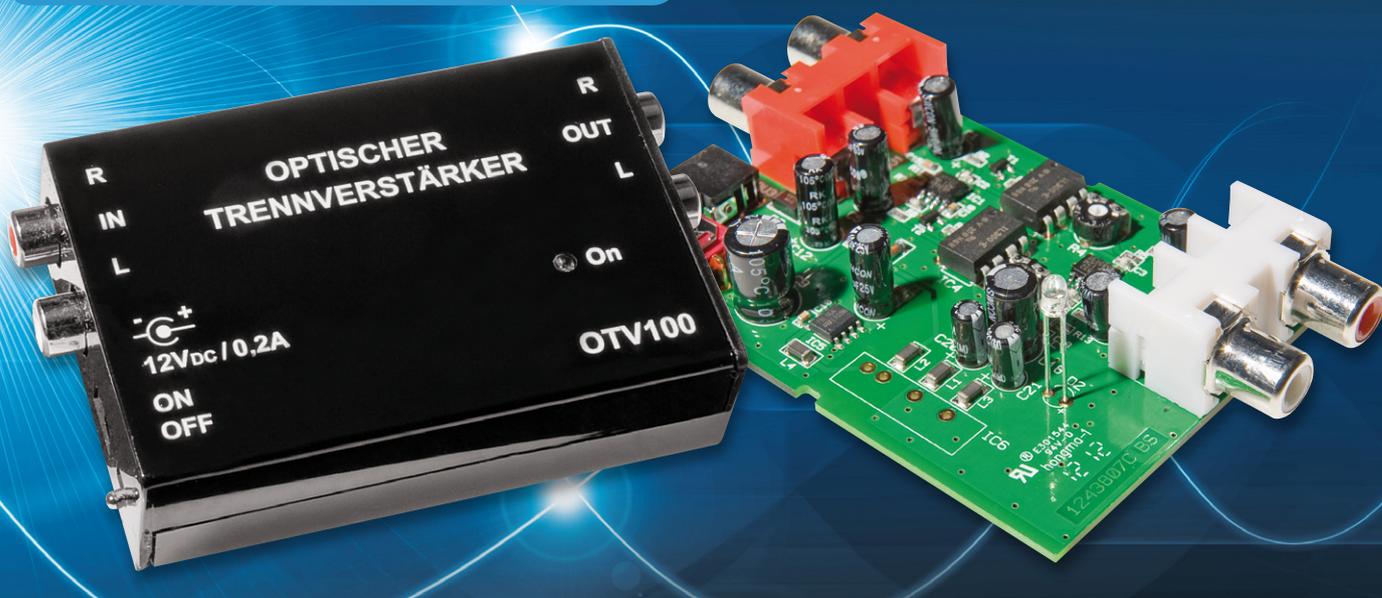


Verhindert zuverlässig  
lästige „Brummschleifen“



## Optischer Trennverstärker für analoge Audiosignale

Durch die optoelektronische Übertragung von analogen Stereo-Audiosignalen werden oft schwer in den Griff zu bekommende „Brummschleifen“ effektiv verhindert. Der OTV100 arbeitet im Frequenzbereich von <math><20\text{ Hz}</math> bis <math>>40\text{ kHz}</math> mit ausgezeichneter Signalqualität und der Klirrfaktor beträgt bei 1 kHz und Vollaussteuerung weniger als 0,05 %.

### Allgemeines

Bei der Verbindung verschiedener Audiogeräte kommt es häufig zu störenden Masseschleifen, wenn mehrere Geräte an verschiedene Punkte (z. B. über den Schutzleiter) geerdet sind. Besonders wenn eine größere Distanz zwischen den Geräten besteht, sind diese störenden „Brummschleifen“ häufig nicht zu verhindern. Der Anschluss von analogen Audiogeräten an PC-Soundkarten führt oft zu ähnlichen Schwierigkeiten. Die Ursache sind auch hier Masse-Potentialdifferenzen.

Da aus Gründen der Gerätesicherheit an den Schutz-

leiter- und Erdungsverbindungen meistens keine Veränderungen möglich sind, ist es unmöglich, derartige Probleme mit einfachen Mitteln zuverlässig in den Griff zu bekommen. Die einzige wirklich wirksame Methode ist das Auftrennen der Masseschleifen, und dies ist am besten im Signalweg zwischen den Geräten möglich. Dazu wird dann eine potentialfreie Übertragung der Audiosignale benötigt.

Auf den ersten Blick bietet sich eine transformatorische Übertragung an, aber diese Lösung ist mit einer ganzen Reihe an Einschränkungen verbunden. Insbesondere ist es schwierig, eine akzeptable Übertragungsbandbreite und Linearität zu erreichen. Des Weiteren ist die Ausgangsimpedanz abhängig von der Übertragungsqualität und es treten störende Resonanzeffekte auf. Auch mit einer aufwändigen Elektronik an der Ein- und Ausgangsseite des Übertragers ist oft kein optimales Gesamtergebnis zu erreichen. Die Alternative zum Transformator ist für einen Isolierverstärker die optoelektronische Signalübertragung.

Bei einem optischen Trennverstärker werden die Audioinformationen in optische Signale gewandelt, übertragen und wieder in elektrische Signale zurückgewandelt.

Der erste ELV-Trennverstärker für analoge Audiosignale auf optischer Basis wurde bereits 1999 entwickelt

Signaleingang:	Stereo (2x Cinch)
Eingangsepegel:	Nominal 775 mV <sub>eff</sub> (max. 1,5 V <sub>eff</sub> )
Signalausgang:	Stereo (2x Cinch)
Verstärkung:	0 dB
Frequenzgang:	<math><20\text{ Hz}</math> bis <math>>40\text{ kHz}</math> ( $\pm 1\text{ dB}$ )
Klirrfaktor:	<math><0,05\text{ \%}</math> bei 1 kHz, <math><0,15\text{ \%}</math> bei 20 kHz
Linearität:	0,01 %
Betriebsanzeige:	LED
Umgebungstemperaturbereich:	0–40 °C
Betriebsspannung:	12 V <sub>DC</sub> ( $\pm 5\text{ \%}$ )
Stromaufnahme:	<math><200\text{ mA}</math>
Abmessungen (B x H x T):	94 x 58 x 24 mm

und in unterschiedlichste Anwendungen zur Verhinderung von Brummschleifen eingesetzt. Auch wenn das Gerät grundsätzlich noch auf dem Stand der Technik ist, haben sich zwischenzeitlich einige Normanforderungen geändert, so dass es jetzt Zeit für einen Nachfolger ist.

Die grundsätzliche Funktion ist beim Nachfolger OTV100 unverändert, jedoch konnte durch den Einsatz von sehr rauscharmen Operationsverstärkern die Audio-Signalqualität nochmals gesteigert werden. Der OTV100 ist in einem deutlich kleineren Gehäuse untergebracht und die Spannungsversorgung kann über ein externes kleines Steckernetzteil erfolgen. Bei Verwendung eines modernen Stecker-Schaltnetzteils ist der Energieverbrauch deutlich geringer als beim ursprünglich verwendeten Trafo-Netzteil.

Als Trennelemente, d. h. für die Umsetzung der analogen Spannungen bzw. Ströme, kommen beim OTV100 die gleichen Linear-Optokoppler zum Einsatz wie beim Vorgängermodell. Diese Bauteile haben sich bewährt, zeichnen sich durch hervorragende Leistungsmerkmale aus und benötigen nur wenig externe Beschaltung.

Zu den wesentlichen Eckdaten des IL300 zählen eine Gleichtaktunterdrückung von 130 dB, eine Stabilität von  $\pm 50$  ppm/°C und eine Linearität von 0,01 %. Mit einer Übertragerlösung wären diese Daten nicht annähernd erreichbar.

Im Gegensatz zu gewöhnlichen Optokopplern, die ausschließlich für die Übertragung digitaler Schaltzustände entwickelt wurden, spielen bei der linearen Übertragung von Strom und Spannung Störgrößen wie Betriebs- und Umgebungstemperatur, Nichtlinearität sowie alterungsbedingte Änderungen der elektrischen Parameter eine entscheidende Rolle.

Um diese Änderungen automatisch auszuregeln, wird bei Linear-Optokopplern der Lichtempfänger auf der Steuerseite nochmals nachgebildet.

Wird auf beide Fotodioden der gleiche Lichtanteil gekoppelt, so können Nichtlinearität und alterungsbedingte Änderungen der Sendediode optimal ausgeregelt werden.

Der IL300 ist entsprechend **Tabelle 1** nach 10 unterschiedlichen Koppelfaktoren selektiert lieferbar. In unserer Applikation sind die Koppelfaktoren E, F und G zulässig.

### Koppelfaktoren des IL300

Typ	Koppelfaktor K3
IL300 A	0,560–0,623
IL300 B	0,623–0,693
IL300 C	0,693–0,769
IL300 D	0,769–0,855
IL300 E	0,855–0,950
IL300 F	0,950–1,056
IL300 G	1,056–1,175
IL300 H	1,175–1,304
IL300 I	1,304–1,449
IL300 J	1,449–1,610

Tabelle 1

Die Empfangsdioden des IL300 sind wahlweise als photovoltaische oder als fotoleitende Stromquellen einsetzbar. Im photovoltaischen Betrieb wird jedoch die höchste Linearität, das geringste Rauschen und somit das stabilste Verhalten erreicht. Der Übertragungsfrequenzbereich, d. h. die Bandbreite, hingegen ist im fotoleitenden Betrieb größer.

Da jedoch in einer Audioanwendung die maximale Signalbandbreite von 200 kHz nicht erforderlich ist, liegen die Vorteile eindeutig im photovoltaischen Betrieb.

Unsere optoelektronische Audiosignaltrennung ist in einem flachen Kunststoff-Schiebegehäuse untergebracht und die Spannungsversorgung erfolgt mit Hilfe eines stabilisierten Steckernetzteils. Da auch eine galvanische Trennung zwischen der primärseitigen und der sekundärseitigen Spannungsversorgung der Trennverstärker erforderlich ist, kommt im Gerät ein DC/DC-Wandler mit galvanischer Trennung zum Einsatz.

### Elektronikwissen: Funktionsweise des Linear-Optokopplers IL300

Im IL300 sind eine Sendediode und zwei identische Empfangsdioden integriert, wie im abgebildeten internen Aufbau zu sehen ist.

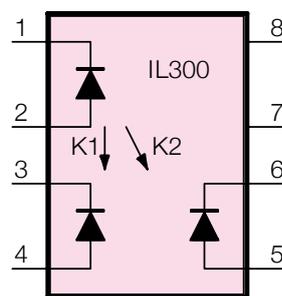
Die Sendediode ist mit der Katode an Pin 1 und mit der Anode an Pin 2 angeschlossen und das Infrarotlicht wird gleichzeitig auf beide, voneinander unabhängige Pin-Fotodioden gekoppelt. Die Pindioden haben die gleichen elektrischen Daten.

Aufgrund der mechanischen Anordnung im Gehäuse ist die an Pin 3 und Pin 4 angeschlossene Fotodiode als Servo-Fotodiode vorgesehen, die ein Rückführungssignal zur Steuerung des Durchflussstroms IF der an Pin 1 und Pin 2 angeschlossenen Sendediode liefert. Der Fotostrom dieser Servo-Fotodiode ist dabei dem einfallenden Strahlungsfluss direkt proportional.

Die Sendediode wird üblicherweise in einer optischen Regelschleife betrieben, so dass deren Ausgangsstrahlungsfluss linearisiert wird. Die Abhängigkeit von Temperatur und Alterung wird dadurch verhindert. Der Fotostrom der identischen Ausgangs-Fotodiode,

angeschlossen an Pin 5 und 6 des Bausteins, ist ebenfalls dem einfallenden Strahlungsfluss und somit auch dem Fotostrom der Rückkopplungsdiode direkt proportional. Die Ausgangsdiode sorgt für die galvanische Trennung zwischen dem Ein- und Ausgang der Schaltung. Die Übertragungsverhältnisse innerhalb des Bausteins werden durch Koppelfaktoren angegeben, wobei das Übertragungsverhältnis zwischen der Sendediode und der Servodiode durch den Koppelfaktor K1 und das Übertragungsverhältnis der Sendediode und der Ausgangsdiode durch den Koppelfaktor K2 ausgedrückt wird. Das Verhältnis der beiden internen Koppelfaktoren ergibt dann den Gesamtkoppelfaktor K3 ( $K3 = K2/K1$ ).

Die Empfangsdioden des IL300 sind wahlweise als photovoltaische oder als fotoleitende Stromquellen einsetzbar. Da im photovoltaischen Betrieb die höchste Linearität, das geringste Rauschen und somit insgesamt das stabilste Verhalten erreicht wird, arbeitet unser Trennverstärker in dieser Betriebsart. Der höhere Übertragungsfrequenzbereich im fotoleitenden Betrieb würde in unserer Anwendung keinen Vorteil bringen.



Interner Aufbau und die Pinbelegung des Linear-Optokopplers IL300

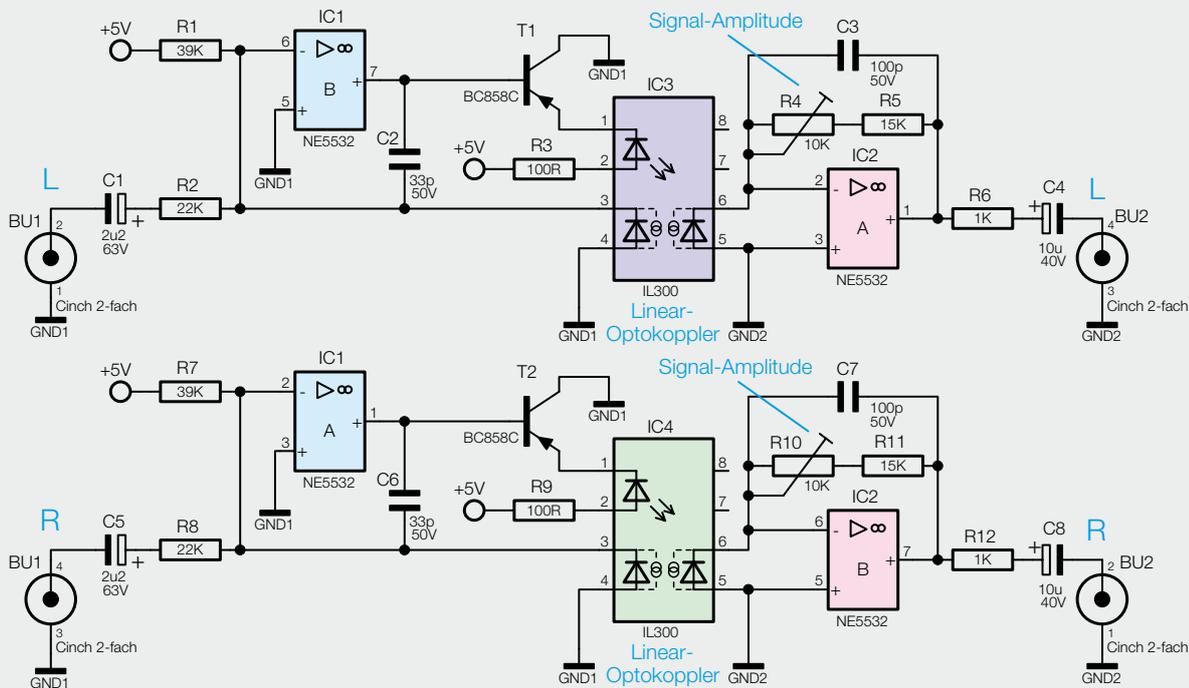


Bild 1: Schaltung des Stereo-Trennverstärkers

Die Übertragungsbandbreite des OTV100 beträgt  $<20$  Hz bis  $>40$  kHz mit  $\pm 1$  dB und der maximale Eingangsspegel ist mit  $4,5 V_{SS}$  spezifiziert. Die Verstärkung wird üblicherweise auf 0 dB fest eingestellt. Das Gerät ist daher einfach in den Signalweg einzuschleifen, ohne dass eine Bedienung erforderlich ist.

## Schaltung

In Bild 1 ist die Schaltung des eigentlichen Trennverstärkers zu sehen, wobei die Stufen des rechten und linken Stereokanals völlig identisch aufgebaut sind. Die Schaltung des Netzteils ist in Bild 2 dargestellt. Für die Beschreibung des Trennverstärkers betrachten wir den oberen, linken Kanal.

In unserer Schaltung arbeiten die Fotodioden im photovoltaischen Betrieb und eingangsseitig können bipolare Signale verarbeitet werden, wobei der Elko C1 zur gleichspannungsmäßigen Entkopplung dient. Beim Linear-Optokoppler IC3 ist die Katode der Servodiode (an Pin 3 und 4) direkt mit dem inver-

tierenden Eingang des Operationsverstärkers IC1 und die Anode direkt mit dem nicht-invertierenden Eingang (Schaltungsmasse) verbunden.

Da zur Übertragung von bipolaren Signalen vorgespannte Verstärkerstufen erforderlich sind, wird über den Widerstand R1 ein Strom von ca.  $100 \mu\text{A}$  eingepreßt. Im Ruhezustand, d. h. ohne NF-Eingangssignal, kann sich an den Eingängen des Operationsverstärkers dann ein Gleichgewicht einstellen, wenn sich der Ruhestrom der Servo-Fotodiode (an Pin 3 und Pin 4) ebenfalls auf  $100 \mu\text{A}$  einstellt. Dieser Strom ist wiederum direkt vom Strom durch die Infrarot-Sendediode an Pin 1 und Pin 2 abhängig.

Der Ausgangs-Fotostrom der an Pin 5 und Pin 6 extern zugänglichen Fotodiode ist ebenfalls direkt vom Strahlungsfluss der Sendediode abhängig und somit auch direkt proportional zum Fotostrom der Servodiode.

Das Audio-Eingangssignal des linken Stereokanals wird der Schaltung, wie bereits erwähnt auf Eingangsmasse bezogen, an BU1 zugeführt und mit C1 gleichspannungsmäßig entkoppelt.

Über R2 wird ein zum Eingangssignal direkt proportionaler Strom eingepreßt, wobei die maximal zulässige Signalamplitude von der Dimensionierung dieses Widerstands abhängig ist.

In der vorliegenden Dimensionierung sind Signalamplituden von ca.  $\pm 2,3$  V bei einem Übertragungsbereich von  $<20$  Hz bis  $>40$  kHz zu

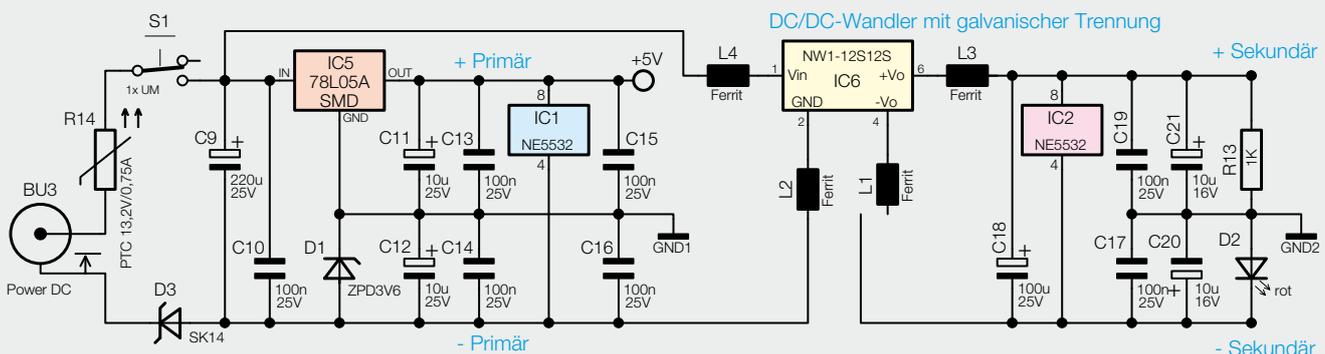


Bild 2: Netzteilerschaltung des OTV100

verarbeiten. Der maximale Servo-Fotostrom fließt bei einer Signalamplitude von ca. +2,3 V.

Die Ausgangs-Fotodiode ist mit der Anode am nicht-invertierenden Eingang (Pin 3) und mit der Katode am invertierenden Eingang (Pin 2) des Operationsverstärkers IC2A angeschlossen.

Die Ausgangsspannung an IC2 Pin 1 ist gleich dem Produkt aus dem Fotostrom der Ausgangs-Fotodiode und dem Gesamt-Rückkopplungswiderstand ( $R_4 + R_5$ ). Da die Schaltung ausschließlich zur galvanischen Trennung dient, ist mit  $R_4$  eine Verstärkung von 0 dB einzustellen.

$R_6$  bestimmt die Ausgangsimpedanz der Schaltung, und über  $C_4$  wird das Audiosignal direkt auf die Ausgangsbuchse BU2 gekoppelt. Der Kondensator  $C_3$  im Rückkopplungszweig dient ausschließlich zur Schwingneigungsunterdrückung. Die Funktion der Schaltung des rechten Stereokanals ist identisch.

Betrachten wir als Nächstes die Netzteilschaltung in Bild 2. Da es sich um eine Trennschaltung handelt, sind zur Spannungsversorgung der Ein- und Ausgangsstufen unbedingt galvanisch voneinander getrennte Betriebsspannungen erforderlich. Im OTV100 wird diese Trennung durch den Einsatz eines entsprechenden DC/DC-Wandlers erreicht.

Wie bereits erwähnt, wird zum Betrieb des OTV100 ein stabilisiertes 12-V-Steckernetzteil benötigt, das an BU3 anzuschließen ist. Über den Polyswitch – zum Schutz des Gerätes und der angeschlossenen Spannungsquelle –, die Verpolungsschutzdiode  $D_3$  und den Ein-/Ausrichter gelangt die Spannung dann auf den Pufferelko  $C_9$ .

Die mit IC1 aufgebaute eingangsseitige Verstärkerschaltung benötigt eine negative Hilfsspannung, die mit Hilfe der Z-Diode  $D_1$  in der Minusleitung des Spannungsreglers IC5 erzeugt wird. Quasi steht dadurch zum Betrieb des Eingangsverstärkers eine Spannung von +5 V und -3,6 V zur Verfügung. Am Spannungsregler sowie an der Z-Diode dienen die Elkos  $C_{11}$  und  $C_{12}$  zur Pufferung und die Kondensatoren  $C_{10}$  und  $C_{13}$  bis  $C_{16}$  sowie die Ferrite  $L_1$  bis  $L_4$  verhindern hochfrequente Störeinflüsse.

Der DC/DC-Wandler zur Versorgung der Ausgangsstufen wird direkt mit der an  $C_9$  anliegenden Spannung versorgt und liefert ausgangsseitig eine potentialfreie Spannung von 12 V.

Zum Betrieb der mit IC2 aufgebauten Ausgangsverstärker wird ebenfalls eine negative Hilfsspannung benötigt. Des Weiteren benötigt der DC/DC-Wandler eine Mindestlast, die deutlich oberhalb der Stromaufnahme von IC2 liegt. Durch eine geschickte Verschaltung der LED zur Betriebsanzeige werden diese beiden Forderungen erfüllt.

Die über  $R_{13}$  mit Spannung versorgte LED sorgt für eine entsprechende Stromaufnahme und der Spannungsabfall an  $D_2$  liefert gleichzeitig eine negative Hilfsspannung von ca. 2 V. In diesem Schaltungsbereich dienen die Elkos  $C_{18}$ ,  $C_{20}$  und  $C_{21}$  zur Pufferung und die Kondensatoren  $C_{17}$ ,  $C_{19}$  zur HF-Störunterdrückung.

## Nachbau

Da ein Großteil der Bauelemente des OTV100 in SMD-Technik realisiert ist und diese bereits werkseitig vor-

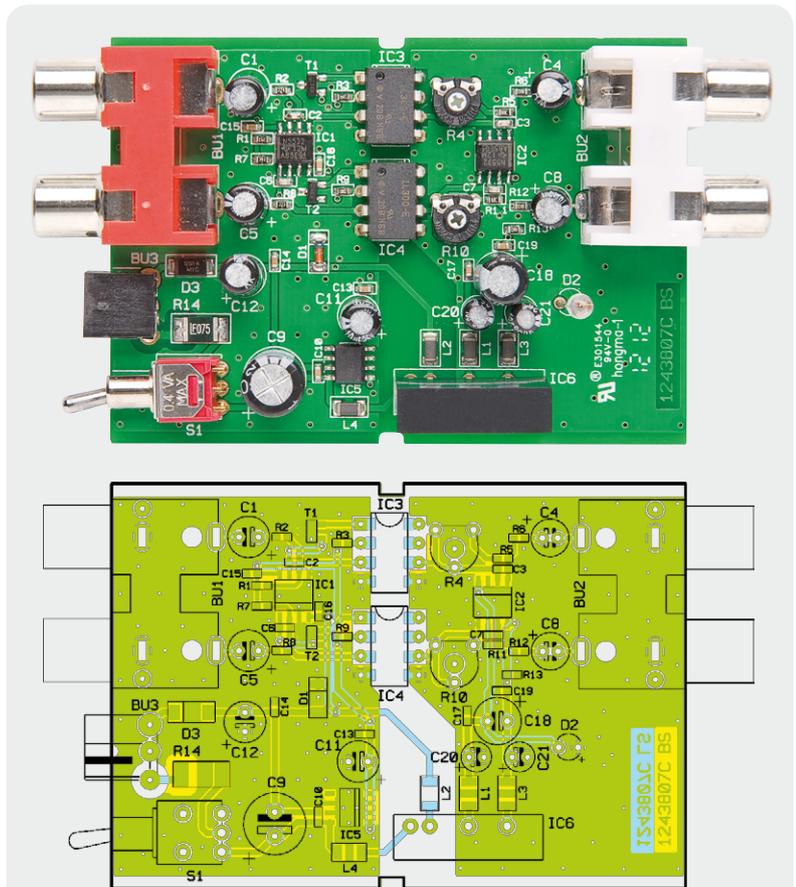


Bild 3: Fertig aufgebaute Platine des OTV100 mit Bestückungsplan

bestückt sind, ist der praktische Aufbau des Gerätes recht einfach und schnell erledigt. Da im Gerät keine Netzspannung vorhanden ist, besteht auch diesbezüglich keine Gefahr. Die Platine des OTV100 ist in Bild 3 mit zugehörigem Bestückungsplan zu sehen.

Den praktischen Aufbau beginnen wir mit dem Einlöten der Elektrolytkondensatoren, die üblicherweise am Minuspol gekennzeichnet sind. An der Platinenunterseite sind die überstehenden Drahtenden direkt oberhalb der Lötstellen abzuschneiden. Bild 4 zeigt die Platine mit den fertig bestückten Elkos. Danach sind die beiden Einstelltrimmer ( $R_4$ ,  $R_{10}$ ), die vor dem Verlöten plan aufliegen müssen, einzusetzen (Bild 5). Vorsicht: Beim Lötvorgang ist eine zu lange Hitzeeinwirkung auf die Trimmer zu vermeiden.



Bild 4: Platine mit SMD-Vorbestückung und eingelöteten Elektrolyt-Kondensatoren

Bild 5: Platine mit bestückten Einstelltrimmern R4 und R10

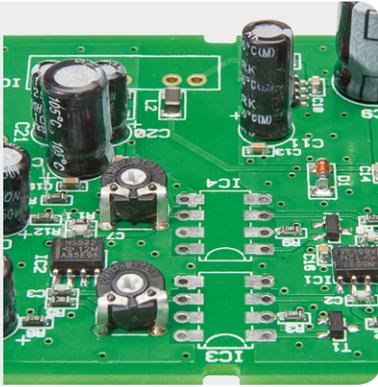


Bild 6: Bestückte Analog-Optokoppler IC3 und IC4

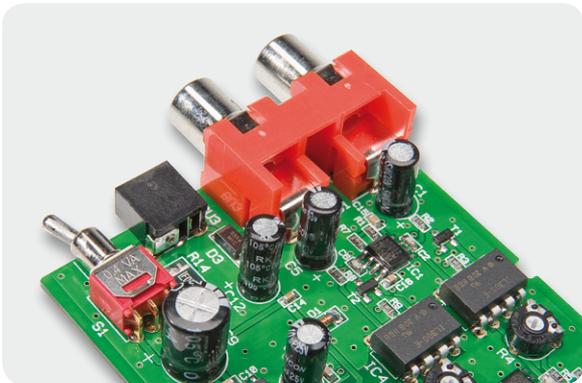
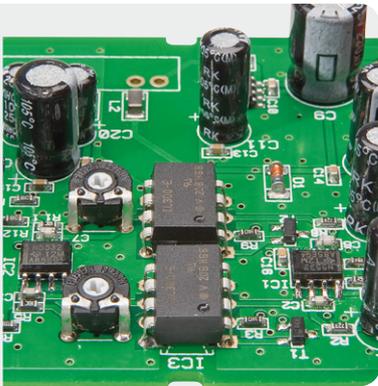
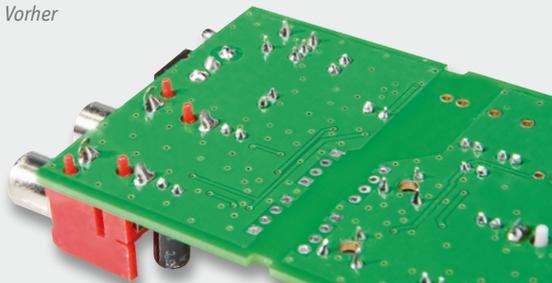


Bild 7: Bestückung der Cinch-Eingangsbuchsen, der Netzteilbuchse und des Schalters S1

Vorher



Nachher

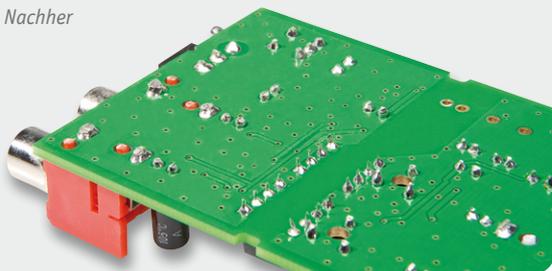


Bild 8: Kürzen der Lötanschlüsse und der Führungspins an der Eingangsseite

Danach werden die beiden Analog-Optokoppler IC3 und IC4 unter Beachtung der korrekten Polarität eingesetzt und verlötet (Bild 6). Die Polarität ist entweder an einer Gehäusekerbe an der Pin 1 zugeordneten Gehäuseseite oder an einer Punktmarkierung an Pin 1 erkennbar.

Im nächsten Arbeitsschritt werden nacheinander die beiden Doppel-Cinch-Buchsen (BU1, BU2), die Netzteilbuchse (BU3) und der Ein-/Ausschalter (S1) entsprechend Bild 7 bestückt und unter Zugabe von reichlich Lötzinn an der Platinenunterseite verlötet. Dabei ist zu beachten, dass die Bauteile unbedingt plan auf der Platinenoberfläche aufliegen müssen. Nach dem Verlöten sind die Anschlüsse an der Platinenunterseite direkt oberhalb der Lötstellen abzuschneiden (siehe Bild 8 und Bild 9). Die Kunststoff-Führungspins der Cinch-Buchsen sind ebenfalls mit einem scharfen Seitenschneider abzukneifen, wie auch in Bild 8 und Bild 9 gut zu sehen ist.

Der danach zu bestückende DC/DC-Wandler muss plan auf der Platinenoberfläche aufliegen, wie in Bild 10 zu sehen. Auch hier werden an der Platinenunterseite die Lötanschlüsse so weit wie möglich gekürzt.

Das letzte zu verarbeitende Bauelement ist die Leuchtdiode D2, die mit einer Einbauhöhe von 17 mm, gemessen von der LED-Spitze bis zur Platinenoberfläche, einzulöten ist (Bild 11). Da es sich auch hierbei um ein gepoltes Bauelement handelt, ist die Einbaulage zu beachten. Der Anodenanschluss (+ im Bestückungsdruck) ist am Bauteil durch einen längeren Anschluss gekennzeichnet.

Nun kann ein erster Funktionstest der komplett bestückten Platine (Bild 12) erfolgen, und mit R4 und R10 ist die Verstärkung auf 0 dB einzustellen (d. h. die Ein- und Ausgangssignale müssen den gleichen Signalpegel aufweisen).

Stehen keine Messmöglichkeiten zur Verfügung, so ist der Abgleich auch einfach nach Gehör (gleiche Lautstärke mit und ohne Trennverstärker) durchzuführen, ohne dass dabei Qualitätseinbußen auftreten.

Es folgt die Montage der Platine in das zugehörige Schiebegehäuse. Die Platine wird dabei so eingesetzt, dass die Gehäusezapfen in die zugehörigen Aussparungen am Platinenrand ragen (Bild 13).

Zuletzt bleibt dann nur noch das Gehäuseunterteil entsprechend Bild 14 aufzuschieben. **ELV**

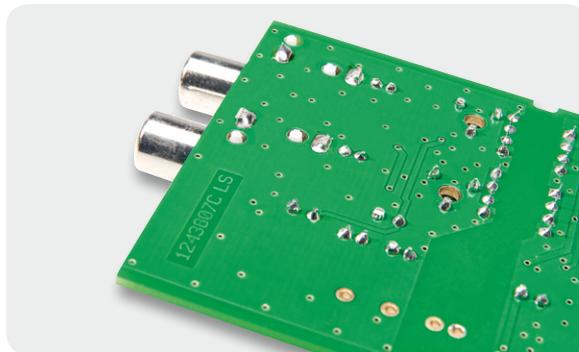


Bild 9: Kürzen der Lötanschlüsse und der Führungspins an der Ausgangsseite

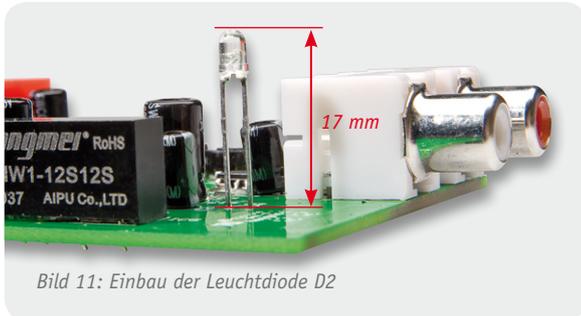
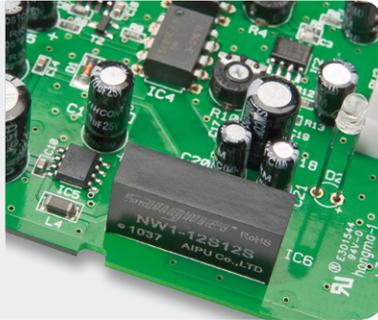
Bild 10:  
Bestückung des  
DC/DC-Wandlers


Bild 11: Einbau der Leuchtdiode D2

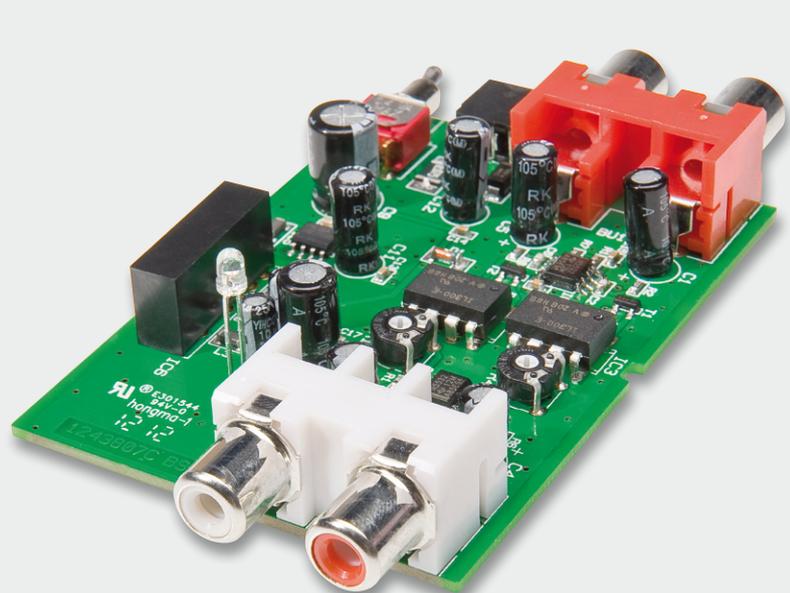


Bild 12: Die komplett bestückte Platine

**Widerstände:**

100 Ω/SMD/0603	R3, R9
1 kΩ/SMD/0603	R6, R12, R13
15 kΩ/SMD/0603	R5, R11
22 kΩ/SMD/0603	R2, R8
39 kΩ/SMD/0603	R1, R7
Polyswitch/13,2 V/0,75 A/SMD	R14
PT6, liegend, 10 kΩ	R4, R10

**Kondensatoren:**

33 pF/SMD/0603	C2, C6
100 pF/SMD/0603	C3, C7
100 nF/SMD/0603	C10, C13–C17, C19
2,2 µF/63 V	C1, C5
10 µF/25 V	C11, C12, C20, C21
10 µF/40 V	C4, C8
100 µF/25 V/105 °C	C18
220 µF/25 V	C9

**Halbleiter:**

NE5532D	IC1, IC2
IL300 E, F oder G	IC3, IC4
78L05/SMD	IC5
NW1-12S12S (DC/DC-Wandler)	IC6
BC858C	T1, T2
SK14/SMD	D3
BZV55C3,6 V/SMD	D1
LED/3 mm/rot/low current	D2

**Sonstiges:**

Chip-Ferrite, 1206, 1200 Ω bei 100 MHz	L1-L4
Cinch-Anschlussplatte, 2-polig, liegend, winkelprint	BU1
Cinch-Anschlussplatte, 2-polig, liegend, winkelprint	BU2
DC-Buchse, print	BU3
Mini-Kippschalter, 1x um, winkelprint	S1
1 Profil-Gehäuse, komplett, bearbeitet und bedruckt	

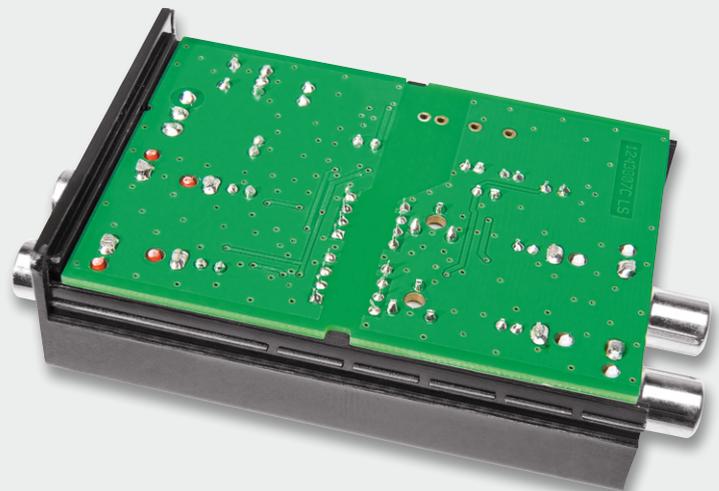


Bild 13: Einsetzen der Platine in das Gehäuseoberteil

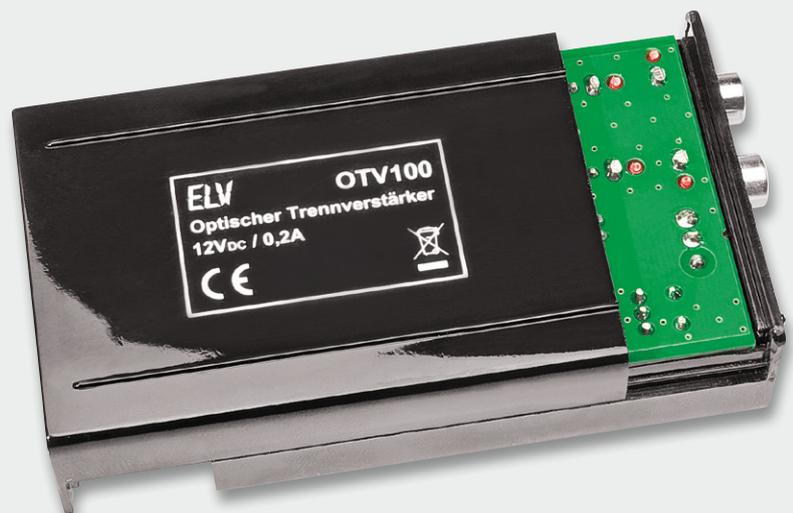


Bild 14: Zusammenschieben der beiden Gehäusenhälften