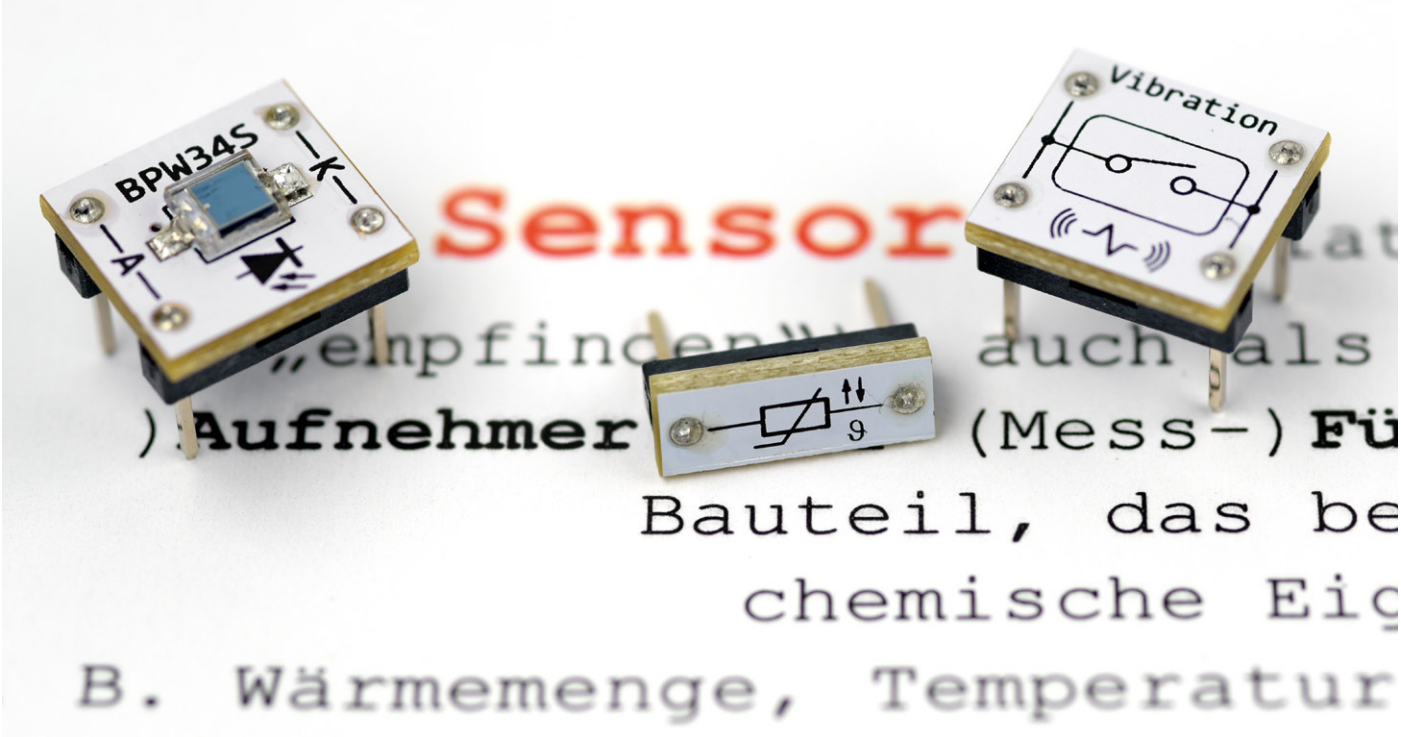
Experimentierset Operationsverstärker

Beispielschaltung IR-Tester

Im ELVjournal 5/2022 haben wir Ihnen den neuen Bausatz „Experimentierset Operationsverstärker" vorgestellt, der sowohl einzeln als auch im Bundle mit einem gemeinsam mit der Make-Redaktion erstellten Sonderheft erhältlich ist. Aus diesem Sonderheft zeigen wir im Folgenden beispielhaft eine der zahlreichen Schaltungen mit Operationsverstärkern: einen praktischen und diskretionär aufgebauten Infrarot-Tester.



IR-Tester

Obwohl man es nicht sehen kann, begegnet es uns fast täglich – es geht um für unsere Augen nicht sichtbares Licht aus verschiedenen Geräten. Meist hat man gleich mehrere davon auf dem Wohnzimmertisch liegen. Es sind die Fernbedienungen für unsere Consumer-Geräte wie z. B. Fernseher oder Satellitenreceiver. Diese senden ein unsichtbares Licht aus, mit dem die Daten der Fernbedienung zum Empfänger übertragen werden. Unser Auge kann nur Licht in einem Spektrum zwischen 380 (Blau) und 780 (Rot) Nanometern Wellenlänge wahrnehmen. Licht mit einer Wellenlänge darunter oder darüber wird als ultraviolettes (UV) bzw. infrarotes Licht (IR) bezeichnet. Fernbedienungen nutzen infrarotes Licht zur Datenübertragung, um dem Gerät Befehle zu senden.

Die Fernbedienung verfügt dazu über eine IR-LED, also eine LED, die Licht im infraroten Bereich abgeben kann. Auf der Empfängerseite sitzt eine Fotodiode oder ein Fototransistor mit der Aufgabe, dieses IR-Licht zu empfangen und in eine elektrische Spannung zu wandeln.

Ähnlich wie in der Funktechnik wird für die Datenübertragung eine Trägerfrequenz genutzt. Das Trägersignal wird abhängig von den zu übertragenden Daten ein- und wieder ausgeschaltet, sodass sich Bitfolgen und Datenpakete ergeben, wie in Bild 1 dargestellt. Die Trägerfrequenz liegt in der Regel zwischen 36 und 40 kHz. Ein Datenpaket besteht aus einer Vielzahl von Impulsen, die vom Empfänger ausgewertet werden. Jede Taste auf der Fernbedienung hat einen anderen Code.

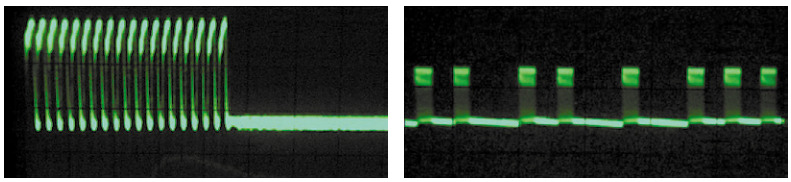
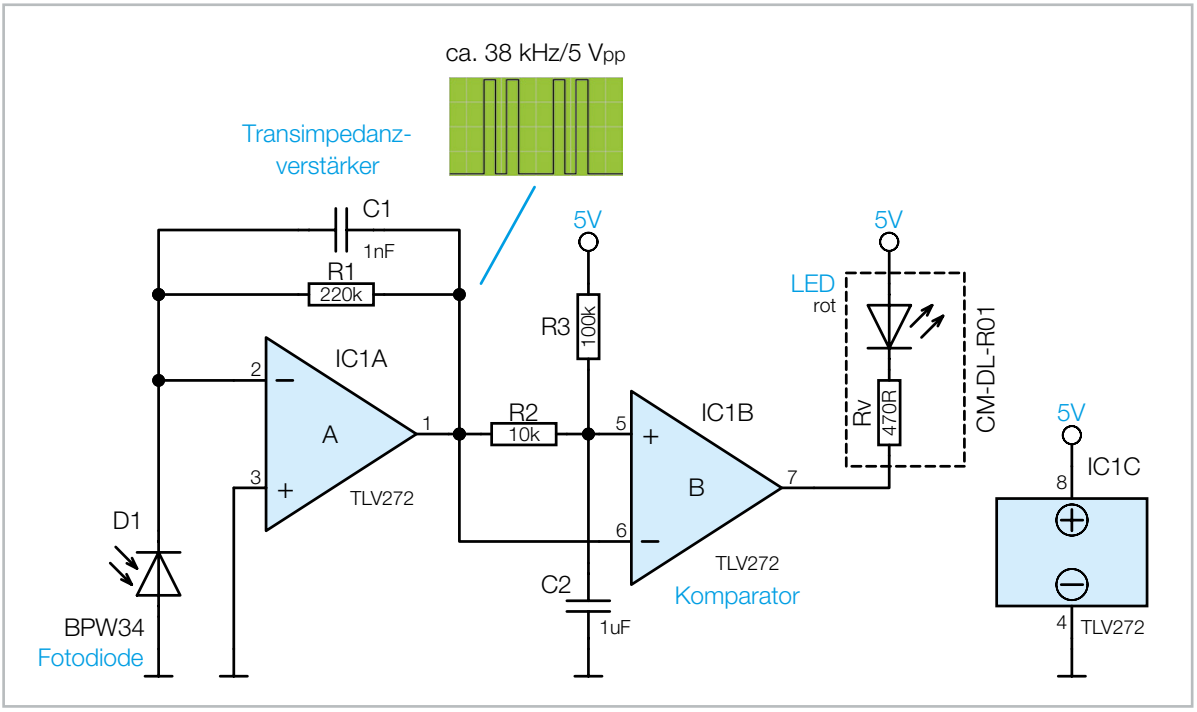


Bild 1: Links ein sogenannter Burst beim Einschalten des Trägersignals. Rechts eine Abfolge von Bursts, die je nach Kodierungsart ein Datenpaket ergeben. Bilder: wikipedia

Bild 2: Das Schaltbild des IR-Testers



Schaltung

Wir wissen nun, wie die Datenübertragung mittels Licht funktioniert. Mit dieser Kenntnis sollte es uns nicht schwerfallen, die Funktionsweise unserer kleinen Testschaltung zu verstehen. Bild 2 zeigt das komplette Schaltbild des IR-Testers.

In dieser Schaltung sind zwei Komponenten enthalten, die wir uns etwas genauer anschauen wollen. Es handelt sich um die Fotodiode D1 und den nachfolgenden Verstärker mit IC1A, der als Transimpedanzverstärker bezeichnet wird.

Eine Fotodiode ist ein lichtempfindlicher Halbleiter. Der PN-Übergang des Halbleiters liegt frei, sodass Umgebungslicht auf diese Fläche treffen kann. Trifft Licht auf die Sensorfläche, wird elektrischer Strom erzeugt. Diese lichtempfindlichen Halbleiter reagieren nicht nur auf sichtbares Licht, sondern auch auf Licht im IR- oder UV-Bereich.

Es gibt spezielle Fotodioden mit einem Tageslichtfilter, um gezielt sichtbares Licht zu unterdrücken. Dies ist vorteilhaft, wenn man z. B. nur Licht im IR-Bereich (Infrarot) detektieren möchte. So werden störende Einflüsse durch sichtbares Licht verhindert. Die Kennlinie einer Fotodiode entspricht der einer normalen Silizium- oder Germanium-Diode. In der Praxis wird eine Fotodiode im Sperrbereich betrieben. Dabei wird der Strom in Sperrrichtung gemessen, der sich je nach Lichtstärke in einem Bereich von nur wenigen Mikroampere bewegt. Die Signalverarbeitung von Fotodioden ist deshalb nicht ganz einfach und benötigt immer entsprechende Verstärkerstufen, die den sehr kleinen Fotostrom verstärken. Bild 3 zeigt die in unserem Experimentierset verwendete Fotodiode vom Typ BPW34, das Schaltsymbol und die in unserem Set verwendete Platine.

Transimpedanzverstärker

Ein Transimpedanzverstärker wandelt einen Eingangsstrom in eine Spannung um. In Bild 4 ist die Grundschaltung mit einer Fotodiode als Eingangsstromquelle dargestellt. Der Hauptanwendungsbereich liegt in der Verstärkung sehr kleiner Ströme, wie es z. B. bei Fotodioden der Fall ist.

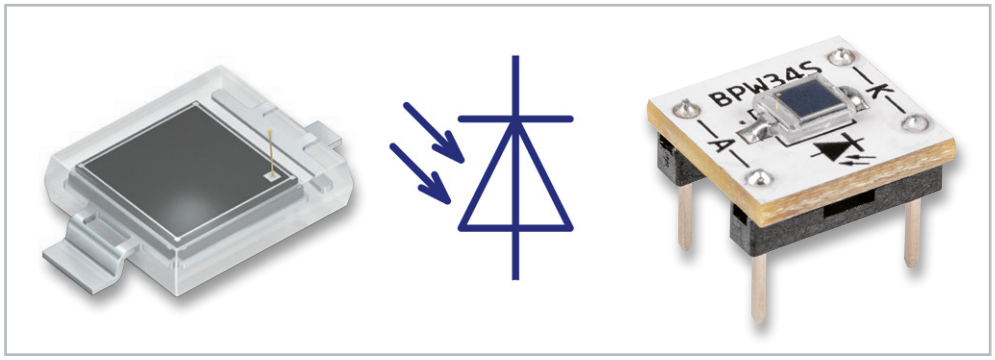


Bild 3: Die Fotodiode BPW34 einzeln, das Schaltsymbol und das PAD

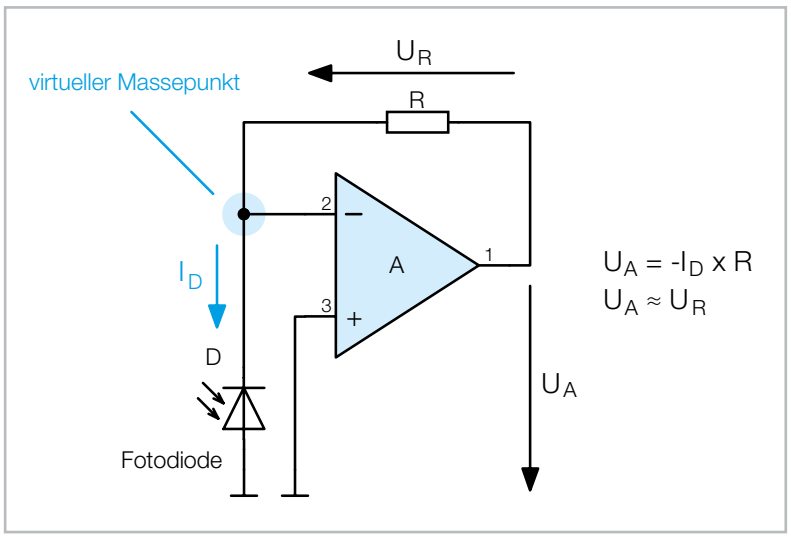


Bild 4: Transimpedanzverstärker mit Fotodiode als Stromquelle

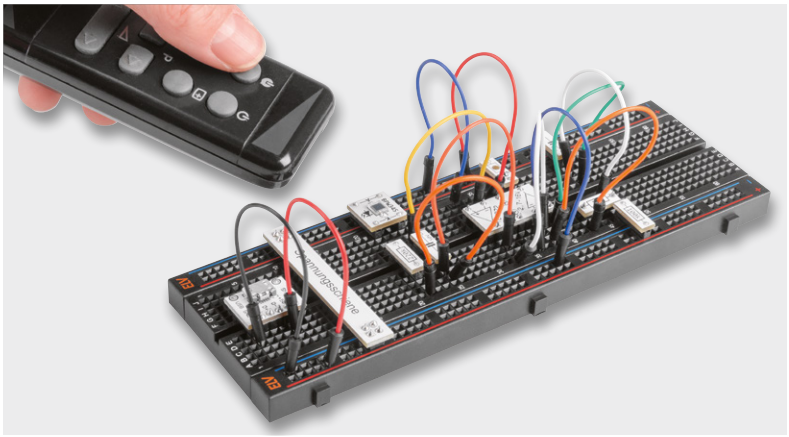


Bild 5: Hält man die IR-Diode der Fernbedienung nahe an die Fotodiode, flackert die rote LED der Schaltung.

In unserer Grundschaltung (Bild 2 und Bild 6) liegt der nicht invertierende Anschluss (+) an Masse. Durch die Rückkopplung mit einem Widerstand (R) vom Ausgang auf den invertierenden Ausgang (-) versucht der Operationsverstärker, den Pegel am invertierenden Eingang auszugleichen, sodass hier ebenfalls 0 V (Massepotential) anliegt. Der invertierende Eingang (-) des Operationsverstärkers hat durch die Rückkopplung immer Massepotential und kann als virtuelle Masse bezeichnet werden.

Für die Fotodiode stellt dieser Eingang einen virtuellen Kurzschluss dar. Bei Belichtung der Fotodiode fließt ein, wenn auch sehr kleiner, Kurzschlussstrom I_D . Da der Strom nicht in bzw. aus dem Eingang des Operationsverstärkers fließen kann, kommt der Strom über den Widerstand (R). Der Operationsverstärker regelt den Ausgang soweit nach, bis der Strom durch R identisch mit dem Fotodiodenstrom I_D ist. Für die Ausgangsspannung ergibt sich folgende Formel:

$$U_A = -I_D \times R$$

Da der invertierende Eingang Massepotential hat, entspricht die Spannung über dem Widerstand R der Ausgangsspannung U_A. Man erkennt in der Formel: Je größer der Rückkoppelwiderstand ist, desto größer wird auch die Ausgangsspannung. Aus einem sehr kleinen Eingangsstrom wird bei entsprechender Dimensionierung des Rückkoppelwiderstands eine relativ große Ausgangsspannung.

Alles zusammen

Wie passt nun alles zusammen? Hält man eine Fernbedienung mit einer gedrückten Taste vor die Fotodiode, wird das Signal empfangen und mit dem Transimpedanzverstärker verstärkt, sodass am Ausgang des Verstärkers die pulsierenden Datenpakete des Fernbediencodes anliegen. Jetzt müssen wir diese Daten nur noch zur Anzeige bringen. Das geschieht mit einem Komparator rund um IC1B. Wir kennen die Grundschaltung eines Komparators, wobei diese Komparatorschaltung etwas modifiziert ist. Da wir nur das Wechselspannungssignal vom Fernbediencode auswerten wollen und nicht das Gleichspannungssignal, das von schwankender Umgebungshelligkeit herrührt, kommt hier eine automatische Arbeitspunkteinstellung zum Einsatz.

Am nicht-invertierenden Eingang (+) von IC1B wird der Arbeitspunkt, also die Schaltschwelle, eingestellt. Da das Ausgangssignal von der ersten Verstärkerstufe eine Mischung aus Gleich- und Wechselspannung ist, nutzen wir den Gleichspannungsanteil als Referenz für unsere Schaltschwelle. Mit dem Widerstand R2 und dem Kondensator C2, der als Tiefpass arbeitet, wird die Wechselspannung unterdrückt und nur der Gleichspannungsanteil durchgelassen. Der Widerstand R3 hebt diesen Pegel noch geringfügig an, um eine sichere Schaltschwelle zu definieren. Der Gleichspannungspegel an diesem Eingang des Komparators entspricht dem Mittelwert der zugeführten Mischspannung. Zusätzlich wird das Ausgangssignal des Verstärkers ohne Beeinflussung auf den invertierenden Eingang (-) des Komparators gegeben.

Falls ein Signal von einer Fernbedienung (Bild 5) empfangen wird, passiert dies am Komparator: Die Impulspakete generieren über den Tiefpass R2 und C2 eine Schaltschwelle am (+)-Eingang. Durch die Trägheit des Tiefpasses kann die Spannung den Impulsen nicht so schnell folgen. Am (-)-Eingang liegen die Impulspakete ohne Beeinflussung an. Da die Spannung nun über dem Potential der Schaltschwelle liegt, schaltet der Komparator, wodurch der Ausgang auf Low-Pegel wechselt. Hierdurch leuchtet die angeschlossene LED auf. Da diese Impulspakete nicht dauerhaft, sondern pulsartig gesendet werden, flackert die LED im Takt dieser Impulspakete.

Lichtgeschwindigkeit

Das populärste Anwendungsgebiet der Transimpedanzverstärker ist zweifelsohne die Verstärkung der Ströme von Fotodioden. Insbesondere bei der Übertragung von Daten über Lichtwellenleiter, landläufig auch Glasfaser genannt, spielen sie eine wichtige Rolle, um auf der Empfängerseite die Bits aus den Lichtimpulsen zu gewinnen. Dabei kommen hochempfindliche und sehr präzise Verstärker zum Einsatz. Letztere werden dann nicht mehr aus einzelnen Wald-und-Wiesen-Operationsverstärkern mit externer Beschaltung aufgebaut, sondern aus speziell hochgezüchteten Operationsverstärkern. Diese sind auf Geschwindigkeit im GHz-Bereich und niedriges Rauschen getrimmt statt auf sehr hohe Leerlaufverstärkung. ELV

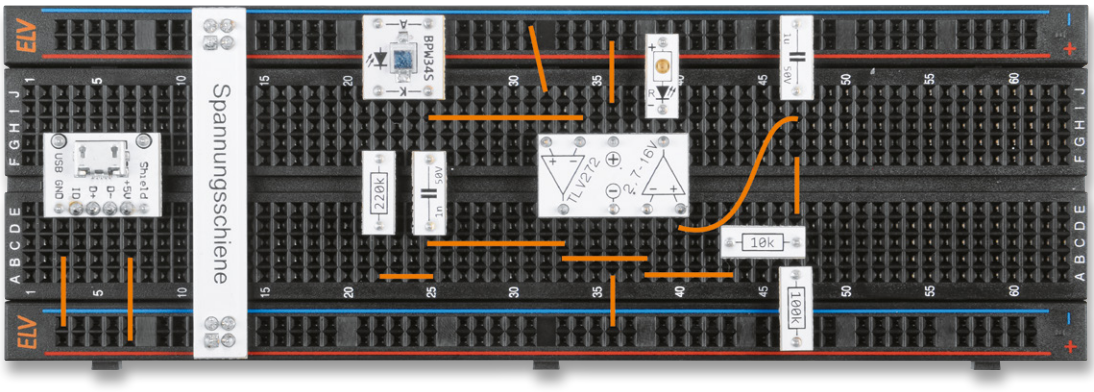
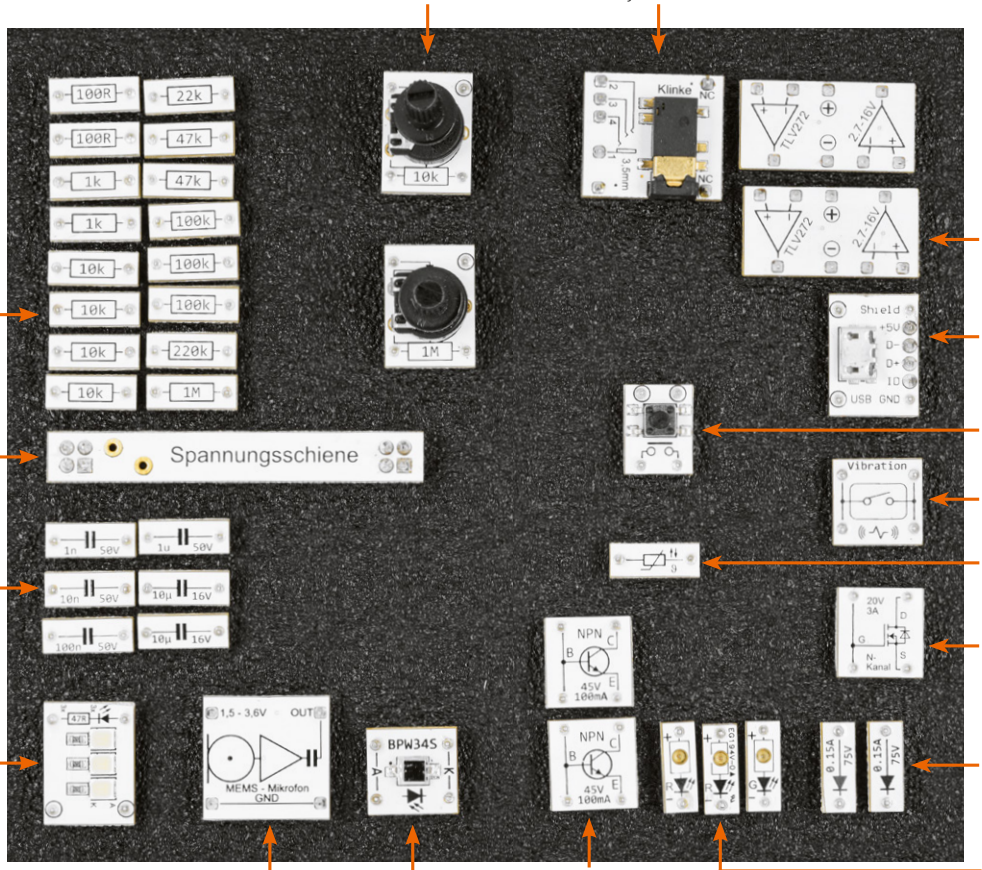


Bild 6: Der Aufbau des IR-Testers

Experimentierset Operationsverstärker

Der Bausatz „Experimentierset Operationsverstärker“ ist der Nachfolger des im letzten Jahr mit der im Verlag Heise Medien erscheinenden Zeitschrift „Make:“ aufgelegten Bausatzes „Experimentierset Prototypenadapter“. Das neue Experimentierset richtet sich dabei an alle, die den Umgang mit Operationsverstärkern erforschen wollen, um diese Bauteile besser zu verstehen. In einem begleitenden Sonderheft gibt es zahlreiche Schaltungsbeispiele zum Ausprobieren. Im Set enthalten: 43 Prototypenadapter-Module, ein Breadboard, ein Steckkabelset und ein Ohrhörer.



PT10-Potentiometer-Platinen
Für Experimente mit veränderbaren Widerständen liegen Werte mit 10 kΩ und 1MΩ bei.

Klinkenanschluss
Der mitgelieferte Ohrhörer kann über die Klinkenbuchse an den Aufbau angeschlossen werden.

Widerstandsplatinen
Insgesamt 16 Widerstandsplatinen mit 100 Ω, 1 kΩ, 10 kΩ, 22 kΩ, 47 kΩ, 100 kΩ, 220 kΩ und 1 MΩ

Spannungsschiene
Eine Spannungsschiene verbindet die beiden entsprechenden Schienen des Breadboards, damit die Versorgungsspannung auf beiden Seiten genutzt werden kann.

Kondensatorplatinen
6 Kondensatorplatinen (1 nF, 10 nF, 100 nF, 1µF und 10 µF) ergänzen das Set, damit die Funktion dieses Bauteils in verschiedenen Konstellationen genutzt werden kann.

LED-Cluster-Platine
Drei weiße LEDs mit integriertem Vorwiderstand

Operationsverstärker
Der Operationsverstärker TLV272 bildet die Grundlage für die Experimente.

Micro-USB-Buchsen-Platine
Zum Anschluss einer 5-V-Spannungsversorgung, beispielsweise von einem USB-Netzteil

Taster-Platine

Vibrationssensor

NTC-Platine
Platine mit NTC-Widerstand, der bei Temperaturänderung den Widerstandswert verändert

N-Kanal-MOSFET-Platine
Platine mit N-Kanal-MOSFET für Experimente zur Ansteuerung von Lasten per Steuerspannung

Silizium-Diode
Die klassische 1N4148-Schaltdiode wird für verschiedene Aufgaben bei den Experimenten genutzt.

LED-Platinen (grün und rot)
Platinen mit roter und grüner LED und integriertem Vorwiderstand

MEMS-Mikrofon
Das MEMS-Mikrofon kann für Experimente mit Audioverstärkern genutzt werden.

Silizium-Photodiode
Die Photodiode BPW34 erfasst optische Signale.

NPN-Transistor-Platinen
Platinen mit dem NPN-Transistor BC847C für Experimente zur Ansteuerung von Lasten per Steuerstrom

Das Experimentierset Operationsverstärker besteht aus zahlreichen Bauteilen, die für grundlegende Experimente mit Operationsverstärkern verwendet werden können. Mit insgesamt 43 Prototypenadapter-Modulen, einem Breadboard, einem Steckkabelset und einem Ohrhörer können die in dem Sonderheft vorgestellten Schaltungen nachgebaut werden. Außer im Bundle aus Sonderheft und Experimentierset Operationsverstärker ist der Bausatz auch separat für eigene Versuche erhältlich.

Experimentierset Operationsverstärker
Artikel-Nr. 158147
Bausatzbeschreibung und Preis:
www.elv.com

Experimentierset Operationsverstärker + Make: Sonderheft
Artikel-Nr. 253005
www.elv.com