

# Operationsverstärker

Odai Qawasmeh

12. Mai 2015

# Inhaltsverzeichnis

- 1 Allgemeines
- 2 Eigenschaften
- 3 Schaltungsarten
  - Invertierender Verstärker
  - Nichtinvertierender Verstärker
  - Addierer
  - Subtrahierer
  - Impedanzwandler
  - Schmitt-Trigger
- 4 Bezug zum Projekt
- 5 Quellen

# Allgemeines

- dient zur Signalverstärkung
- besteht aus invertierendem und nichtinvertierendem Eingang und einem Ausgang

# Allgemeines

- dient zur Signalverstärkung
- besteht aus invertierendem und nichtinvertierendem Eingang und einem Ausgang
- besitzt eine positive und negative Spannungsversorgung

# Allgemeines

- dient zur Signalverstärkung
- besteht aus invertierendem und nichtinvertierendem Eingang und einem Ausgang
- besitzt eine positive und negative Spannungsversorgung
- ist frequenzabhängig

# Allgemeines

- dient zur Signalverstärkung
- besteht aus invertierendem und nichtinvertierendem Eingang und einem Ausgang
- besitzt eine positive und negative Spannungsversorgung
- ist frequenzabhängig
- mit-/gegenggekoppelt

# Allgemeines

- dient zur Signalverstärkung
- besteht aus invertierendem und nichtinvertierendem Eingang und einem Ausgang
- besitzt eine positive und negative Spannungsversorgung
- ist frequenzabhängig
- mit-/gegengekoppelt
- Anwendungen: Aktiver Filter, Schwingungserzeuger, Schalterstufe

# Allgemeines

- dient zur Signalverstärkung
- besteht aus invertierendem und nichtinvertierendem Eingang und einem Ausgang
- besitzt eine positive und negative Spannungsversorgung
- ist frequenzabhängig
- mit-/gegengekoppelt
- Anwendungen: Aktiver Filter, Schwingungserzeuger, Schalterstufe

$$U_A = V_D \cdot U_D$$

(1)

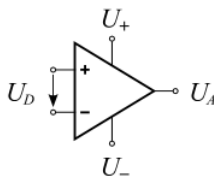


Abbildung: Unbeschalteter Operationsverstärker



# Allgemeines

- dient zur Signalverstärkung
- besteht aus invertierendem und nichtinvertierendem Eingang und einem Ausgang
- besitzt eine positive und negative Spannungsversorgung
- ist frequenzabhängig
- mit-/gegengekoppelt
- Anwendungen: Aktiver Filter, Schwingungserzeuger, Schalterstufe

$$U_A = V_D \cdot U_D \quad (1)$$

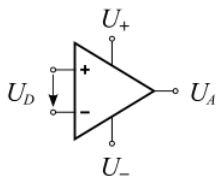


Abbildung: Unbeschalteter Operationsverstärker

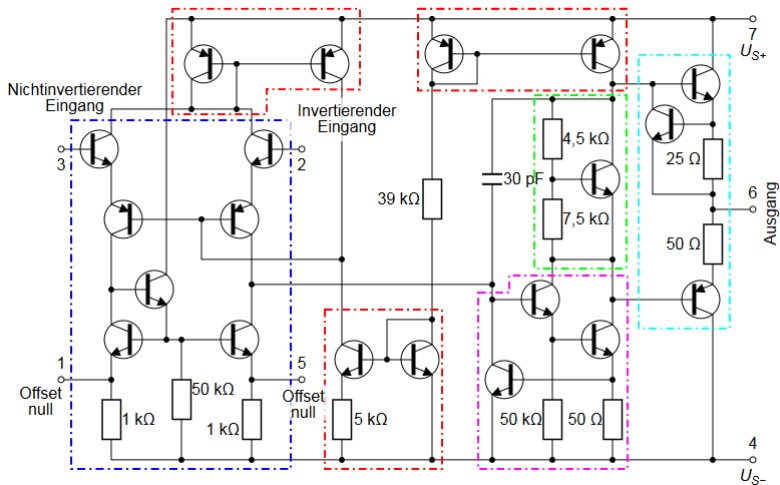


Abbildung: Innenschaltung des  $\mu A741$  – Operationsverstärkers

# Eigenschaften(unbeschaltet)

<b>Eigenschaft</b>	<b>ideal</b>	<b>real</b>
Verstärkungsfaktor	$\infty$	$10^6$
Eingangswiderstand	$\infty$	$100\text{M}\Omega$
Ausgangswiderstand	$0$	$20\Omega$
Bandbreite	$0 - \infty$	bis $1\text{MHz}$

# Invertierender Verstärker

- Anschluss am negativen (invertierenden) Eingang
- Vorzeichenwechsel bei der Verstärkung

# Invertierender Verstärker

- Anschluss am negativen (invertierenden) Eingang
- Vorzeichenwechsel bei der Verstärkung
- Verstärkung lediglich widerstandsabhängig

# Invertierender Verstärker

- Anschluss am negativen (invertierenden) Eingang
- Vorzeichenwechsel bei der Verstärkung
- Verstärkung lediglich widerstandsabhängig

# Invertierender Verstärker

- Anschluss am negativen (invertierenden) Eingang
- Vorzeichenwechsel bei der Verstärkung
- Verstärkung lediglich widerstandsabhängig

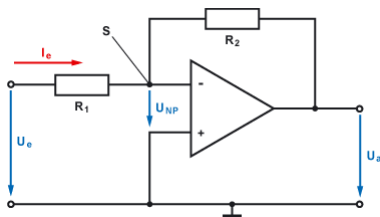


Abbildung: Schaltbild eines invertierenden Verstärkers

# Invertierender Verstärker

- Anschluss am negativen (invertierenden) Eingang
- Vorzeichenwechsel bei der Verstärkung
- Verstärkung lediglich widerstandsabhängig

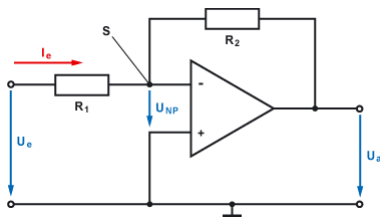


Abbildung: Schaltbild eines invertierenden Verstärkers



# Bestimmung des Verstärkungsfaktors

- $\sum_k^n I_k = 0$
- $-I_1 + (-I_2) = 0$

# Bestimmung des Verstärkungsfaktors

- $\sum_k^n I_k = 0$
- $-I_1 + (-I_2) = 0$
- $-I_1 = I_2$

# Bestimmung des Verstärkungsfaktors

- $\sum_k^n I_k = 0$

- $-I_1 + (-I_2) = 0$

- $-I_1 = I_2$

- $-\frac{U_E}{R_1} = \frac{U_A}{R_2}$

# Bestimmung des Verstärkungsfaktors

- $\sum_k^n I_k = 0$

- $-I_1 + (-I_2) = 0$

- $-I_1 = I_2$

- $-\frac{U_E}{R_1} = \frac{U_A}{R_2}$

- $-\frac{R_2}{R_1} = \frac{U_A}{U_E}$

# Bestimmung des Verstärkungsfaktors

- $\sum_k^n I_k = 0$
- $-I_1 + (-I_2) = 0$
- $-I_1 = I_2$
- $-\frac{U_E}{R_1} = \frac{U_A}{R_2}$
- $-\frac{R_2}{R_1} = \frac{U_A}{U_E}$

$$V = \frac{U_A}{U_E} = -\frac{R_2}{R_1}$$

# Bestimmung des Verstärkungsfaktors

- $\sum_k^n I_k = 0$
- $-I_1 + (-I_2) = 0$
- $-I_1 = I_2$
- $-\frac{U_E}{R_1} = \frac{U_A}{R_2}$
- $-\frac{R_2}{R_1} = \frac{U_A}{U_E}$

$$V = \frac{U_A}{U_E} = -\frac{R_2}{R_1}$$

# Nichtinvertierender Verstärker

- Anschluss am positiven Eingang
- im Gegensatz zum invertierenden Verstärker kein Vorzeichenwechsel

# Nichtinvertierender Verstärker

- Anschluss am positiven Eingang
- im Gegensatz zum invertierenden Verstärker kein Vorzeichenwechsel
- auch hier ist die Verstärkung lediglich widerstandsabhängig



# Nichtinvertierender Verstärker

- Anschluss am positiven Eingang
- im Gegensatz zum invertierenden Verstärker kein Vorzeichenwechsel
- auch hier ist die Verstärkung lediglich widerstandsabhängig

# Bestimmung des Verstärkungsfaktors

- $V = \frac{U_A}{U_E} = \frac{V_D \cdot U_D}{U_E}$
- $U_D = U_E - U_1$

# Bestimmung des Verstärkungsfaktors

- $V = \frac{U_A}{U_E} = \frac{V_D \cdot U_D}{U_E}$
- $U_D = U_E - U_1$
- Spannungsteiler anwenden:  $U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_A$

# Bestimmung des Verstärkungsfaktors

- $V = \frac{U_A}{U_E} = \frac{V_D \cdot U_D}{U_E}$
- $U_D = U_E - U_1$
- Spannungsteiler anwenden:  $U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_A$
- $V = \frac{V_D \cdot (U_E - U_1)}{U_E} = V_D \cdot \left(1 - \frac{U_1}{U_E}\right) = V_D \cdot \left(1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{U_A}{U_E}\right)$

# Bestimmung des Verstärkungsfaktors

- $V = \frac{U_A}{U_E} = \frac{V_D \cdot U_D}{U_E}$
- $U_D = U_E - U_1$
- Spannungsteiler anwenden:  $U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_A$
- $V = \frac{V_D \cdot (U_E - U_1)}{U_E} = V_D \cdot \left(1 - \frac{U_1}{U_E}\right) = V_D \cdot \left(1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{U_A}{U_E}\right)$
- $V = \frac{V_D}{1 + V_D \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{V_D} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$

# Bestimmung des Verstärkungsfaktors

- $V = \frac{U_A}{U_E} = \frac{V_D \cdot U_D}{U_E}$
- $U_D = U_E - U_1$
- Spannungsteiler anwenden:  $U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_A$
- $V = \frac{V_D \cdot (U_E - U_1)}{U_E} = V_D \cdot \left(1 - \frac{U_1}{U_E}\right) = V_D \cdot \left(1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{U_A}{U_E}\right)$
- $V = \frac{V_D}{1 + V_D \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{V_D} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$
- $V = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$

# Bestimmung des Verstärkungsfaktors

- $V = \frac{U_A}{U_E} = \frac{V_D \cdot U_D}{U_E}$
- $U_D = U_E - U_1$
- Spannungsteiler anwenden:  $U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_A$
- $V = \frac{V_D \cdot (U_E - U_1)}{U_E} = V_D \cdot \left(1 - \frac{U_1}{U_E}\right) = V_D \cdot \left(1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{U_A}{U_E}\right)$
- $V = \frac{V_D}{1 + V_D \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{V_D} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$
- $V = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$

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

# Bestimmung des Verstärkungsfaktors

- $V = \frac{U_A}{U_E} = \frac{V_D \cdot U_D}{U_E}$
- $U_D = U_E - U_1$
- Spannungsteiler anwenden:  $U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_A$
- $V = \frac{V_D \cdot (U_E - U_1)}{U_E} = V_D \cdot \left(1 - \frac{U_1}{U_E}\right) = V_D \cdot \left(1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{U_A}{U_E}\right)$
- $V = \frac{V_D}{1 + V_D \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{V_D} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$
- $V = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$

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



# Addierer

- wird auch als Summierverstärker bezeichnet
- Erweiterung des invertierenden Verstärkers

# Addierer

- wird auch als Summierverstärker bezeichnet
- Erweiterung des invertierenden Verstärkers
- mehrere Eingangsspannungen liegen an
- Anwendungen: Oberwellengenerator, AD-Umwandler, Erzeugen von Mischspannungen

# Addierer

- wird auch als Summierverstärker bezeichnet
- Erweiterung des invertierenden Verstärkers
- mehrere Eingangsspannungen liegen an
- Anwendungen: Oberwellengenerator, AD-Umwandler, Erzeugen von Mischspannungen

# Subtrahierer

- Subtraktion zweier Spannungen
- Subtraktion abhängig von der äußeren Beschaltung

# Subtrahierer

- Subtraktion zweier Spannungen
- Subtraktion abhängig von der äußeren Beschaltung
- Berechnung von  $U_A$  durch Summation der Ausgangsspannungen von 2 Teilsystemen

# Subtrahierer

- Subtraktion zweier Spannungen
- Subtraktion abhängig von der äußeren Beschaltung
- Berechnung von  $U_A$  durch Summation der Ausgangsspannungen von 2 Teilsystemen

# Impedanzwandler

- andere Bezeichnung: Spannungsfolger
- Rückkopplung der Ausgangsspannung auf Eingang

# Impedanzwandler

- andere Bezeichnung: Spannungsfolger
- Rückkopplung der Ausgangsspannung auf Eingang
- $U_E = U_A$  und  $V = 1$



# Impedanzwandler

- andere Bezeichnung: Spannungsfolger
- Rückkopplung der Ausgangsspannung auf Eingang
- $U_E = U_A$  und  $V = 1$
- Anwendungsbeispiel: Messung der Ladung eines Kondensators

# Impedanzwandler

- andere Bezeichnung: Spannungsfolger
- Rückkopplung der Ausgangsspannung auf Eingang
- $U_E = U_A$  und  $V = 1$
- Anwendungsbeispiel: Messung der Ladung eines Kondensators

# Schmitt-Trigger

- liefert abhängig vom Eingangspegel einen definierten Ausgangspegel
- Ausgang high, wenn Eingangspegel eine Spannung  $U_H$  überschreitet

# Schmitt-Trigger

- liefert abhängig vom Eingangspegel einen definierten Ausgangspegel
- Ausgang high, wenn Eingangspegel eine Spannung  $U_H$  **überschreitet**
- Ausgang low, wenn Eingangspegel eine Spannung  $U_L$  **unterschreitet**

# Schmitt-Trigger

- liefert abhängig vom Eingangspegel einen definierten Ausgangspegel
- Ausgang high, wenn Eingangspegel eine Spannung  $U_H$  **überschreitet**
- Ausgang low, wenn Eingangspegel eine Spannung  $U_L$  **unterschreitet**
- Übergang zwischen LOW / HIGH mittels steiler Flanke

# Schmitt-Trigger

- liefert abhängig vom Eingangspegel einen definierten Ausgangspegel
- Ausgang high, wenn Eingangspegel eine Spannung  $U_H$  **überschreitet**
- Ausgang low, wenn Eingangspegel eine Spannung  $U_L$  **unterschreitet**
- Übergang zwischen LOW / HIGH mittels steiler Flanke
- Spannung  $U$  zwischen  $U_L$  und  $U_H$  : Hysterese

# Schmitt-Trigger

- liefert abhängig vom Eingangspegel einen definierten Ausgangspegel
- Ausgang high, wenn Eingangspegel eine Spannung  $U_H$  **überschreitet**
- Ausgang low, wenn Eingangspegel eine Spannung  $U_L$  **unterschreitet**
- Übergang zwischen LOW / HIGH mittels steiler Flanke
- Spannung  $U$  zwischen  $U_L$  und  $U_H$  : Hysterese
- Anwendung: Digitaltechnik, verrauschtes digitales Signal verbessern

# Schmitt-Trigger

- liefert abhängig vom Eingangspegel einen definierten Ausgangspegel
- Ausgang high, wenn Eingangspegel eine Spannung  $U_H$  **überschreitet**
- Ausgang low, wenn Eingangspegel eine Spannung  $U_L$  **unterschreitet**
- Übergang zwischen LOW / HIGH mittels steiler Flanke
- Spannung  $U$  zwischen  $U_L$  und  $U_H$  : Hysterese
- Anwendung: Digitaltechnik, verrauschtes digitales Signal verbessern



Benötigen wir einen Operationsverstärker?

Welche Vorteile hat ein  
Operationsverstärker?

# Verzerrer/Kompressor

Vorteile gegenüber Transistoren:

- einfachere und verständlichere Schaltung
- lineare Verstärkung

# Verzerrer/Kompressor

Vorteile gegenüber Transistoren:

- einfachere und verständlichere Schaltung
- lineare Verstärkung
- einzelne Verschaltung der Transistoren komplex

# Verzerrer/Kompressor

Vorteile gegenüber Transistoren:

- einfachere und verständlichere Schaltung
- lineare Verstärkung
- einzelne Verschaltung der Transistoren komplex
- billiger

# Verzerrer/Kompressor

Vorteile gegenüber Transistoren:

- einfachere und verständlichere Schaltung
- lineare Verstärkung
- einzelne Verschaltung der Transistoren komplex
- billiger

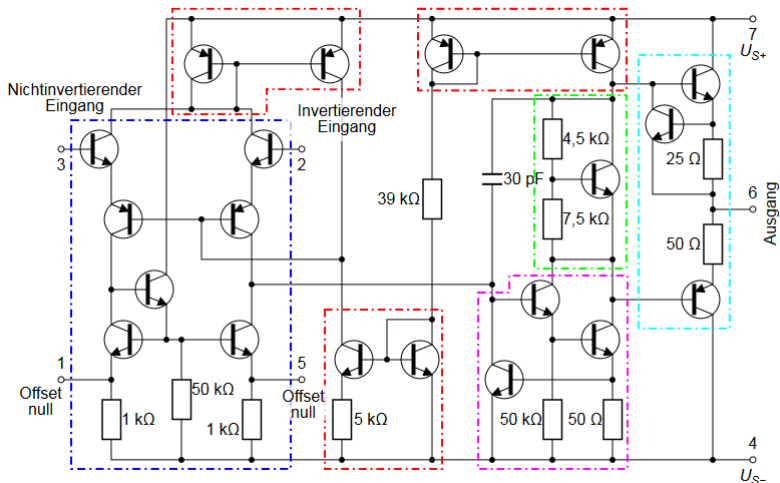


Abbildung: Innenschaltung des  $\mu A741$  – Operationsverstärkers

# Quellen

<http://www.mikrocontroller.net/articles/Schmitt-Trigger>  
<http://www.elektronik-kompodium.de/sites/slt/0210153.htm>  
<http://www.elektronik-kompodium.de/sites/slt/0210141.htm>  
<http://www.elektronik-kompodium.de/sites/slt/0210151.htm>  
<http://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0209241.htm>  
<http://www.elektronik-kompodium.de/sites/slt/0210152.htm>  
<http://service.projektlabor.tu-berlin.de/onlinekurs/schaltungshilfe/subtrahierer.htm>  
<http://service.projektlabor.tu-berlin.de/onlinekurs/schaltungshilfe/der-operationsverstaerker.htm>  
<http://www2.informatik.uni-freiburg.de/~frank/latex-kurs/latex-kurs-3/Latex-Kurs-3.html>  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/OpAmpTransistorLevel\\_Colored\\_DE.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/OpAmpTransistorLevel_Colored_DE.svg)