) Der durch das Rohr fließende Volumenstrom  $\dot{V}$  ist proportional zur Differenz  $P_{\text{in}} - P_{\text{out}}$  der Luftdrücke an den beiden Enden des Rohrs.
- II) Die zeitliche Änderung  $\frac{dP_{\text{Ballon}}}{dt}$  des Luftdrucks im Ballon ist proportional zum in den Ballon fließenden Volumenstrom  $\dot{V}$ .
- III) Der Luftdruck  $P_{\text{Ballon}}$  im Ballon ist proportional zum Volumen  $V$  des Ballons (äquivalent zu Beobachtung II).

Abbildung 5

Im Folgenden soll der Luftdruck  $P$  durch das elektrische Potential repräsentiert werden, der Volumenstrom  $\dot{V}$  durch den elektrischen Strom  $I$ , sowie das Volumen  $V$  durch die elektrische Ladung  $Q$ .

- i) Welchen elektrischen Standardbauteilen entsprechen unter diesen Annahmen das Rohr sowie der Ballon?
- ii) Geben Sie ein elektrisches Ersatzschaltbild des gesamten, in Abbildung 5 dargestellten Versuchsaufbaus an.

Begründen Sie Ihre Antworten.

**Lösung:**

(bitte wenden)

**Lösung:**

## Aufgabe 2: Frequenzbereich

			$\Sigma$
8	14	12	$\Sigma 34$

### a) Wissen & Verständnis (8 Punkte)

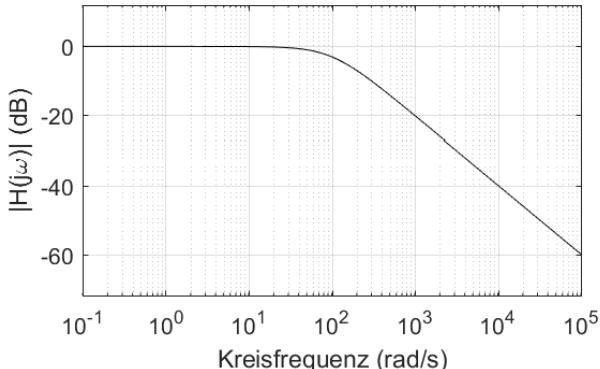
Betrachten Sie das in Abbildung 6 dargestellte Bode-Diagramm der Übertragungsfunktion

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{U}_{\text{out}}(j\omega)}{\underline{U}_{\text{in}}(j\omega)}$$

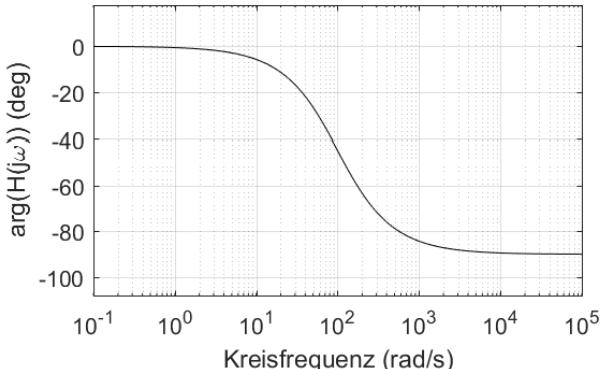
einer elektrischen Schaltung, an welche im Folgenden die Eingangsspannung

$$u_{\text{in}}(t) = 1 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$$

mit unbekannter Frequenz  $\omega$  angelegt wird. Abbildung 7 zeigt den zeitlichen Verlauf der Ausgangsspannung  $u_{\text{out}}(t)$ , welcher sich dabei an dieser Schaltung ergibt. Bestimmen Sie anhand der Signaleigenschaften der Ausgangsspannung die Periodendauer  $T_{\text{in}}$  und  $T_{\text{out}}$  der Schwingungen an Ein- und Ausgang. Erläutern Sie Ihren Lösungsweg.



(a) Betragsdiagramm



(b) Phasendiagramm

Abbildung 6: Bode-Diagramm des Übertragungsverhaltens einer elektrischen Schaltung.

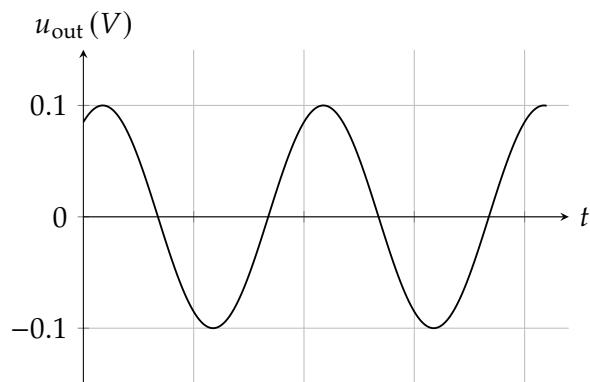


Abbildung 7: Verlauf der Ausgangsspannung an einer Schaltung mit dem in Abbildung 6 dargestellten Frequenzgang und der Eingangsspannung  $u_{\text{in}}(t) = 1 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$ .

**Lösung:**

**b) Anwendung (14 Punkte)**

Betrachten Sie die Schaltung in Abbildung 8.

- i) Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{U}_{\text{out}}(j\omega)}{\underline{U}_{\text{in}}(j\omega)},$$

und bringen Sie diese in die Normalform

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{a_2 \cdot (j\omega)^2 + a_1 \cdot (j\omega) + a_0}{(j\omega)^2 + b_1 \cdot (j\omega) + b_0}$$

mit beliebigen Konstanten  $a_0, a_1, a_2, b_0$ , und  $b_1$ .

- ii) Bestimmen Sie anhand der Übertragungsfunktion den Qualitätsfaktor  $Q$  sowie die Bandbreite  $\Delta\omega$  des Systems.

Erläutern Sie Ihren Lösungsweg.

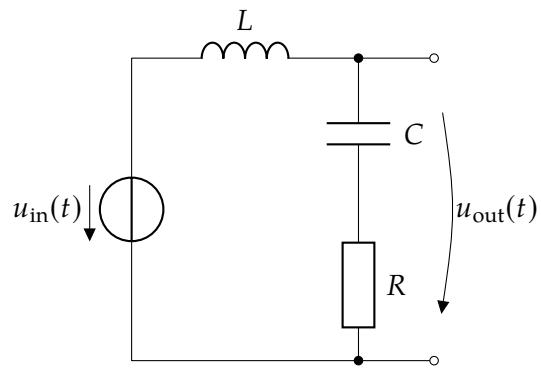


Abbildung 8

**Lösung:**

### c) Synthese (12 Punkte)

Betrachten Sie erneut das Betragsdiagramm aus Aufgabenteil a), welches zur besseren Übersicht in Abbildung 9 noch einmal dargestellt ist.

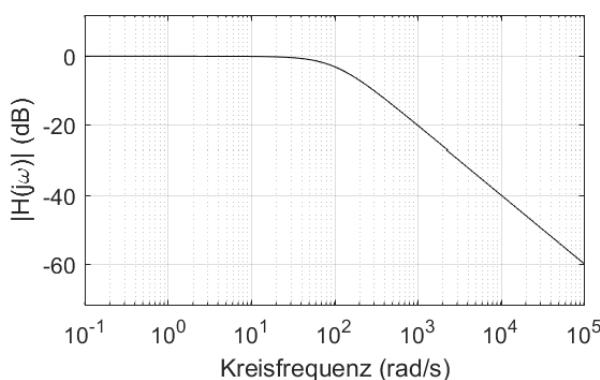


Abbildung 9: Betragsdiagramm der Übertragungsfunktion  $H(j\omega)$  der gesuchten elektrischen Schaltung.

- i) Entwerfen Sie eine Schaltung, für die sich die Übertragungsfunktion

$$H(j\omega) = \frac{U_{\text{out}}(j\omega)}{U_{\text{in}}(j\omega)}$$

qualitativ wie im Diagramm dargestellt verhält. Geben Sie ein elektrisches Ersatzschaltbild an.

- ii) Bestimmen Sie geeignete Parameterwerte für die verwendeten Bauteile, sodass das im Diagramm dargestellte Verhalten möglichst gut abgebildet wird.

Erläutern Sie Ihren Lösungsweg.

**Hinweis:** Achten Sie jeweils auf korrektes Verhalten für niedrige und hohe Frequenzen, sowie im Bereich der Knickfrequenz.

**Lösung:**

## Aufgabe 3: Operationsverstärker

			$\Sigma$
11	9	13	$\Sigma 33$

### Definition: Idealer Operationsverstärker

Wenn im Folgenden ein *idealer Operationsverstärker* verwendet wird, so bedeutet dies, dass für die interne Spannungsverstärkung  $A \rightarrow \infty$  gilt, für den internen Eingangswiderstand  $r_i \rightarrow \infty$  gilt, und für den internen Ausgangswiderstand  $r_t \rightarrow 0$  gilt.

### a) Wissen & Verständnis (11 Punkte)

Betrachten Sie die nicht invertierende Verstärkerschaltung in Abbildung 10.

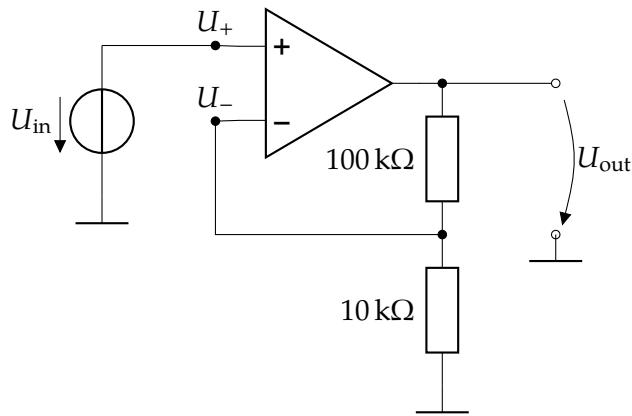


Abbildung 10

- Betrachten Sie den Operationsverstärker als *ideal* und nicht in Sättigung. Welchen Wert hat die Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$  für  $U_{\text{in}} = 1 \text{ V}$ ?

Lösung:

- ii) Am Ausgang der Verstärkerschaltung wird für eine andere Eingangsspannung  $U_{\text{in}}$  als im ersten Aufgabenteil die Spannung  $U_{\text{out}} = 10 \text{ V}$  gemessen. Laut Datenblatt hat der Operationsverstärker eine interne Spannungsverstärkung von  $A = 10^6$ . Welchen Wert muss die Differenz  $(U_+ - U_-)$  bei dieser Messung gehabt haben? Nehmen Sie weiterhin an, der interne Ausgangswiderstand  $r_t$  des Operationsverstärkers sei vernachlässigbar.

**Lösung:**

- iii) Warum steht Ihre Lösung zum obigen Aufgabenteil 3a)ii) nicht im Widerspruch zur häufig gemachten Annahme  $(U_+ - U_-) \approx 0 \text{ V}$ ?

**Lösung:**

**b) Anwendung (9 Punkte)**

Betrachten Sie die Schaltung in Abbildung 11, und bestimmen Sie den Ausgangsstrom  $i_{\text{out}}(t)$  als Funktion der Eingangsspannung  $u_{\text{in}}(t)$ , sowie der Parameterwerte  $R_1$  und  $R_2$ . Betrachten Sie den Operationsverstärker als *ideal* und nicht in Sättigung. Erläutern Sie Ihren Lösungsweg.

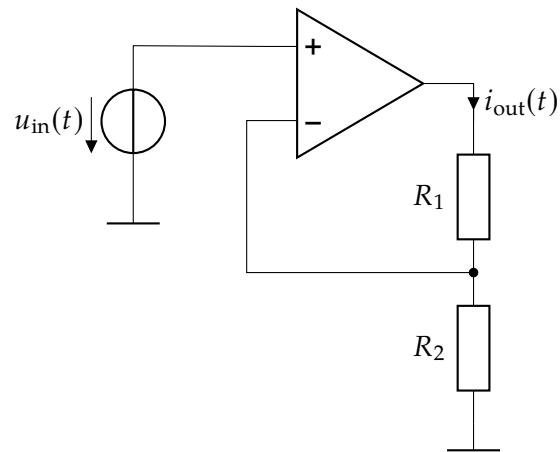


Abbildung 11

**Lösung:**

### c) Analyse (13 Punkte)

Betrachten Sie das in Abbildung 12a dargestellte, übliche Ersatzschaltbild eines Operationsverstärkers. Abbildung 12b zeigt ein modifiziertes Ersatzschaltbild, in welchem eine zusätzliche, konstante Offset-Spannung  $U_0$  eingeführt wurde, welche auf den Eingang  $U_+$  wirkt.

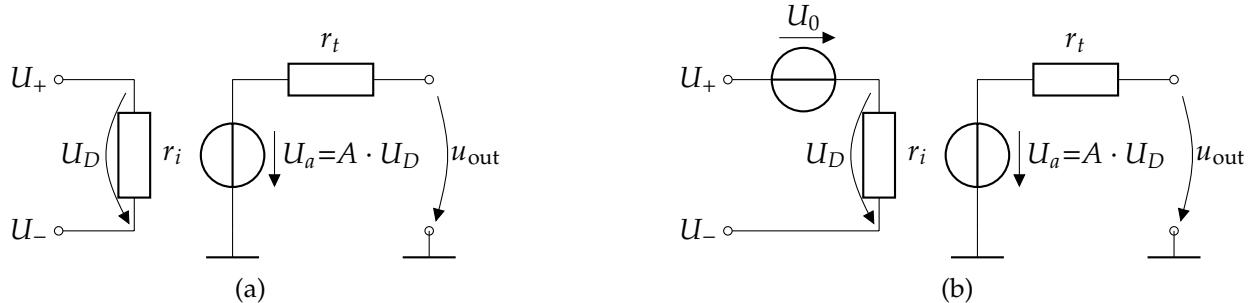


Abbildung 12: Zwei unterschiedliche Ersatzschaltbilder für einen Operationsverstärker

- Berechnen Sie für beide Ersatzschaltbilder die Ausgangsspannung  $u_{\text{out}}$ , welche sich bei  $U_+ = U_-$  einstellt. Betrachten Sie hierfür die Ausgangsklemmen als unbeschaltet (offen).
- Verwenden Sie das modifizierte Modell des Operationsverstärkers zur Analyse der in Abbildung 13 dargestellten, invertierenden Verstärkerschaltung. Geben Sie ein Ersatzschaltbild der Schaltung unter Verwendung des Operationsverstärkermodells aus Abbildung 12b an, und bestimmen Sie die Ausgangsspannung  $u_{\text{out}}(t)$  als Funktion der Eingangsspannung  $u_{\text{in}}(t)$ , sowie der Parameterwerte  $U_0$ ,  $R_1$ , sowie  $R_2$ . Nehmen Sie hierfür weiterhin an, dass  $A \rightarrow \infty$ ,  $r_i \rightarrow \infty$ , und  $r_t \rightarrow 0$ .

Erläutern Sie jeweils Ihren Lösungsweg.

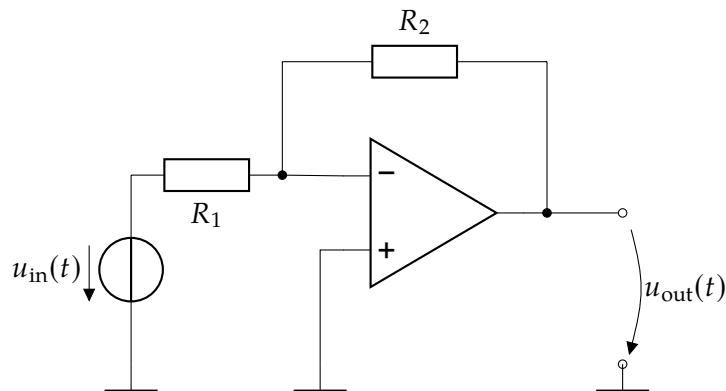


Abbildung 13

**Lösung:**