

Kapitel 14: Operationsverstärker

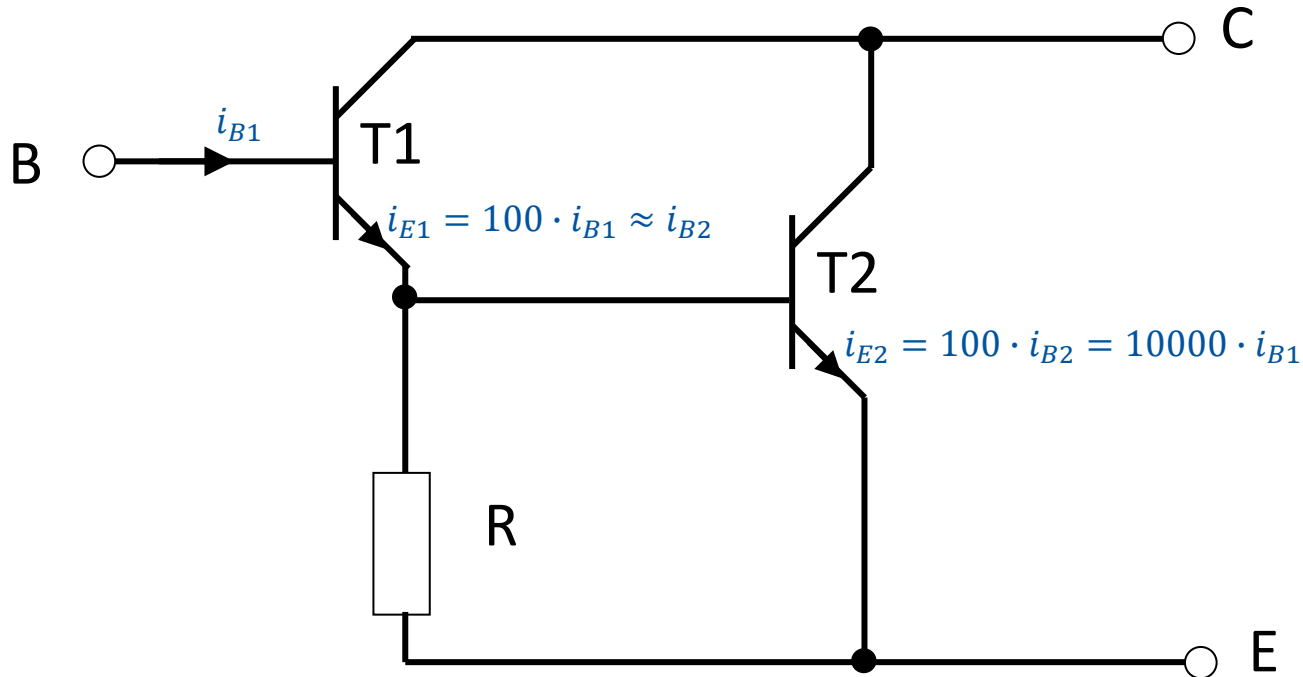
Abschnitt 14.1

Aufbau

- ▶ Darlington-Schaltung
- ▶ Differenzverstärker
- ▶ Operationsverstärker

Darlington-Schaltung

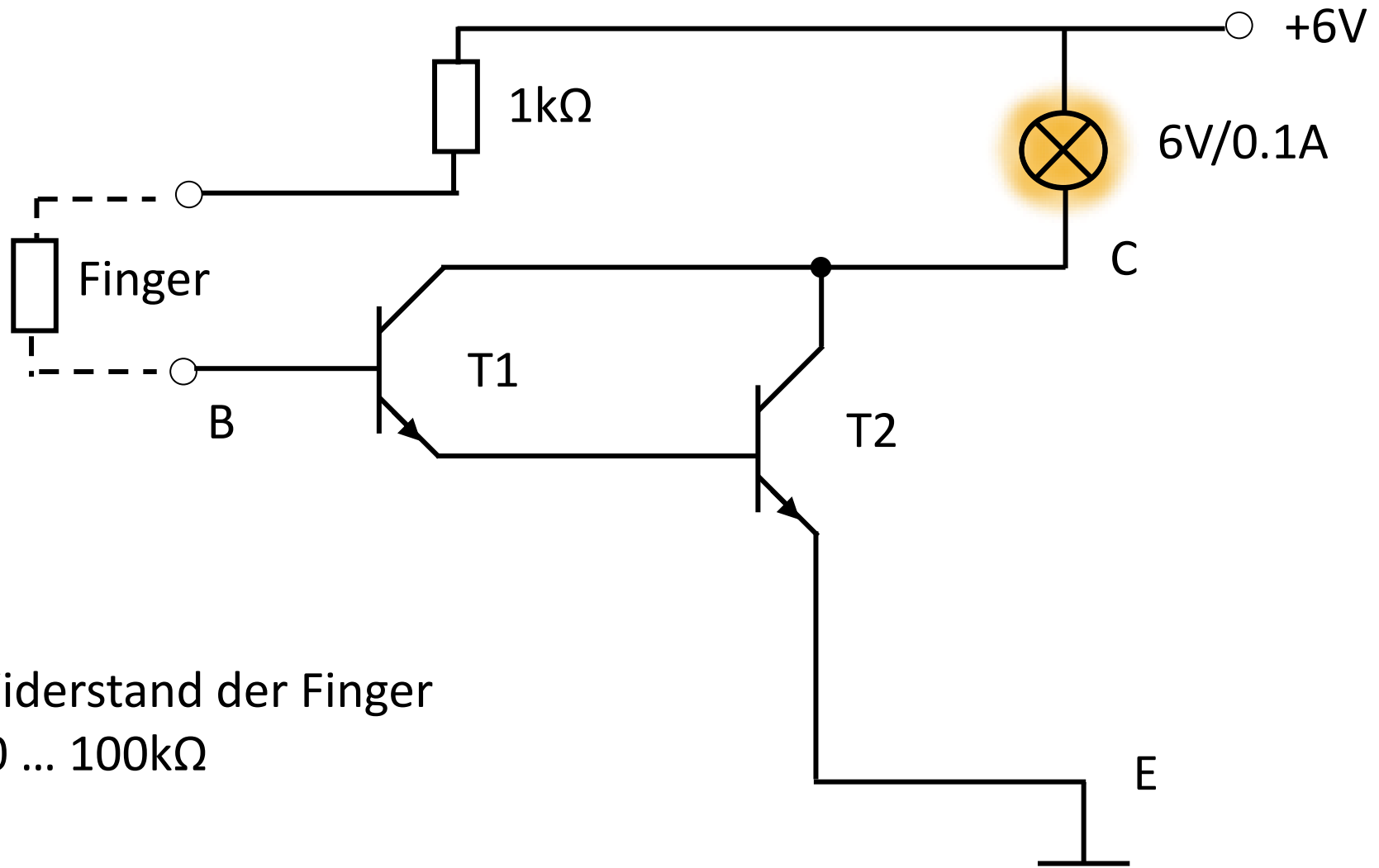
- Besteht aus zwei Transistoren, die hintereinander geschaltet sind.



(Für $B_n = 100$)

Beispiel für Darlington-Schaltung

- Berührungsschalter -



Widerstand der Finger
10 ... 100kΩ

Differenzverstärker

$$U_E = 0 \text{ V}$$

$$i_{B1} = i_{B2}$$

$$i_{C1} = i_{C2}$$

$$U_{R1} = U_{R2}$$

$$U_A = 0 \text{ V}$$

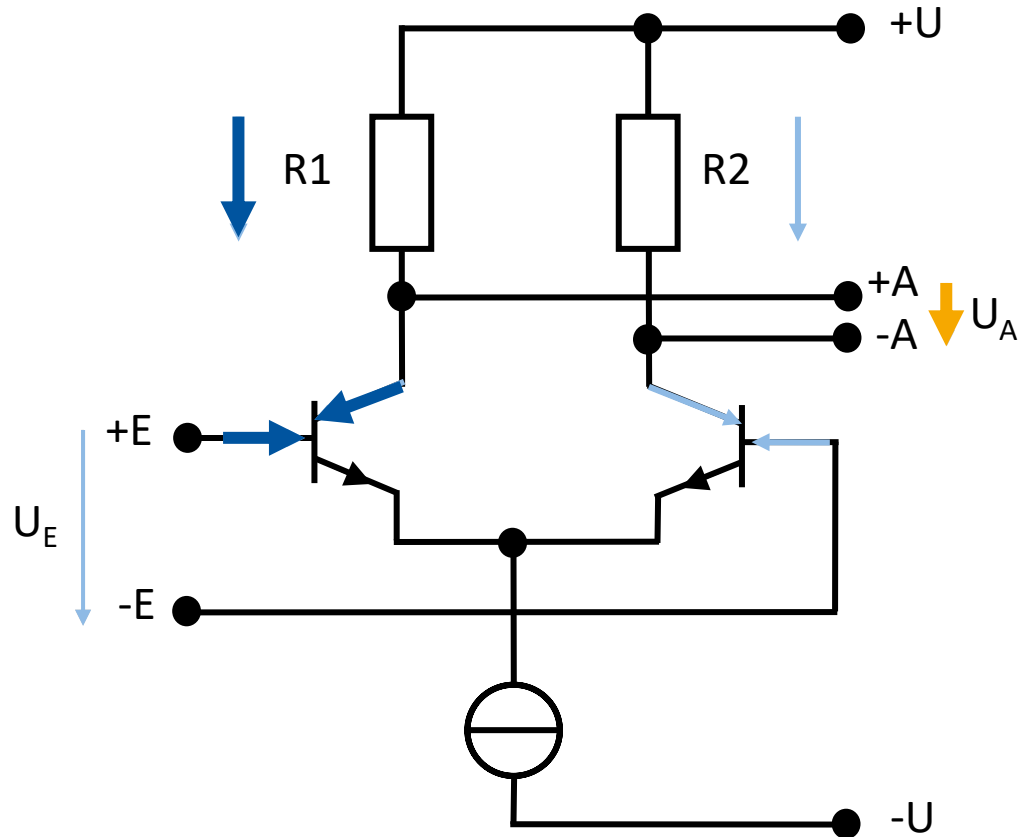
$$U_E > 0 \text{ V}$$

$$i_{B1} > i_{B2}$$

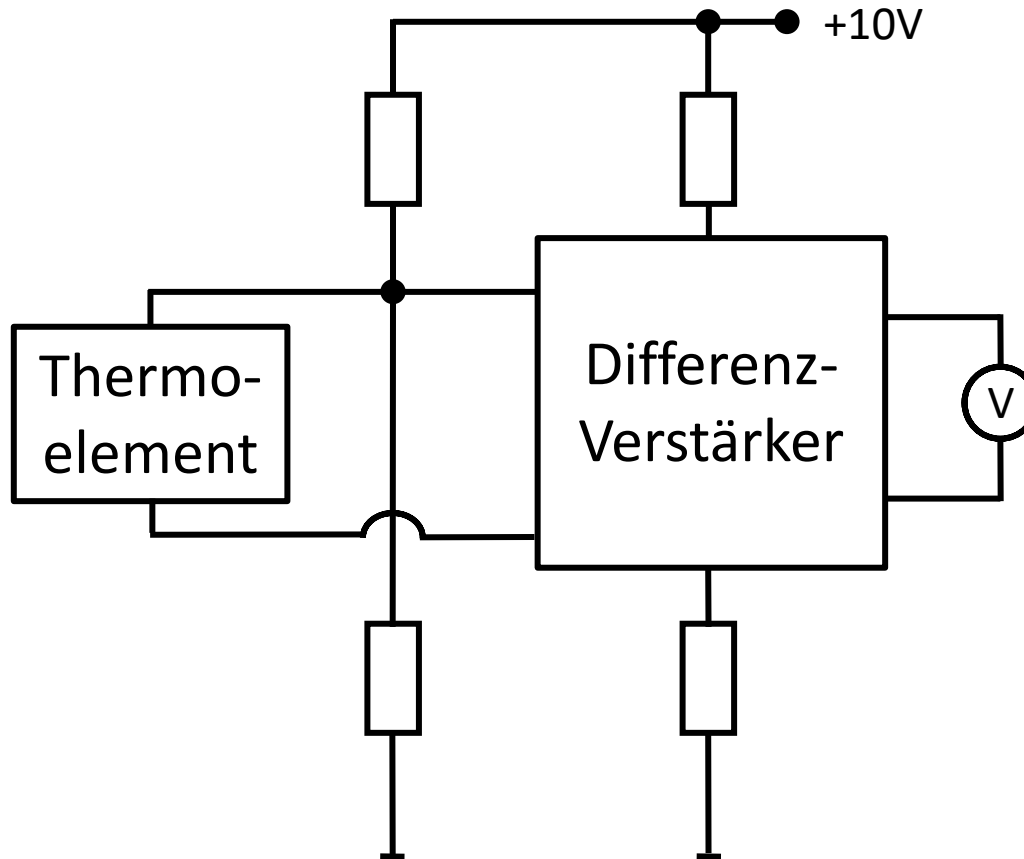
$$i_{C1} \gg i_{C2}$$

$$U_{R1} \gg U_{R2}$$

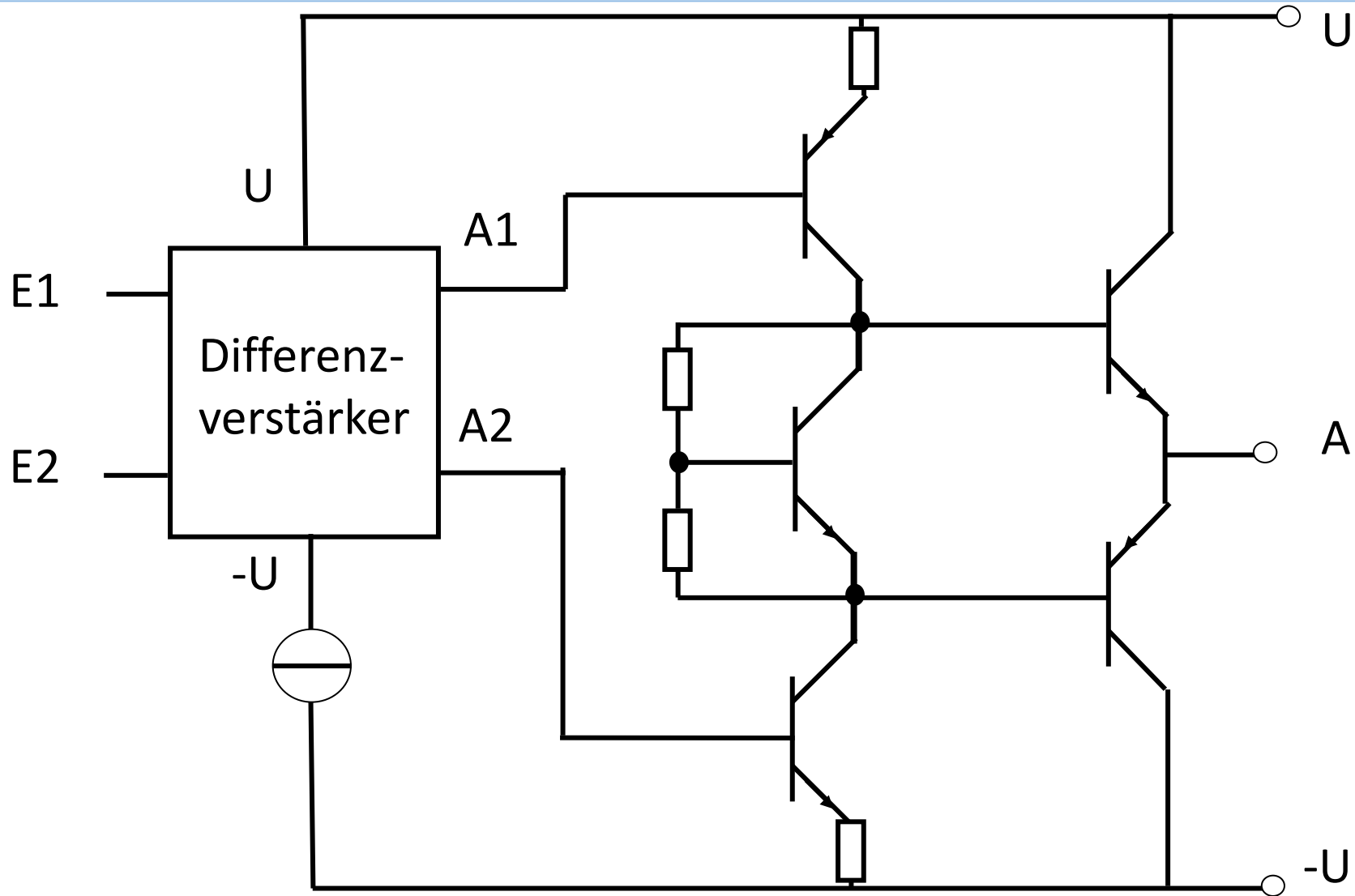
$$U_A \ll 0 \text{ V}$$



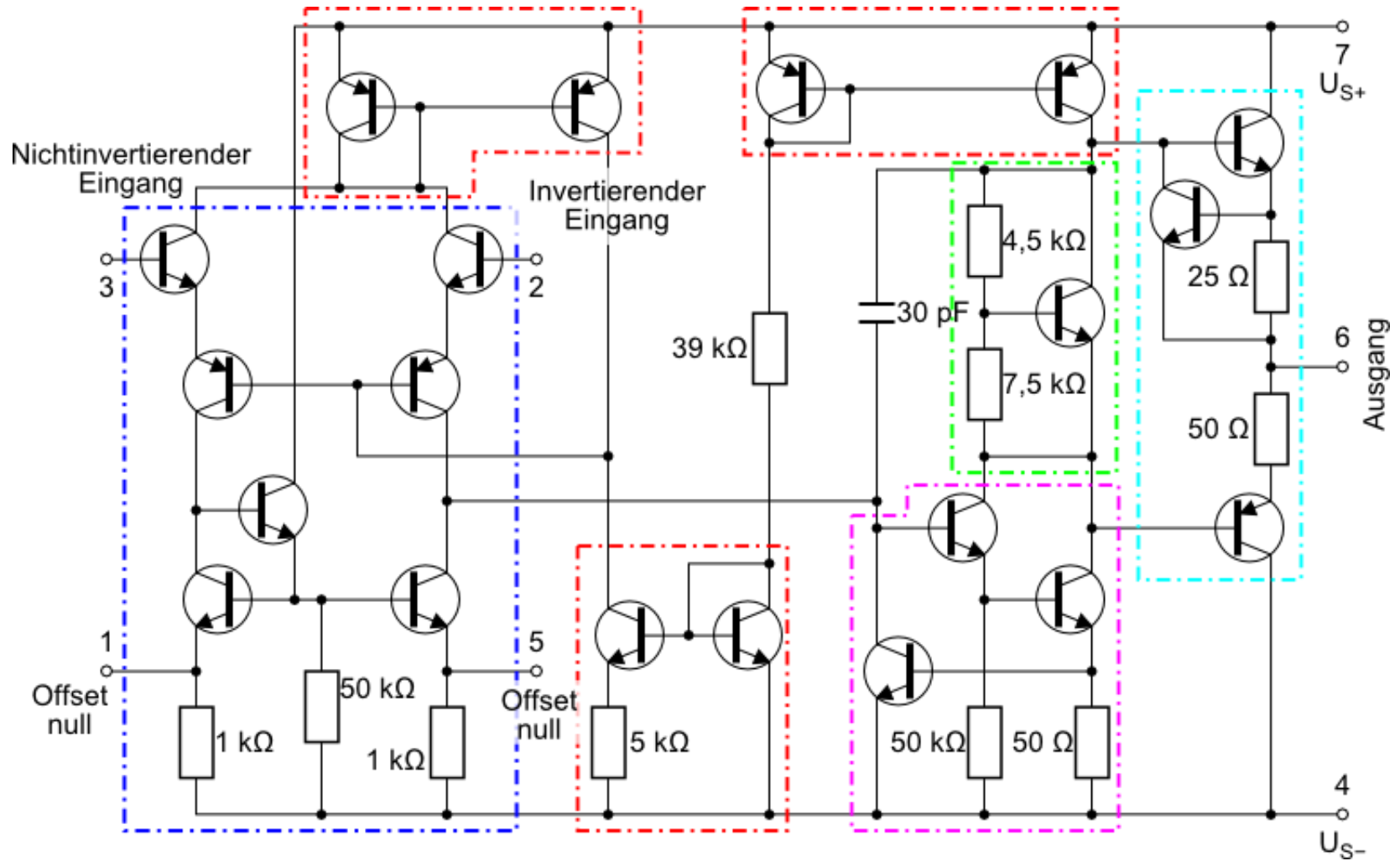
Beispiel für Differenzverstärker



Aufbau eines Operationsverstärkers

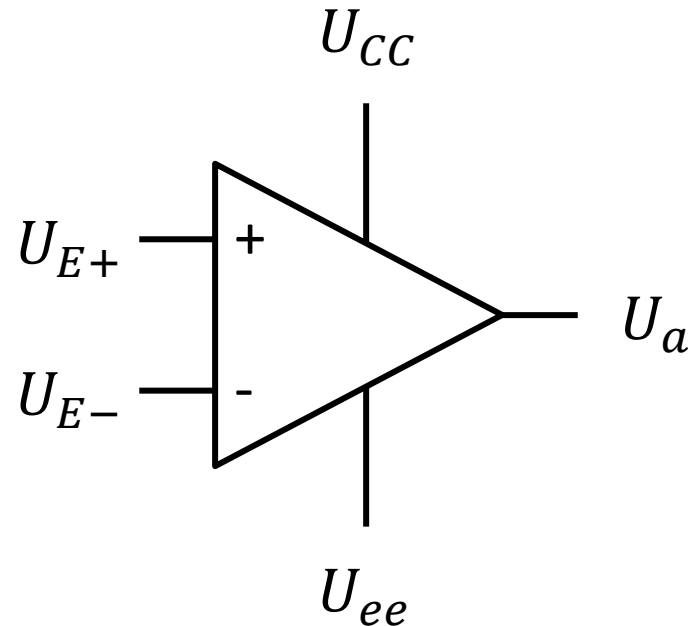


Aufbau eines modernen Operationsverstärkers



Quelle: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:OpAmpTransistorLevel_Colored_DE.svg

Operationsverstärker



Eingangswiderstand

Ausgangswiderstand

Verstärkungsfaktor $\left(\frac{U_A}{U_E}\right)$

Idealer OP:

→ $\infty \Omega$

→ 0Ω

→ ∞

Realer OP:

$10^6 \dots 10^{12} \Omega$

Frequenzabhängig $> 0 \Omega$

$10^4 \dots 10^7$

Abschnitt 14.2

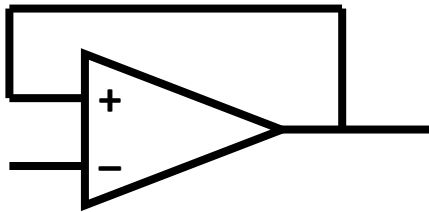
Funktion

- ▶ Komparator
- ▶ Verstärker
- ▶ Schmitt-Trigger
- ▶ Addierer/Subtrahierer
- ▶ Integrierer/Differenzierer

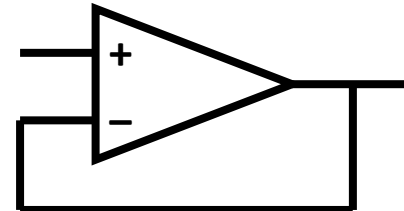
Außenbeschaltung eines Operationsverstärkers

- Nutzung eines Rückkopplungsnetzwerkes (besteht aus verschiedenen Bauteilen)
- Es wird ein Teil der Ausgangsspannung zurück an einen der Eingänge geführt.
- In Abhängigkeit des genutzten Eingangs unterscheidet man:

Mitkopplung



Gegenkopplung

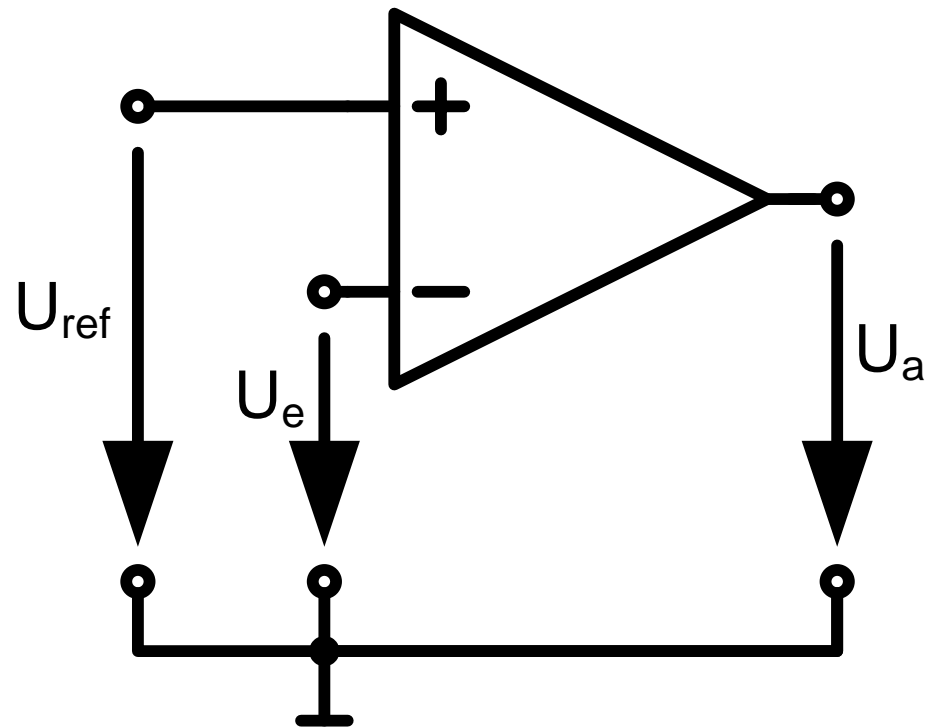


Außenbeschaltung eines Operationsverstärkers

- Es können drei Grundschaltungen mit Operationsverstärker unterschieden werden
 - Komparator
 - Ohne Rückkopplung
 - Verstärker
 - Durch Gegenkopplung
 - Schmitt-Trigger
 - Durch Mitkopplung

Außenbeschaltung eines Operationsverstärkers

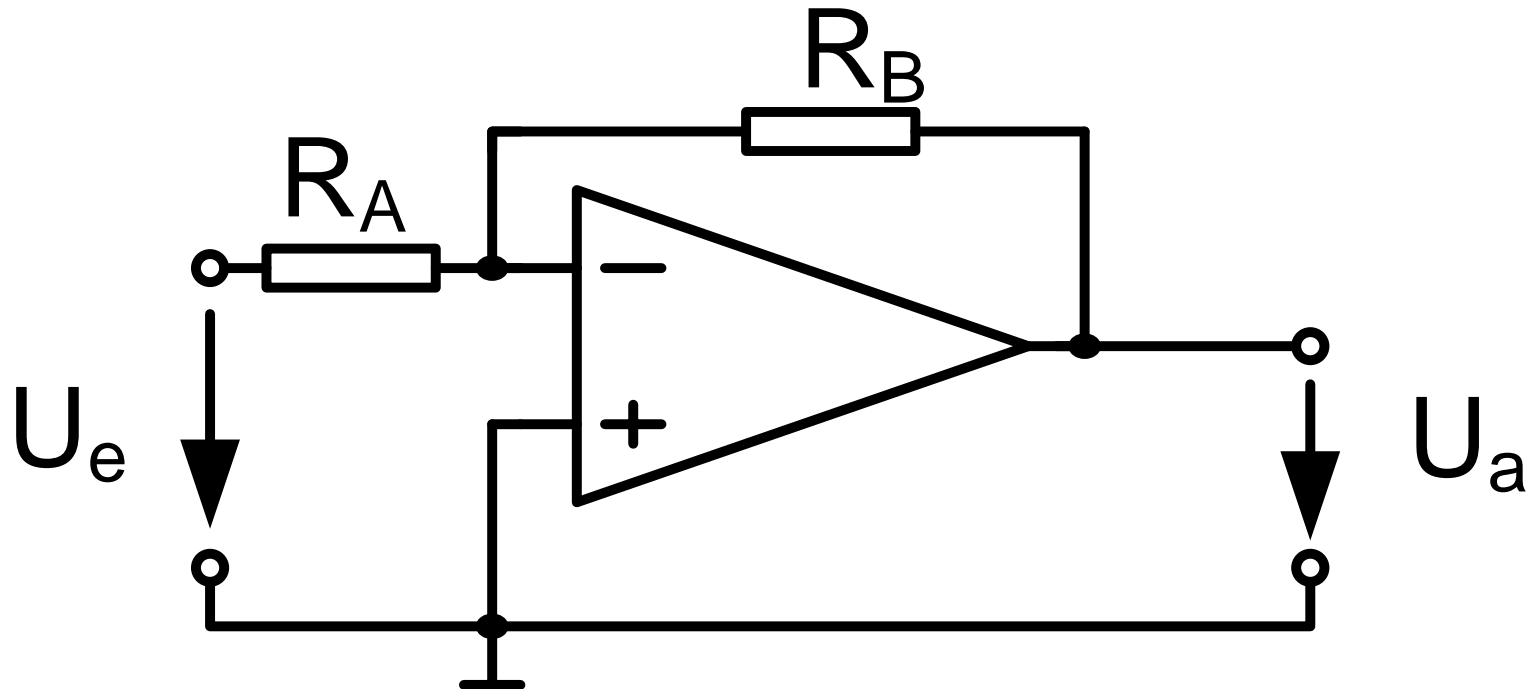
- Komparator -



$$\begin{aligned} U_e < U_{ref} &\Rightarrow U_a = U_{CC} \\ U_e > U_{ref} &\Rightarrow U_a = U_{EE} \end{aligned}$$

Außenbeschaltung eines Operationsverstärkers

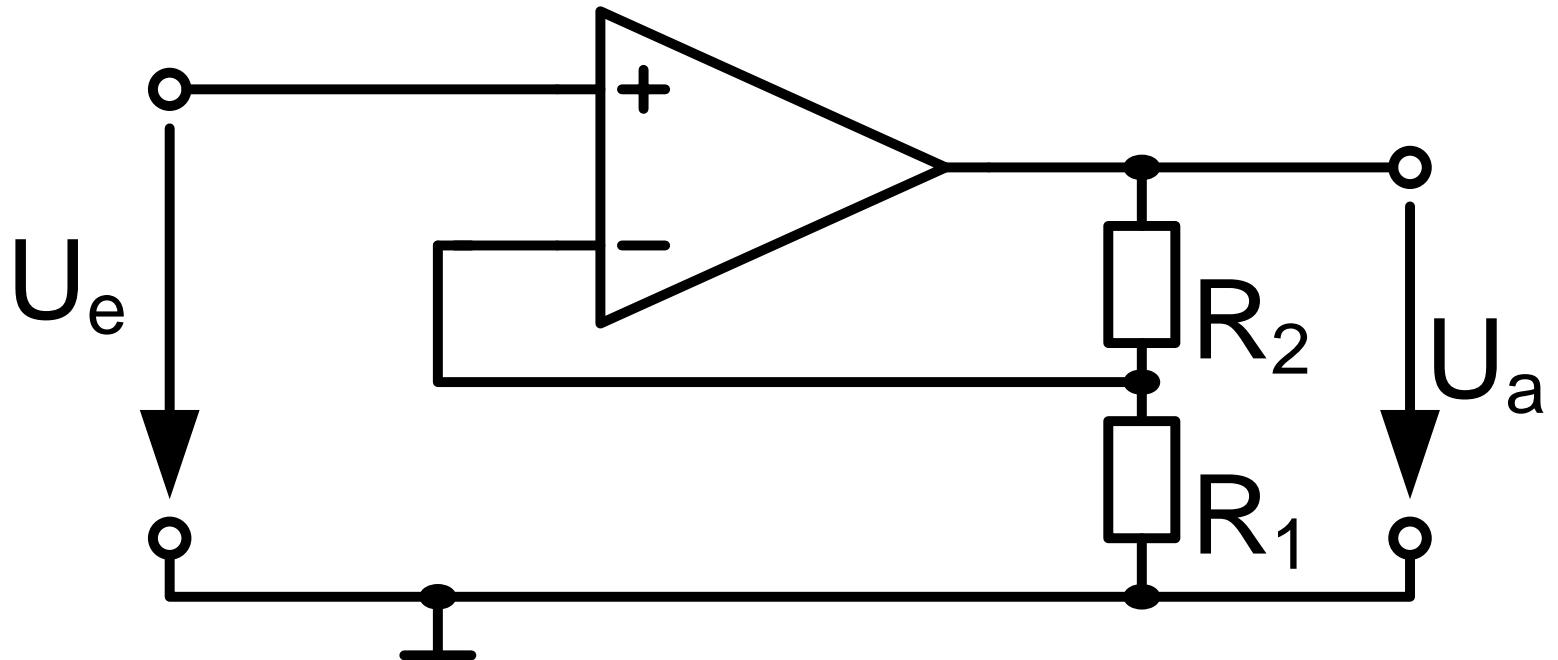
- invertierender Verstärker -



$$U_a = -\frac{R_B}{R_A} \cdot U_e$$

Außenbeschaltung eines Operationsverstärkers

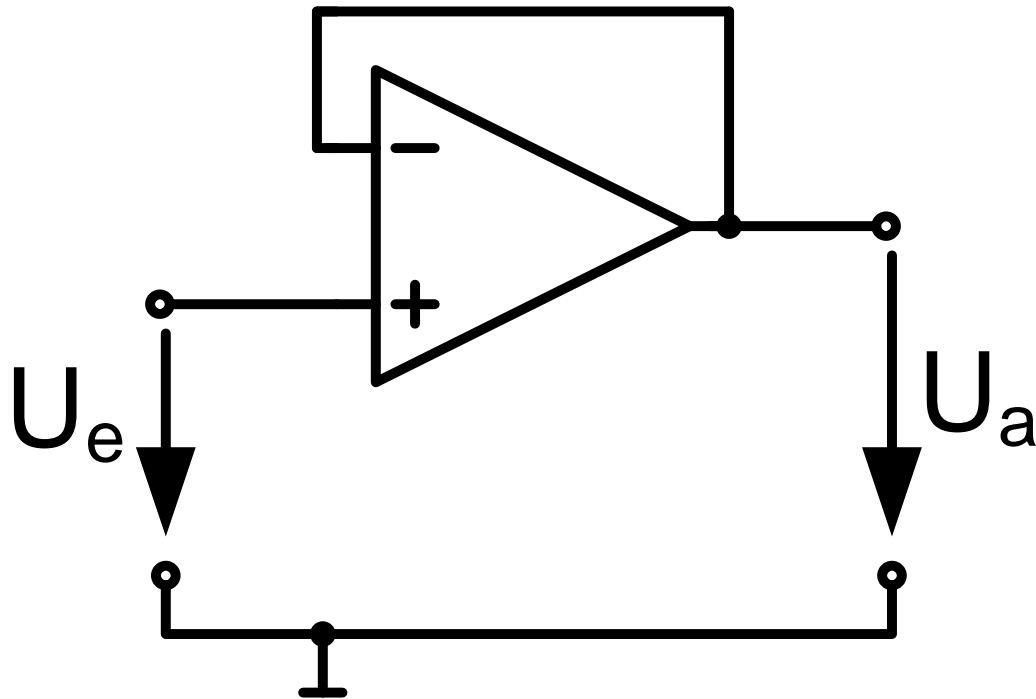
- nichtinvertierender Verstärker -



$$U_a = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot U_e$$

Außenbeschaltung eines Operationsverstärkers

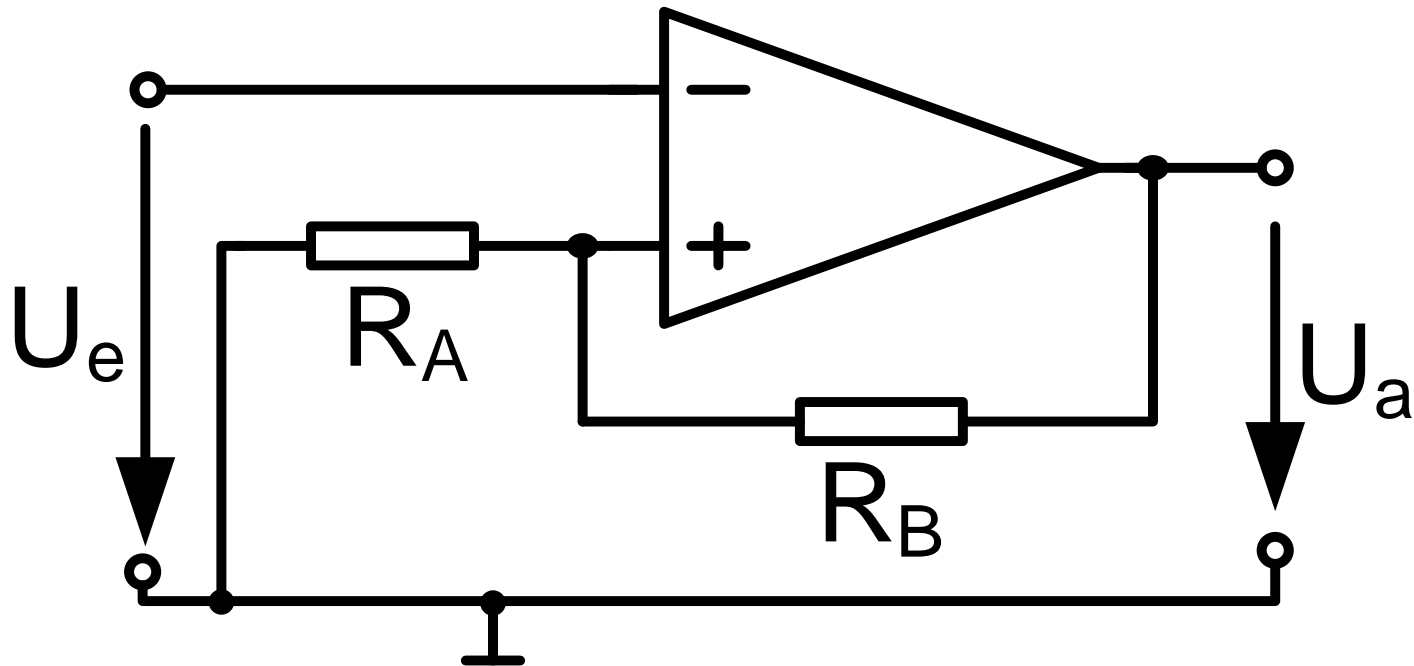
- Spezialfall: Impedanzwandler -



$$U_a = U_e$$

Außenbeschaltung eines Operationsverstärkers

- invertierender Schmitt-Trigger -

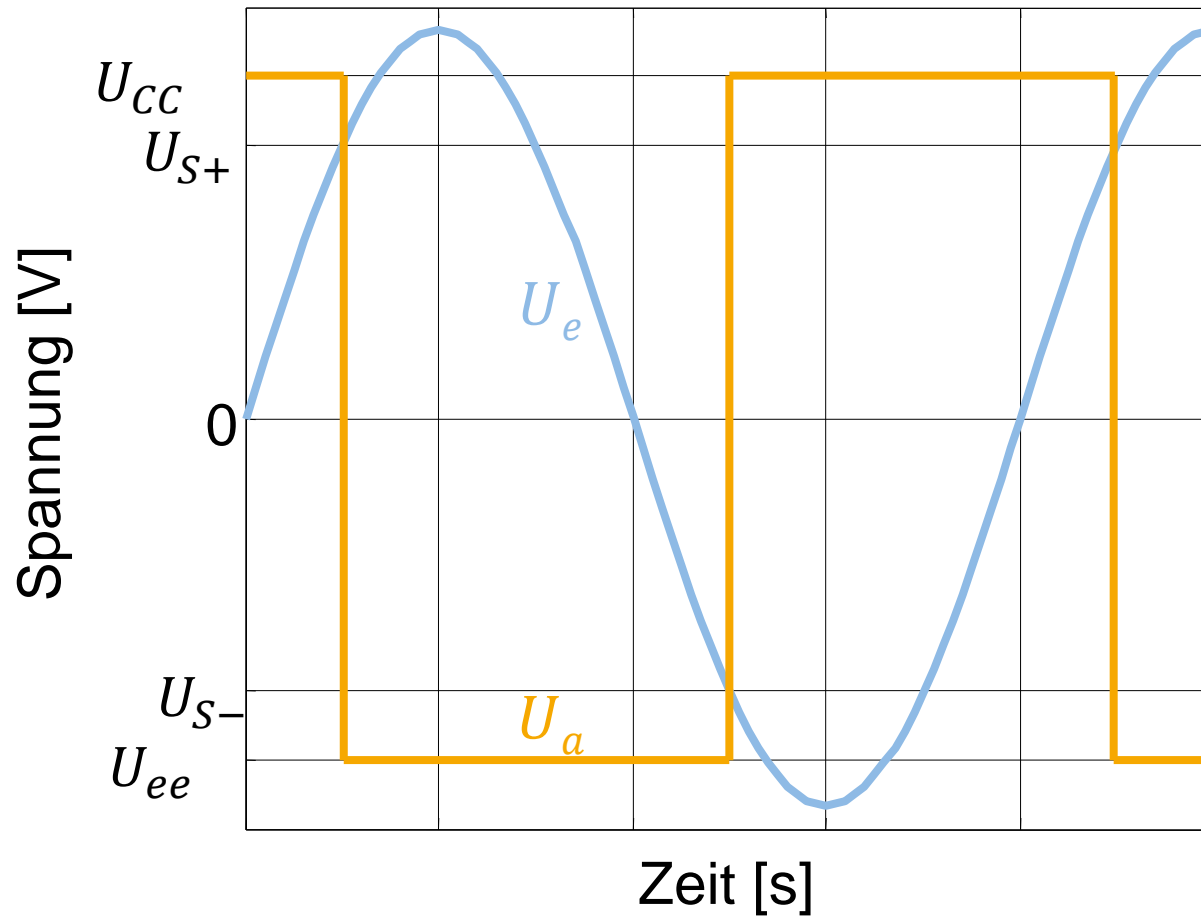


$$U_{S-} = \frac{R_A}{R_A + R_B} U_{ee}$$

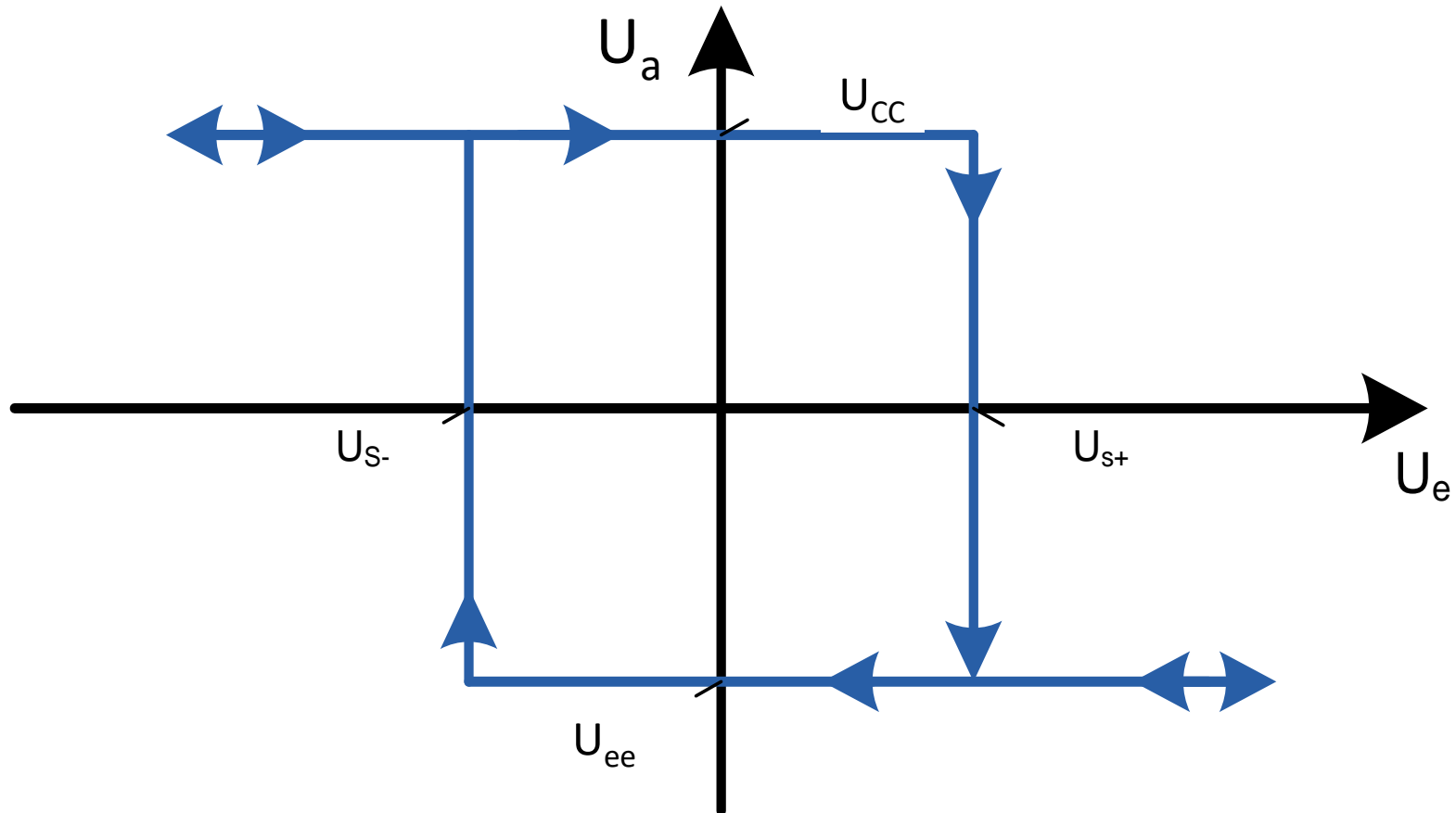
$$U_{S+} = \frac{R_A}{R_A + R_B} U_{CC}$$

$$U_a = \begin{cases} U_{CC}, & \text{wenn letzte unterschrittene Schwelle } U_{S-} \\ U_{ee}, & \text{wenn letzte überschrittene Schwelle } U_{S+} \end{cases}$$

Invertierender Schmitt-Trigger: Eingangs- und Ausgangsspannung

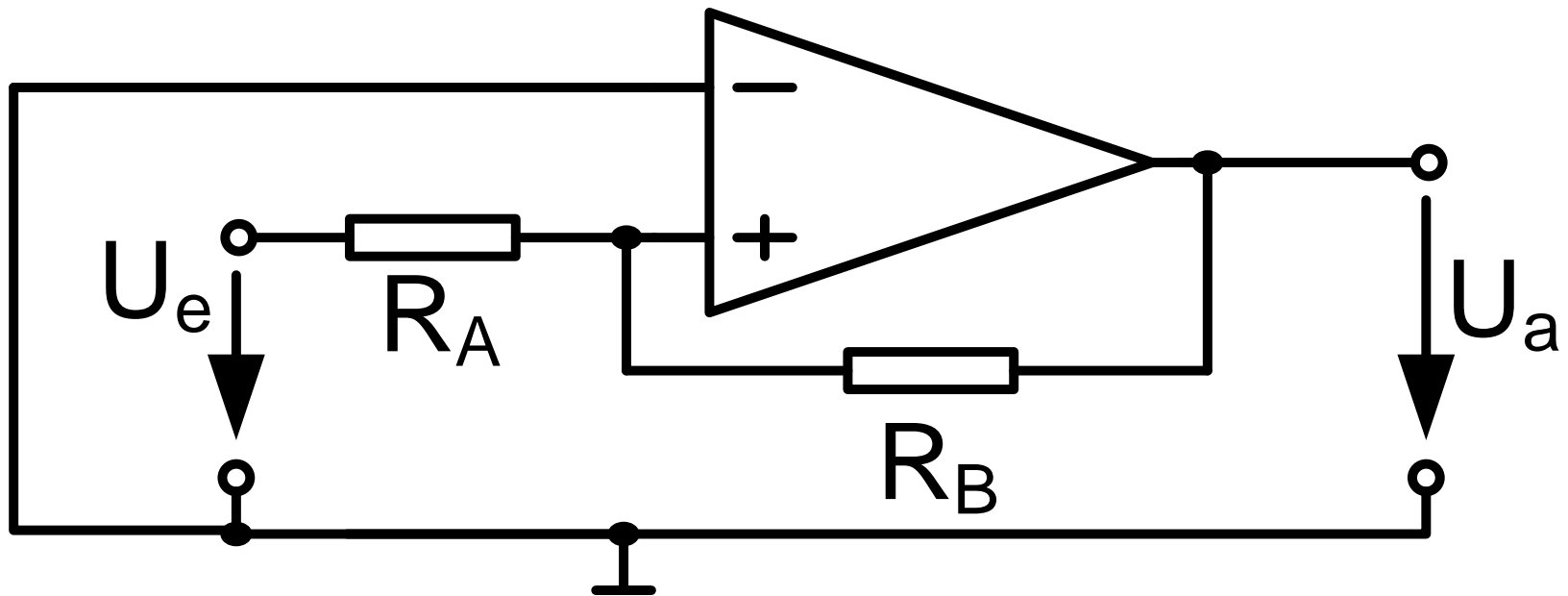


Invertierender Schmitt-Trigger: Übertragungskennlinie (Hysterese)



Außenbeschaltung eines Operationsverstärkers

- nichtinvertierender Schmitt-Trigger -

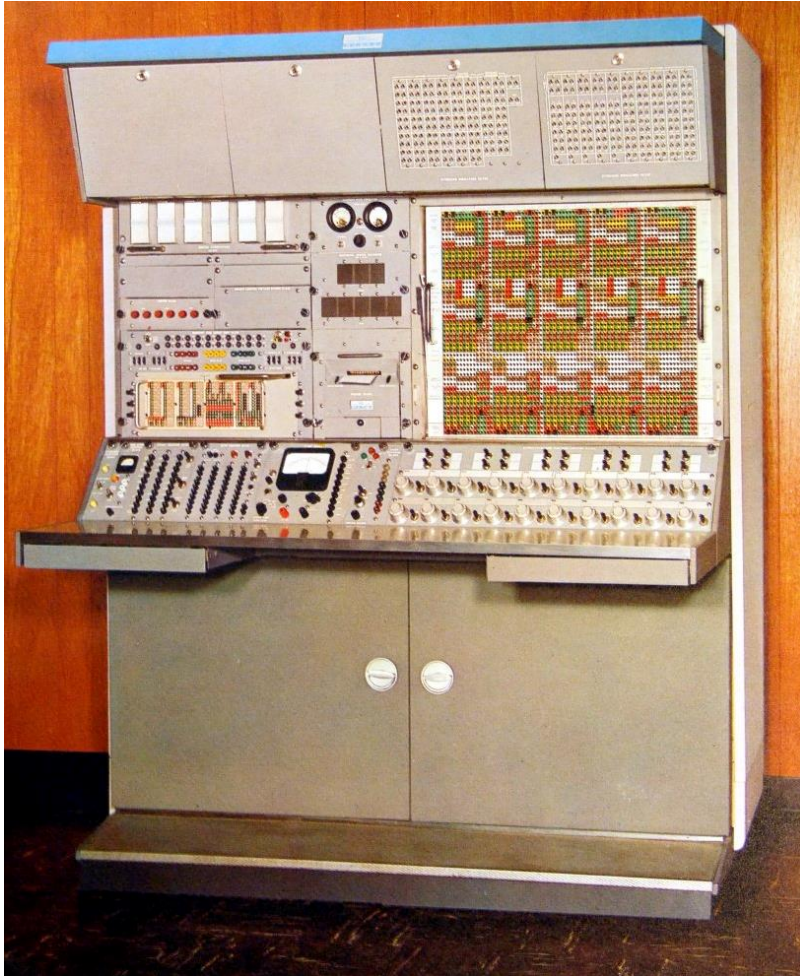


$$U_{S-} = \frac{R_A}{R_A + R_B} U_{ee}$$

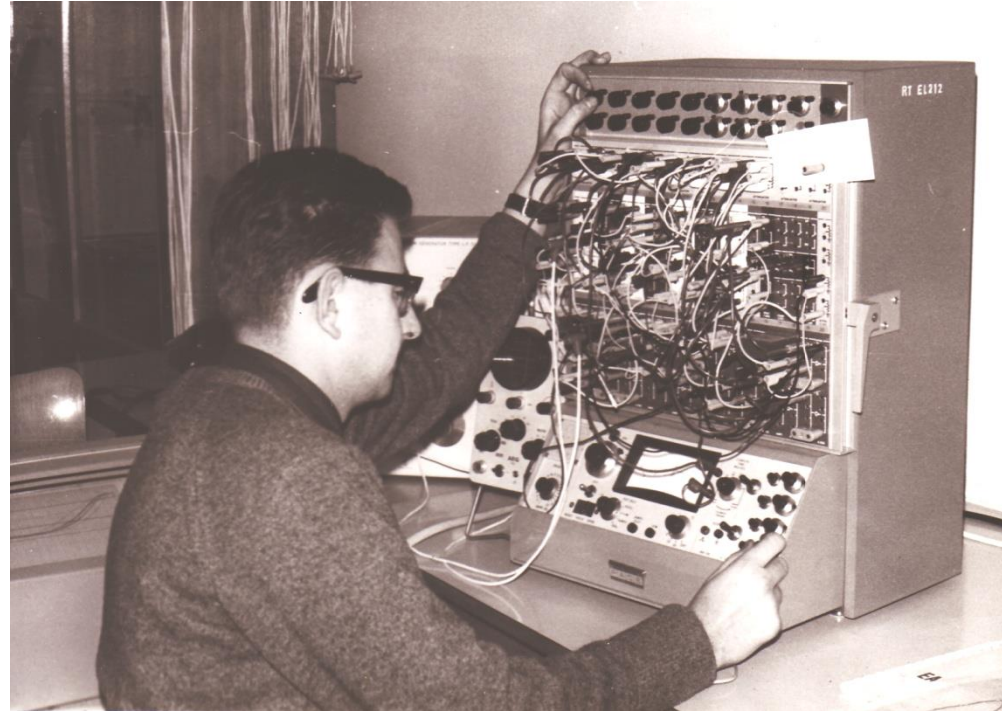
$$U_{S+} = \frac{R_A}{R_A + R_B} U_{CC}$$

$$U_a = \begin{cases} U_{CC}, & \text{wenn letzte überschrittene Schwelle } U_{S+} \\ U_{ee}, & \text{wenn letzte unterschrittene Schwelle } U_{S-} \end{cases}$$

Analogrechner



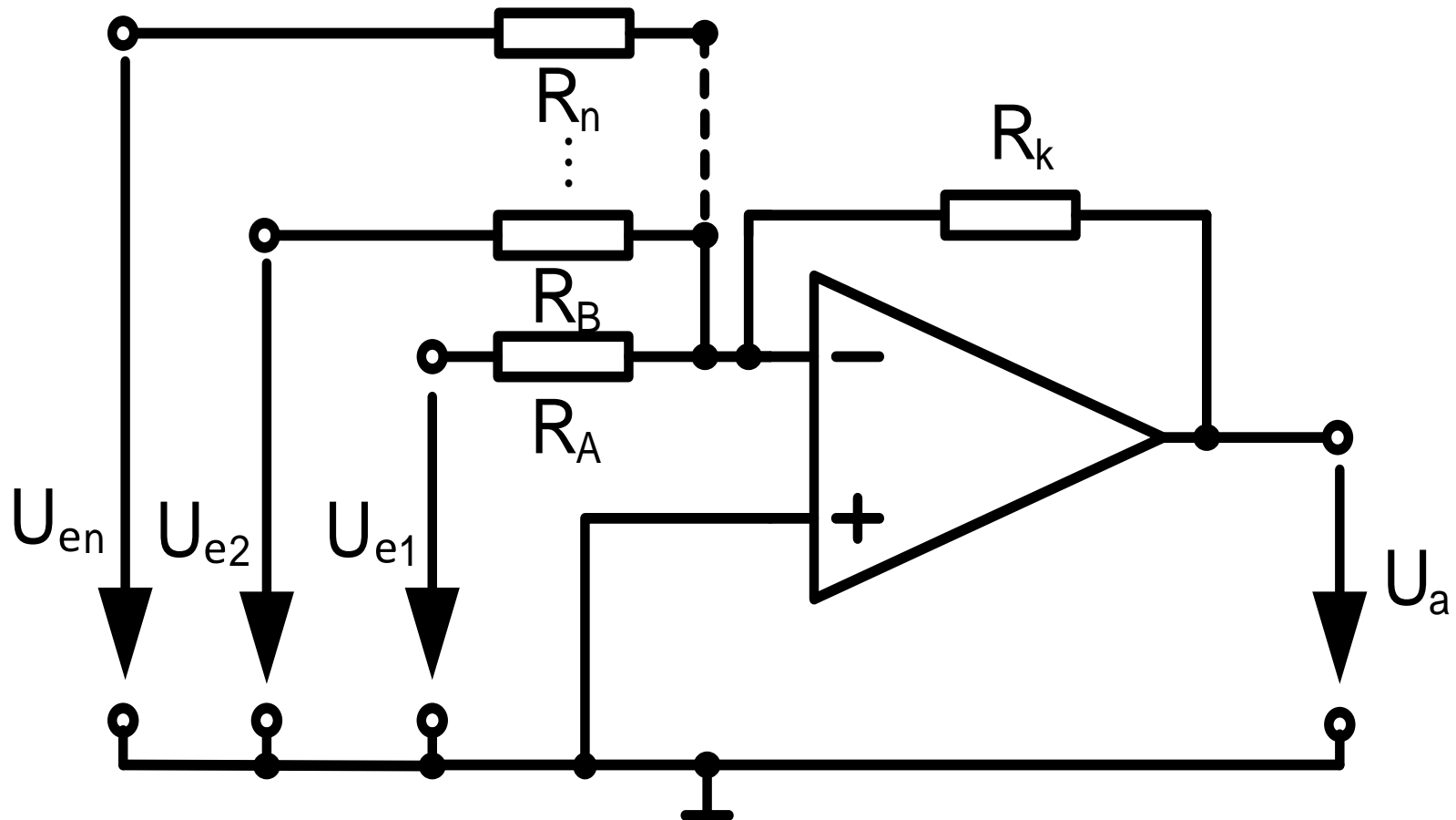
http://www.analogmuseum.org/english/impressions/eai_231_late.jpg



http://www.analogmuseum.org/english/impressions/frisch_02.jpg

Außenbeschaltung eines Operationsverstärkers

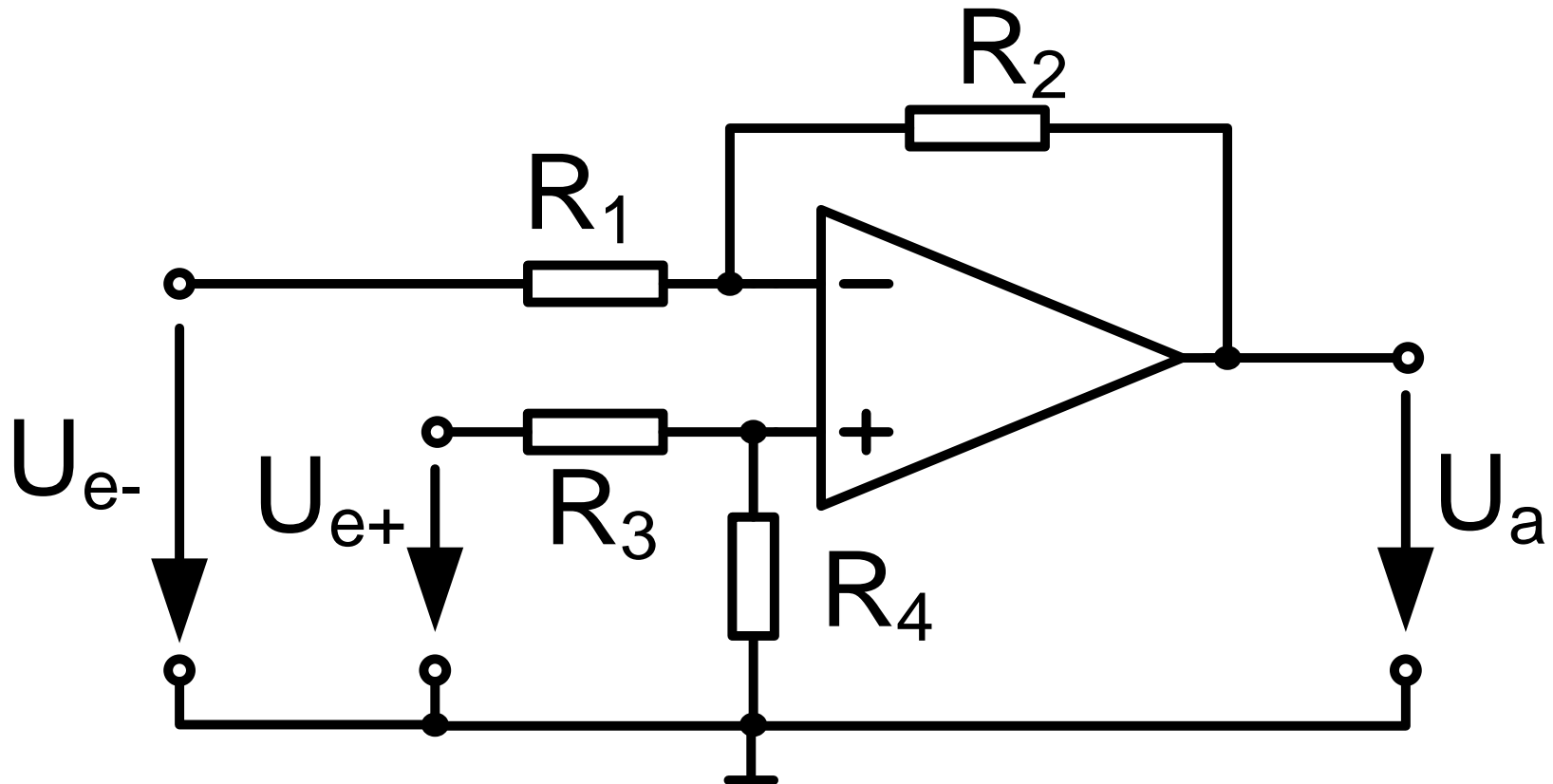
- invertierender Addierer -



$$U_a = -R_k \cdot \left(\frac{U_{e1}}{R_A} + \frac{U_{e2}}{R_B} + \dots + \frac{U_{en}}{R_n} \right)$$

Außenbeschaltung eines Operationsverstärkers

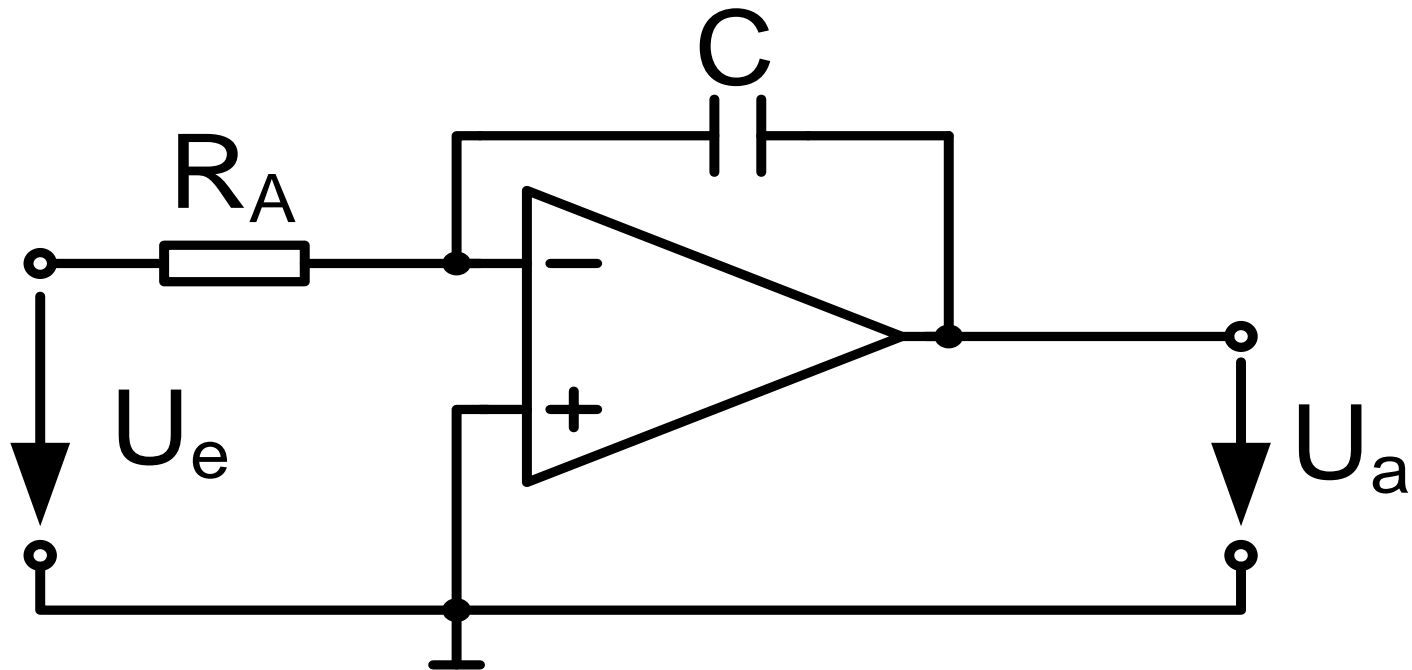
- Subtrahierer -



$$U_a = \frac{(R_1 + R_2)R_4}{(R_3 + R_4)R_1} U_{e+} - \frac{R_2}{R_1} U_{e-}$$

Außenbeschaltung eines Operationsverstärkers

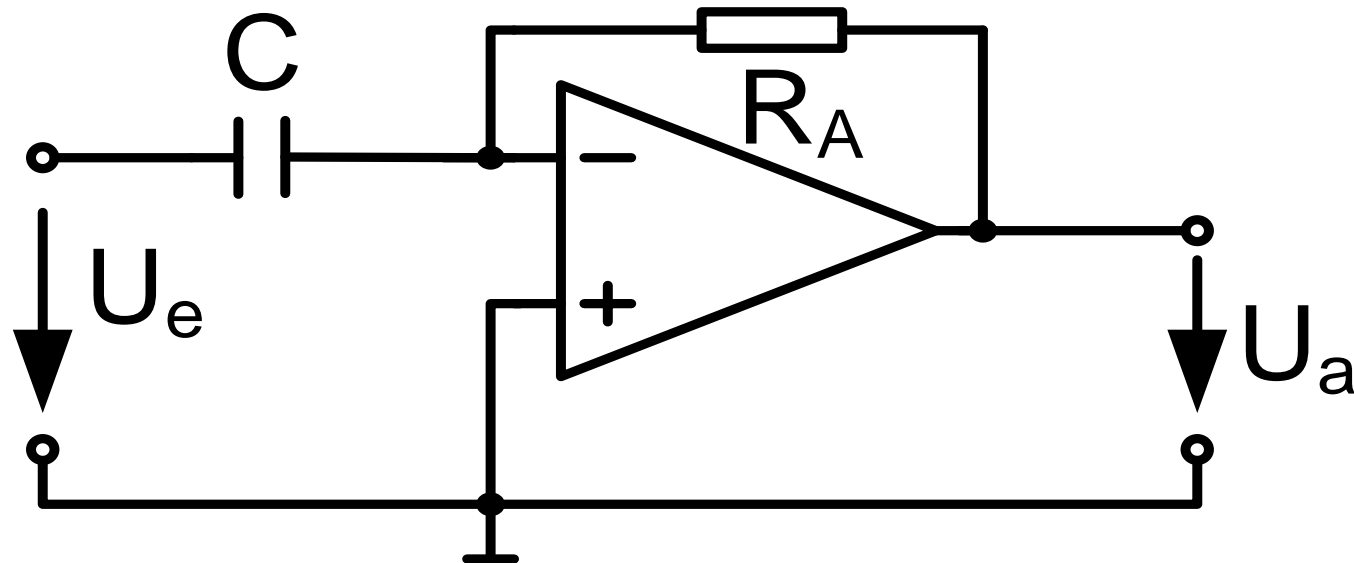
- invertierender Integrierer -



$$U_a(t) = -\frac{1}{R_A \cdot C} \cdot \int_0^t U_e(\tau) d\tau$$

Außenbeschaltung eines Operationsverstärkers

- invertierender Differenzierer -



$$U_a(t) = -R_A \cdot C \cdot \frac{dU_e(t)}{dt}$$

Operationsverstärker

- Sättigung am Beispiel des Impedanzwandlers -

