

Institut für Biomedizinische Technik,  
Karlsruher Institut für Technologie

Fritz-Haber-Weg 1  
76131 Karlsruhe  
Tel.: 0721/608-42650

### **Lineare Elektrische Netze**

Leiter: Prof. Dr. rer. nat. Olaf Dössel  
Tel: 0721 608-42650  
Olaf.Doessel@kit.edu

Übungsleiter: Dipl.-Ing. G. Lenis  
Tel: 0721 608-45478  
Gustavo.Lenis@kit.edu

---

#### Übungsblatt Nr. 3: Operationsverstärker

Einige der folgenden Aufgaben entstammen alten Klausuren. Darin kommen zum Teil komplexe Zahlen vor. Die komplexen Zahlen werden in der Vorlesung in Kapitel 4 eingeführt und im dritten Tutorium ausführlich behandelt. Um dieses Übungsblatt zu lösen, ist kein tiefergehendes Wissen über die komplexen Zahlen notwendig.

Empfohlen für die Übung: Aufgaben 11, 13  
Empfohlen für Zuhause: Aufgaben 12, 14

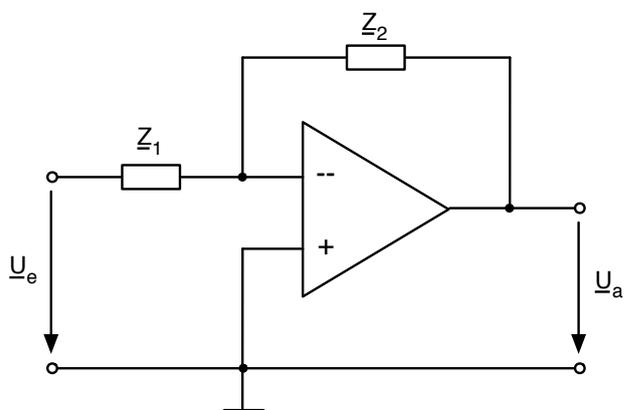
Die für die Übung empfohlenen Aufgaben dienen als Orientierung und sollen eine grobe Richtlinie darstellen, welche Aufgaben vom Umfang und Schwierigkeitsgrad her in der Zeit der Übung zu schaffen sind.

Letztendlich entscheidet der Übungsleiter, welche Aufgaben in der Übung behandelt werden.

Zusätzlich wird empfohlen, die nicht in der Übung behandelten Aufgaben zu Hause zu bearbeiten.

**Aufgabe 11**

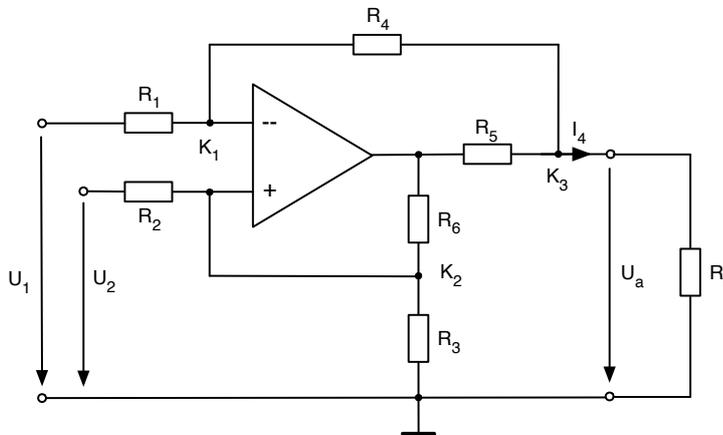
Gegeben ist folgende Operationsverstärkerschaltung (idealer OP):



Leiten Sie das Spannungsverhältnis  $\frac{\underline{U}_a}{\underline{U}_e}$  her. Verwenden Sie  $\underline{Z}$  so, als sei es ein Widerstand.

**Aufgabe 12**

Betrachtet wird die folgende Operationsverstärker-Schaltung, bestehend aus einem idealen Operationsverstärker und den Widerständen  $R_1$  und  $R_6$  und  $R_L$ .

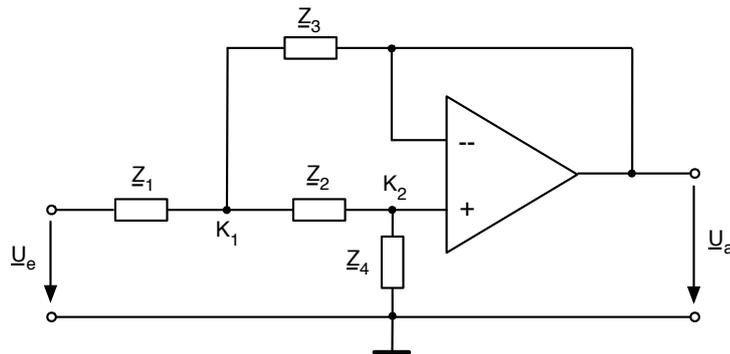


*Hinweis* : Gehen Sie in allen Operationsverstärker-Aufgaben dieser Vorlesung von vorherrschender Gegenkopplung aus.

- (a) Die Schaltung ist nicht belastet ( $R_L \rightarrow \infty$ ). Für die Widerstände  $R_5$  und  $R_6$  gilt:  
 $R_5 = 0\Omega$ ,  $R_6 \rightarrow \infty$ . Berechnen Sie für die entstehende Schaltung die Ausgangsspannung  $U_a = f(U_1, U_2)$  als Funktion der beiden Eingangsspannungen  $U_1$  und  $U_2$ .
- (b) Finden Sie eine Bedingung für die Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  und  $R_4$  so, dass die Ausgangsspannung  $U_a = f(U_1, U_2)$  aus Aufgabenteil a) nur die Differenz der Eingangsspannungen verstärkt (Beweis).  
 Wie sieht dann die Ausgangsspannung  $U_a = f(U_1, U_2)$  aus?
- (c) Nun ist  $R_6$  endlich und  $R_5$  von Null verschieden, es gilt  $R_1 = R_4 = R_6$  und  $R_2 = R_3$ ,  $U_2$  wird mit Masse verbunden. Aus dieser Schaltung soll eine Konstantstromquelle entstehen, d.h. der Ausgangsstrom  $I_a = f(U_1, U_a)$  soll unabhängig von der Ausgangsspannung sein.  
 Berechnen Sie zunächst den Ausgangsstrom  $I_a = f(U_1, U_a)$  bei angeschlossener Last  $R_L$ .  
 Wie muss nun  $R_2$  gewählt werden, damit eine Konstantstromquelle vorliegt?

*Hinweis* : Betrachten Sie die Knoten  $K_1$ ,  $K_2$ , und  $K_3$ , bestimmen Sie die Ströme und finden Sie dadurch  $I_a = f(U_1, U_a)$ .

## Aufgabe 13



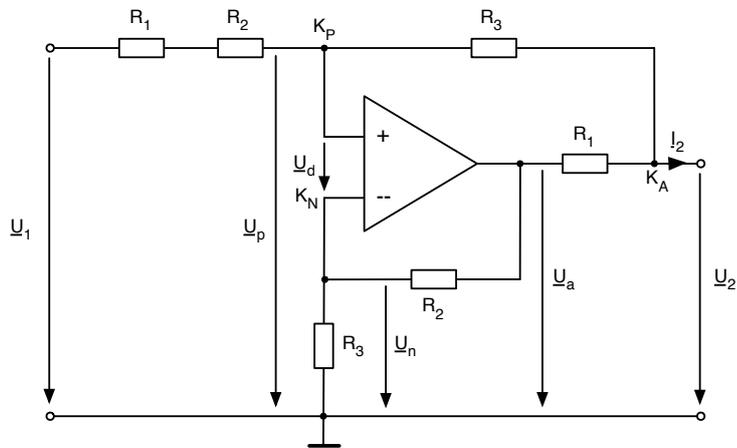
- (a) Berechnen Sie das Spannungsverhältnis  $\frac{U_a}{U_e}$  in Abhängigkeit von  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  und  $Z_4$ .  
Verwenden Sie  $Z$  so, als sei es ein Widerstand.  
(*Hinweis* : Stellen Sie die Knotengleichungen für  $K_1$  und  $K_2$  auf.)

Im folgenden sind  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  und  $Z_4$  durch folgende Bauteile bestimmt:  
 $R_1 = 33k\Omega$ ,  $R_2 = 1k\Omega$ ,  $C_3 = 10nF$  und  $C_4 = 22nF$ . Dabei gilt  $Z_1 = R_1$ ,  
 $Z_2 = R_2$ ,  $Z_3 = \frac{1}{j\omega C_3}$  und  $Z_4 = \frac{1}{j\omega C_4}$ .

- (b) Setzen Sie die Bauteilwerte in das Spannungsverhältnis  $\frac{U_a}{U_e}$  ein. Vereinfachen Sie das Verhältnis, wenn die Frequenz im Bereich  $f \in [10; 500]Hz$  bleiben soll. Beachten Sie dabei den Zusammenhang  $\omega = 2\pi f$ .

**Aufgabe 14**

Folgende ideale Operationsverstärkerschaltung sei gegeben:



- (a) Beschreiben Sie, ausgehend von den Knotengleichungen an den Knoten  $K_P$ ,  $K_N$  und  $K_A$ , die Abhängigkeit von  $\underline{I}_2$  als Funktion von  $\underline{U}_1$  und  $\underline{U}_2$ . Nehmen Sie an, dass der Ausgang belastet sei.
- (b) Welche Bedingung muss gelten, damit  $\underline{I}_2$  unabhängig von  $\underline{U}_2$  wird?
- (c) Nun gelte  $\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_1} + \frac{\underline{U}_2(\underline{Z}_2 - \underline{Z}_3)}{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3}$ . Der Ausgang sei dabei nicht belastet. Ausserdem gilt  $\underline{Z}_2 \neq \underline{Z}_3 \neq \underline{Z}_1$ . Bestimmen Sie das Verhältnis  $\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}$ .
- (d) Es sei nun  $\underline{Z}_1 = j\Omega$ ,  $\underline{Z}_2 = -j11\Omega$ ,  $\underline{Z}_3 = (1 - j)\Omega$ . Berechnen Sie nun  $\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}$ .