

Vorbereitungsaufgaben: Analogelektronik

1. Aufgabe:

Nennen Sie die Eigenschaften eines idealen und realen Operationsverstärkers.

Eigenschaften eines idealen OPs:

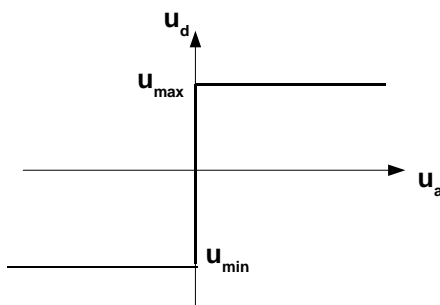
- unendlich großer Verstärkungsfaktor $v_o = \frac{u_a}{u_d}$
- unendlich großer Eingangswiderstand R_E
- Ausgangswiderstand $R_A = 0$
- $i_E = 0$
- Frequenzbereich unbeschränkt: $f_{\min} = 0 \rightarrow f_{\max} = \infty$

Eigenschaften eines realen OPs:

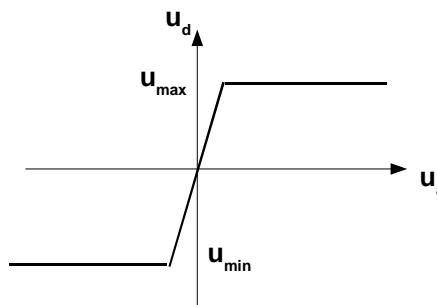
- endlich großer Eingangswiderstand $R_E \gg 1\text{M}\Omega$
- Ausgangswiderstand begrenzt durch Betriebsspannung
- $i_E \rightarrow 0$
- endliche positive/negative Betriebsspannung
- \rightarrow Frequenzbereich beschränkt

Spannungsverhältnis:

ideal:



real:



2. Aufgabe:

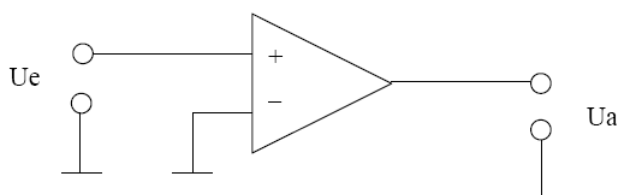
Gegeben sind folgende Schaltungen.

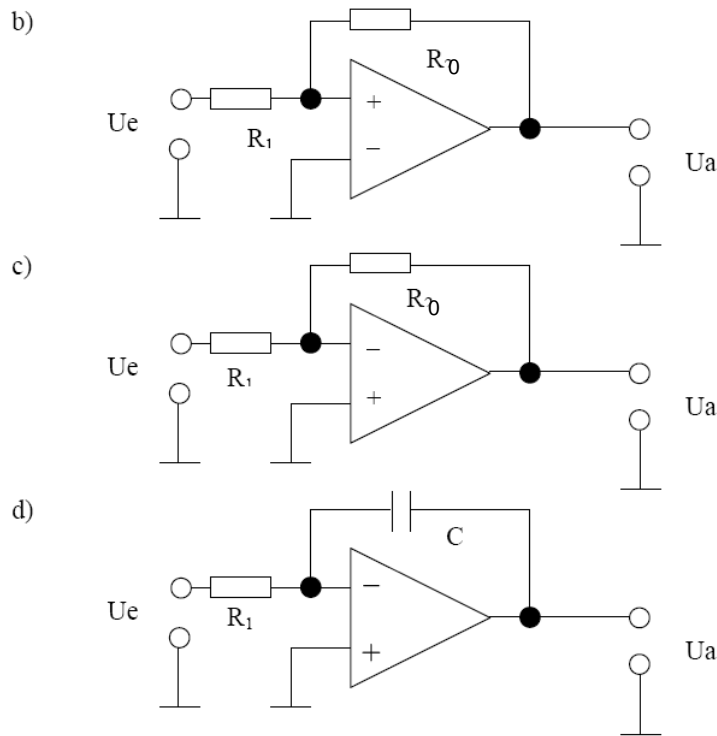
- i) Benennen Sie diese.
- ii) Auf welche Art werden die Schaltungen rückgekoppelt?
- iii) Berechnen Sie die Übertragungsfunktion und erklären Sie die Funktionsweise der Schaltungen.
- iv) Skizzieren Sie dabei kurz die Signalverläufe von U_a im Zeitbereich während der ersten zwei Perioden für a) bis c). Benennen Sie die Achsen.

Daten:

$U_e = 10\text{V} \cdot \sin(\omega t)$; $\omega = 2\pi f$; $f = 1\text{kHz}$; $R_1 = 1\text{k}\Omega$; $R_0 = 2\text{k}\Omega$; $C = 1\text{mF}$, maximale Ausgangsspannungen der OPVs sind auf $U_a = \pm 10\text{V}$ begrenzt.

a)





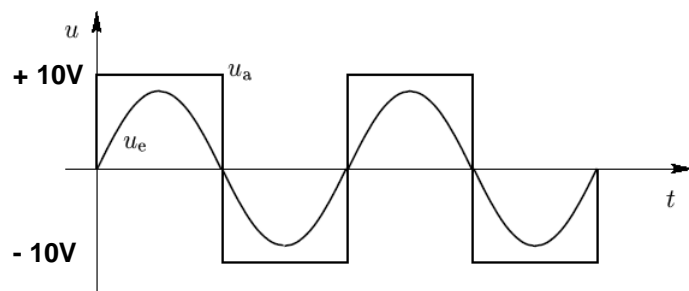
Zu a): **Komparator**
Es findet keine Rückkopplung statt.

Funktionsweise: Vergleich der beiden Spannungen, die am + und – Eingang anliegen. Je nachdem, welche größer ist, ergibt sich ein positives oder negatives Signal.

Spezialfall: Eine Spannung wird konstant auf 0V gehalten
=> Nullwertkomparator

Übertragungsfunktion: Signum-Funktion

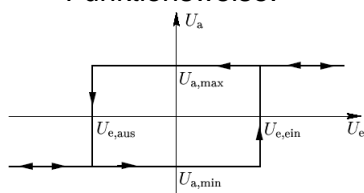
Signalverlauf:



[Allerdings erreicht U_e bei uns auch das Maximum $U_{a,max} = 10V$]

Zu b): **Schmitt-Trigger**
Es findet eine Mitkopplung statt, da die Rückkopplung auf den nicht invertierten Eingang erfolgt.

Funktionsweise:



Es erfolgt eine Mitkopplung, allerdings fallen Ein- und Ausschaltpegel nicht zusammen, sondern unterscheiden sich um die Schalthysterese, d.h. das Umschalten auf die maximale bzw. minimale Ausgangsspannung erfolgt nicht beim Nulldurchgang der Eingangsspannung.

Übertragungsfunktion: Knotenregel:

$$i = i_0 + i_1$$

$$\text{hier: } i \approx 0 \Rightarrow i_0 = -i_1$$

Maschenregeln:

$$u_e = u_{R1} + u_d = i_1 \cdot R_1 + u_d$$

$$u_a = u_{R0} + u_d = i_0 \cdot R_0 + u_d$$

$$\text{umstellen: } i_1 = \frac{u_e - u_d}{R_1} = -i_0 \Rightarrow i_0 = \frac{u_d - u_e}{R_1}$$

$$\text{einsetzen: } u_a = \frac{u_d - u_e}{R_1} \cdot R_0 + u_d$$

auflösen nach u_d :

$$u_d = u_a - \frac{u_d \cdot R_0}{R_1} + \frac{u_e \cdot R_0}{R_1}$$

$$\Leftrightarrow u_d + u_d \cdot \frac{R_0}{R_1} = u_d + u_e \cdot \frac{R_0}{R_1}$$

$$\Leftrightarrow u_d \frac{R_0 + R_1}{R_1} = \frac{R_1 \cdot u_d + R_0 \cdot u_e}{R_1}$$

$$\Leftrightarrow u_d = \frac{R_1}{R_0 + R_1} u_a + \frac{R_0}{R_0 + R_1} u_e$$

Im Umschaltpunkt ist $u_d = 0$! Damit ergibt sich:

$$\Rightarrow \frac{R_1}{R_0 + R_1} U_a = - \frac{R_0}{R_0 + R_1} U_e$$

$$\Leftrightarrow U_e = - \frac{R_1}{R_0} U_a$$

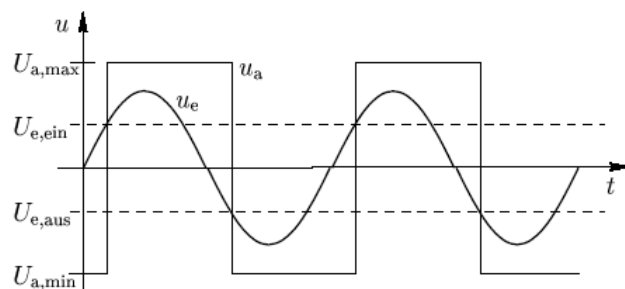
Mit $U_{a, \max}$ errechnet man so $U_{e, \text{aus}}$ und

mit $U_{a, \min}$ errechnet man $U_{e, \text{ein}}$

Hier:

$$U_{e, \text{aus}} = 5V$$

Signalverlauf:



[Auch hier sind eigentlich $U_{a, \max}$ und $U_{e, \max}$ gleich]

Zu c):

invertierender Verstärker

Es findet eine Gegenkopplung statt, da das Ausgangssignal auf den invertierenden Eingang zurückgekoppelt wird.

Funktionsweise:

Der Ausgang wird über einen Widerstand R_0 auf den – Eingang zurückgekoppelt.

Die Eingangsspannung wird invertiert und verstärkt um den

$$\text{Faktor } |v_0| = \frac{R_0}{R_1} .$$

Dies ergibt sich aus der Übertragungsfunktion.

Übertragungsfunktion: Knotenregel:

$$i = i_0 + i_1$$

$$\text{hier: } i \approx 0 \Rightarrow i_0 = -i_1$$

Maschenregeln:

$$u_a = u_{R_0} - u_d = i_0 \cdot R_0 - u_d$$

$$u_e = u_{R_1} - u_d = i_1 \cdot R_1 - u_d$$

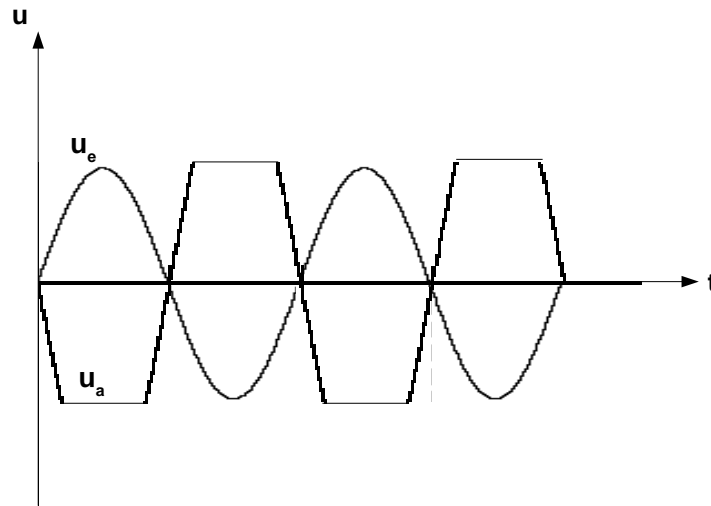
hier:

$$u_d \approx 0 \Rightarrow u_a = i_0 \cdot R_0$$

$$u_e = i_1 \cdot R_1$$

$$\Rightarrow \frac{u_a}{u_e} = \frac{i_0 \cdot R_0}{i_1} \cdot R_1 = v = -\frac{R_0}{R_1}$$

Signalverlauf:



Bei uns: $|v| = \frac{2}{1} = 2$, das heisst, U_a ist invertiert und doppelt so gross wie die Ausgangsspannung. Da der Ausgang aber auf ± 10 V begrenzt ist, werden die Wellenkämme abgeschnitten.

Zu d):

Integrierer

Es erfolgt eine Gegenkopplung, da das Ausgangssignal auf den invertierenden Eingang erfolgt.

Funktionsweise:

Die Gegenkopplung erfolgt über einen Kondensator, dass heisst wir bekommen eine zeitabhängige Spannung.

Übertragungsfunktion: Knotenregel:

$$i = i_1 + i_c$$

$$\text{hier: } i \approx 0 \Rightarrow i_1 = -i_c$$

Maschenregeln:

$$u_a = u_c - u_d$$

$$u_e = r_1 \cdot i_1 - u_d$$

hier:

$$u_d \approx 0, u_c = \frac{1}{C} \int i_c dt + U_{C_0} \quad [t=0 \Rightarrow U_{C_0}=0]$$

$$\Rightarrow u_a = \frac{1}{C} \int i_c dt$$

$$\text{und: } u_e = R_1 \cdot i_1$$

$$\Rightarrow i_1 = \frac{u_e}{R_1} \Rightarrow i_c = -\frac{u_e}{R_1}$$

Es ergibt sich:

$$\Rightarrow u_a = \frac{1}{C} \int -\frac{u_e}{R_1} dt \Rightarrow -\frac{1}{R_1 C} \int u_e dt = u_a \quad \tau = R_1 \cdot C$$

Hier: $\tau = R_1 \cdot C = 1 \text{ k}\Omega \cdot 1 \text{ mF} = 1 \text{ s}$

3. Aufgabe:

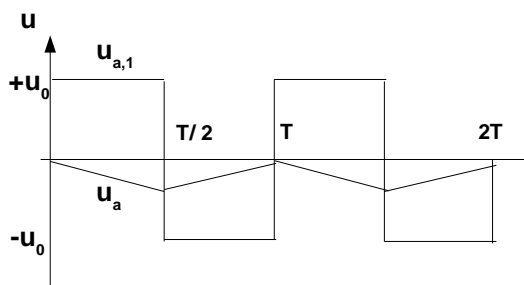
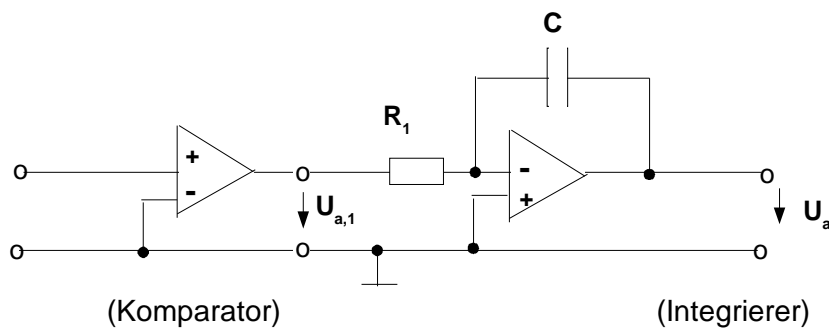
Nun werden die oberen Schaltungen miteinander verschaltet:

a) Das Sinussignal aus 2.) geht in den Eingang des Komparators. Der Ausgang des Komparators ist mit dem Eingang des Integrierers gekoppelt.

- Skizzieren Sie die Signalverläufe an den Ausgängen der beiden Operationsverstärker.
- Wie sieht das gesamte Schaltbild aus?

b) wie a), der Komparator wurde jedoch durch den Schmitt-Trigger ersetzt.

Zu a):



$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{1000} \text{ s}$$

Zu b):

