

Operationsverstärker

Martin Johannes Hagemeyer



Gliederung

- Bezeichnungen & Schaltzeichen
- Funktion (ideales ESB)
- Eigenschaften des idealen & realen OV
- Aufbau am Beispiel des $\mu A741$
- Anwendung

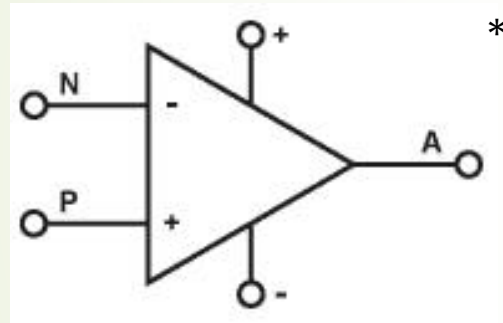


Bezeichnung

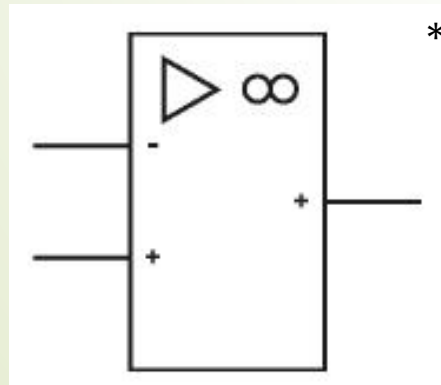
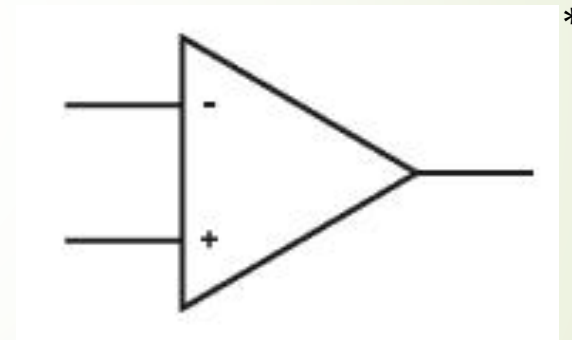
- Abkürzungen für den Operationsverstärker
 - OP
 - OV
 - OPV
 - OpVer
 - OpAmp (engl. Operational Amplifier)
 - OA

Schaltzeichen

OV mit
Versorgungsanschlüssen



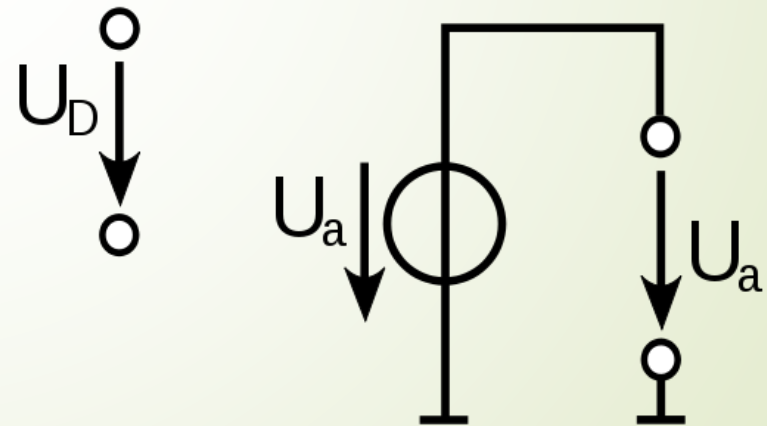
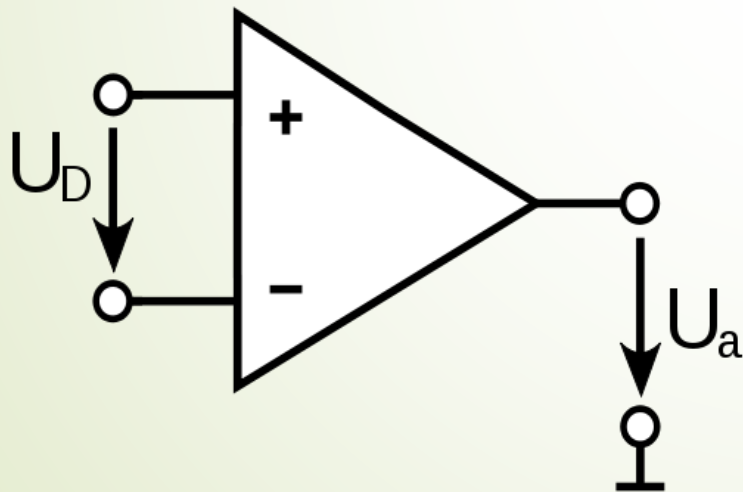
OV ohne
Versorgungsanschlüsse
nach DIN 40900 (veraltet)



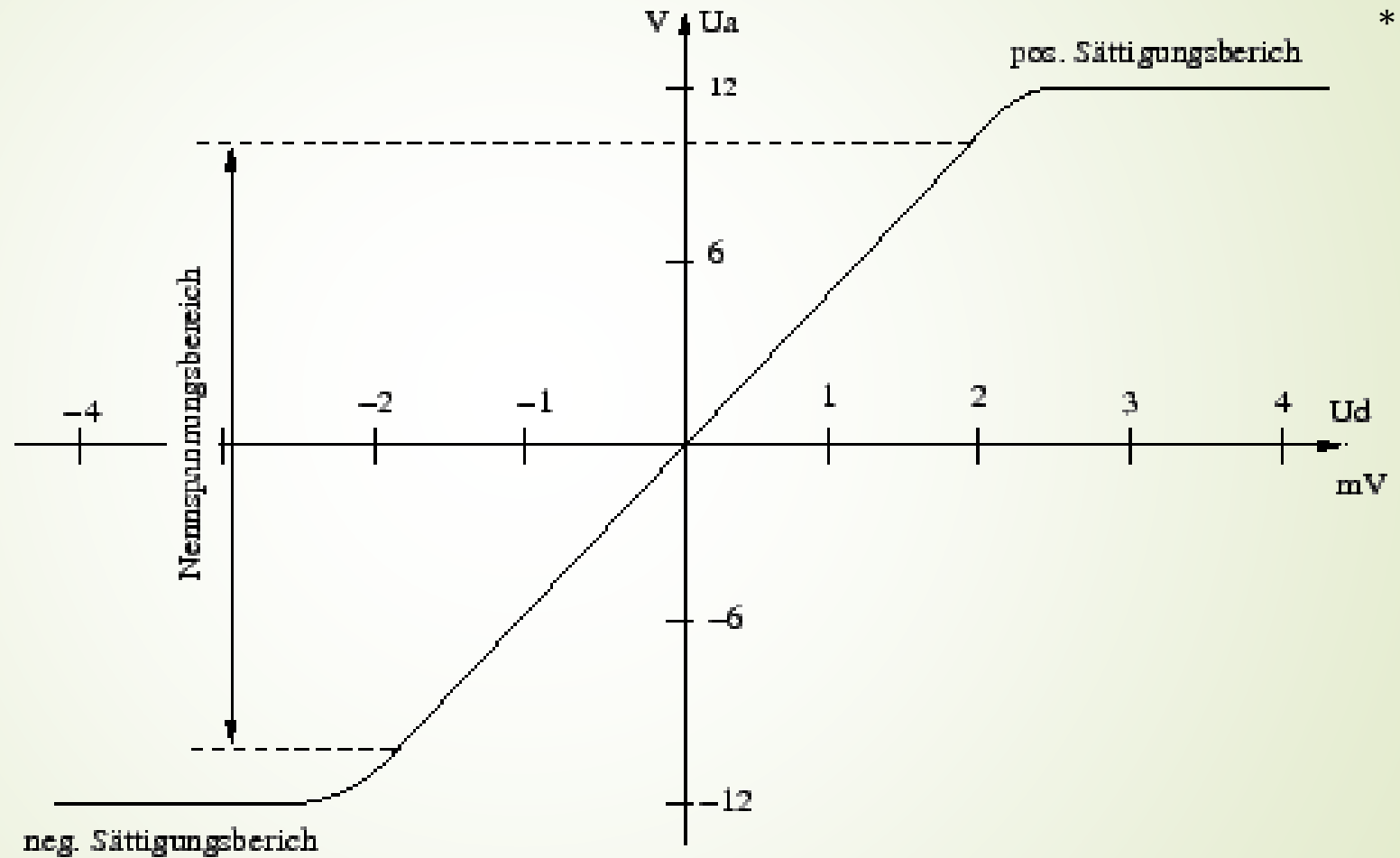
Schaltzeichen nach
DIN 40900 (aktuell)

Funktion (ideales ESB)

- ▶ Gesteuerte Spannungsquelle
 - ▶ $U_a = U_D \cdot G$
- ▶ Nichtideale OVs haben eine endliche Geradeausverstärkung G .
- ▶ Die vielseitigen Funktionen ergeben sich aus der Beschaltung. (siehe Anwendung)



Funktion (Kennlinie)



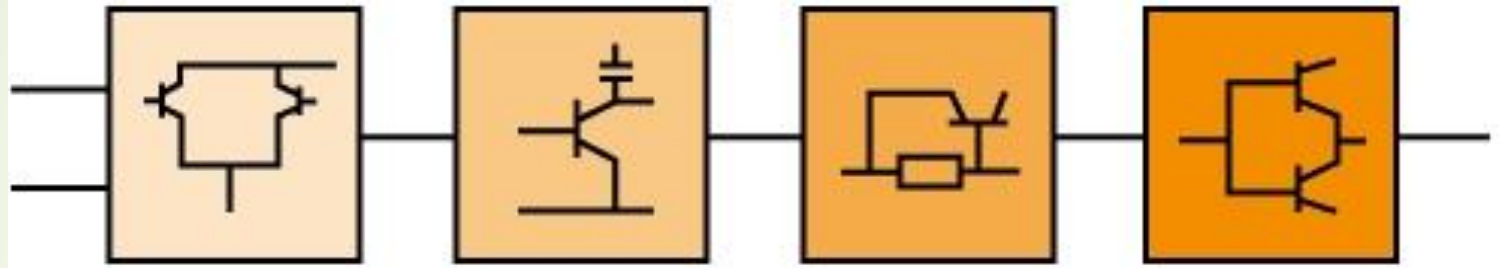
Eigenschaften eines idealen OVs

- Unendlich großer Verstärkungsfaktor V
- Unendlich großer Eingangswiderstand R_e
- Ausgangswiderstand R_a gleich Null
- Frequenzbereich von Null bis unendlich
- Vollkommen symmetrisch
- Bei gleichen Eingangsspannungen \rightarrow die Ausgangsspannung Null
- Keine Verzerrung, kein Rauschen und keine Temperaturabhängigkeit
- Linearer Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung

Vergleich zum realen OV

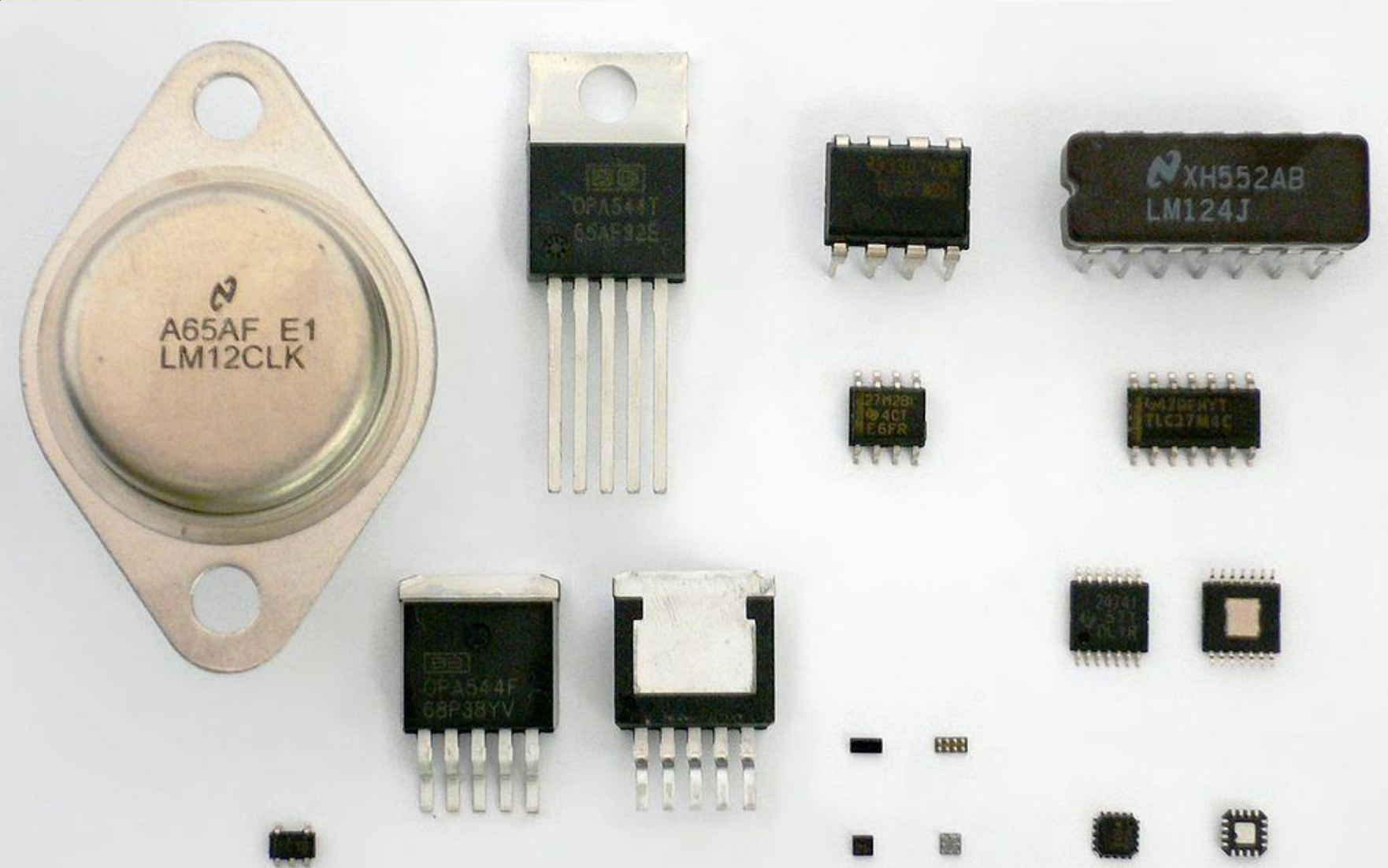
Kenngröße	Idealer OV	Realer OV*
Verstärkungsfaktor V	unendlich	ca. 1.000.000
Eingangswiderstand R_e	unendlich Ω	1 M Ω bis 1000 M Ω
Untere Grenzfrequenz f_{min}	0 Hz	0 Hz
Unity-Gain-Frequenz-Bandbreite	unendlich Hz	>100 MHz
Offset-Spannung	0 V	ca. 100 μ V

Prinzipieller Aufbau des OV

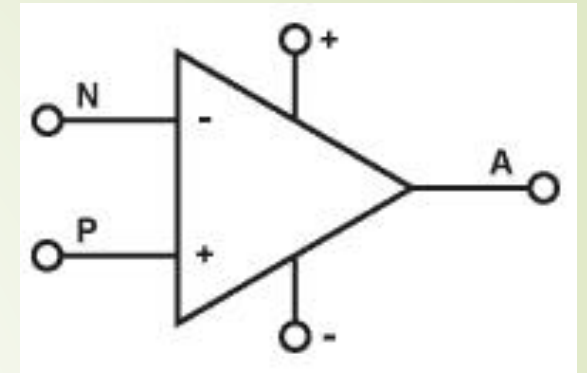


1. Eingangsstufe ist immer ein Differenzverstärker
2. Zweite Verstärkerstufe
(mit Frequenzgangkompensation)
3. Kurzschlusssicherung
4. Gegentaktverstärker

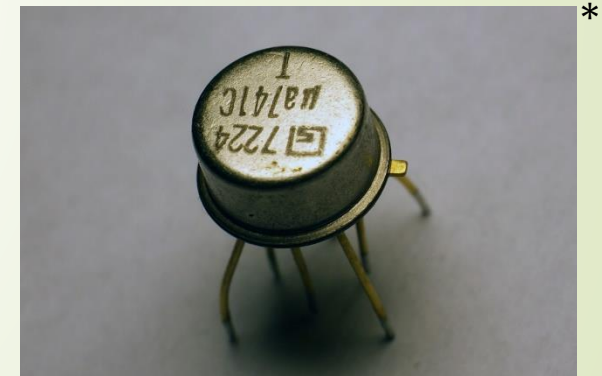
Aufbau



*



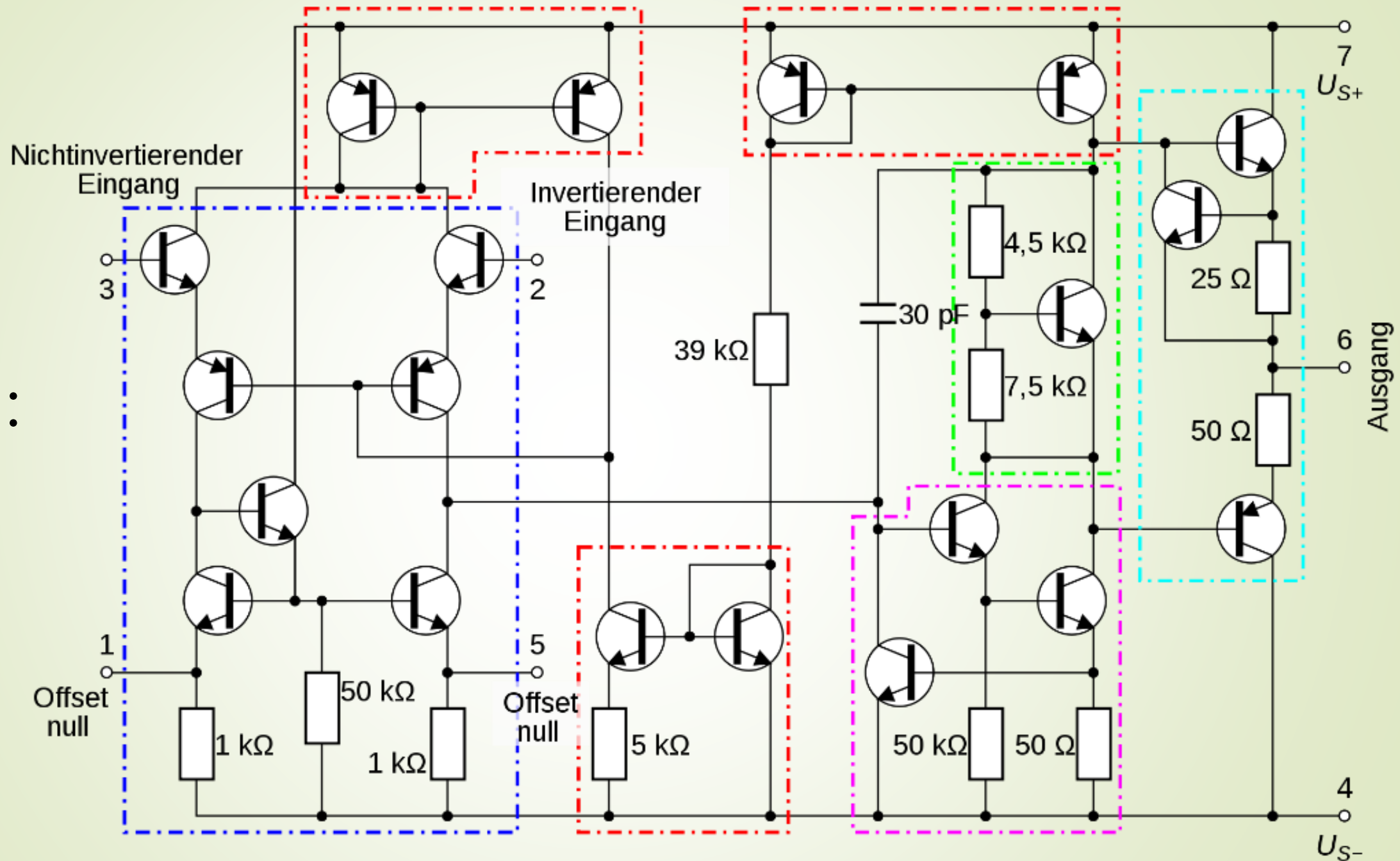
μ A471:



*

*Quelle: www.de.wikipedia.org/wiki/Operationsverstärker

$\mu A471$:
(1968)

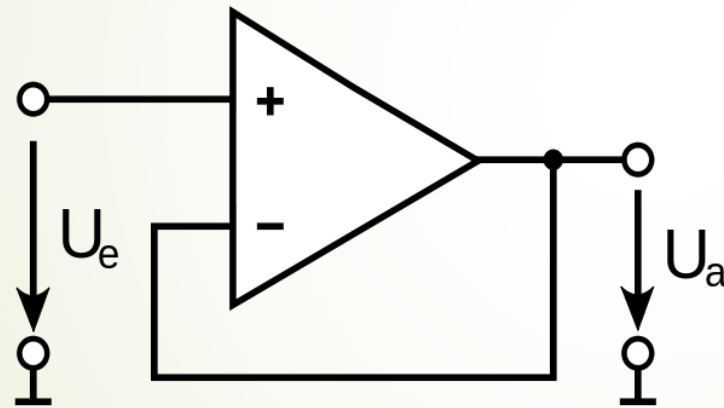




Anwendung

- Der OV ist ein universelles Bauteil. Der OV als...
 - ...Verstärker
 - ...Schwingungserzeuger
 - ...Schalterstufe
 - ...Subtrahier- und Addierschaltungen
 - ...aktives Filter
 - ... uvm

OV als Impedanzwandler



*

- Auch Spannungsfolger genannt
- Verstärkung: 1
- Ausgangsspannung folgt direkt der Eingangsspannung
- Eingangswiderstand (positiver Eingang) sehr hoch
- Ausgangswiderstand im Vergleich sehr klein

OV als Impedanzwandler

Berechnung: $U_P = U_e$
 $U_N = U_a$

$$U_a = G \cdot U_D$$

$$U_a = G \cdot (U_P - U_N)$$

*

$$U_a = G \cdot (U_e - U_a) \quad | /U_a$$

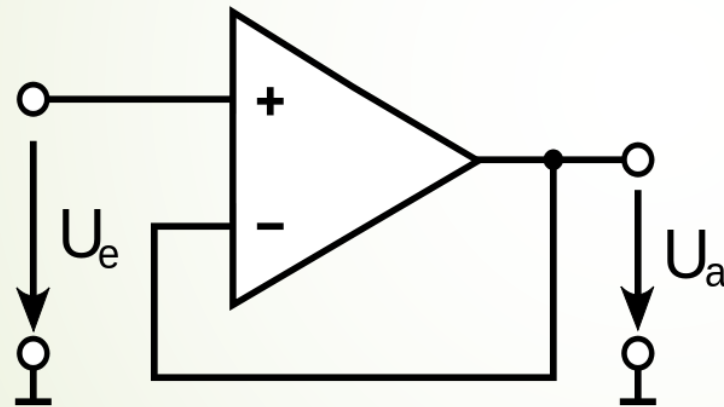
$$1 = G \cdot \left(\frac{U_e}{U_a} - 1 \right) \quad | /G$$

$$\frac{1}{G} = \frac{U_e}{U_a} - 1$$

$$\frac{U_e}{U_a} = \frac{1}{G} + 1 \quad | \lim_{G \rightarrow \infty}$$

$$\frac{U_e}{U_a} = 1$$

$$U_a = U_e$$

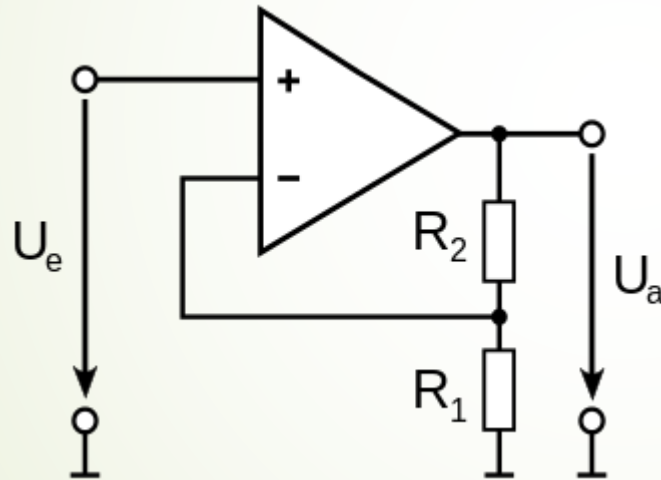


OV als nichtinvertierender Verstärker

Berechnung: $U_P = U_e$

$$U_N = U_a \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

*



$$U_a = G \cdot U_D$$

$$U_a = G \cdot (U_P - U_N)$$

$$U_a = G \cdot \left(U_e - U_a \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad | /U_a$$

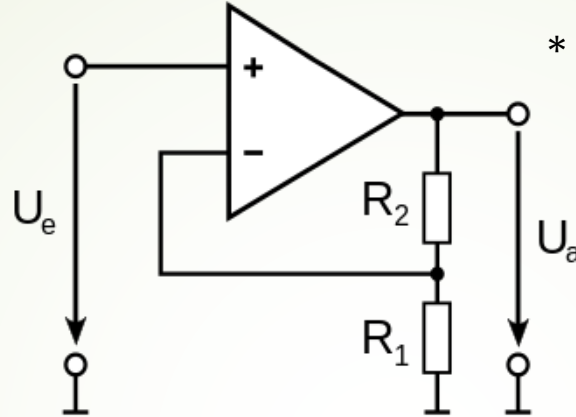
$$1 = G \cdot \left(\frac{U_e}{U_a} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad | /G$$

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

OV als nichtinvertierender Verstärker

$$U_P = U_e$$

$$U_N = U_a \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



$$U_a = G \cdot U_D$$

$$U_a = G \cdot (U_P - U_N)$$

$$U_a = G \cdot \left(U_e - U_a \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad | / U_a$$

$$1 = G \cdot \left(\frac{U_e}{U_a} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad | / G$$

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

$$\frac{U_e}{U_a} = \frac{1}{G} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad \left| \frac{\lim}{G \rightarrow \infty} \right.$$

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

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



Literaturverzeichnis

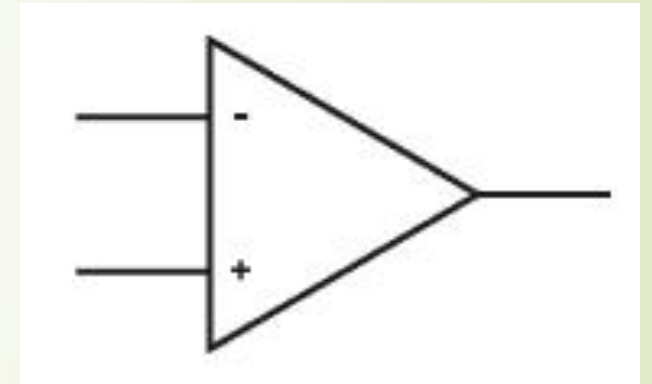
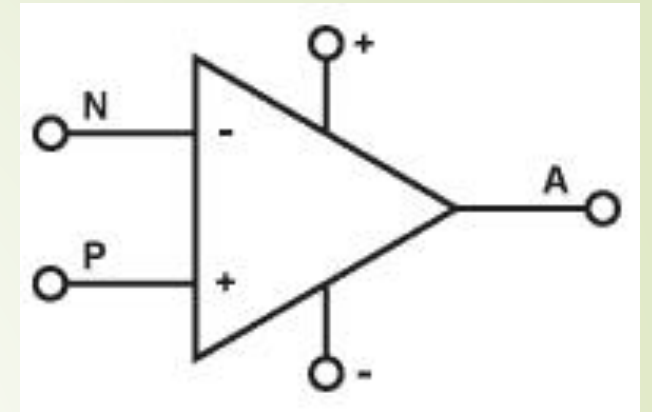
- Schnabel, Patrick: Elektronik-Fibel. 2012
- www.tech-edv.co.at/Diplomarbeit/HTML/node52.html (Stand 29.04.15)
- www.de.wikipedia.org/wiki/Operationsverstärker (Stand 27.04.15)



Fragen?

Anschlüsse

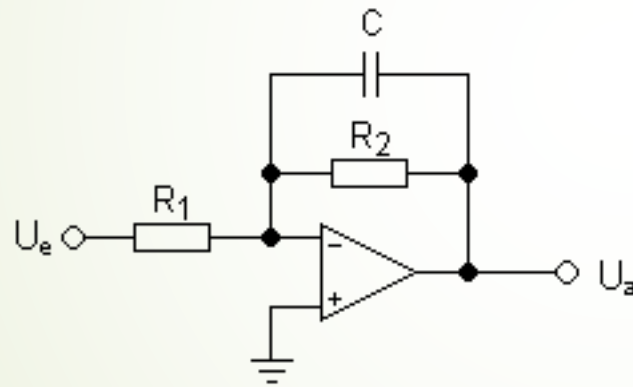
- ▶ nichtinvertierender (+) Eingang ist immer hochohmiger Spannungseingang
- ▶ Invertierender (-) Eingang ist typabhängig
 - ▶ Hochohmiger Spannungseingang (herkömmlicher OV)
 - ▶ Niederohmiger Stromeingang
- ▶ Ausgang ist typabhängig
 - ▶ Niederohmiger Spannungsausgang (herkömmlicher OV)
 - ▶ Hochohmiger Stromausgang



4 verschieden Typen:

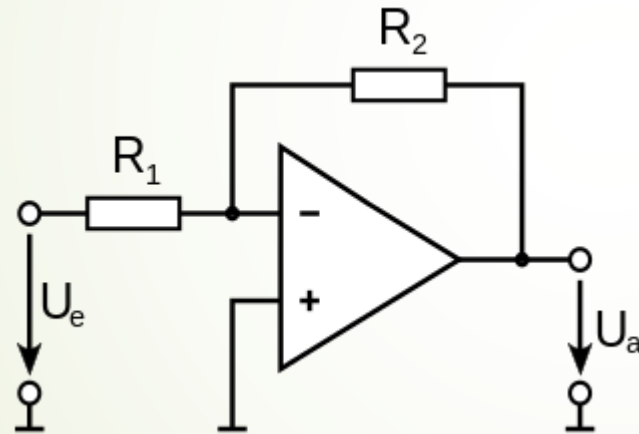
- ▶ VV-OV: herkömmlicher OV
- ▶ CV-OV: Stromrückgekoppelter OV
- ▶ VC-OV: Transkonduktanzverstärker
- ▶ CC-OV: Stromverstärker

OV als aktives Tiefpassfilter 1. Ordnung



- Verstärkung: $v = -\frac{R_2}{R_1}$
- * ➤ $U_a = -U_e \cdot \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{|X_C|}{\sqrt{X_C^2 + R_2^2}}$
- Grenzfrequenz $f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C}$
- Vorteil: Frequenzgang ist unabhängig von der am Ausgang angeschlossenen Last

OV als invertierender Verstärker

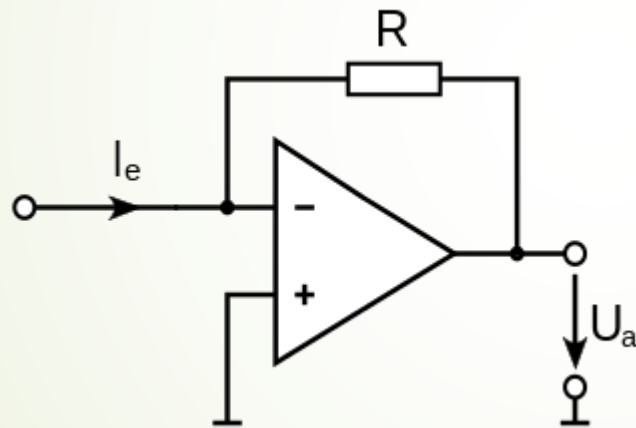


➤ Verstärkung: $v = -\frac{R_2}{R_1}$

*

➤ $U_a = v \cdot U_e = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_e$

OV als Strom-Spannungs-Wandler



*

➤ Eingangstrom I_e wird in eine proportionale Spannung U_a gewandelt

➤ $U_a = -R \cdot I_e$