

Elektrotechnik Praktikum 3

Operationsverstärker

Aufgabe 1) Klemmenverhalten eines Operationsverstärkers (Eigenschaften, Kennwerte, Übertragungskennlinie)

Eigenschaften

Ein OPV ist ein mehrstufiger, hochverstärkender, galvanisch gekoppelter Differenzverstärker. Er kann sowohl Gleich- als auch Wechselspannung verstärken. Der OPV hat einen positiven und einen negativen Eingang, die Differenz beider Spannungen wird verstärkt auf dem Ausgang ausgegeben.

Operationsverstärker haben als Eingangsstufe immer einen Differenzverstärker. Danach kommt eine zweite Verstärkerstufe, eine Kurzschlußsicherung und am Ausgang ein Gegentaktverstärker. Dies variiert in speziellen Anwendungen. Bei zu hoher Frequenz ist keine Verstärkung möglich.

Kennwerte

→ Verstärkungsgrad oder Verstärkung

→ Leistungsverstärkung $v_p = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 \cdot I_2}{U_1 \cdot I_1} = v_u \cdot v_i$

mit Spannungsverstärkung $v_u = U_2/U_1$

→ Verhältnis Eingangs-/Ausgangsgrößen

Eingangswiderstand $R_{\text{EIN}} = U_1/I_1$

Ausgangswiderstand $R_{\text{AUS}} = U_2/I_2$

$\frac{R_{\text{AUS}}}{R_{\text{EIN}}} = \frac{U_2 \cdot I_1}{U_1 \cdot I_2} = v_u \cdot v_i$

→ Frequenzbandbreite $b = f_o - f_u$

mit f_o obere Grenzfrequenz
 f_u untere Grenzfrequenz

→ Nichtlineare Verzerrung: werden bei Verstärkern am häufigsten durch den Klüffaktor „k“ angegeben $k = \frac{\text{Effektivwert aller Oberwellen}}{\text{Effektivwert aller Harmonischen}}$

$$k = \frac{\sqrt{U_{2\text{eff}}^2 + U_{3\text{eff}}^2 + \dots}}{\sqrt{U_{1\text{eff}}^2 + U_{2\text{eff}}^2 + U_{3\text{eff}}^2 + \dots}}$$

k wird meist in Prozent angegeben

→ Störabstand $\left| \frac{U_{2\text{ nutz}}}{U_{2\text{ stör}}} \right|$

- gibt die maximale Nutzspannung zur Störspannung am Ausgang des Verstärker an
- die Störspannung misst man bei voll aufgedrehten Lautstärkeregler und kurzgeschlossenem Eingang (Eingangssignal = 0)

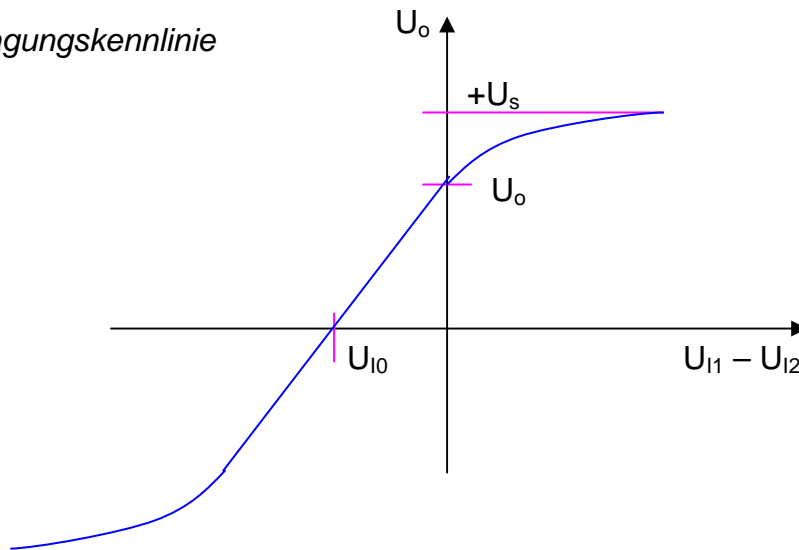
→ Einschwingen

- durch starke Impulse können die im Verstärker durch die Bauelemente und deren Aufbau ungewollte entstanden Schwingkreis zum Schwingeneinsatz angestoßen werden
- Untersuchung: Rechteckspannung am Eingang anlegen und Ausgang oszillografieren

→ Brumm – Modulation: die durch ungewollte Siebung der Netzbrummspannung im Ausgangskreis der Endverstärker herrührende Brummmodulation ermittelt man durch

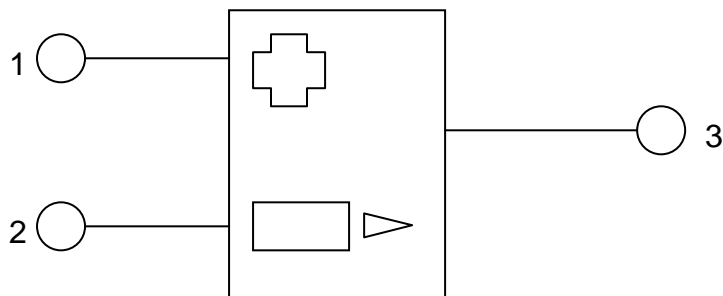
den Modulationsgrad m_{Br} als Verhältnis der Amplitudenänderung zur mittleren Amplitude bei const. Eingangsspannung $m_{Br} = \frac{\Delta U_2}{U_{2 \text{ mittel}}}$ $U_1 = \text{const}$

Übertragungskennlinie



statische Übertragungskennlinie eines Operationsverstärkers mit Offsetfehler

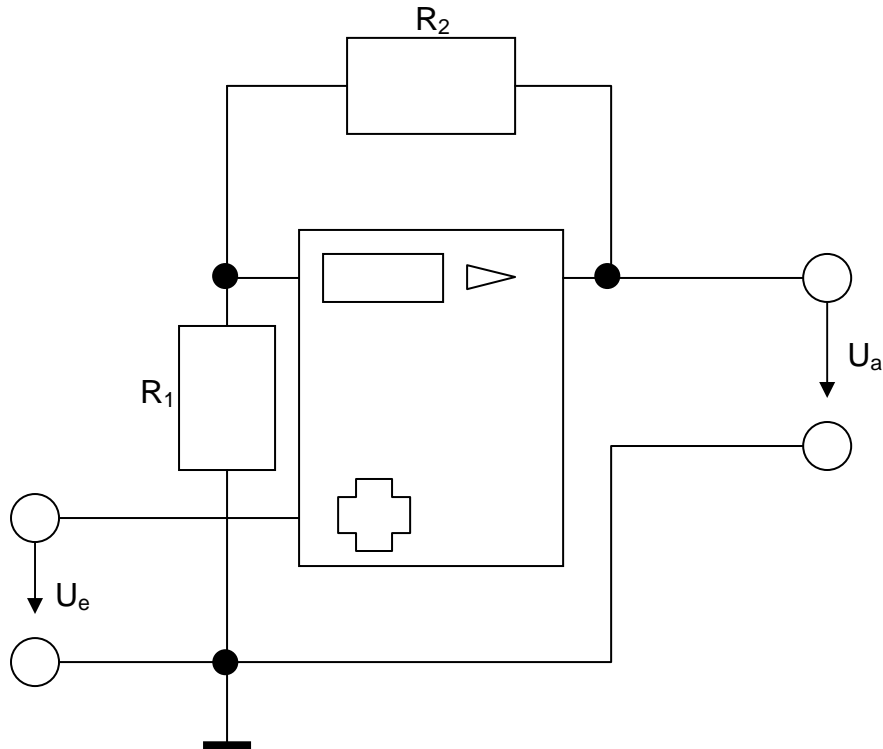
Klemmenverhalten



- 1 nichtinvertierender Eingang
- 2 invertierender Eingang
- 3 Ausgang

Aufgabe 2) Schaltbilder und Verstärkungsbeziehungen für den nichtinvertierenden und invertierenden Verstärker

Nichtinvertierender Verstärker

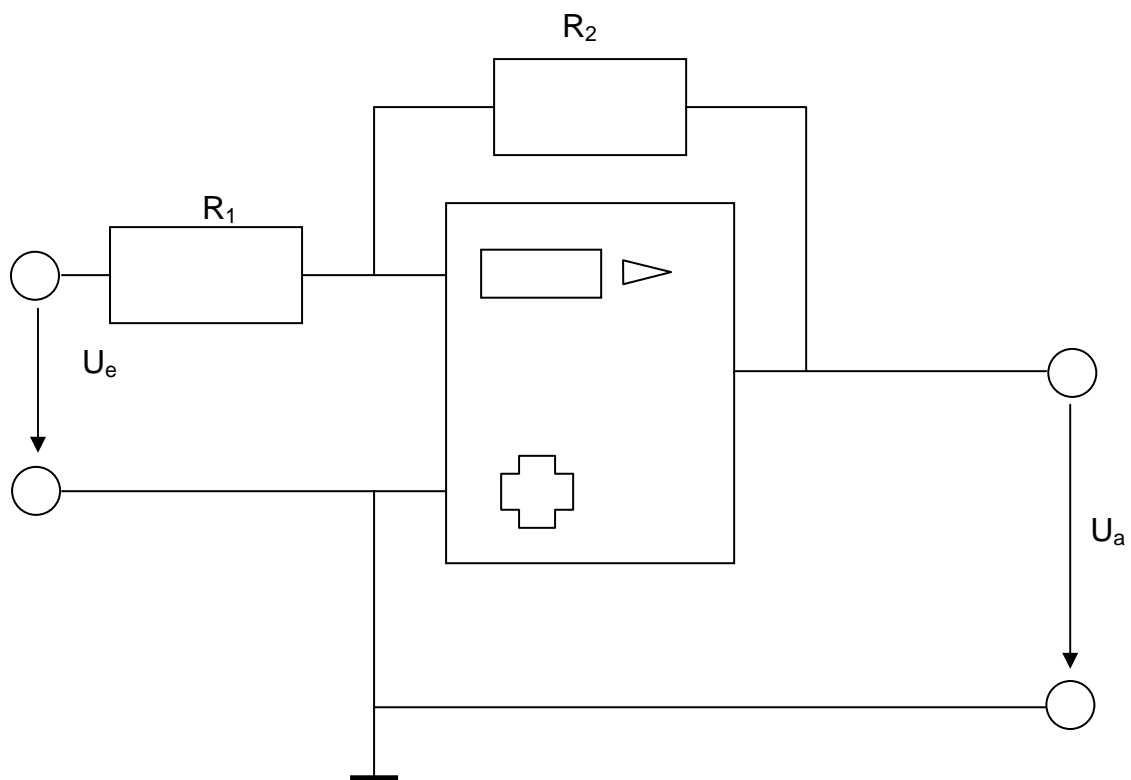


Anpassverstärker für Signale mit hohem Widerstand

$$\frac{U_a}{U_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

für $V_o \rightarrow \infty$ V_o Verstärkung

invertierender Verstärker

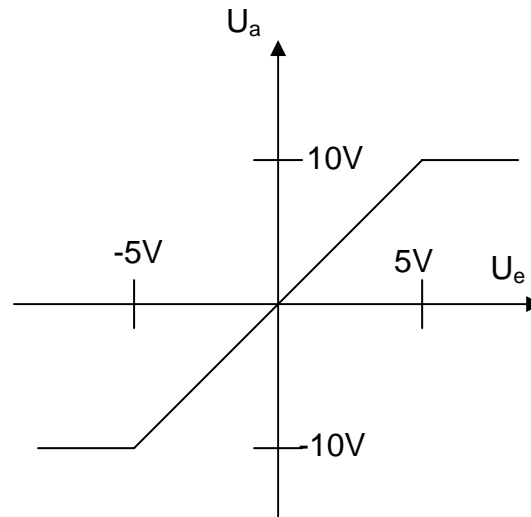


analoger Filter, stat. und dynamische Beschaffung

$$U_a = - \frac{R_2}{R_1} U_e$$

für $V_0 \rightarrow \infty$

nichtinvertierender Verstärker



$$\varphi_2 = \varphi_3 = 0V$$

$U_e = U_1$ und Spannungsteiler

$$U_1 = U_a \cdot \frac{R_1}{(R_1 + R_2)}$$

$$R_2 = R_1 = [10 \text{ k}\Omega]$$

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{U_a}{U_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$1 + \frac{R_2}{R_1} = G$$

Verstärkungsfaktor
 $V_u = R_1 + R_2 / R_1 = 1 + R_2 / R_1$

Eingangswiderstand
 $r_e = U_E / I_E = \infty$

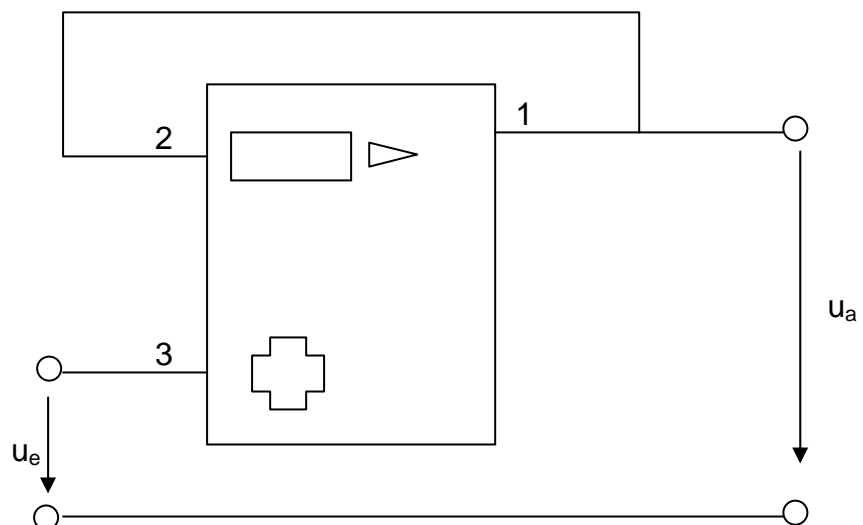
→ Spannungsfolger

für "leistungslose Messung"

$$R_2 = 0$$

$$R_1 = \infty$$

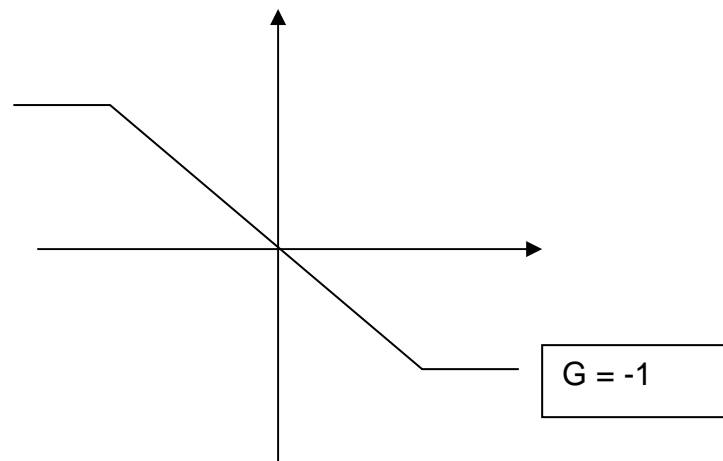
$$G = 1$$



$G \rightarrow$ Verstärkung

Anwendung: Koppelt man die ganze Ausgangsspannung auf den Eingang zurück ($R_2=0 \text{ Ohm}$, $R_1=\text{unendlich}$), dann arbeitet die Schaltung mit $V_u = 1$ als Impedanzwandler (Widerstandswandler)

invertierender Verstärker



$\varphi_2 = \varphi_3 = 0V$ wegen φ_3 an Masse und $I_1 = 0A$!

$$I_1 + I_2 - 0A = 0$$

$$I_1 = -I_2$$

$$\frac{U_a}{U_e} = G = - \frac{R_2}{R_1}$$

$$\frac{U_e}{R_1} = \frac{U_1}{R_1} = - \frac{U_2}{R_2} = - \frac{U_1}{R_2}$$

Anwendung :
 → als Inverter $G = -1$
 → als Spannungsverstärker $G \neq 1$
 → als Filter oder Regler

Verstärkungsfaktor

$$V_u = U_A/U_{RE} = R_K/R_E$$

Eingangswiderstand

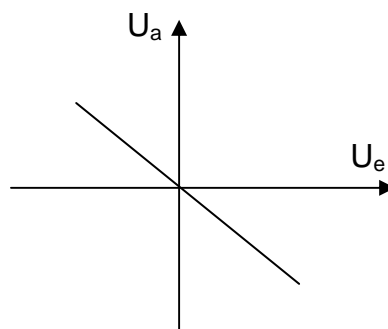
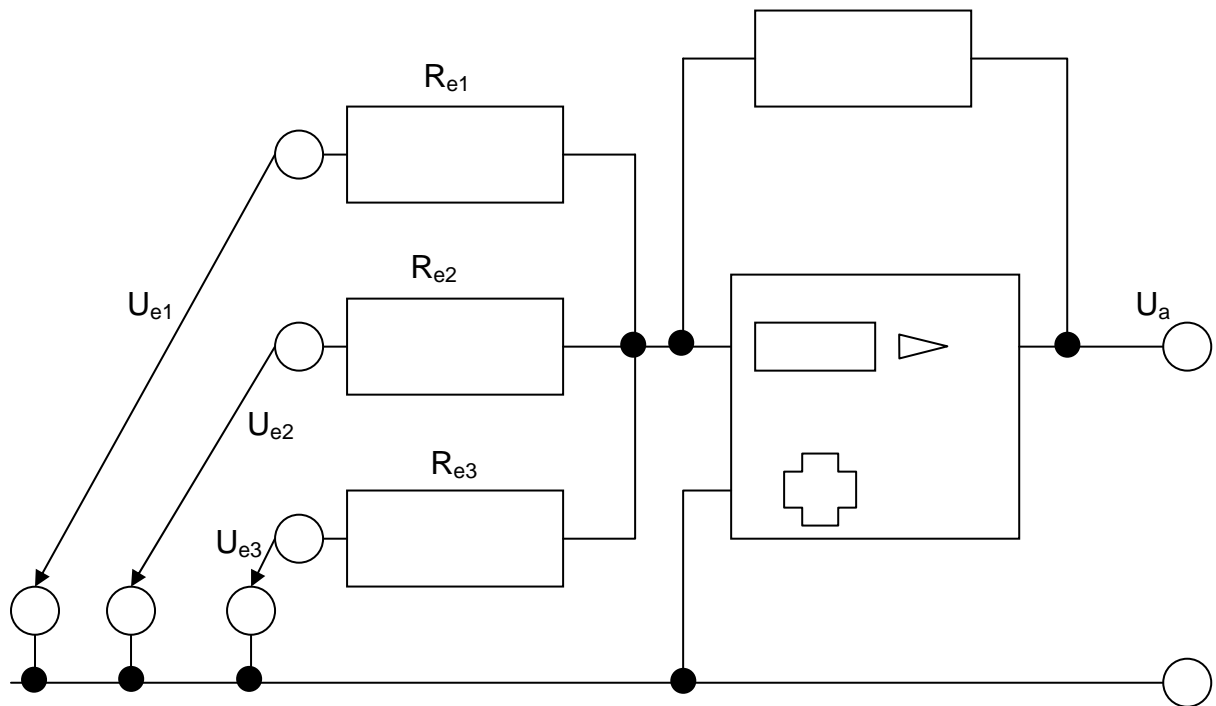
$$r_e = U_E/I_E = R_E$$

Anwendung: Ein Mangel dieses Verstärkers ist der relativ niedrige Eingangswiderstand. Er kann mit dem Widerstand R_E bestimmt werden. Bei hoher Verstärkung muss der Widerstand R_K einen übermäßig hohen Wert haben. Da ein Verstärkungsfaktor V_u von 1 möglich ist, kann der Verstärker in der Filtertechnik verwendet werden.

Aufgabe 3) Schaltbilder und Arbeitsweise von Additions-, Subtraktions-, Integrations- und Differentiationsschaltung mit Operationsverstärker.

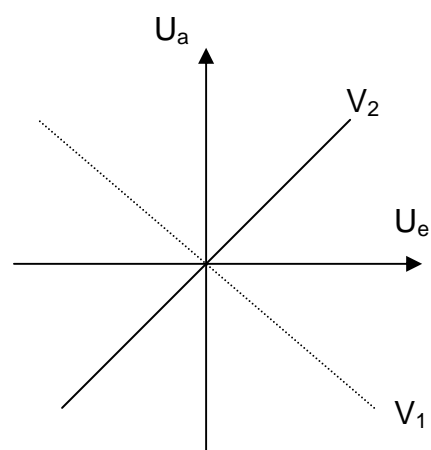
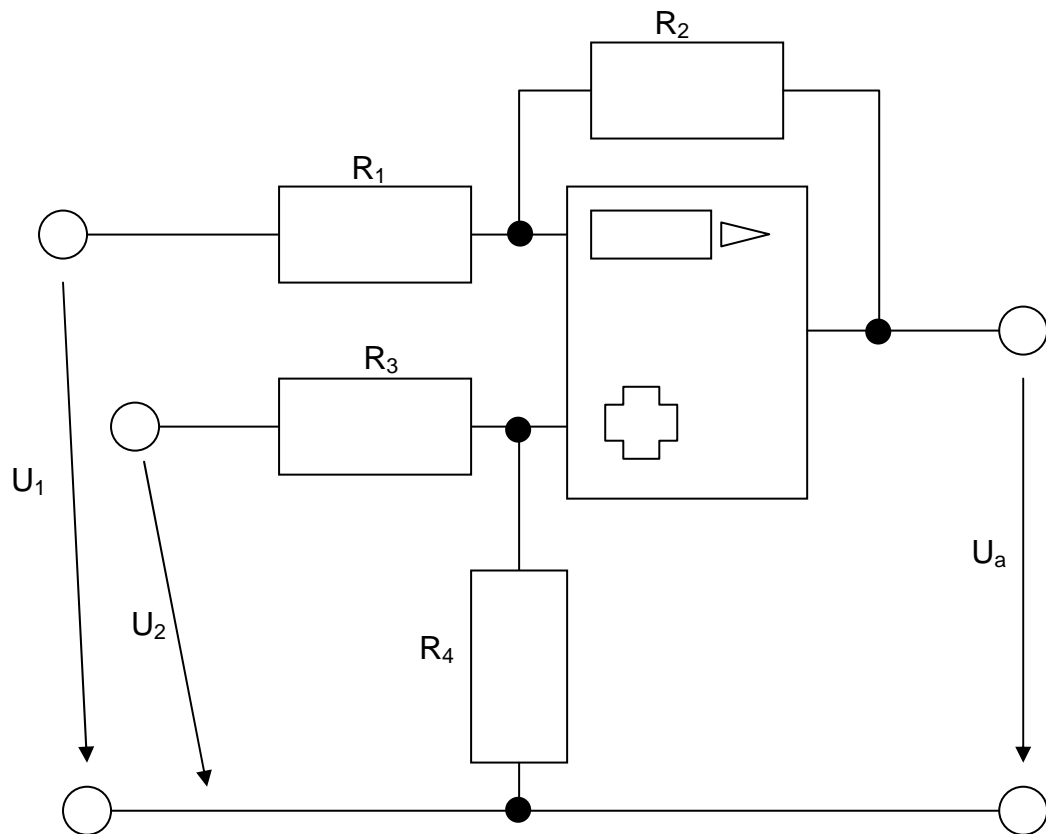
Additionsschaltung

Stromsummation am negativen Eingang



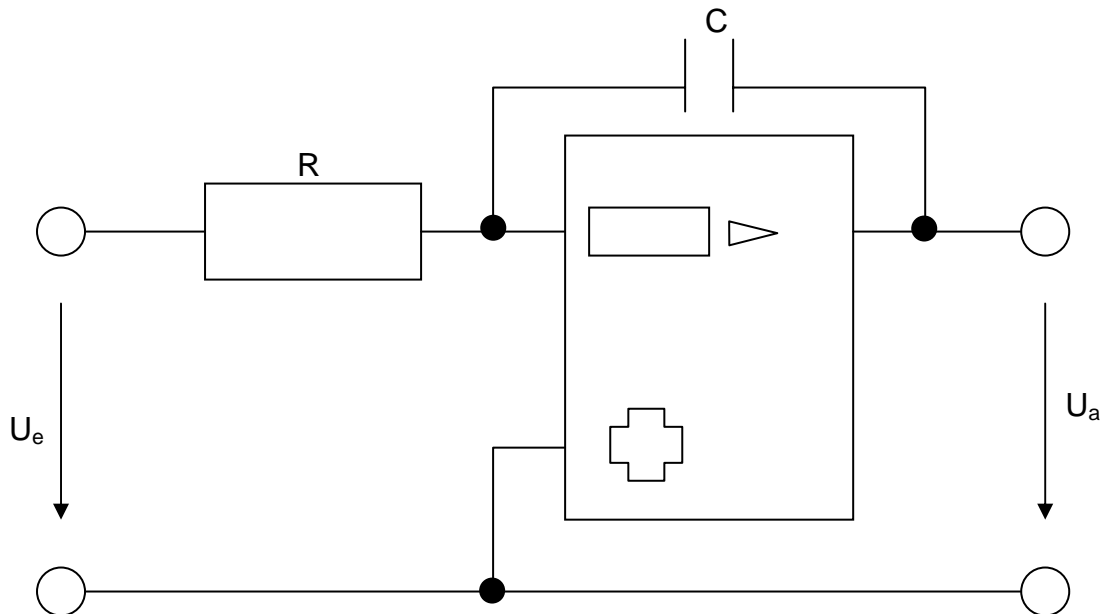
Subtraktionsschaltung

Kombination aus invertierender und nichtinvertierender Beschaltung



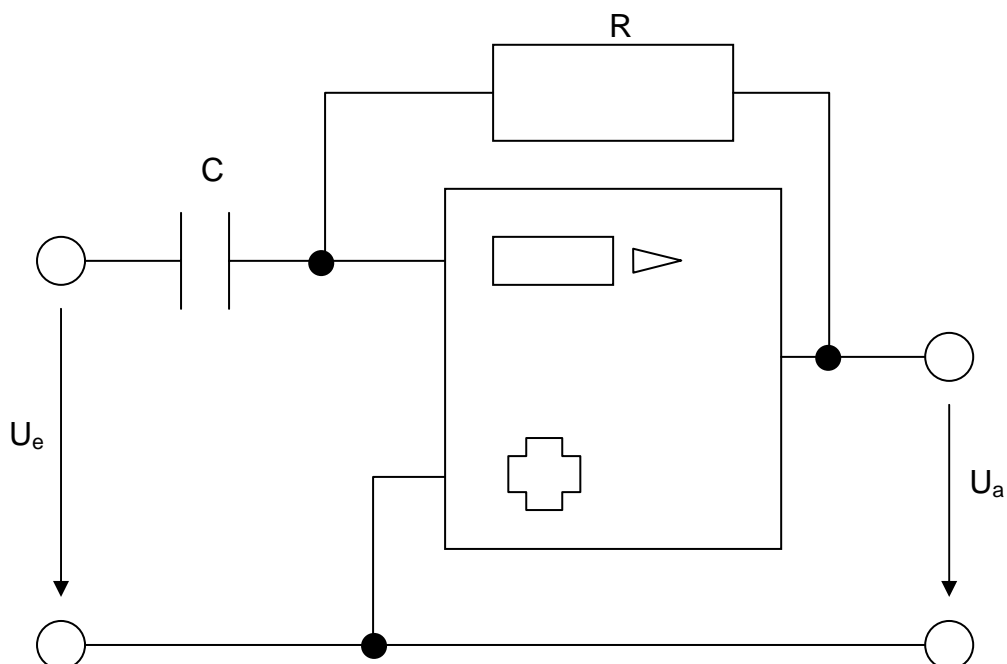
Integrationsschaltung

Hier wird der Gegenkopplungswiderstand des invertierten Verstärkers durch einen Kondensator ersetzt.



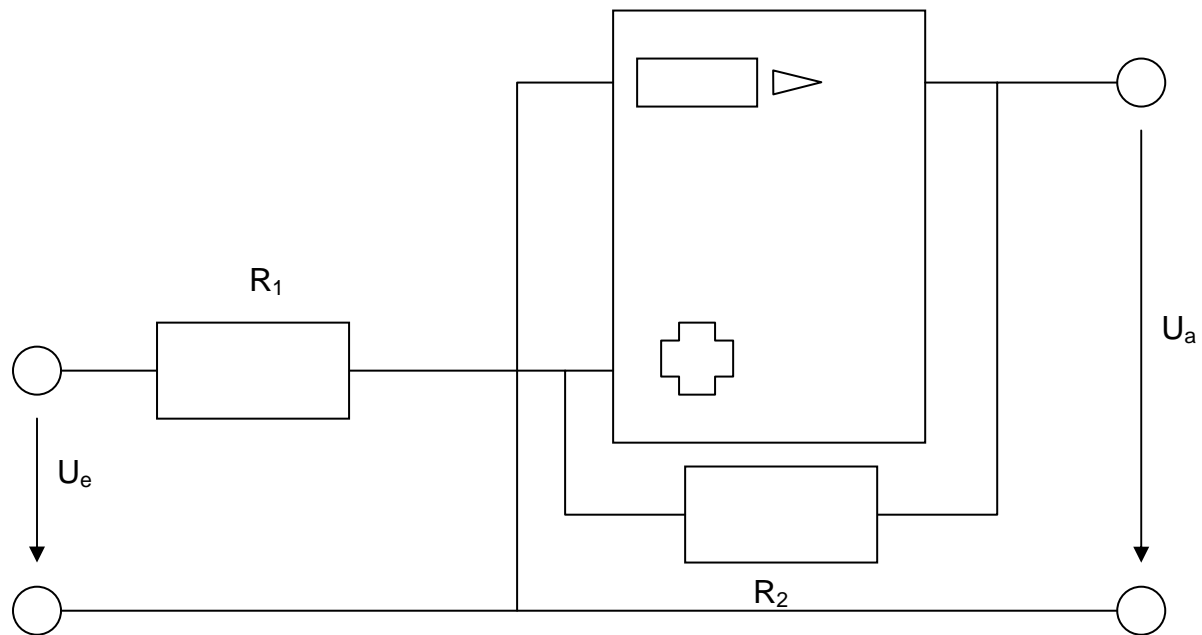
Differentiationsschaltung

Der Eingangswiderstand vor dem invertierenden Eingang wird durch einen Kondensator ersetzt.



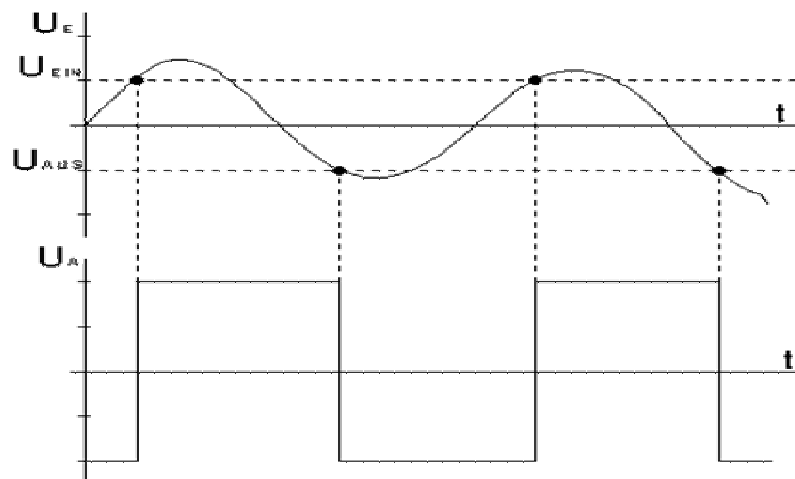
Aufgabe 4) Schmitt – Trigger Operationsverstärker

- schaltet bei Spannungsschwelle, dafür sind die Widerstände verantwortlich
- Schaltunkte der ansteigenden und der abfallenden Flanke unterscheiden sich die Hysteresespannungen



- die Ausgangsspannung kippt bei Erreichen eines bestimmten Eingangsspannungswertes von $-U_{BAT}$ nach $+U_{BAT}$. Sinkt die Eigenspannung auf einen bestimmten Wert, so kippt die Ausgangsspannung zurück auf $-U_{BAT}$.
- in Verbindung mit einem Operationsverstärker, hierbei wird der OPV mit einem Widerstand mitgekoppelt. Die Schaltung arbeitet dann als Sinus-Rechteck-Wandler

→ Spannungsverlauf



Werden digitale Signale über lange Kabelstrecken geschickt, so verändert das Tiefpaßverhalten der Kabel das Signal so stark, so daß digitale Verknüpfungsglieder diese nicht mehr verarbeiten können.

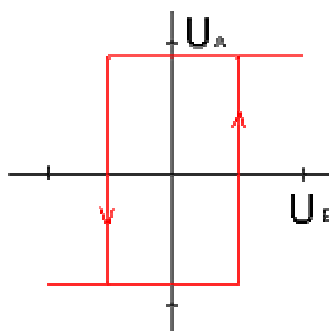
Ein Schmitt-Trigger gewinnt nun aus dem mangelhaften digitalen Signal die ursprüngliche Form wieder zurück.

Im Prinzip hat jede digitale Verarbeitungsschaltung einen Schmitt-Trigger als Eingangsstufe.

In größeren digitalen Schaltungen werden Schmitt-Trigger auch als Wiederaufbereiter und Signalverstärker verwendet.

Spannungshysterese:

Bei Erhöhung der Eingangsspannung werden die Linien auf der waagerechten Achse länger! Sinuswelle wird auf Rechteck umgewandelt.



Eingangstest Operationsverstärker A

1. Geben Sie das Symbol eines OP und seine charakteristischen Klemmengrößen U_D und U_a an. 2,5

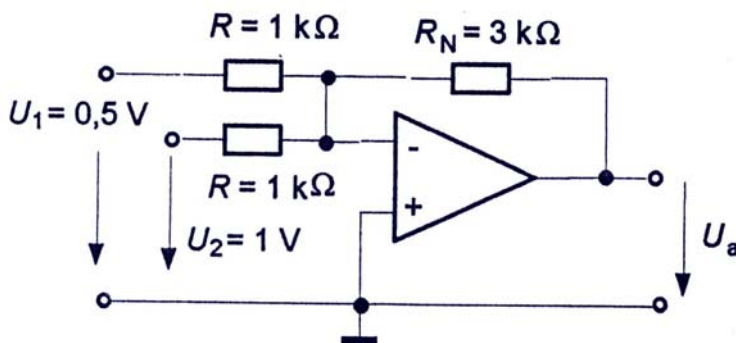
Wie groß sind bei einem **idealen** OP die Differenzverstärkung, der Eingangswiderstand und der Ausgangswiderstand?

Skizzieren Sie die Übertragungskennlinie $U_a = f(U_D)$ eines OP.

maximal

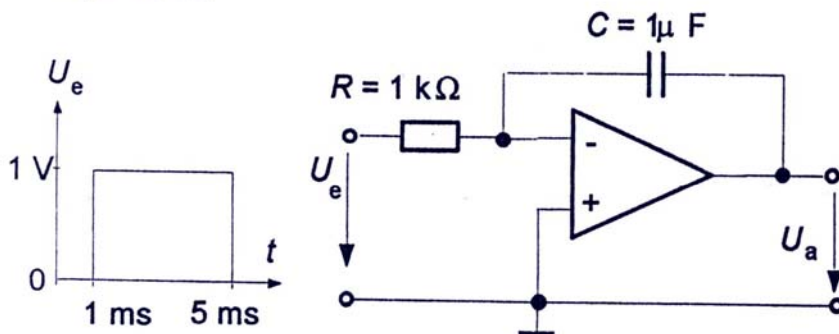
2. Geben Sie die Schaltung eines nichtinvertierenden Verstärkers an und berechnen Sie die Verstärkung v bei Annahme eines idealen OP. 2,5

5. Gegeben ist die folgende Schaltung mit einem idealen OP: 2



Berechnen Sie die Ausgangsspannung U_a allgemein und zahlenmäßig.

7. Die gegebene Schaltung mit einem idealen OP wird mit dem dargestellten Eingangsspannungsimpuls angesteuert. 3



Berechnen Sie den Verlauf der Ausgangsspannung und stellen Sie ihn maßstäblich grafisch dar. Für $t = 0$ ist $U_a(0) = 1 \text{ V}$.

Eingangstest Operationsverstärker B

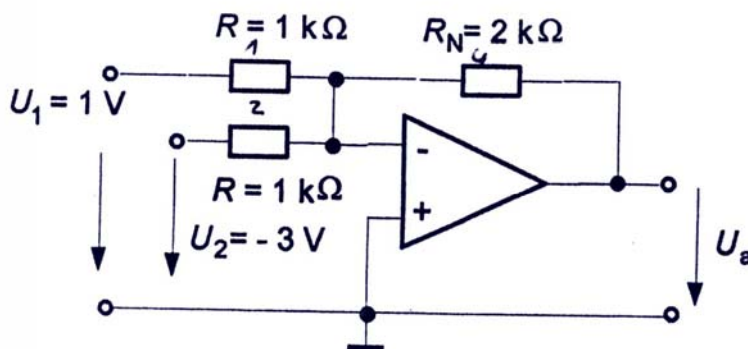
1. Geben Sie das Symbol eines OP und seine charakteristischen Klemmengrößen U_D und U_a an. 2,5
Wie groß sind bei einem **idealen** OP die Differenzverstärkung, der Eingangswiderstand und der Ausgangswiderstand?

Skizzieren Sie die Übertragungskennlinie $U_a = f(U_D)$ eines OP.

Handwritten: Kurve

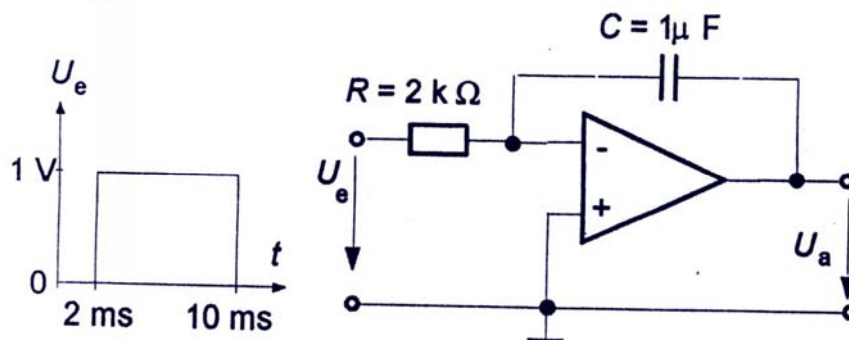
3. Geben Sie die Schaltung eines invertierenden Verstärkers an und berechnen Sie die Verstärkung v bei Annahme eines idealen OP. 2,5

6. Gegeben ist die folgende Schaltung mit einem idealen OP: 2



Berechnen Sie die Ausgangsspannung U_a allgemein und zahlenmäßig.

8. Die gegebene Schaltung mit einem idealen OP wird mit dem dargestellten Eingangsspannungsimpuls angesteuert. 3



Berechnen Sie den Verlauf der Ausgangsspannung und stellen Sie ihn maßstäblich grafisch dar. Für $t = 0$ ist $U_a(0) = -1V$.