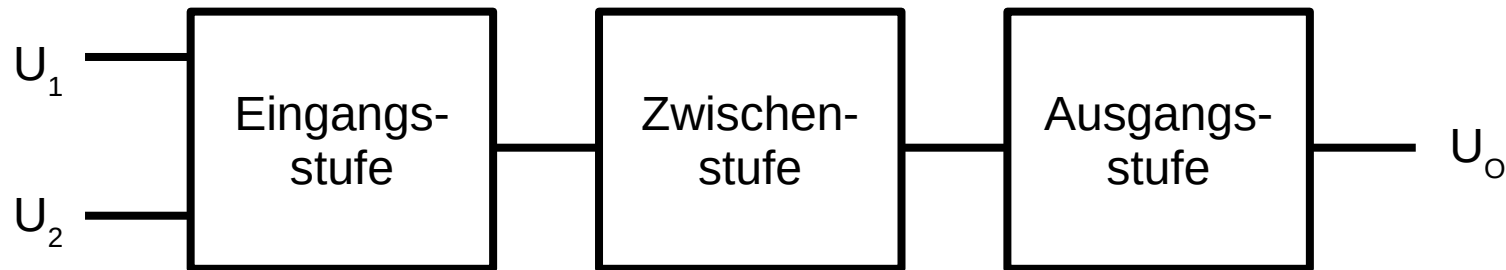


# Operationsverstärker

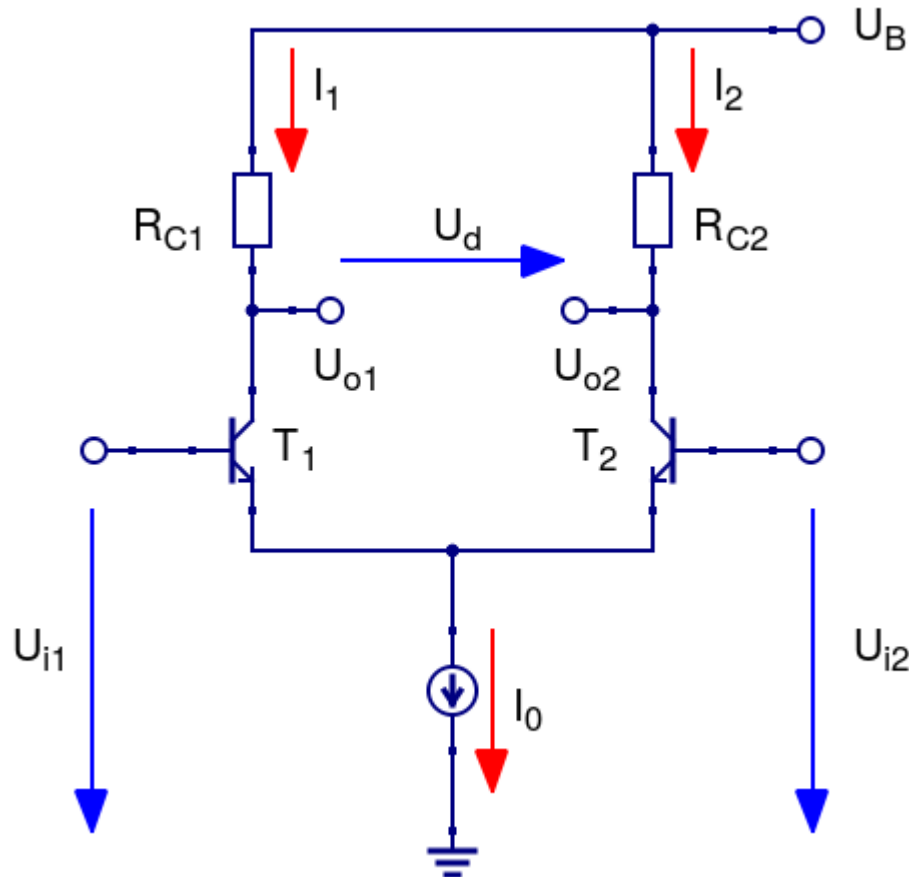


Eingangsstufe: Differenzverstärker

Zwischenstufe: Potentialanpassung, Spannungsverstärkung

Ausgangsstufe: meist Gegentaktendstufe

# Differenzverstärker mit symmetrischem Ausgang



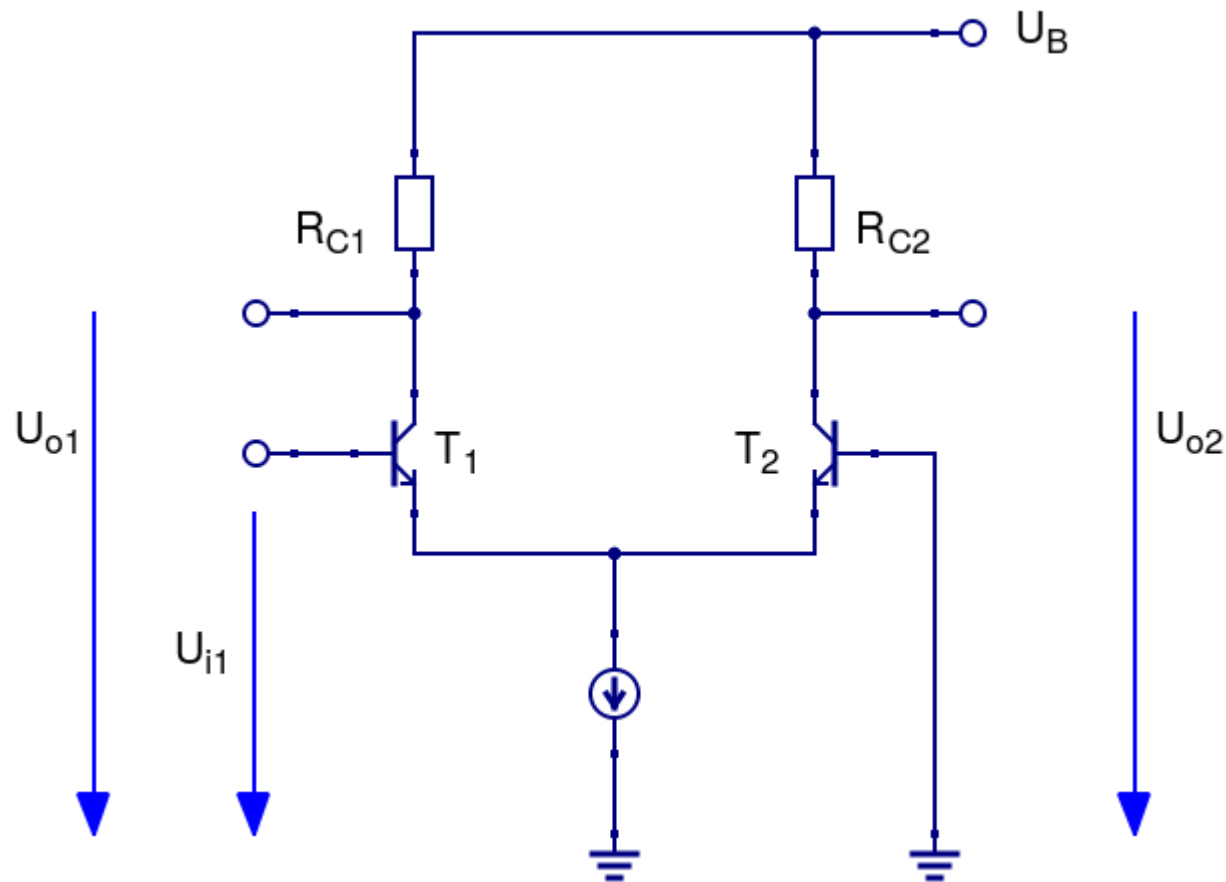
$$I_{od} = I_1 - I_2$$

$$I_0 \approx I_1 + I_2$$

$$U_{id} = U_{i1} - U_{i2}$$

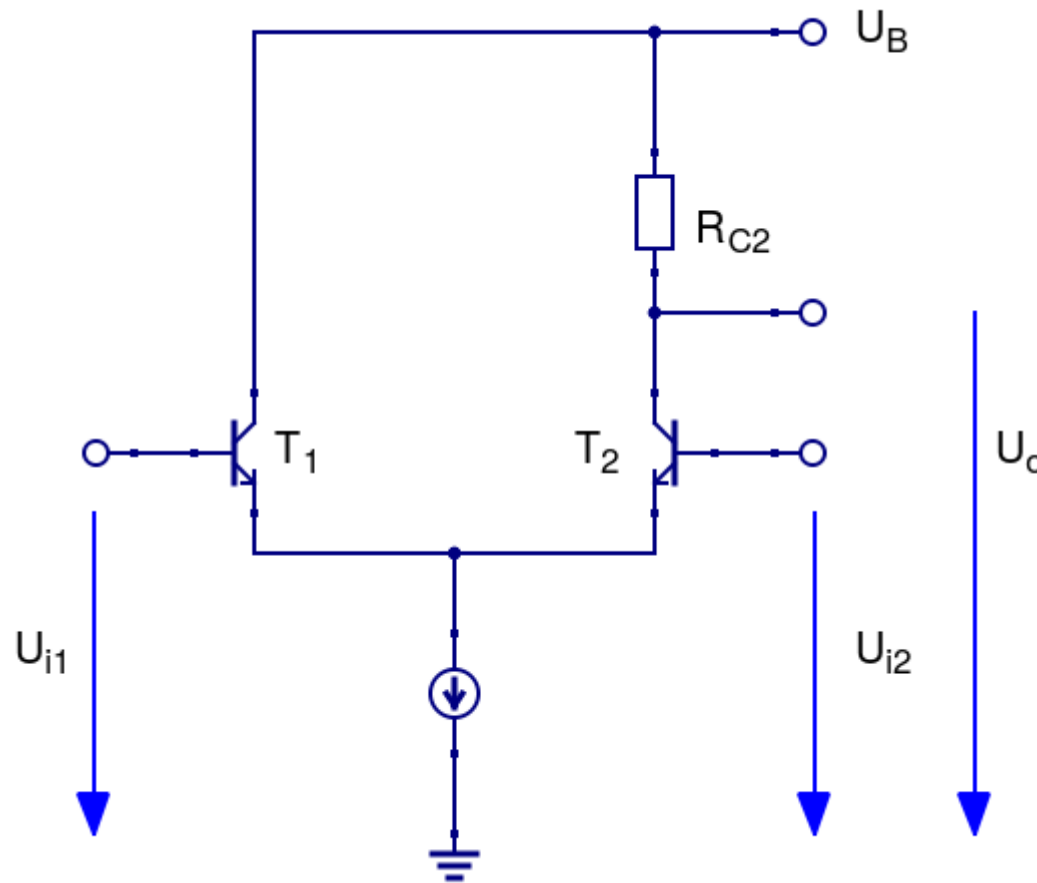
$$U_{od} = U_{o1} - U_{o2}$$

# Differenzverstärker mit unsymmetrischem Eingang



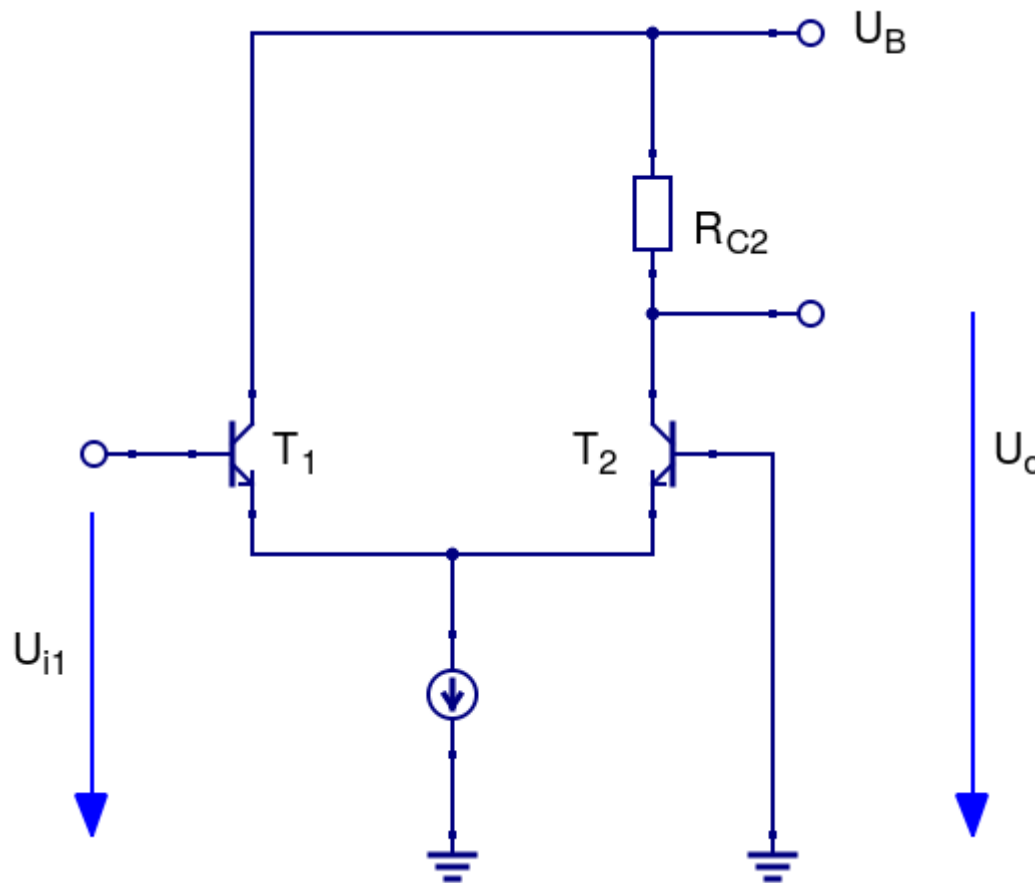
Umsetzung eines auf Masse bezogenen Signals in ein Differenzsignal

# Differenzverstärker mit unsymmetrischem Ausgang



Umsetzung eines  
Differenzsignals in ein  
auf Masse bezogenes  
Signals

# Differenzverstärker mit unsymmetrischem Ein- und Ausgang



Reihenschaltung aus  
Kollektor- und  
Basisschaltung mit  
hoher Grenzfrequenz

# Operationsverstärker (Kenngrößen)

Differenz- und Commonmode- / Gleichtakt-Verstärkung

$A$  .. Differenzverstärkung (erwünscht)

$A_{CM}$  .. Commonmodeverstärkung (unerwünscht)

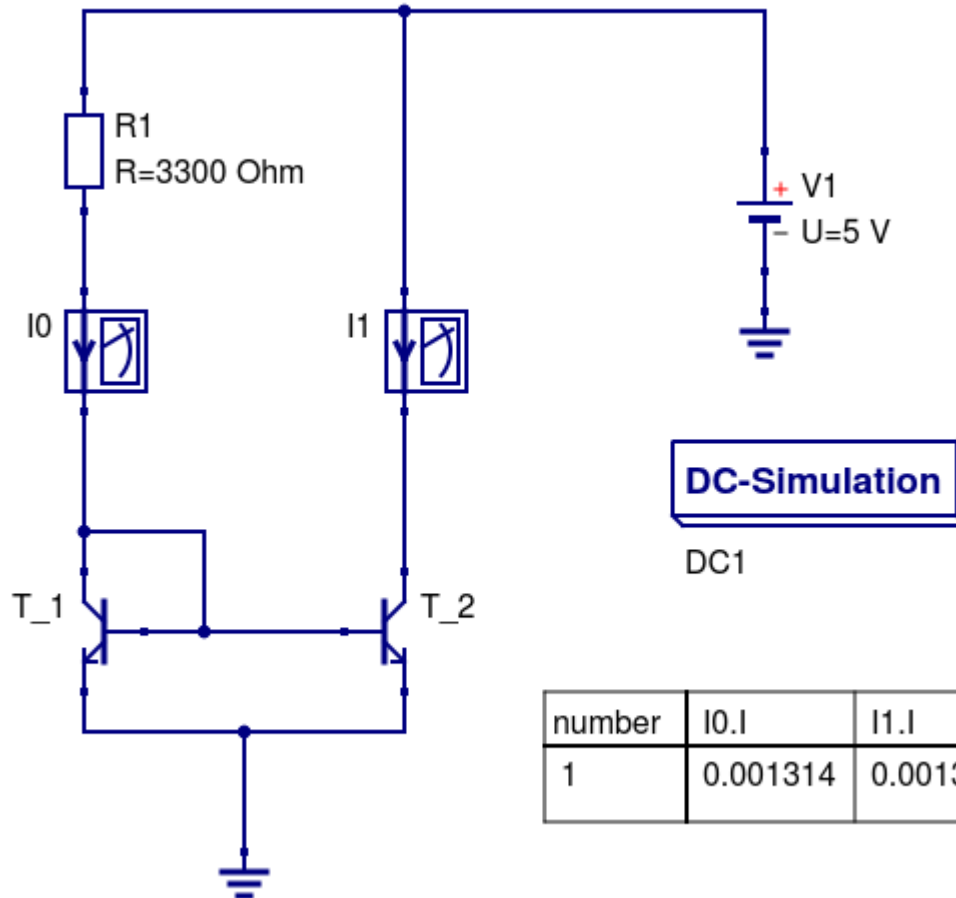
$$u_0 = A(u_{i1} - u_{i2}) + A_{CM} \left( \frac{u_{i1} + u_{i2}}{2} \right)$$

Gleichtaktunterdrückung / Commonmode rejection ratio

$$CMRR = \frac{A}{A_{CM}}$$

$$CMRR [dB] = 20 \log CMRR$$

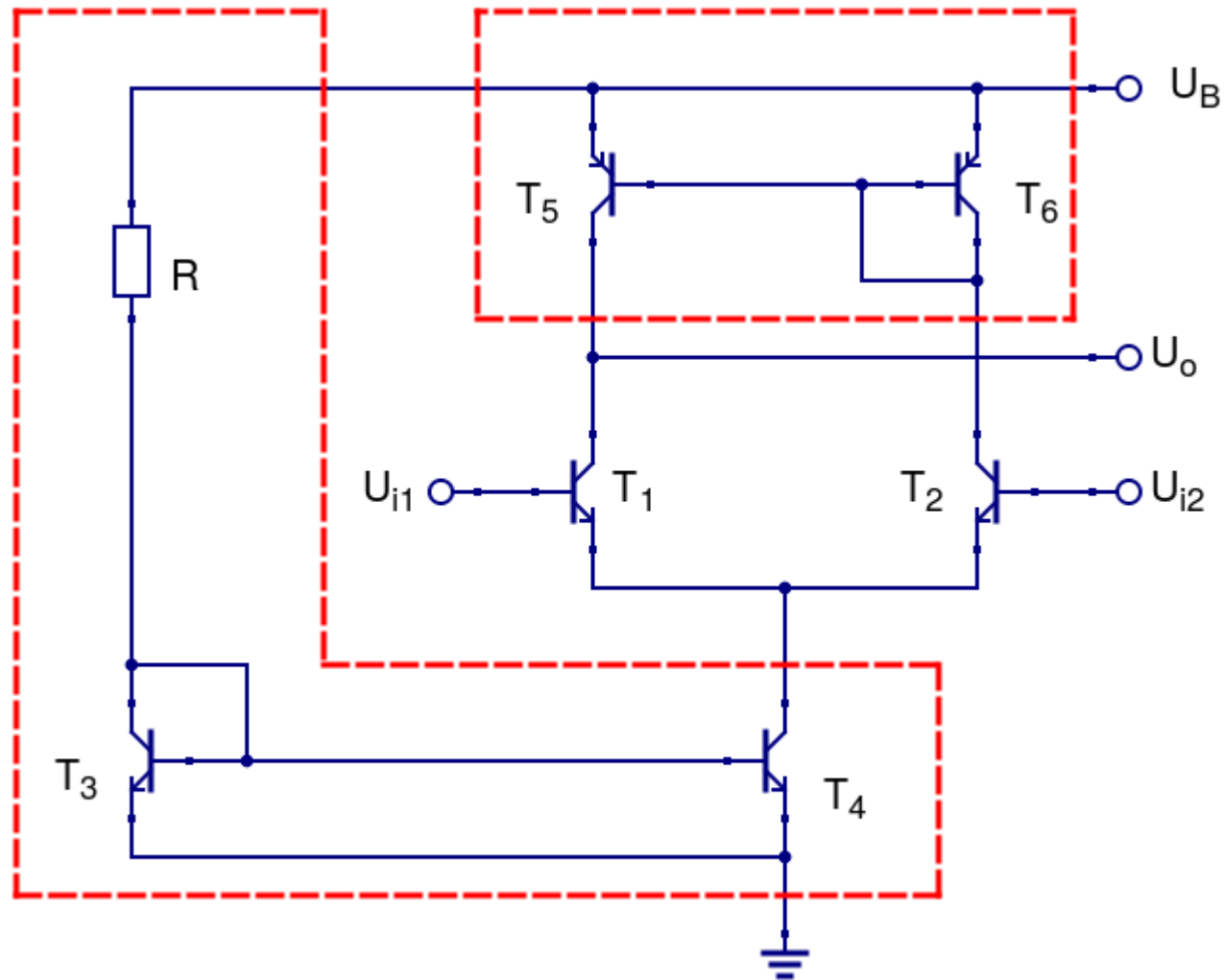
# Stromspiegel



$$I_0 \approx I_1$$

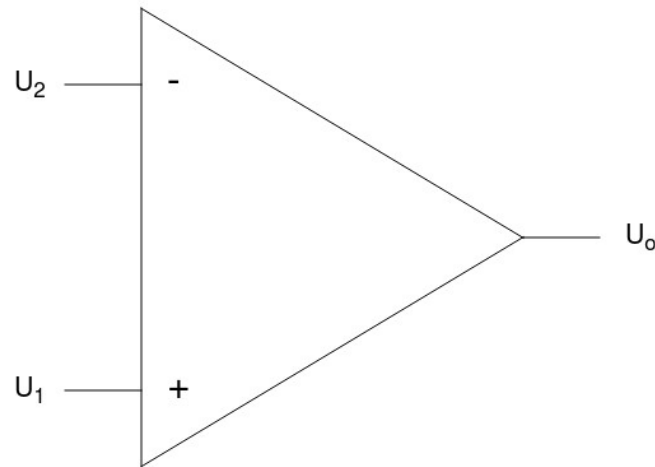
number	I0.I	I1.I
1	0.001314	0.001367

# Differenzverstärker mit aktiver Last





# Modelle des Operationsverstärkers



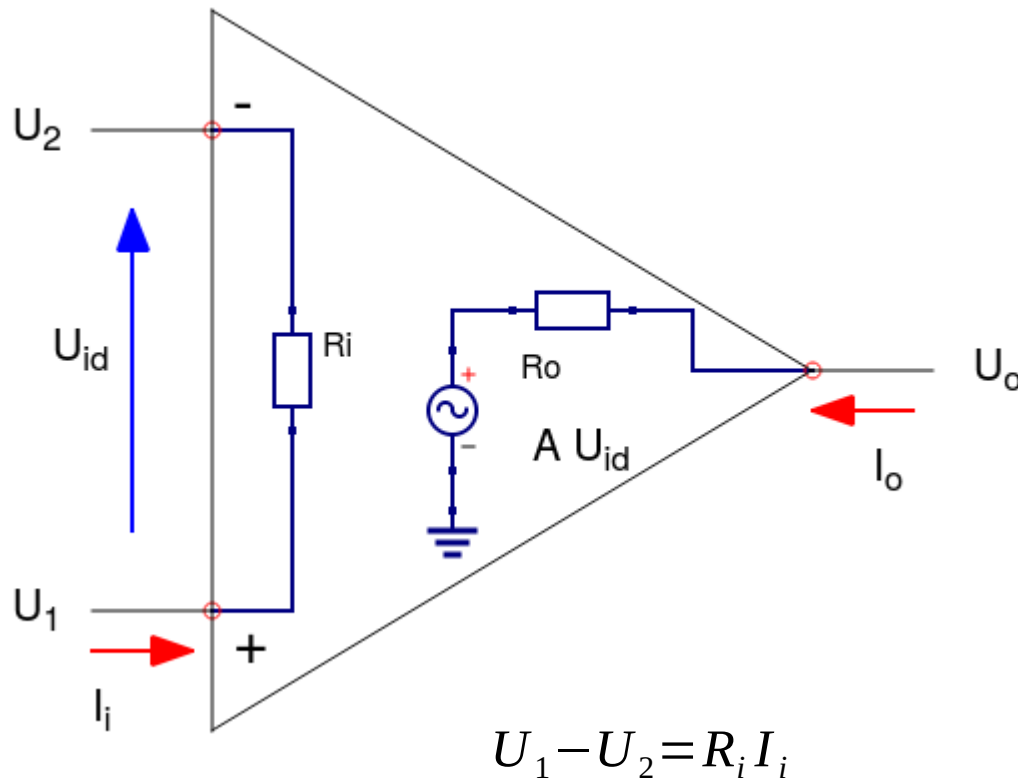
$$U_0 = A(U_1 - U_2) = A U_d$$

## Idealer OPV

Eigenschaften:

- unendlich große Spannungsvertärkung  $A = \infty \rightarrow$   
Differenzspannung  $U_d = 0$ .
- unendlich große Eingangsimpedanz  $R_i = \infty \rightarrow$   
Eingangsströme sind gleich Null  $I_1 = I_2 = 0$ .
- beliebig kleine Ausgangsimpedanz  $R_o = 0$ .

# Modelle des Operationsverstärkers



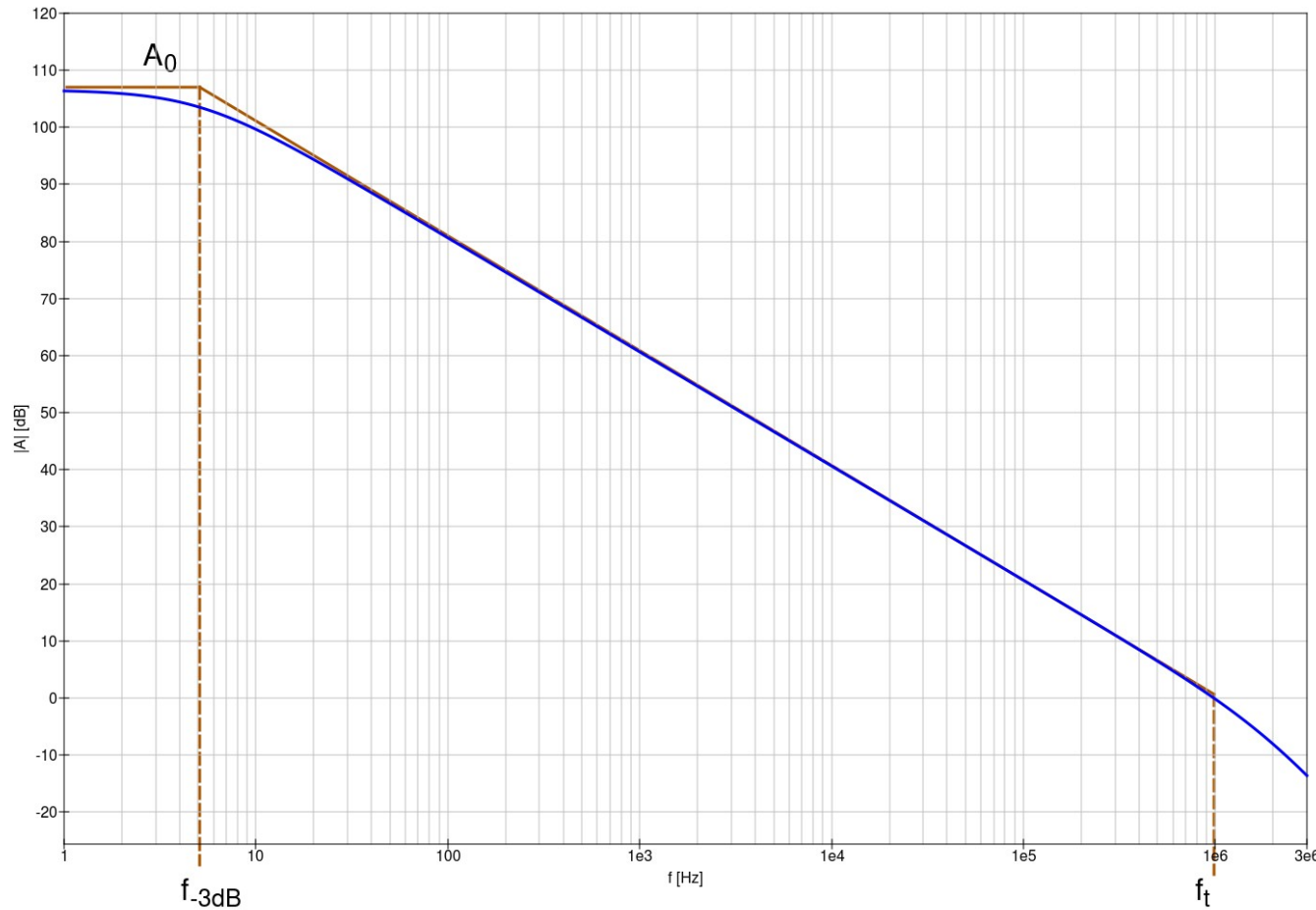
$$U_o = A(U_1 - U_2) - (R_o \cdot I_o)$$

## Realer OPV

Model mit:

- sehr großer, aber endlicher Spannungsverstärkung  $A$
- sehr großem, aber endlichem Eingangswiderstand  $R_i$
- sehr kleinem, aber von Null verschiedenen Ausgangswiderstand  $R_o$

# Nicht idealer Operationsverstärker

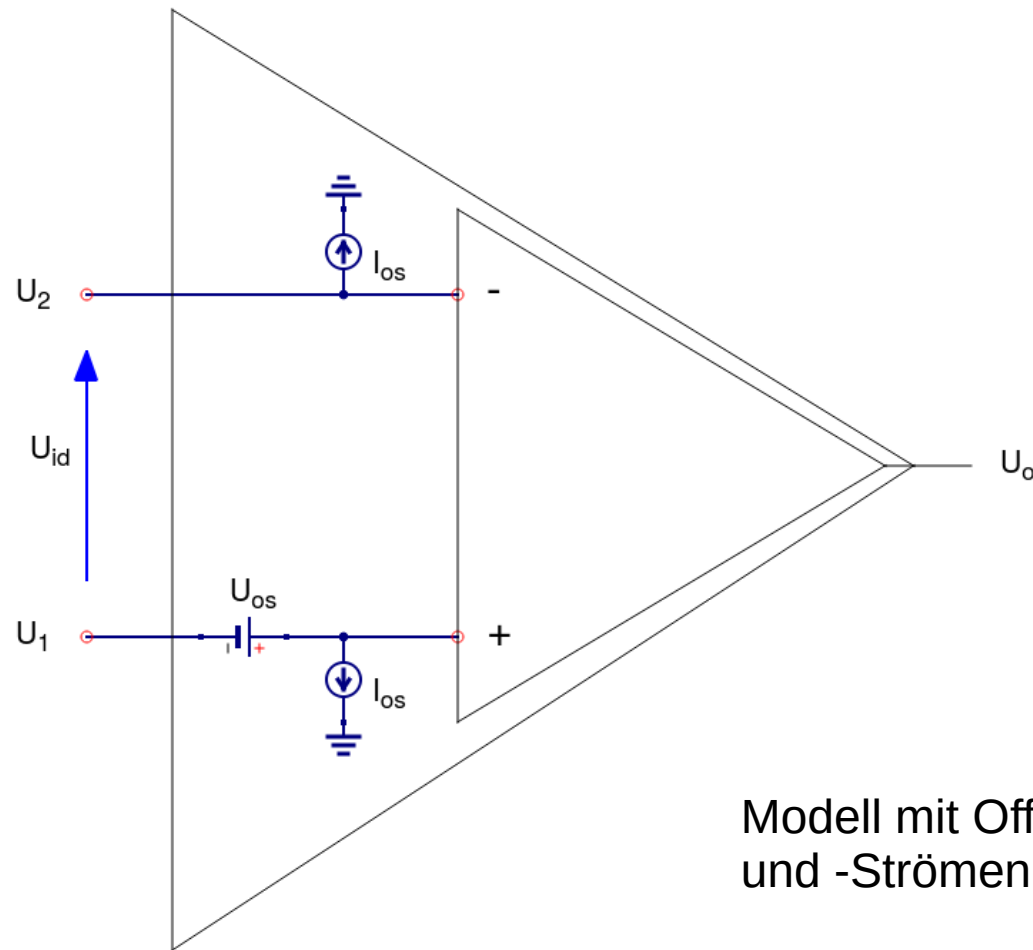


Open-Loop-Verstärkung  
(Leerlauf-Verstärkung)  
eines OPV in  
Abhängigkeit der  
Frequenz

$f_{-3dB}$  .. Grenzfrequenz

$f_t$  .. Transitfrequenz  
(Verstärkung = 1)

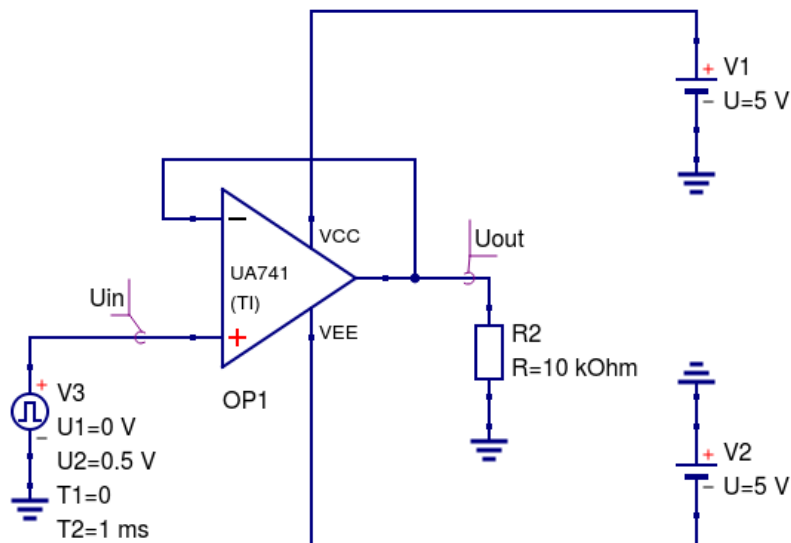
# Offset-Spannungen und -Ströme



Modell mit Offset-Spannungen  
und -Strömen

# Ausgangsspannungsbegrenzung und Slew-Rate

OPV mit Verstärkung = 1



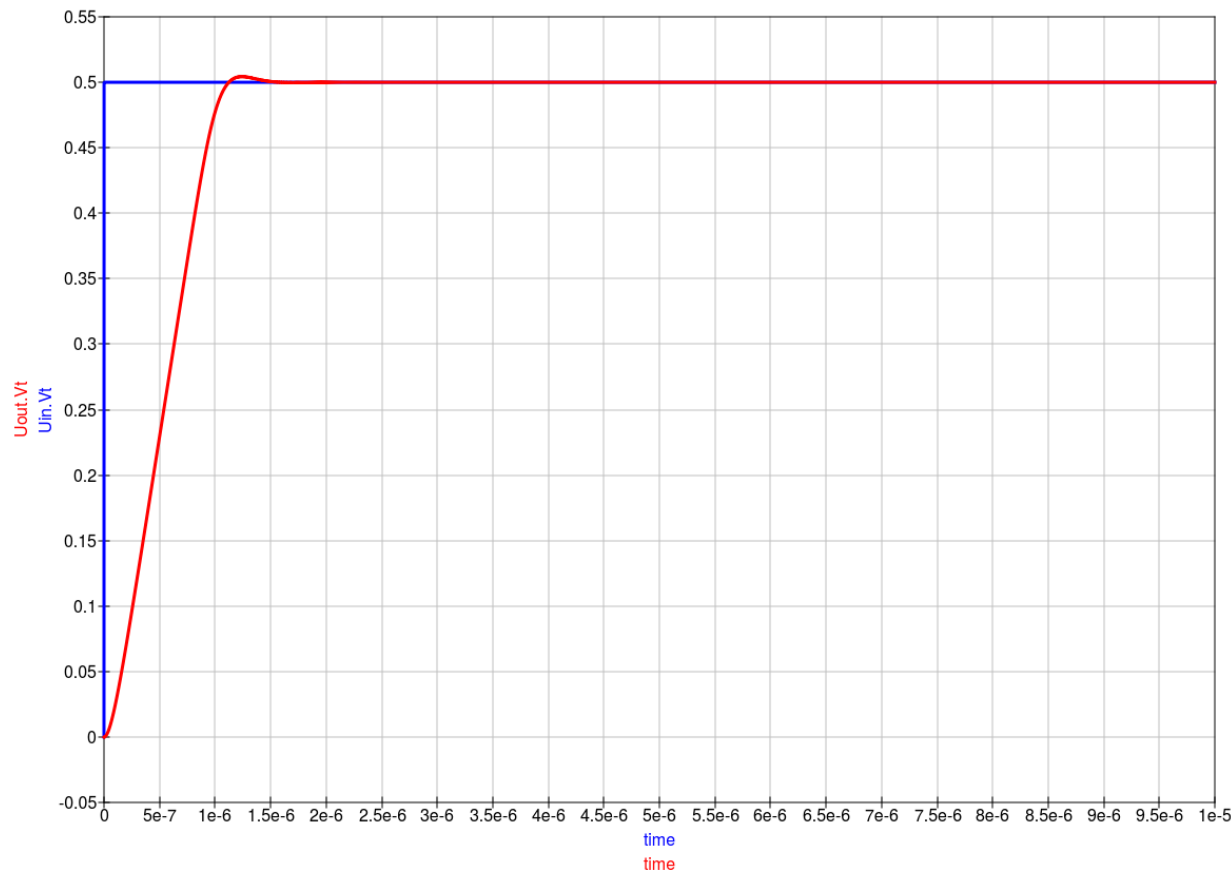
DC-Simulation

DC1

Transientsimulation

TR1  
Type=lin  
Start=0  
Stop=10 us

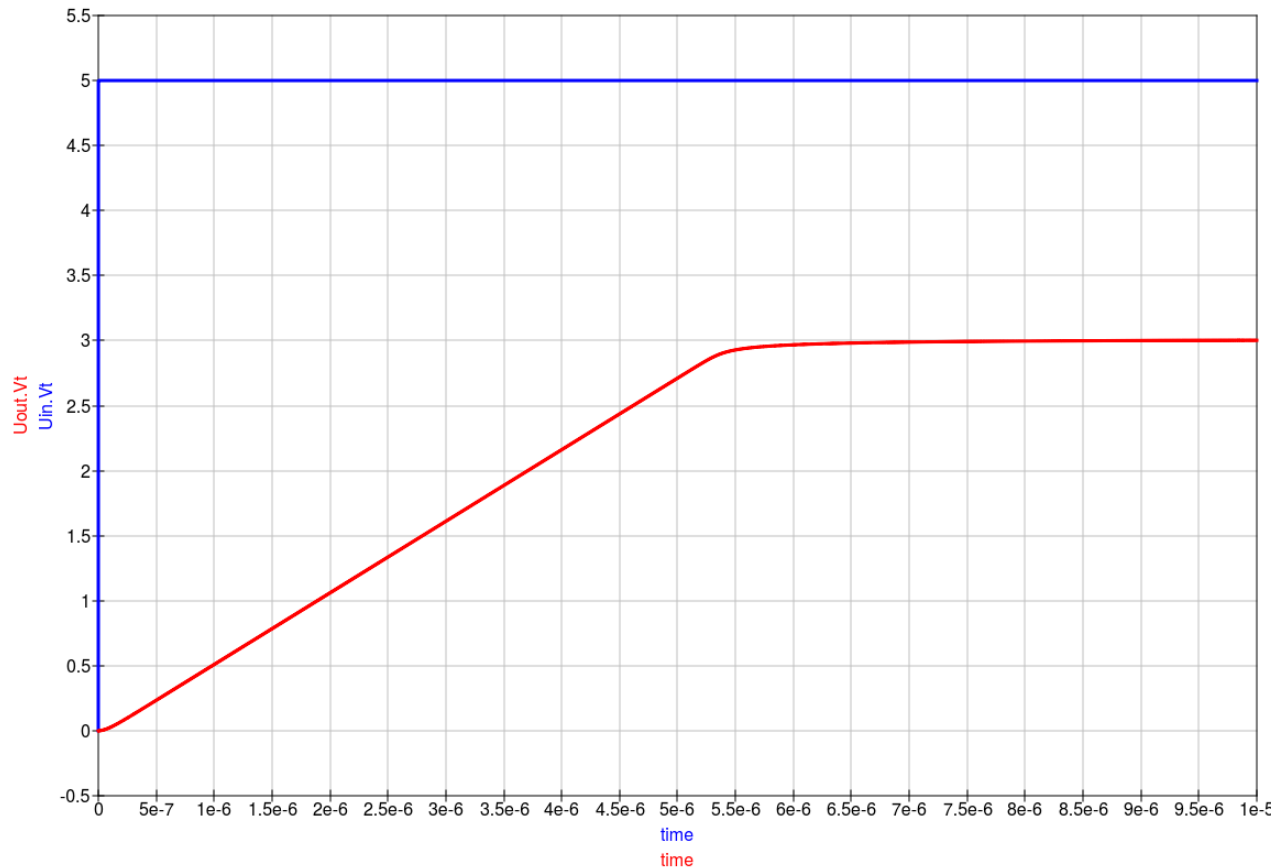
# Ausgangsspannungsbegrenzung und Slew-Rate



Eingangssignal (blau):  
Spannungssprung  
 $0\text{ V} \rightarrow 0,5\text{ V}$

Ausgangssignal (rot):  
Bandbreitenbegrenzt  
OPV hat Tiefpass-  
Charakteristik

# Ausgangsspannungsbegrenzung und Slew-Rate



Eingangssignal (blau):

Spannungssprung

0 V → 5,0 V

Ausgangssignal (rot):

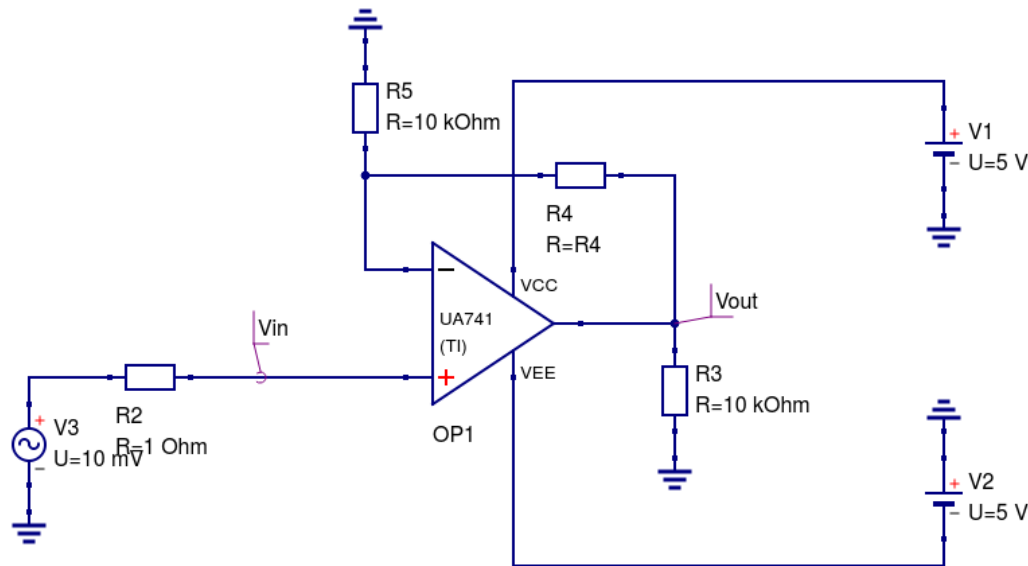
Begrenzt in der

Spannung und

im Anstieg (Slew-Rate)

$$SR = \left. \frac{du_0}{dt} \right|_{max} \quad SR = \frac{I_{max}}{C}$$

# Gain-Bandwidth-Product GBW



$$GBW = f_{-3dB} |A_0|$$

Beschreibt eine Fläche!

DC-Simulation

DC1

AC-Simulation

AC1  
Type=log  
Start=1 Hz  
Stop=3000 kHz  
Points=648

Gleichung

GAIN1  
A=dB(Vout.v/Vin.v)

Parameterdurchlauf

SW1  
Sim=AC1  
Type=list  
Param=R4  
Values=[10 kOhm; 31.4 kOhm; 100 kOhm; 314 kOhm; 1 MOhm; 3.14 MOhm; 10 MOhm; 31.4 MOhm]



# Gain-Bandwidth-Product GBW

