

Elektronische Schaltungen SS 2020

4. Tutoriumsblatt - Lösung

Verstärkerschaltung und Operationsverstärker

– Abgabe –

Aufgabe 1

- a) Links: invertierender Verstärker
Rechts: nichtinvertierender Verstärker

- b) Die Verstärkung u_{a1}/u_{e1} berechnet sich zu

$$\frac{u_{a1}}{u_{e1}} = -\frac{R_2}{R_1} = -0,5$$

- Die Verstärkung u_{a2}/u_{e2} berechnet sich zu

$$\frac{u_{a2}}{u_{e2}} = 1 + \frac{R_6}{R_5} = 51$$

- c) Die Verstärkung des zweiten OPs ist laut Datenblatt bis zur Frequenz $f_g \approx 500$ kHz gegeben.

- d) Die Verstärkung des ersten OPs beträgt $-0,5$, die des zweiten beträgt 51 . Zusammen ergibt sich $A_1 \cdot A_2 = -25,5$. Damit sich eine Verstärkung von $-12,25$ einstellt muss der Spannungsteiler aus R_3 und R_4 die Ausgangsspannung u_{a1} etwa halbieren. Somit ergibt sich: $u_{e2} = u_{a1}/2$ und $R_4 = R_3 = 470$ k Ω .

- e) Die Verstärkung der Schaltung beträgt $-12,25$. Bei der Versorgungsspannung von $+/- 12$ V und einer Last von 10 k Ω beträgt die maximale Ausgangsspannung des OP (siehe Datenblatt) jedoch nur etwa $+/- 10,5$ V. Somit gilt:

$$I_{a2} = \frac{|10,5 \text{ V}|}{R_L} = 1,05 \text{ mA}$$

– Im Tutorium –

Aufgabe 2

a) Die Eigenschaften eines idealen Operationsverstärkers sind:

Eingangswiderstand: $r_e \rightarrow \infty$

Ausgangswiderstand: $r_a \rightarrow 0$

Leerlaufverstärkung: $A_0 \rightarrow \infty$

b) Die Gesamtverstärkung berechnet sich zu

$$\begin{aligned}|A| &= |A_1| \cdot |A_2| \\ |A_1| &= \frac{R_2}{R_1} = \frac{100 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} = 10 \\ |A_2| &= \frac{R_4}{R_3} = \frac{1 \text{ M}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} = 100 \\ |A| &= 1000\end{aligned}$$

Bestimmung der Grenzfrequenz:

Aus dem Diagramm ist zu erkennen, dass ab einer Frequenz von 10^4 Hz die Verstärkung abnimmt (um Faktor 10 bei einer Erhöhung der Frequenz um den gleichen Faktor).

→ Bestimmend für f_{g1} ist der Verstärker mit der größeren Verstärkung

→ bei $|A| = 100$ aus Diagramm: $f_{g1} = 10^7$ Hz

c) Bedingung: $|A| = 100$ bei $f_{g2} = 10^8$ Hz

Prüfung anhand des Diagramms: bei $f = 10^8$ Hz $\rightarrow |A|_{\max} = 10$, da die Gesamtverstärkung $|A| = |A_1| \cdot |A_2|$ ist, muss $|A_1| = |A_2| = 10$ sein.

Bei $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ und $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ ist diese Bedingung erfüllt. Damit werden:

$$R_3 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 100 \text{ k}\Omega$$

Aufgabe 3

a) Die Grundsaltung der Aufgabe ist ein nichtinvertierender Verstärker mit einer Gleichspannung von U_Z am nichtinvertierenden Eingang.

Da am invertierenden Eingang nur die Ausgangsspannung U_{ref} über einen Spannungsteiler anliegt, wird sich dort die gleiche Spannung wie am nichtinvertierenden Eingang einstellen, damit die Differenzspannung $U_D = 0$ wird.

$$\rightarrow U_e = U_Z$$

Die Verstärkung des nichtinvertierenden Verstärkers ist:

$$A = \frac{U_a}{U_e} = \frac{U_{\text{ref}}}{U_Z} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$
$$\rightarrow U_{\text{ref}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_Z$$

b) Der Widerstand R_3 hat die Aufgabe, den Strom durch die Zenerdiode zu begrenzen.

c) Mit der Formel aus a) berechnet sich R_2 zu

$$R_2 = \left(\frac{U_{\text{ref}}}{U_Z} - 1\right) R_1 = 8,5 \text{ k}\Omega$$

d) Der Widerstandswert für R_3 berechnet sich zu

$$I_Z = \frac{U_{\text{ref}} - U_Z}{R_3}$$
$$\rightarrow R_3 = \frac{5 \text{ V} - 2,7 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 2,3 \text{ k}\Omega$$
$$\rightarrow \text{E24-Reihe: } R_3 = 2,2 \text{ k}\Omega$$

Aufgabe 4

a) Die Grundsaltung ist ein invertierender Addierer.

b) Der nichtinvertierende Eingang liegt an Masse \rightarrow Potential am invertierenden Eingang ist ebenfalls 0 V. OP ist ideal $\rightarrow r_e \rightarrow \infty \rightarrow$ es fließt kein Strom in den Eingang.

Die Knotenregel am invertierenden Eingang liefert

$$i_1 + i_2 + i_3 + i = 0 \rightarrow i = -(i_1 + i_2 + i_3)$$

Daraus ergibt sich für die Ausgangsspannung

$$\begin{aligned} \frac{u_a}{R_n} &= - \left(\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \frac{u_3}{R_3} \right) \\ u_a &= - \left(u_1 \frac{R_n}{R_1} + u_2 \frac{R_n}{R_2} + u_3 \frac{R_n}{R_3} \right) \\ &= -(10u_1 + 5u_2 + 2u_3) \end{aligned}$$

Ergebnis: Die einzelnen Eingangsspannungen werden im Verhältnis der Widerstände R_n zu R_i verstärkt und addiert.

Die Gesamtsaltung wird auch als Umkehraddierer bezeichnet, da alle Eingangsspannungen am invertierenden Eingang des OP anliegen.

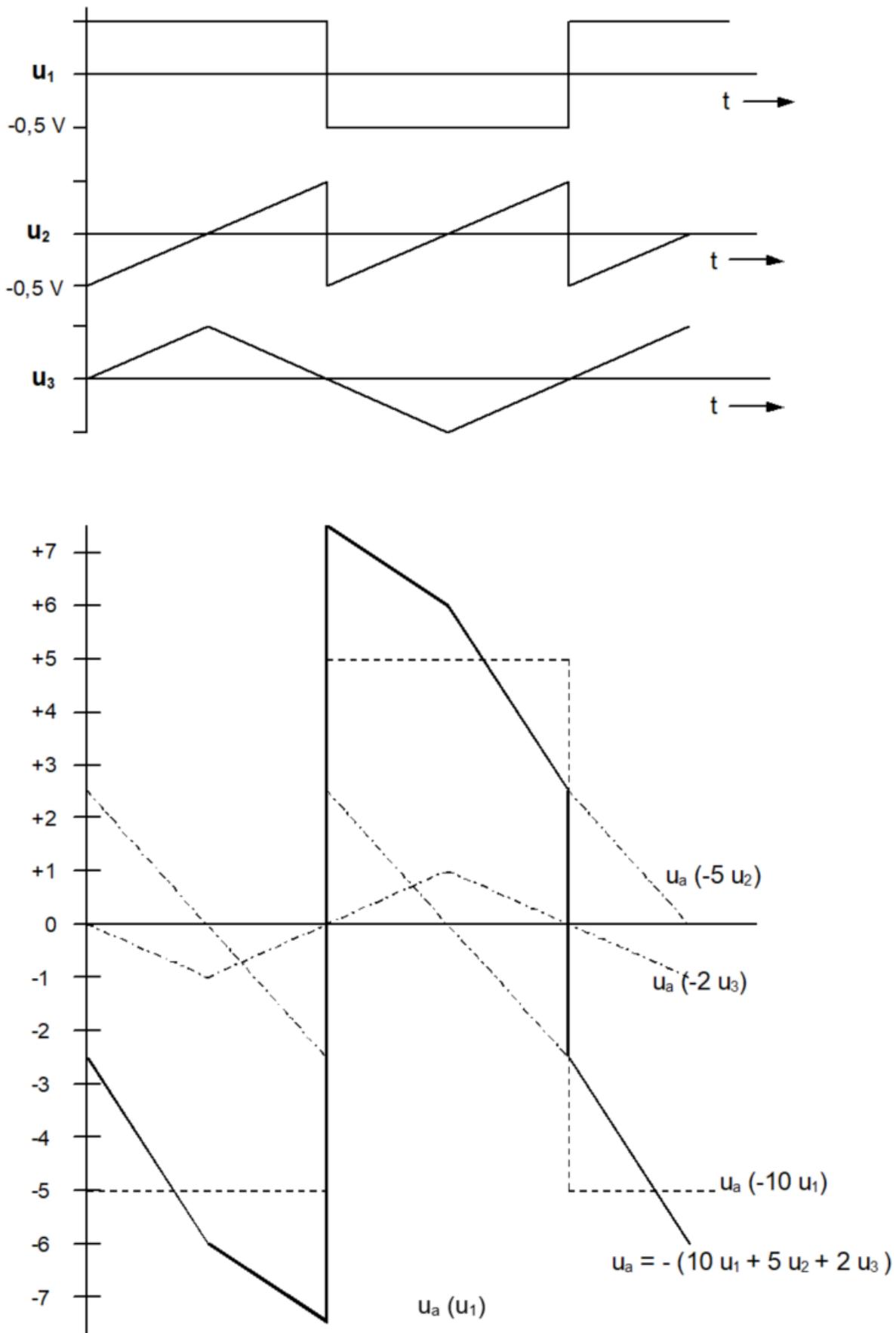


Abbildung 1

– Optional –

Aufgabe 5

- a) Die Grundschaltung ist ein Differenzverstärker.
- b) Das Großsignalersatzschaltbild ist in Abbildung 3 zu sehen.

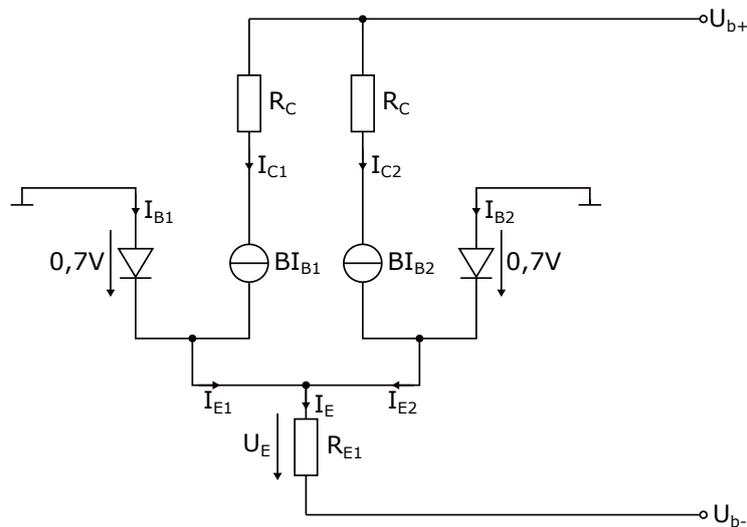


Abbildung 2

- c) Berechnung von I_C

$$U_{BE1} + U_E + (-U_b) = 0 \rightarrow U_E = U_b - U_{BE1} = 5\text{ V} - 0,7\text{ V} = 4,3\text{ V}$$

$$I_E = \frac{U_E}{R_{E1}} = \frac{4,3\text{ V}}{2\text{ k}\Omega} = 2,15\text{ mA}$$

da $B_1 = B_2 \rightarrow I_{E1} = I_{E2}$, außerdem gilt $I_E = I_{E1} + I_{E2}$

$$\text{da } B_1 = B_2 \gg 1 \rightarrow I_{C1} = I_{C2} = \frac{I_E}{2} = 1,075\text{ mA}$$

Berechnung von U_{CE}

$$U_{CE1} = U_{CE2} = [+U_b + (-U_b)] - U_E - R_C \cdot I_C = 10\text{ V} - 4,3\text{ V} - 2,15\text{ V} = 3,55\text{ V}$$

- d) Das Kleinsignalersatzschaltbild ist in Abbildung 3 zu sehen. Da beide Zweige identisch sind reicht die Berechnung von nur einer Hälfte (aber mit $2 R_E$).

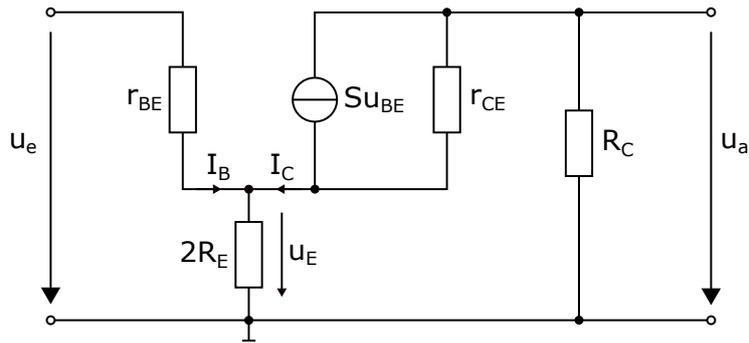


Abbildung 3

e) Der Gleichtakt-Eingangswiderstand r_e der Schaltung berechnet sich zu (Schaltung ist eine Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung)

$$\begin{aligned}
 r_e &= r_{BE} + 2\beta R_E, \quad \text{mit } r_{BE} = \frac{\beta}{S} \text{ und } S = \frac{I_{C,A}}{U_T} \text{ ist } r_{BE} = \frac{\beta U_T}{I_{C,A}} = 9674 \Omega \\
 &= 9,674 \text{ k}\Omega + 2 \cdot 400 \cdot 2 \text{ k}\Omega \\
 &= 1,6 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

f) Die Gleichtaktverstärkung berechnet sich zu

$$A_G = -\frac{u_{a1}}{u_G} = -\frac{u_{a2}}{u_G} = -\frac{R_C}{2 \cdot R_E} = -\frac{2 \text{ k}\Omega}{2 \cdot 2 \text{ k}\Omega} = -0,5$$

g) Die Gegentaktverstärkung berechnet sich zu

$$\begin{aligned}
 A_D &= \frac{\Delta u_{a2}}{\Delta u_D} = -\frac{\Delta u_{a1}}{\Delta u_D} = \beta \cdot \frac{R_C \parallel r_{CE}}{2r_{BE}}, \quad \text{mit } r_{BE} = \frac{\beta}{S} \text{ und } r_{CE} \gg R_C \\
 A_D &\approx \frac{1}{2} S \cdot R_C, \quad \text{mit } S = \frac{I_C}{U_T} = \frac{1,075 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 41,35 \text{ mS} \\
 &= \frac{41,35 \text{ mS} \cdot 2 \text{ k}\Omega}{2} \\
 &= 41,35
 \end{aligned}$$

h) Der Gleichtaktunterdrückungsfaktor berechnet sich zu

$$G = \frac{|A_D|}{|A_G|} = \frac{41,35}{0,5} = 82,7$$