Operationsverstärker

Operationsverstärker (Opamps) sind tolle Bauteile. Mit ihnen kann man analoge Spannungen addieren, subtrahieren, integrieren, differenzieren und sogar Wurzel ziehen.

Bei Operationsverstärkern hat man die Qual der Wahl zwischen tausenden Modellen. Ihre Eigenschaften sind so unterschiedlich, dass der optimale Typ für die eine Anwendung völlig untauglich für die andere sein kann. Zusätzlich variiert der Preis um drei Größenordnungen. Wobei teurer häufig nicht besser sondern nur seltener bedeutet. Aus dem Meer der Möglichkeiten sind auf dieser Seite einige Empfehlungen herausgefischt.

Literatur

Das als App-Note von TI getarnte Buch Op Amps for Everyone von Ron Manchini fängt ganz vorne an und beantwortet dann auf 460 Seiten auch subtilere Fragen zum Einsatz von Operationsverstärkern. Der Anhang mit bewährten Grundschaltungen hat schon manche Neuerfindung des Rads vermeiden können.

Feld- Wald- und Wiesen-Opamps

TL081 (single), TL082 (dual), TL084 (quad)

Die TL081 sind preiswerte, gutmütige Operationsverstärker mit FET-Eingang und einem Kompromiss guter Eigenschaften. Im Datenblatt sind zwar mehrere, leicht unterschiedlich spezifizierte Varianten aufgeführt. Praktisch ist jedoch fast nur TL081C erhältlich. Durch den FET-Eingang braucht man sich keine Gedanken über den Eingangsstrom zu machen. Dieser Opamp ist ein Standard-Bauteil für Anwendungen ohne besondere Anforderungen.

- Unity Gain Bandwitdth: 3 MHz
- Slew Rate: 13 V/µs
- Eingangsrauschen: 15 nV/√Hz
- Input Offset: 3 mV
- Temperaturdrift des Input Offsets: 18 µV/K
- Gehäuse: DIP8, SO8, SO23-5, SC70-5
- Sehr preiswert: 0.30 €/St bei Reichelt.

Nachteil: Recht viel Input-Offset und entsprechend hohe Temperaturdrift.

Unter der Bezeichnung TL082 gibt es diesen Verstärker auch im Doppelpack. Und eine Vierfach-Variante gibt es als TL084.

Die Opamps der Reihe TL07x sind so eng verwandt mit TL08x, dass ihre in den Datenblätter spezifizierten Eigenschaften numerisch identisch sind. Sie lassen sich daher bedenkenlos gegeneinander austauschen.

NE5534

Der NE5534 ist ein mittelschneller, sehr preiswerter Einzel-Opamp mit recht großer Slew Rate.

- Unity Gain Bandwidth: 10 MHz
- Slew Rate: 13 V/µs
- Input Noise: 3.5 nV/√Hz @1 kHz
- Input Offset: 0.5 mV
- Preis: 0.20 €/St bei Reichelt (NE 5534 D SMD)

Nachteile:

- Erst ab Verstärkung 5 ohne zusätzliche Maßnahmen stabil
- Deutlich mehr Input Offset als OP27.
- Etwa zehn mal mehr Temperaturdrift als OP27
- Dioden zwischen den Eingängen → Nicht für positive Rückkopplung geeignet.

LM318

Der LM318 (Datenblatt) ist ein Klassiker für mittelschnelle Anwendung, der stabil ab Verstärkung 1 ist.

- Unity Gain Bandwidth: 15 MHz
- Slew Rate: 50 V/µs
- Input Noise: 11 nV/√Hz @1 kHz
- Preis: 0.60 € im Zehnerpack bei TME (LM318M/NOPB), oder für 0.96 bei Bürklin (41 S 2952)

Nachteil:

- Input Offset Voltage: 6 mV
- Dioden zwischen den Eingängen → Nicht für positive Rückkopplung geeignet.

LM833

Der LM833 ist ein mittelschneller Dual-Opamp, stabil ab Vertärkung 1

- Unity Gain Bandwidth: 9 MHz
- Slew Rate: 7 V/µs
- Input Noise: 4.5 nV/√Hz @1 kHz
- wenig Rauschen bei niedrigen Frequenzen: 6 nV/√Hz @ 10 Hz.
- Input Offset Voltage: 0.3 mV
- Preis: 0.48 € im Zehnerpack bei Bürklin (41 S 2952)

Noch preiswerter bei ähnlicher Geschwindigkeit ist MC33078, allerdings bei etwa zehnfachem Offset.

OP07

Der OP07 ist ein Universal-Opamp mit sehr geringem Offset. Klassiker.

- Unity Gain Bandwidth: 0.6 MHz
- Slew Rate: 0.3 V/µs
- Input Offset: 0.06 mV
- Input Noise: 11 nV/√Hz @1 kHz
- Beschaffung: Etwa 0.50 € bei den üblichen verdächtigen Elektronikversendern.

Nachteil:

- recht langsam



Die Variante von Analog Devices ist mit Dioden zwischen den Eingängen ausgestattet. Das macht dieses Modell problematisch für Schaltungen mit positiver Rückkopplung. Die Varianten von Texas Instruments haben dagegen **keine** Dioden zwischen den Eingängen.

OPA2277 und OPA4277 sind Dual und Quad-Opamps mit ähnlichen Eigenschaften wie der OP07.

Der OPA277 ist mit zwei Ausnahmen ähnlich zum OP07: Der Input Offset ist noch einmal deutlich niedriger (0.01 mV). Dafür liegt der Preis um den gleichen Faktor höher.

OP27

Der OP27 ist ein mittelschneller Opamp mit sehr geringem Offset. Klassiker.

- Bandbreite: 8 MHz
- Slew Rate: 2.8 V/µs
- Input Noise: 3.2 nV/√Hz @1 kHz
- Input Offset: 0.03 mV
- Preis: 2.38 €/St bei Bürklin (41 S 8298)

Nachteile:

- nicht ganz so preiswert, wie der OP07
- Dioden zwischen den Eingängen ⟶ Nicht gut für positive Rückkopplung geeignet.

OPA2227 und OPA4227 sind Dual und Quad-Opamps mit ähnlichen Eigenschaften wie der OP27.

Bis an die Kante

Der Ausgang der meisten Operationsverstärker kann sich nur bis auf ein bis zwei Volt an die jeweilige Versorgungsspannung annähern. Manche Modelle sind extra dafür gezüchtet, diese Begrenzung nicht zu zeigen. Diese Eigenschaft nennt sich **Rail-to-Rail**. Ein Mindestabstand zur Versorgung ist besonders bei Schaltungen ein Problem, die nur eine 5 V, oder 3 V Versorgung haben. Die bei weitem meisten Rail-To-Rail-Verstärker sind daher für diese niedrigen Spannungen spezifiziert. Mit etwas Suche finden sich jedoch auch solche, die mit “normalen” Versorgungsspannungen zurecht kommen. Dafür muss man an anderer Stelle Kompromisse eingehen.

SGMOP07E

Das “OP07” im Namen des SGMOP07E ist Programm. Man kann ihn als verbesserte Version dieses Klassikers ansehen. Die größten Unterschiede sind eine deutlich größere maximale Anstiegsrate des Ausgangs (Slew Rate) und die Fähigkeit, den Ausgang bis auf einige hundert mV an die Versorgung ziehen zu können.

- Versorgung: maximal +/- 18V
- Unity Gain Bandwidth: 0.6 MHz
- Slew Rate: 3 V/µs
- Input Noise: 8.5 nV/√Hz @1 kHz
- Input Offset: 30 µV
- Bauform: SO8
- Preis: etwa 0.6 € bei Schukat

Nachteil: Nur bei wenigen Versendern erhältlich.

MCP627x

Die Reihe MCP627x sind preiswerte rail-to-rail Opamps mit FETs als Eingangstransistoren, die für den Einsatz zusammen mit modernen Digital-Komponenten gedacht sind. Zudem gehören sie mit 170 µA Ruhestrom zu den besonders sparsamen Verstärkern. Ihr Eingangsstrom ist wie bei allen mit FETs aufgebauten Operationsverstärkern sehr gering. Man bezahlt allerdings mit Einschränkungen in der Versorgungsspannung, durchschnittlichem Rauschen und recht großer Offsetspannung.

- Versorgung: maximal +/- 3.5 V, wahlweise +7.0 V / GND; minimal: +2.0 V / GND
- Gain Bandwidth Product: 2 MHz
- Slew Rate: 0.9 V/µs
- Input Noise: 20 nV/√Hz @1 kHz
- Input Offset: 4.5 mV Spannung und < 1 pA Strom
- Bauform: Einfach, dual, quad. Mit und ohne Chip-Select. Bedrahtet und verschiedene SMD-Gehäuse
- Preis: zwischen 0.50 € und 1.20 € bei TME, Mouser, RS, Farnell, …

Bauformen:

- MCP6271 – Einfach-Opamp
- MCP6271R – Einfach-Opamp wie MCP6721, aber mit vertauschten Versorgungsanschlüssen (!)
- MCP6272 – Dual-Opamp
- MCP6273 – Einfach-Opamp mit Chip-Select
- MCP6274 – Vierfach-Opamp

Für eine weitere Optimierung in Richtung mobiler digitaler Geräte mit noch geringerem Ruhestrom und nur 1.8 V Betriebsspannung lohnt sich ein Blick auf die Reihe MCP640x. Dabei geht man dann andere Kompromisse ein, wie eine geringere Bandbreite, oder eine höherer Eingangsoffset.

Für höhere Bandbreite bei ansonsten ähnlichen Eigenschaften kommt die Reihe BROKEN-LINK:MCP628xLINK-BROKEN in Frage. Deren Datenblatt verspricht 10 MHz.

AD820

Mittelschneller rail-to-rail Single-Opamp mit FETs am Eingang.

- Versorgung: maximal +/- 18V
- Unity Gain Bandwidth: 1.8 MHz
- Slew Rate: 3 V/µs
- Input Noise: 13 nV/√Hz @1 kHz
- Input Offset: 0.5 mV
- Bauform: SO8 und DIP8
- Preis: etwa 4 €

Datenblatt von Analog Devices.

TS912

Der TS912 ist ein mäßig langsamer, recht preiswerter rail-to-rail Dual-Opamp. Er arbeitet intern mit FETs und zeigt einen entsprechend kleinen Offset-Strom am Eingang. Dadurch eignet er sich als erste Verstärkungsstufe für Photodioden.

- Versorgung:V+ - V- kleiner als 18 V
- Unity Gain Bandwidth: 0.8 MHz
- Slew Rate: 0.3 V/µs
- Input Noise: 30 nV/√Hz @1 kHz
- Input Offset: 12 mV
- Maximum Output Current: 40 mA per channel
- Bauform SO8. Die Variante in DIP8 wird nicht mehr produziert.
- Preis: 0.82 €/St bei Reichelt (TS 912 D)

Ein Nachteil ist, dass nur relativ hochohmige Lasten nahe an die Versorgung gezogen werden. Außerdem ist das Spannungsrauschen am Eingang mit 30 nV/√Hz recht groß.

Von der DIP8-Variante hat die ElektronIQ noch einige Exemplare in der Schublade.

TS921

Der TS921 ist ein Single-Opamp, der mit dem Ausgang bis auf 0.3 V an die untere Versorgungsspannung heran kommt. Zur oberen Versorgungsspannung sind es 0.6 V. Diesen Operationsverstärker gibt es auch als zweifach (TS922) und als vierfach-Version (TS924)

- Versorgung:V+ - V- kleiner als 14 V
- Unity Gain Bandwidth: 4 MHz
- Slew Rate: 7 V/µs
- Input Noise: 9 nV/√Hz @1 kHz
- Input Offset: 3 mV
- Ausgangsstrom: 80 mA
- Bis 0.5 nF am Ausgang belastbar
- Minimaler Abstand der Ausgangsspannung zur Versorgungsspannung: 180 mV
- Bauformen SO8 und TSSOP-8
- Preis: etwa 0.70 €/St bei Farnell.

Durch den recht hohen Ausgangsstrom können auch mit 50 Ohm abgeschlossene Leitungen mit bis zu ±4 V getrieben werden.

LMC662

Der LMC662 ist ein Dual-Opamp und damit eine Alternative zum TS912, wenn mehr Ausgangsleistung gebraucht wird. Außerdem ist er mit CMOS-Transistoren aufgebaut und eignet sich damit als erste Stufe bei Photodiodenverstärkern.

- Versorgung:V+ - V- kleiner als 16 V
- Unity Gain Bandwidth: 1.4 MHz
- Slew Rate: 1.1 V/µs
- Input Noise: 22 nV/√Hz @1 kHz
- Input Offset: 3 mV
- Preis: etwa 1.50 €/St bei Bürklin (41 S 6181 und 41 S 6183)

LM8272

Der LM8272 ist ein mittelschneller Dual-Opamp, dessen Ausgang nicht nur rail-to-rail ist, sondern auch mit beliebigen Kapazitäten zurecht kommt.

- Versorgung:V+ - V- kleiner als 27 V
- Unity Gain Bandwidth: 15 MHz
- Slew Rate: 15 V/µs
- Input Noise: 15 nV/√Hz @1 kHz
- Input Offset: 7 mV
- Ausgangsstrom: 110 mA
- Preis: etwa 1.90 €/St bei Bürklin (41 S 5506)

Nachteile:

- recht hohe Offsetspannung und Offsetstrom
- Nicht mit ±15 V betreibbar.

TLE2141

Der TLE2141 ist ein Single-Opamp, der mit dem Ausgang bis auf 0.1 V an die untere Versorgunsspannung herankommt. Von der oberen Versorgung bleiben immerhin 1 V Abstand.

- Versorgung:V+ - V- kleiner als 44 V
- Unity Gain Bandwidth: 6 MHz
- Slew Rate: 45 V/µs
- Input Noise: 15 nV/√Hz @1 kHz
- Input Offset: 0.2 mV
- Ausgangsstrom: 20 mA
- Bis 10 nF am Ausgang belastbar
- Preis: etwa 1.90 €/St bei Farnell (BROKEN-LINK:845 4760LINK-BROKEN)

Mittelschnelle Ruderer

- TSH80, 65 MHz,
- LT1363, 70 MHz, siehe auch bei den Spezialisten für kapazitive Last.
- AD825, 40 MHz, 125 V/µs, JFET
- AD817, 50 MHz, 300 V/µs 70 MHz, siehe auch bei den Spezialisten für kapazitive Last.
- AD8032, dual 80 MHz, ±5V, rail.-to-rail, stabil bei Verstärkung 1
- NE592, 120 MHz, ungewöhnliche Pinbelegung, differentielle Ein- und Ausgänge, Klassiker
- BROKEN-LINK:uA733LINK-BROKEN, 200 MHz, Pinbelegung wie NE592, differentielle Ein- und Ausgänge, Klassiker
- OP37, 65 MHz, erst ab Verstärkung 5 stabil, ähnlich wenig Input-Offset wie OP07, Klassiker
- BROKEN-LINK:OPA365LINK-BROKEN,50 MHz, 25 V/µs, einer der schnellsten mit FET-Eingang.
- LM6172, 100 MHz, 3000 V/µs, durch die sehr große maximale Anstiegsrate eignet sich dieser Baustein als Video-Buffer
- MCP…

- OPA830
- AD806x, AD805x

Hochfrequenz-Rennpferde

ISL55001

Der BROKEN-LINK:ISL55001LINK-BROKEN ein schneller Opamp, der trotzdem stabil in allen Lebenslagen ist.

- Bandbreite: 200 MHz, Großsignal: 9 MHz
- Slew-Rate: 300 V/µs,
- Input noise: 12 nV/√Hz
- Versorgung ±15 V
- Preis: 6,41 €, bei Farnell

Nachteile:

- Etwas teuer.

LM7121

Der LM7121 ist ein schneller Opamp mit hoher Slew-Rate.

- Unity Gain Bandwidth: 175 MHz
- Slew Rate: 1300 V/µs
- Input Offset: 8 mV
- Input noise: 17 nV/√Hz
- 15 V Versorgung
- lässt sich nicht leicht durch kapazitive Last irritieren
- Preis: 2.36 € im Zehnerpack bei Farnell (949 4120)

Nachteile:

- Hoher Input Offset, sowohl beim Strom als auch bei der Spannung

AD848

Der AD848 ist ein recht schneller Opamp aus der Zeit vor der SMD-Technologie.

- Gain-Bandwidth: 175 MHz
- Slew Rate: 290 V/µs

- Eingangsoffset: 0.5 mV
- Eingangsstrom: 3.3 µA
- Lässt sich durch kapazitive Last nicht ins schwingen bringen.
- ± 15V Versorgung
- Bauform DIP8 und SO8

Nachteile:

- Erst ab Verstärkung 5 stabil
- Ein Stück teurer: 10 €/Stck bei Farnell, 6 €/Stck bei Digikey
- In Gefahr abgekündigt zu werden

LMH6624

Sehr schneller Opamp. Nachfolger von CLC425.

- Gain Bandwidth: 1.5 GHz
- Slew Rate: 350 V/µs
- Input-Offset: 0.7 mV
- Input noise: 0.92 nV/sqrt(Hz)
- Preis: 4.48 € im Zehnerpack bei Farnell (818 0750), 2.70€ im Hunderter-Pack bei Digi-Key.

Nachteile:

- maximal +/- 6V Versorgung
- Deutliche Verstärkungsüberhöhung bei hohen Frequenzen. Das wird um so stärker, je größer der Rückkoppel-Widerstand ist. Siehe das letzte Diagramm im Datenblatt.
- Erst ab Verstärkung 10x ohne Kondensator in der Rückkopplung stabil.

Datenblatt von National.

LMH6609

Sehr schneller Opamp. Nachfolger von CLC440 und CLC426.

- Gain Bandwidth: 900 MHz
- Slew Rate: 1400 V/µs
- Input-Offset: 0.8 mV
- Input noise: 3.1 nV/√Hz
- Preis: 2.97 € im 25-Pack bei Digi-Key.

Vorteile (gegenüber dem LMH6624):

- Deutlich höhere Slew Rate.

- Auch bei Verstärkung 1 stabil
- Weniger stark überschießende Verstärkung bei hohen Frequenzen.

Nachteile:

- maximal +/- 6V Versorgung
- schwingfreudig, wenn die Rückkopplung nicht rein resistiv ist
- empfohlene Rückkopplung ist 250Ω ⟶ Keine große Verstärkung, hoher Stromverbrauch.

Datenblatt von Texas Instruments.

OPA656

Der OPA656 ist einer der schnellsten Opamps mit FET-Eingang. Dadurch ist er besonders geeignet für Photodioden-Schaltungen mit Transimpedanz-Verstärker in der ersten Stufe.

- Gain-Bandwidth: 230 MHz
- Slew Rate: 290 V/µs
- Für einen Opamp mit FET-Eingang recht niedriges Spannungsrauschen am Eingang: 7 nV /sqrt(Hz)
- Stromrauschen: 1.3 fA/sqrt(Hz)
- Stabil bei Verstärkung 1

Nachteile:

- ± 5V Versorgung
- recht hohe Offsetspannung von etwa 2 mV
- teuer (8 EUR)

Mögliche Alternativen mit +/- 12 V Versorgungsspannung: BROKEN-LINK:ADA4627LINK-BROKEN, LT1792 (6MHz), OPA627 (18€)

AD8065

Der AD8065 ist eine Alternative zum OPA656. Seine Bandbreite ist etwas niedriger. Dafür ist er ein gutes Stück preiswerter (~4 EUR)

- Gain-Bandwidth: 145 MHz
- Slew Rate: 180 V/µs
- Für einen Opamp mit FET-Eingang recht niedriges Spannungsrauschen am Eingang: 7 nV /sqrt(Hz)
- Stromrauschen 1 fA/sqrt(Hz)

- Input-Offset Voltage: 0.4 mV
- Stabil bei Verstärkung 1

Nachteile:

- Wie bei allen Opamps mit FET in der Eingangsstufe eine recht große Input-Offset-Voltage
- Maximal 12 V Spannungsdifferenz für die Versorgung. Das heißt, ± 5 V.

THS4021 und THS4022

Der THS4021 hat eine besonders kräftige Ausgangsstufe bei hoher Bandbreite und hoher Amplitude.

- Gain-Bandwidth: 350 MHz (gain 10, -3dB)
- Slew Rate: 470 V/µs
- Maximaler Ausgangsstrom: 150 mA
- Input Noise: 1.5 nV/sqrt(Hz)
- Versorgung: ±15 V
- Bauform SO8
- erhältlich bei Farnell

Nachteile:

- Erst ab Verstärkung > 10 stabil
- Fühlt sich von Lasten mit mehr als 10 pF Kapazität gestört. SiehеDatenblatt, Seite 10.
- Recht teuer (9 EUR + MWSt)

Der THS4022 ist die Dual-Version des THS4021

MMIC Verstärker

Die Abkürzung MMIC steht für “Monolithic Microwave Integrated Circuit”. Sie arbeiten also bevorzugt bei hohen Frequenzen bis in den einstelligen GHz-Bereich. Der Verstärkungsfaktor liegt fest und liegt je nach Modell zwischen 10 und 30 dB. Die Versorgung ist etwas ungewöhnlich. Sie geschieht meist über eine DC-Spannung am Ausgang. Die Verstärker sind darauf angewiesen, sowohl ihren Eingang als auch ihren Ausgang auf ein sich dynamisch ergebendes Potential zu beziehen. Sie brauchen deswegen sowohl im Eingang als auch am Ausgang einen Kondensator, der die DC-Anteile des Signals blockt. Das heißt, Gleichspannung lässt sich mit ihnen nicht verstärken. Aber man kann mit großen Koppelkondensatoren beliebig nahe an DC heran kommen.

Neben dem Verstärkungsfaktor unterscheiden sich die MMIC-Verstärker im Rauschen. Das Rauschen wird mit der “noise figure” (NF) angegeben. Das ist das Verhältnis des Verstärkerrauschens zum Rauschen eines 50Ω Widerstands in Dezibel.

Ärgerlicherweise gibt es von diesen Eigenschaften Ausnahmen in alle Richtungen. Manche MMICs nutzen einen eigenen Pin zur Versorgung und sind daduch bei gleichem Footprint nicht pin-kompatibel. Die nächsten haben im Vergleich zu anderen bei gleicher Bauform Eingang und Ausgang

vertauscht. Wieder andere haben intern einen Kondensator zwischen zwei Verstärkungsstufen. Dieser Kondensator ist meist recht klein, so dass man das Bauteil erst ab dreistelligem MHz-Frequenzen sinnvoll einsetzen kann.

Manche MMICs neigen stärker zum Schwingen, andere weniger. Benachbarte MMICs können sich über nicht perfekt gepufferte Versorgungsleitungen “sehen”. Darüber freuen sie so sehr, dass sie mit höchster Frequenz zu schwingen anfangen. Um dies zu vermeiden, sollte man die Tipps und Hinweise in den Datenblättern und App-Notes der Hersteller befolgen.

Ein weiteres Ärgernis ist die Bauform. Diese Verstärker sind wichtige Bauteile in Handys, oder GPS-Geräten. Das bedeutet eine Massenproduktion und damit einher gehenden angenehm niedrige Stück-Preise. Sie machen aber auch die Evolution in Richtung Stromersparnis, Rauscharmut und Kleinheit ungebremst mit. Das hat zur Folge, dass etwa alle fünf Jahre eine neue, noch kleinere Bauform heraus kommt. Im Gegenzug werden mit etwas Verzögerung die Modellreihen der alte, größeren Bauformen eingestellt. Zuletzt geschah das etwa 2010 mit SOT4. Diese Bauform gibt es nur noch direkt von Minicircuits. Spätestens wenn sich die Kontakte in unter 0.5mm Abstand nur noch unter dem Gehäuse befinden, ist eine Bestückung von Hand nicht mehr wirklich realistisch. Die im Moment für Handbestückung am besten geeignete Bauform ist SOT343. Das hat in etwa die Größe des für einzelne Transistoren üblichen SOT23, aber mit vier statt drei Anschlüssen.

- ERA-3SM+, BROKEN-LINK:VerstärkungskurvenLINK-BROKEN, MiniCircuits, 20 dB, 3 GHz, NF=2.7, 3.5 V, SO4, 2.04 € bei Municom
- ERA-5SM+, Verstärkungskurven, MiniCircuits, 20 dB, 4 GHz, NF=3.5, SO4, 4.68 € bei Municom
- ERA-8SM+, MiniCircuits, 32 dB, 2 GHz, NF=3.8, SO4, 1.40 € bei Municom
- MAR-1SM+, Verstärkungskurven, Minicircuits, 16 dB, 1 GHz, NF=3.3, SO4, 1.32 € bei Municom
- BROKEN-LINK:MSA-0386LINK-BROKEN, Agilent, 10 dB, NF 6.0, 5V, DC bis 2.4 GHz, SO4, nicht mehr erhältlich
- BROKEN-LINK:MSA-0686LINK-BROKEN, Agilent, 18 dB, NF 3.0, 5V, DC bis 0.8 GHz, SO4, nicht mehr erhältlich
- MSA-0886, Agilent, 32.5 dB, NF 3.3, 9V, SO4, nicht mehr erhältlich
- BROKEN-LINK:QPA4586ALINK-BROKEN, Qoro, 24 dB @ 100 MHz, 23 dB @ 1 GHz, NF=2.5, SO4, etwa 5 € bei Mouser
- BROKEN-LINK:BGA2002LINK-BROKEN / BROKEN-LINK:BGA2001LINK-BROKEN, NXP, 30 dB @ 100 MHz, 22dB @ 1 GHz, NF=1.3, SOT343, nicht mehr erhältlich. Noch einige in der Schublade. Alternative: MBC13916
- BROKEN-LINK:SPF5043ZLINK-BROKEN, Qorvo, 23 dB @ 100 MHz, 17 dB @ 1 GHz, NF=0.8, SOT343, etwa 4 € bei Mouser
- BROKEN-LINK:MBC13916LINK-BROKEN, NXP, 35 dB @ 100 MHz, 25 dB @ 1 GHz, NF=1.1, SOT343, etwa 0,80 € bei Mouser
- BGA427, Infineon, 20 dB, 2 GHz, NF=2.2, SOT343, 0.53 € bei Bürklin, besonders preiswert
- BROKEN-LINK:MGA-62563LINK-BROKEN, Agilent, 20 dB, NF=0.9, 5V, SOT363-6, 2 € bei Farnell, besonders wenig Rauschen. ~~Zu diesem MMIC gibt es ein besonders ausführliches Datenblatt in Form der BROKEN-LINK:App-note 5011LINK-BROKEN~~

Stabilisten wenig Temperaturdrift

Auch mit dem besten Sensor misst man Mist, wenn die auswertende Elektronik zu stark von der Umgebungstemperatur abhängt. Für DC-Signale lohnt es sich daher, auf die Temperaturift der beteiligten Verstärker zu achten. In dieser Disziplin sind die beiden Klassiker OP07 und OP27 bereits ziemlich gut. Ihr Eingangsoffset driftet typischerweise 200 nV/K. Wenn es besser sein soll, empfehlen sich:

OP177F

- Temperaturdrift des Input Offsets: 100 nV/K
- Erhältlich bei Bürklin (41 S 8310, 5.80 EUR)

Datenblatt von Analog Devices.

LT1012

Der LT1012 hat einen geringeren Offset als der OP07 und gleichzeitig einen so geringen Eingangsstrom, wie man ihn nur mit FET-Eingangsstufe bekommt.

- Temperaturdrift des Input Offsets: 200 nV/K
- Eingangsstrom: 100 - 600 pA
- Erhältlich bei Bürklin (41 S 6374, 4.77 EUR)

Datenblatt von Linear.

LTC1150

- Phantastisch geringe Temperaturdrift des Input Offsets: 10 nV/K
- Erhältlich bei Bürklin (41 S 6862, 6.35 EUR)

Nachteil: Die geringe Drift wird mit einer internen Chopper-Technik erreicht. Das bewirkt zusätzliches Rauschen µV-Bereich auf dem Ausgang.

Datenblatt von Linear Technology.

TLC2652

Viel geringer als bei diesem Bautel kann man die Temperaturdrift bei Opamps nicht bekommen. Bei 10 V Signalhub entspricht sie 3e-10 pro Kelvin.

- Temperaturdrift des Input Offsets: 3 nV/K

Ein potentieller Nachteil ist wieder die Chopper-Technik. Außerdem sind nur maximal +/- 8V

Versorgungsspannung erlaubt. Datenblatt von Texas Instruments

AD820

Wenn der Eingang es Opamps keinen Strom ziehen darf und extrem hochohmig sein soll, dann muss man Kompromisse bei der Temperaturdrift eingehen. Der AD820 ist sowohl bei der Drift als auch beim Eingangsstrom mehr als eine Größenordnung besser als der TL081. Nebenbei kann dieser Opamp den Ausgang bis nahe an die Versorgung ziehen (rail-to-rail).

- Input Offset Strom: 2 pA
- Input Offsetspannung: 100 µV
- Temperaturdrift der Input Offsetspannung: 2µV/K

Nachteile: Nicht besonders schnell 2 MHz, recht teuer (ca. 3 €).

Instrumentalisten

Wenn es darum geht, eine kleine Differenzspannung ganz genau und mit möglichst wenige Rauschen zu messen, ist ein einzelner Operationsverstärker nicht ganz die beste Lösung. Bessere Ergebnisse bekommt man, wenn die Spannungen getrennt verstärkt und erst dann miteinander verglichen werden. Das läuft dann auf eine Schaltung mit drei, oder sogar fünf Operationsverstärkern hinaus. Da diese Anwendung häufiger vorkommt, gibt es die Schaltung auch fertig integriert in einem Bauteil unter dem Namen **Instrumentation Amplifier**. Solche Genauigkeit hat ihren Preis. 4€ sind schon preiwert und man kann auch 25 €/Stck ausgeben. Ein anderer Preis ist die Geschwindigkeit. Meist sind nicht mehr als 100 kHz drin.

Eine Schlüsseleigenschaft, bei der Instrumentenverstärker glänzen, ist die Gleichtaktunterdrückung (“Common Mode Rejection”, CMR). Das gibt an, wie unempfindlich der Verstärker auf gleichzeitigem Ausschlag beider Eingänge ist.

Die Anschlüsse für den Widerstand, der die Verstärkung bestimmt, sind sehr empfindlich. Ein Strom von der Versorgung am benachbarten Anschluss macht sich als unerwünschte Offset-Spannung am Ausgang bemerkbar. Dazu reicht schon die Leitfähigkeit von Flussmittelresten. Daher sollten Instrumentenverstärker nach dem Löten gründlich mit Isopropanol gereinigt werden.

AD620 und LT1167

Der AD620 und der LT1167 sind Vertreter der oberen Mittelklasse in der Gesellschaft der Differenzverstärker. Sie haben recht ähnliche Eigenschaften.

- CMR:125 dB, bei Verstärkung 100
- Offsetdrift: 0.6 µV/K
- Bandbreite: 1 MHz bei Verstärkung 1. 120 kHz bei Verstärkung 100
- Rauschen: 9 nV/sqrt(Hz) @ 1kHz

- Ruhestrom: 1mA
- Anschlussbelegung fast wie ein Opamp.
- Bei Reichelt und Bürklin sowohl als SMD, als auch mit Beinchen erhältlich.



Nach dem Löten gründlich Flussmittelreste mit Isopropanol beseitigen um einen Offset zu vermeiden. (siehe oben)

INA146

Der INA146 verträgt am Eingang Spannungen, die zehnmal größer als seine Versorgungsspannung sind.

INA163

Für Signale mit kleiner Impedanz in fast allen Eigenschaften besonders geeignet.

- CMR:126 dB, bei Verstärklung 100
- Offset-Drift: 1 µV/k
- Rauschen: 1 nV/sqrt(Hz) @ 1kHz
- Bandbreite: 800 kHz, bei Verstärkung 100
- Erhältlich bei Reichelt für 4,95 €

Nachteile:

- Ungewöhnliche Bauform, nicht pinkompatibel mit anderen Verstärkern
- recht viel Ruhestrom (10mA)
- Braucht eine niedrigen Impedanz der Signalquelle für die niedrigen Rauschwerte

Datenblatt für INA163

AD624

Der AD624 ist ein Klassiker, der in vielen alten Schaltungen empfohlen wird. Das Datenblatt enthält ein ausführliches Kapitel über Rauschen und Fehler.

- Common Mode Rejection (CMR):100 dB, bei Verstärkung 100
- Offsetdrift: 50 µV/K
- Bandbreite: 150 kHz bei Verstärkung 100
- Rauschen bei Verstärkung 100: 4 nV/sqrt(Hz) @ 1 kHz, 9 nV/sqrt(Hz) @ 1 Hz
- Ruhestrom: 3.5 mA

Nachteile:

- Ein schwer zu beschaffendes Goldstück: je nach Güteklasse zwischen 33 € und 57 € bei Mouser
- Große Bauform mit 16 Beinchen

AD8429

Der AD8429 ist ein Instrumentenverstärker mit beeindruckend wenig Eingangsrauschen.

- Common Mode Rejection (CMR):120 dB, bei Verstärkung 100
- Offsetdrift: maximal 1 µV/K
- Bandbreite: 1.2 MHz bei Verstärkung 100
- Rauschen bei Verstärkung 100: 1 nV/sqrt(Hz) @ 1 kHz, 5 nV/sqrt(Hz) @ 1 Hz
- Ruhestrom: 7 mA
- Bauform: SO8
- Beschaffung: 6.90 € bei Mouser

Nachteile:

- Pinbelegung weicht deutlich von Operationsverstärkern ab
- recht viel Ruhestrom

Voll Differentiell

Manche Operationsverstärker haben einen zweiten Ausgang, dessen Spannungswert sich immer invers zum ersten verhält. Zusammen ergibt das ein Signal, dessen beide Anschlüsse symmetrisch zu einem von außen vorgegebenen Massepotential liegen. Bezogen auf diese Masse verhält sich der Ausgang also differentiell. Weil die Eingänge eines Operationsverstärkers ebenfalls die Differenz von zwei Potentialen auswerten, nennt man diese Bauform “voll differentiell” (“*fully differential*”). Sie trennen das Potential, auf das sich das Eingangssignal bezieht von dem Bezugspotential des Ausgangs.

Eine Verstärkerschaltung, die mit einem voll differentiellen Operationsverstärkern aufgebaut ist, hat typischerweise zwei ähnlich gestaltete Rückkoppelpfade. Einer verbindet den regulären Ausgang mit dem negativen Eingang. Der zweite führt vom invertierten Ausgang zum positiven Eingang. Die Beschaltung der Komponente wird damit physikalisch symmetrisch in Bezug zur Masse.

Ein wichtiges Anwendungsgebiet für voll differentielle Verstärker ist die analoge Signalaufbereitung für die Wandlung in ein digitales Signal. Sie werden vor allem dann benötigt, wenn Signale mit hoher Bandbreite gewandelt werden sollen.

Der größte Anbieter für diese Familie von Verstärkern ist Texas Instruments (TI). Von TI gibt es mit der App-Note SLOA054 eine Übersicht über die Funktion und den Einsatz von voll differentiellen Verstärkern und eine spezialisierte Auswahlseite für die von TI hergestellten Modelle.

- THS4531 – maximale Versorgungsspannung: +/- 2.5 V, Bandbreiteprodukt: 25 MHz, Eingangsrauschen: 10 nV/sqrt(Hz), Ausgang rail-to-rail

- OPA1632 – maximale Versorgungsspannung: +/- 15 V, Bandbreiteprodukt: 180 MHz, Eingangsrauschen 1.25 nV/sqrt(Hz)

Signalverkleinerer und Signalverschieber

Beim Übergang von der analogen in die digitale Welt mit einem Analog-Digital-Umsetzer (ADC) strebt man häufig an, den digitalen Wertebereich voll auszunutzen. Das kann bedeuten, dass sie um einen festen Faktor verkleinert und/oder verschoben werden müssen. Wenn etwa das Ausgangsignal eines mit +/- 12 V betriebenen Operationsverstärkers von einem ADC erfasst werden soll, der am Eingang Spannungen zwischen 0 V und 3.3 V erwartet.

Die nötige Anpassung könnte man mit Spannungsteilern und Operationsverstärkungen aufbauen. Offenbar kommt diese Aufgabe aber häufig genug vor, dass diese Schaltung integriert in einem Bauteil zu kaufen gibt. Neben dem Vorteil von weniger Komponenten auf der Leiterplatte sind in dabei die Widerstände besonders genau kalibriert. Das ergibt eine besonders niedrige Gleichtaktunterdrückung. Der Markt, für den diese Bausteine entwickelt wurden, ist die Aufnahme und Digitalisierung von Musik. Entsprechend viel Wert wurde auf Rauscharmut gelegt. Im Gegenzug ist die sinnvoll nutzbare Bandbreite auf einige zig kHz beschränkt.

- INA146
- AD628

Besonders rauscharm

LT1028

Ein Klassiker für besonders rauscharme Anwendungen bei einigermaßen großer Bandbreite.

- Bandbreiteprodukt: 75 MHz
- Eingangsrauschen 1 nV/sqrt(Hz)@1kHz
- Das 1/f-Knie liegt bei nur 3.5 Hz
- Versorgung: Maximal +/- 22 V

Nachteile

- Erst ab Verstärkung 2 stabil
- Das niedrige Spannungsrauschen wird erkauft mit 1500 fA/sqrt(Hz) Rauschen im Eingangsstrom
- Gegen eine bedenkenlose Verwendung spricht der Preis von (z.B. 6.90 € bei Bürklin)

Datenblatt vom Hersteller Linear Technology.

Alternative mit ähnlichen Eigenschaften: AD797

LT1007

Eine Alternative zum LT1028, die deutlich weniger Ausgangsrauschen zeigt.

- Bandbreiteprodukt: 8 MHz
- Eingangsrauschen 2.5 nV/sqrt(Hz), wird erkauft mit 400 fA/sqrt(Hz) Rauschen im Eingangsstrom
- Offsetspannung: 10 µV
- Stabil bei Verstärkung 1
- Versorgung: Maximal +/- 22 V

Nachteile

- Mehr Eingangsrauschen als LT1028.
- Deutlich geringere Bandbreite als LT1028

Datenblatt vom Hersteller Linear Technology.

OPA134 / OPA2134 / OPA4134

Die OPA134 sind Operationsverstärker mit FET-Eingang und dennoch geringem Spannungsrauschen. Daher sind sie das Mittel der Wahl für Signalquellen mit mittlerer Impedanz (~ 1 kΩ). Außerdem sind sie einigermaßen flott. Man kann die Reihe als Upgrade von TL081/TL082(TL084 betrachten.

- Bandbreiteprodukt: 8 MHz
- Slewrate: 20 V/µs
- Eingangsrauschen 8 nV/sqrt(Hz), bei 3 fA/sqrt(Hz) Rauschen im Eingangsstrom
- Offset-Spannung: 0.5 mV
- Versorgung: maximal +/- 18 V
- Erhältlich für 2-4 € bei den üblichen Verdächtigen Elektronikhändlern.

von Texas Instruments

AD829

Der AD829 ist ein mittelschneller Opamp, der geringes Spannungsrauschen mit wenig Stromrauschen kombiniert. Damit ist er eine gute Wahl, wenn die Signalquelle weder eine ideale Stromquelle noch eine ideale Spannungsquelle ist.

- Gain Bandwidth: 120 MHz
- Slew Rate: 230 V/µs
- Input noise: 1.7 nV/√Hz, 1.5 pA/√Hz,
- Versorgung: +/- 15 V
- bei Verstärkung 1 stabil

- kann ab Verstärkung 10 beliebige kapazitive Lasten treiben
- erhältlich in DIP und in SO8

Nachteile:

- etwa 5.50 EUR/Stck.
- die Bandbreite nimmt bei Belastung des Ausgangs deutlich ab

ADA4898-1

Der ADA4898-1 ist ein Verstärker mit bipolaren Transistoren, der bei einigermaßen hoher Bandbreite bemerkenswert rauscharm ist. Dabei liegt der Übergang zum 1/f-Rauschen recht niedrig bei einigen zig Hz.

- Gain Bandwidth: 60 MHz für Kleinsignal, 3 MHz für 2 V Amplitude
- Slew Rate: 55 V/µs
- Input noise: 0.9 nV/√Hz, 2.4 pA/√Hz oberhalb etwa 50 Hz
- Versorgung: +/- 15 V
- bei Verstärkung 1 stabil
- kann ab Verstärkung 10 beliebige kapazitive Lasten treiben
- gibt es als Dual-Version ADA4898-2
- Beschaffung: etwa 7 € bei TME, RS, Farnell, Mouser

Nachteile:

- Braucht niedrige Widerstandswerte in der Rückkopplung

AD797

Der AD797 hat ähnliche Eigenschaften wie der ADA4898. Seine Bandbreite ist ein wenig größer. Dafür beginnt das 1/F-Rauschen bereits bei etwa 200 Hz.

- Gain Bandwidth: 110 MHz für Kleinsignal, 280 kHz für 20 V Amplitude
- Slew Rate: 20 V/µs
- Input noise: 0.9 nV/√Hz, 2.0 pA/√Hz oberhalb etwa 200 Hz
- Versorgung: +/- 15 V
- bei Verstärkung 1 stabil
- kann ab Verstärkung 10 beliebige kapazitive Lasten treiben
- hat eine Offset-Kompensation

Nachteile:

- Der Preis liegt bei etwa 12 € für Einzelstücke.
- Braucht niedrige Widerstandswerte in der Rückkopplung

LM4562 / LME49720

Der LME49720 und der LM4562 sind Dual-Opamps, die für Hifi-Geräte optimiert sind. Die Datenblätter der beiden Opamps sind inhaltlich identisch, wobei der LM4562 deultich günstiger verkauft wird. In Foren wird über die Gründe für diese Modellpolitik spekuliert. Die Hälfte der Kurven im Datenblatt befasst sich mit harmonischer Verzerrung unter verschiedenen Umständen. Die Rauschdichte der Eingangsspannung ist sehr niedrig.

- Gain Bandwidth: 55 MHz für Kleinsignal
- Slew Rate: 20 V/µs
- Input noise: 2.7 nV/√Hz, 1.6 pA/√Hz oberhalb etwa 200 Hz
- Versorgung: +/- 17 V
- bei Verstärkung 1 stabil
- Als “LM4562” etwa 2 € bei den üblichen verdächtigen Elektronik-Händlern
- Bauformen SO8 und DIP8

Nachteile:

- etwas mehr Spannungsrauschen als der ADA4898
- kann kapazitive Lasten nur bis etwa 100 pF treiben
- nicht als Single-Verstärker erhältlich
- keine Offset-Kompensation

Hochspannungsartisten

Wenn die Ausgangsspannung größer als einige zig Volt werden soll, wird die Auswahl an Operationsverstärkern sehr schnell sehr dünn. Spannungen, die man sich für Piezos, EOMs, oder Pockelszellen wünscht, lassen normale Operationsverstärker gnadenlos durchschlagen. Wenn es dann auch noch hohe Bandbreite sein soll, landet man unweigerlich bei den Produkten von Apex. Bevor man deren Preisschilder ansieht, sollte man sich allerdings gut anschnallen.

Apex PA98 bzw. PA85

Die Verstärker PA98 und PA85 von Apex laufen locker Kreise um die Produkte der Konkurrenz. Als Nebenwirkung erzeugen sie Löcher im Budget. Bei 200 mA Ausgangsstrom und 450 V Spannung verhält sich dieses Bauteil immer noch wie ein mittelschneller Verstärker. Der PA98 und der PA85 unterscheiden sich nur in der Bauform.

- Maximale Versorgungsspannung: 450 V
- Slew rate: 1 kV/µs
- Bandbreiteprodukt: 100 MHz

Nachteile:

- kein wirksamer Selbstschutz gegen Überhitzung.
- 160 € bei Digikey (Best-Nr: 598-1337-ND). In Kombination mit der Tendenz sich durch eigenresonantes Schwingen in den Selbstmord zu stürzen, wird das schnell ein teures Vergnügen.
- Ruhestrom ist 25 mA. Das heißt, schon ohne das am Ausgang etwas passiert, werden 10 W verbraten. Eine gut wärmeleitende Verbindung zu einem dicken Kühlkörper ist Pflicht.

PA340

Der PA340 ist dafür gedacht, in Druckern mit einem Piezo-Element einzelne Farbtröpfchen aus einer Düse zu pressen. Die damit verbundenen Stückzahlen sind wahrscheinlich der Hintergrund für den im Vergleich zum PA98 geringen Preis. Dafür ist die maximale Anstiegsrate und Bandbreite deutlich geringer. Damit ist er eine gute Wahl für statische, oder eher langsame Bewegungen von Piezo-Elementen.

- Maximale Versorgungsspannung: 300 V
- Slew rate: 32 V/µs
- Bandbreiteprodukt: 10 MHz
- Preis: etwa 15 € bei Digikey

Alternativen zu Apex

Mögliche Kandidaten, wenn die Anforderungen nicht ganz so hoch sind:

- TDA2050 (50 V, 80kHz, 25W) Bei Reichelt erhältlich für 0.80 EUR.
- OPA452 (80 V, 1.8 MHz, 7 V/µs, 50 mA) ausdrücklich für Piezo-Geschichten empfohlen. Gehäuse TO220-7
- OPA453 (80 V, 7.5 MHz, 38 V/µs, 50 mA) ausdrücklich für Piezo-Geschichten empfohlen. Ab 5-fach Verstärkung. Gehäuse TO220-7
- OPA454 (80 V, 2.4 MHz, 13 V/µs, 50 mA) ausdrücklich für Piezo-Geschichten empfohlen. Gehäuse SO8
- TDA7293 (100 V, 20 kHz, 100W) Geeignet für Parallel-Schaltung. Bei Reichelt erhältlich für 2.40 EUR.
- LTC6090 (140 V, 12 MHz, 21 V/µs, 50 mA)
- BROKEN-LINK:LME49811LINK-BROKEN (200 V, 15 V/µs, 1.5 mA)
- BROKEN-LINK:LME49810LINK-BROKEN (200 V, 50V/µs, 60 mA)
- ADHV4702 (220 V, 10 MHz, 74 V/µs, 20 mA) ungewöhnliche SMD-Bauform, 18 €/Stück bei Mouser

Diskret aufgebaute Endstufe

Von Analog Devices gibt es in der Application Note 18, auf Seite 7, einen von Linear Technology ausgearbeiteten Schaltungsvorschlag für eine Endstufe, die den Ausgang eines Operationsverstärkers auf ±125 V anhebt. Diese Schaltung arbeitet mit bipolaren Transistoren.

In “The Art of Electonics” wird in Kapitel 3.16 in Abbildung 3.75 eine Schaltung für einen Piezo-Treiber vorgestellt, die mit N-Kanal MOSFETs auskommt und 1 kV Hub erreicht. Das ist vorteilhaft, denn P-Kanal MOSFETs sind für höhere Spannungen nur schwer erhältlich. Eine weitere Variation zur externen Endstufe findet sich bei den Schaltungsideen auf Seite 1041.

Für hohe kapazitive Lasten

Eine Kapazität am Ausgang kann auf den Operationsverstärker zurückwirken. Das Problem besteht darin, dass die Rückwirkung eine Phasenverschiebung hat, die bei hohen Frequenzen die Phasenreserve übersteigt. Als Folge fangen die meisten Operationsverstärker zu schwingen an, wenn an ihrem Ausgang eine zu große kapazitive Last angeschlossen ist. Der Wert für “zu groß” kann dabei erschreckend klein sein. Kabel, MOSFETs, oder gar ein Piezo haben nun aber unvermeidbare Kapazitäten. Daher sind manche Opamps dafür optimiert, mit kapazitiver Last fertig zu werden.

TLE2141

- maximale Versorgungsspannung: +/- 22 V, oder auch +44 V
- verträgt 10 nF direkt am Ausgang
- Bandbreite: 6 MHz
- slew rate: 45 V/µs
- DIP8 und SO8 Bauform
- Auch als Dual (TLE2142) und Quad (TLE2144) erhältlich.

Die volle Bandbreite und Slew-Rate wird bis etwa 1 nF am Ausgang erreicht. Datenblatt von Texas Instruments

AD817

- maximale Versorgungsspannung: +/- 18 V
- verträgt beliebige Kapazitäten direkt am Ausgang
- Bandbreite: 50 MHz, Großsignal bis etwa 9 MHz
- Slew Rate: 300 V/µs
- Eingangsrauschen: 15 nV/√Hz
- Eingangsoffset: 0.5 mV
- Bauform: DIP8 oder SO8
- erhältlich für 3-4 € bei Farnell, Digikey und Schuricht.

Datenblatt von Analog Devices

LT1363 / LT1364 / LT1365

Der LT1363 verträgt beliebig viel Kapazität direkt am Ausgang

- maximale Versorgungsspannung: +/- 15 V, oder auch +36 V
- gain bandwidth: 70 MHz
- slew rate: 1000 V/µs
- DIP8 und SO8 Bauform
- erhältlich bei Reichelt und TME

Nachteil:

- Preis: etwa 6 EUR

Damit dieser Operationsverstärker wirklich beliebig viel Kapazität ohne Schwingung treiben kann, sollten die Versorgungsleitungen besonders gut gepuffert werden. Empfehlenswert sind an dieser Stelle zusätzliche 1 µF als Folienkondensator parallel zu den üblichen 100 nF.

Auch als Dual-Version (LT1364) und als Quad-Version (LT1365) erhältlich.



Die Beinchen-Zahlen der Quad-Version unterscheiden sich zwischen der Durchsteck-Variante und SMD. Bei der Durchsteck-Variante LT1365CN sind es 14 Anschlüsse. Bei der SMD-Variante LT1365CS sind es dagegen 16. Die zwei zusätzlichen Beinchen sind an nichts angeschlossen.

LM8261

- beliebig hohe kapazitive Last
- mittelhohe Kleinsignal-Bandbreite: 10 MHz
- maximale Versorgungsspannung 30 V, also +/- 15 V
- recht preiswert: ~1.50 EUR

Nachteil:

- recht wenig Open-Loop-Verstärkung, mäßige Slew-Rate (12 V/µs)
- nur als Footprint SOT23-5
- Vorsicht mit der thermischen Last

Datenblatt von National

LM7121

Der LM7121 ist ein schneller Operationsverstärker für hohe kapazitive Last.

- beliebig hohe kapazitive Last
- Slewrate: 1399 V/µs
- Unity gain Bandwidth: 175 MHz
- Versorgung:±15V
- 3€/Stck bei Farnell

Nachteil:

- recht viel Offset – Sowohl Strom als auch Spannung. 8 mV, 5 µA.

Weitere

Weiter oben schon beschrieben:

- AD848
- LMH6321
- OPA452, OPA453, OPA454

Stromsparschweine

Auch wenn sie eigentlich gar nichts tun, fließt bei Operationsverstärkern Strom durch die Versorgungsleitungen. Dieser Ruhestrom liegt bei den Klassikern meist in etwa bei 1 mA. Wenn in einer Schaltung viele Verstärker enthalten sind, kann da einiges zusammen kommen. Wenn man nicht auf maximale Geschwindigkeit angewiesen ist, kann man diesen Ruhestrom deutlich drücken:

- Der BROKEN-LINK:LT1672LINK-BROKEN saugt nur 2 µA und kann doch mit ±15 V betrieben werden. Dafür liegt sein Bandbreiteprodukt bei gemächlichen 12 kHz. Außerdem kann der Ausgang nur 1.3 mA Strom zur Verfügung stellen und man muss mit vergleichsweise viel Eigenrauschen rechnen (etwa 200 nV/sqrt(Hz)).
- Die MCP64421 / MCP64422 / MCP64424 sind sogar mit 0.45 µA für sich selbst zufrieden. Das Datenblatt verspricht 22 mA Ausgangsstrom und eine Ausgangsspannung, die bis an 20 mV an die Versorgung heran reicht. Dafür liegt ihre Verstärkungsbandbreite bei nur 9 kHz. Rauschen ist ähnlich wie beim LT1672. Anders als der LT16373 bekommt man diese MCPs problemlos bei den üblichen verdächtigen Elektronikversendern für Preise zwischen 0.60 € und 1.50 €.
- Der OPA2244 ist mit 40 µA Ruhestrom so etwas wie eine genügsame Dual-Version des OP07. Dafür ist er deutlich teurer.

Krass Klein

Die meisten Operationsverstärker haben acht Anschlüsse und kommen in den Gehäuseformen SO8, oder DIP8. Diese Gehäuse haben die Größe 5 mm × 4 mm, beziehungsweise 10 mm × 6 mm. Weil der Silizium-Chip der meisten Verstärker kleiner ist und sich Kunden kleine Komponenten wünschen,

werden auch Modelle in deutlich kleineren Gehäusen angeboten. Die Auswahl ist allerdings ebenfalls deutlich kleiner als beim Standard-Gehäuse. Außerdem muss man mit einem gewissen “Exoten-Aufpreis” rechnen. Wenn eine Schaltung besonders wenig Platz einnehmen soll, kann es sich trotzdem lohnen, einen Blick auf diese Komponenten zu werfen.

Das Gehäuse SOT23-5 ist eine vergleichsweise häufige Bauform für miniaturisierte Operationsverstärker. Es lehnt sich an die Bauform SOT23 für Transistoren an. Das eigentliche Gehäuses hat die Abmessungen 2.9 mm × 1.6 mm. Es nimmt damit nur weniger als 1/10 der Fläche des bei SMD sonst üblichen SO8 ein. Statt drei Anschlüssen für einen Transistor hat SOT23-5 jedoch fünf Pins, was das Minimum für einen Operationsverstärker darstellt. Beispiele:

- AD8065: Mittelschneller FET-Opamp. Die maximale Anstiegsrate liegt bei 180 V/µs. Stabil bei 1:1-Verstärkung. Rail-to-Rail-Output. Kann mit +/- 12 V betrieben werden. Gut geeignet als Photodiodenverstärker.
- AD8067: Der schnellere Bruder des AD8065. Die maximale Anstiegsrate liegt bei 640 V/µs. Der Verstärker ist stabil ab 1:10 Verstärkung.
- OPA192: Entspricht in vielen Aspekten einem OP27. Der Input Offset ist kleiner als 25 µV. Die Anstiegsrate liegt bei 20 V/µs. Der Verstärker ist bei 1:1-Verstärkung stabil. Rail-to-Rail-Output. Kann mit +/- 15 V betrieben werden.

Als BROKEN-LINK:SOT23-6LINK-BROKEN, auch “SC74”, hat das SOT23-Gehäuse sechs Anschlüsse. Der zusätzliche Anschluss wird dann als “Shut-down” genutzt, um den Verstärker schlafen zu legen und dadurch Strom zu sparen. Da diese Verstärker für die Zusammenarbeit mit Digital-Anwendungen und Akkus optimiert sind, haben sie häufig eine eher geringe maximale Versorgungsspannung. Beispiele:

- OPA734: Bipolarer Opamp mit sehr geringem Offset. Der Input Offset ist kleiner als 5 µV. Anstiegsrate 1.5 V/µs. Der Verstärker ist stabil bei 1:1-Verstärkung. Rail-to-Rail-Output. Kann mit +/- 5 V betrieben werden.
- OPA625: Schneller bipolarer Opamp. Bandbreitenprodukt 70 MHz. Die Anstiegsrate liegt bei 45 V/µs. Der Verstärker ist stabil bei 1:1-Verstärkung. Gut geeignet als Vorverstärker für AD-Wandler.

Das Gehäuse SC70-5 hat die Abmessungen 2.15 mm × 1.4 mm. Damit ist es noch ein Stück kleiner als SOT23-5. Damit man bei der Suche in Katalogen etwas mehr Spaß hat, gibt es alternative Bezeichnungen für diese Bauform: “SC88A”, “SOT353”, oder “419A-02”. Beispiel:

- BROKEN-LINK:AD8627LINK-BROKEN: FET-Opamp mit sehr geringem Offset-Strom und einem Bandbreitenprodukt von 5 MHz. Die Anstiegsrate liegt bei 5 V/µs. Kann mit +/- 12 V betrieben werden.

Die Bauform SOT553-5 hat eine Grundfläche von 1.7 mm × 1.3 mm = 2.2 mm³. Außerdem fallen die Anschlüsse besonders kurz aus. Damit bildet es das untere Ende dessen, was als reguläres Gehäuse (im Moment) für Operationsverstärker möglich ist. Wie bei allen Rand-Modellen ist die Auswahl nicht besonders groß. Sie beschränkt sich bei den üblichen verdächtigen Distributoren auf die OPA170, OPA171 und NCS2003. Alle drei werden vom Hersteller als “General Purpose Opamp” beworben.

Transkonduktanzverstärker

Die Transkonduktanzverstärker (OTA) haben die Besonderheit, dass ihr Ausgangssignal nicht in einer

Spannung, sondern in einem Strom besteht. Ihr Ausgangsstrom ist proportional zur Eingangsspannung. Sie verhalten sich damit ähnlich wie ein Widerstand. Mit ihnen lassen sich Schaltungen realisieren, die einen spannungsgesteuerten Widerstand (VCR) erfordern. Beispiele dafür sind Verstärker, deren Verstärkungsfaktor durch eine von außen angelegte Spannung bestimmt wird (VCA). Oder Filter, deren Eigenschaften sich durch Anlegen von Spannungen beeinflussen lassen.

Die Auswahl an Transkonduktanzverstärkern ist recht übersichtlich. Wenn man bei Farnell die Suche auf Bauteile beschränkt, die ab Lager lieferbar sind, landet man bei nur drei IC-Typen. Leicht beschaffbare Modelle sind:

LM13700

Der LM13700 ist für Audio-Anwendungen ausgelegt. Er enthält zwei OTAs und als Zugabe zwei getrennt nutzbare Darlington-Transistorpaare, die als Treiberstufe genutzt werden können.

- Bandbreite: 2 MHz
- maximale Versorgungsspannung: +/- 18 V
- Slew-Rate: 50 V/µs
- Gehäuse: SO16, oder DIP16
- erhältlich bei den üblichen verdächtigen Elektronik-Versendern zu Preisen zwischen 0.70 EUR und 2.40 EUR.

Die Eingangsspannung darf +/- 5 V nicht überschreiten.

Der NE5517 ist ein Konkurrenzprodukt von ON Semicontuctor. Er ist in den Eigenschaften und in der Pinbelegung kompatibel.

OPA860 / OPA861

Die Modelle OPA361 und OPA360 sind als Endstufe für Video-Anwendungen entworfen. Sie sind deutlich schneller als der LM13700

- Bandbreite: OTA alleine 75 MHz, OTA kombiniert mit Buffer 400 MHz
- maximale Versorgungsspannung: +/- 6 V
- maximale Eingangsspannung: 1.2 V
- Slew-Rate: OTA alleine 900 V/µs, OTA kombiniert mit Buffer 3000 V/µs
- Gehäuse: SO8, SO23-6 (OPA361)
- erhältlich bei RS und Farnell zu Preisen zwischen 4 EUR und 5 EUR.

LT1228

Der LT1228 ist eine Alternative zum OPA860, wenn höhere Versorgungsspannung gebraucht wird. Leider ist er nicht pinkompatibel.

From:
https://elektroniq.iqo.uni-hannover.de/ - **ElektronIQ**

Permanent link:
https://elektroniq.iqo.uni-hannover.de/doku.php?id=bauteil:operationsverstaerker&rev=1654721999

Last update: **2022/06/08 20:59**