

Optischer Trennverstärker

Zur galvanisch isolierten Übertragung von analogen Gleich- oder Wechselspannungssignalen dient die hier vorgestellte Schaltung, die mit einem alterungs- und temperaturkompensierten Linear-Optokoppler arbeitet.

Allgemeines

Eine galvanisch getrennte Signalübertragung bietet in vielen Meßsystemen Vorteile oder ist aus Sicherheitsgründen, wie z. B. in Schaltnetzteilen, zwingend vorgeschrieben. Sofern es sich bei den zu übertragenden Informationen um digitale Impulstelegramme handelt, sind die Probleme mit „herkömmlichen“ Optokopplern einfach und preiswert lösbar.

Höhere Anforderungen ergeben sich in der Meßtechnik bei der Übertragung von analogen Meßwerten, besonders über größere Distanzen. Unbekannte Bezugspotentiale bzw. Spannungsdifferenzen an den Massebezugspunkten können eine Messung bzw. Übertragung stark verfälschen oder sogar unbrauchbar machen.

In anderen Anwendungen wie z. B. in Meßfühlern oder Meßwandlern, ist zwischen den Signalbezugspunkten prinzip-

bedingt eine hohe Spannungsdifferenz möglich. Hier ist eine exakte isolierte Übertragung die grundsätzliche Funktionsvoraussetzung.

Verstärker mit Isoliereigenschaften zwischen Ein- und Ausgang werden in der Technik als Isoliervverstärker oder Trennverstärker bezeichnet. Diese sind nach unterschiedlichen Funktionsprinzipien realisierbar.

Die naheliegendste Problemlösung ist zunächst eine transformatorische oder kapazitive Kopplung, wobei in beiden Fällen die Übertragung in proportionale Wechselspannungen und Gleichströme für die Übertragung in proportionale Wechselspannungen umzuwandeln sind. Nach der Übertragung erfolgt wieder eine entsprechende Gleichrichtung und Signalanpassung.

Als wesentliche Nachteile sind bei der transformatorischen Kopplung der relativ große Platzbedarf und der hohe Preis für den Übertrager zu nennen. Aber auch inte-

grierte Trennverstärker mit kapazitiver Kopplung sind nicht im „Low-Cost-Bereich“ zu finden.

Ein besonders innovatives Prinzip eines Trennverstärkers arbeitet auf opto-elektronischer Basis, indem analoge Spannungen bzw. Ströme in proportionale Lichtintensitäten umgesetzt werden.

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 auszuregulieren, 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.

Ein preiswerter linearer Optokoppler, der nach diesem Funktionsprinzip arbeitet, ist der IL 300 von Siemens. Er zeichnet sich durch eine Nichtlinearität von <0,01 % und eine Temperaturstabilität von ± 50 ppm/°C aus. Als weitere Leistungsmerkmale des Bausteins sind die große Bandbreite von ca. 200 kHz, eine Gleichtaktunterdrückung von 130 dB und die geringe Verlustleistung von weniger als 15 mW zu nennen.

Das Bauelement wird in einem 8poligen Dual-Inline-Gehäuse geliefert und ist mit einer Isolationsspannung von 7500 V AC Spitze angegeben. Das Bauelement erfüllt die Sicherheitsbestimmungen nach UL und VDE 0884, 0805/0806.

Der interne Aufbau und die Pinbelegung des IL 300 ist in Abbildung 1 zu sehen.

Die an Pin 1 und Pin 2 extern zugängliche AlGaAs-Infrarot-Sendediode koppelt optisch das IR-Licht auf 2 voneinander unabhängige PIN-Fotodioden. Auch wenn beide PIN-Fotodioden elektrisch die gleichen Daten aufweisen, so ist grundsätzlich aus sicherheitstechnischen Gründen die an Pin 3 und Pin 4 zugängliche Fotodiode für die Rückkopplung an der Steuerseite zu verwenden.

Das an der Rückkopplungsdiode anliegende Rückführungssignal ist dem einfallenden Strahlungsfluß der IR-Sendediode direkt proportional. In einer optischen Regelschleife sind dann Nichtlinearitäten, Temperatureinflüsse und Alterung optimal ausregelbar.

Der Fotostrom der Ausgangsdiode ist ebenfalls dem einfallenden Strahlungsfluß und somit auch dem Fotostrom der Rückkopplungsdiode direkt proportional.

Das Übertragungsverhältnis zwischen Sendediode und Rückkopplungsdiode wird

Technische Daten: Trennverstärker

| | |
|---|---|
| Signalübertragung: | 0 bis 1 V unipolar, 0 bis ± 1 V bipolar |
| Übertragungsbandbreite: | 0 bis 20 kHz unipolar 0,5 Hz - 20 kHz bipolar bei 47 k Ω Last |
| Linearität: | <0,01 % |
| Isolationsspannung: | 7500 V AC peak (1 Sek.) |
| Ausgangsimpedanz: | 1 k Ω |
| Eingangsimpedanz: | >10k Ω |
| Betriebsspannung Eingangsverstärker: .. | +8 V bis +25 V oder +8 V/-3 V bis ± 25 V |
| Stromaufnahme Eingangsverstärker: | <30 mA bei 10 V |
| Betriebsspannung Ausgangsverstärker: .. | +6 V bis +25 V oder +6 V/-3 V bis ± 25 V |
| Stromaufnahme Ausgangsverstärker: | <10 mA bei 10 V |

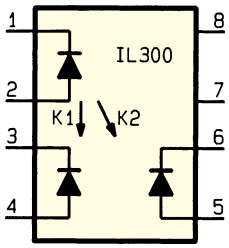


Bild 1: Aufbau und Pinbelegung des Linear-Optokopplers IL 300

durch den Koeffizienten K_1 und das Übertragungsverhältnis zwischen Sendediode und Ausgangsdiode durch den Koeffizienten K_2 ausgedrückt. Die gesamte Übertragungsrate K_3 ergibt sich dann aus dem Verhältnis der beiden Koeffizienten

$$K_3 = \frac{K_2}{K_1}$$

Die beiden im Baustein integrierten Empfangsdioden sind wahlweise als photovoltaische oder als photoleitende Stromquellen einsetzbar.

In der photovoltaischen Betriebsart, d. h. die Fotodioden werden in Durchlaßrichtung betrieben, erreichen wir die höchste Linearität und das geringste Rauschen bei Fotostromen kleiner $100 \mu A$. Die Auflösung beträgt unter diesen Betriebsbedingungen 12 Bit. Der Übertragungsbereich ist hingegen in der fotoleitenden Betriebsart größer. Der Treiberstrom der Sendediode sollte im Bereich zwischen 5 mA und 10 mA liegen.

Schaltung

Unsere kleine mit dem IL 300 aufgebaute, universell einsetzbare Schaltung (Abbildung 2) arbeitet in der photovoltaischen Betriebsart und kann wahlweise unipolare oder bipolare Signale verarbeiten.

Zum Betrieb des Trennverstärkers kann senderseitig sowohl eine einfache Betriebsspannung von +8 V bis +25 V als auch eine Plus-/Minus-Spannung von +8

V/-3 V bis +25 V/-25 V eingesetzt werden.

Empfängerseitig darf die einfache Betriebsspannung zwischen +6 V und +25 V liegen, während eine zum Betrieb genutzte Plus-/Minus-Spannung zwischen +6 V/-3 V und +25 V/-25 V nutzbar ist.

Für die Schaltungsbeschreibung gehen wir zunächst davon aus, daß die Brücke J 1 offen ist. Des Weiteren soll die Drahtbrücke J 2 in Stellung DC (ST 7 mit R 6 verbunden) eingelötet sein.

Unter dieser Voraussetzung ist der Trennverstärker in der Lage, unipolare Eingangsspannungen zwischen 0 und +1 V mit hoher Linearität (Abweichung <0,1 %) zu übertragen.

Das Eingangssignal wird der Schaltung auf Masse (ST 4) bezogen an ST 2 zugeführt. Der Operationsverstärker IC 2 dient als elektro-optischer Servo-Verstärker, der den Strom durch die Sendediode (IC 3, Pin 1 und Pin 2) steuert.

Die für die Rückkopplung zuständige Fotodiode (an Pin 3 und Pin 4) arbeitet in der Schaltung im photovoltaischen Betrieb, wobei die Katode direkt mit dem invertierenden Eingang und die Anode direkt mit dem nicht-invertierenden Eingang (Schaltungsmasse) des Operationsverstärkers IC 2 verbunden ist.

Der Servostrom der Rückkopplungsdiode des Regelverstärkers ist der Eingangsspannung direkt proportional gemäß der Formel:

$$I_{RD} = \frac{U_E}{R_2}$$

Ohne Eingangsspannung generiert die Rückkopplungsdiode keinen Fotostrom, während bei +1 V-Eingangsspiegel ein Fotostrom von $83,33 \mu A$ erforderlich ist, um die Differenz zwischen dem invertierenden Eingang und dem nicht-invertierenden Eingang des OPs auf 0 zu bringen. Der Servostrom ist direkt vom Strom durch die Infrarot-Sendediode abhängig.

Der Ausgangsfotostrom der an Pin 5 und Pin 6 zugänglichen Fotodiode des IL 300 ist ebenfalls direkt vom Strahlungsfluß der Sendediode abhängig und somit dem Fotostrom der Rückkopplungsdiode direkt proportional.

Auch ausgangsseitig ist die Anode der Fotodiode mit dem nicht-invertierenden Eingang und die Katode mit dem invertierenden Eingang eines Operationsverstärkers (IC 4) verbunden.

Die Ausgangsspannung des Verstärkers ist gleich dem Produkt aus dem Fotostrom und dem Rückkopplungswiderstand $R_4 + R_5$.

Ausgekoppelt wird das auf Masse bezogene Signal mit $1k\Omega$ -Impedanz (R_6) am Platinenanschlußpunkt ST 7.

Der Zusammenhang zwischen Eingang und Rückkopplungsdiode wird durch den Koeffizienten K_1 und der Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang durch den Koeffizienten K_2 ausgedrückt.

Aus dem Verhältnis der beiden Koeffizienten ergibt sich die Gesamtübertragungsrate K_3 gemäß der Formel:

$$K_3 = \frac{K_2}{K_1}$$

Der Linear-Optokoppler IL 300 wird selektiert in den Verstärkungsgruppen A bis J mit Koeffizienten (K_3) von 0,56 bis 1,61 geliefert. Dementsprechend ist die periphere Widerstandsdimensionierung der beiden Operationsverstärker vorzunehmen. In unserer Schaltung ist die Verstärkungsanpassung mit Hilfe des Spindeltrimmers R_4 möglich.

Die Gesamtverstärkung des Trennverstärkers kann leicht nach der Formel

$$V_{gesamt} = \frac{U_A}{U_E} = K_3 \cdot \frac{R_4 + R_5}{R_2}$$

errechnet werden.

Tabelle 2 zeigt den Koeffizienten K_3 des IL 300 in Abhängigkeit von der Selektionsgruppe.

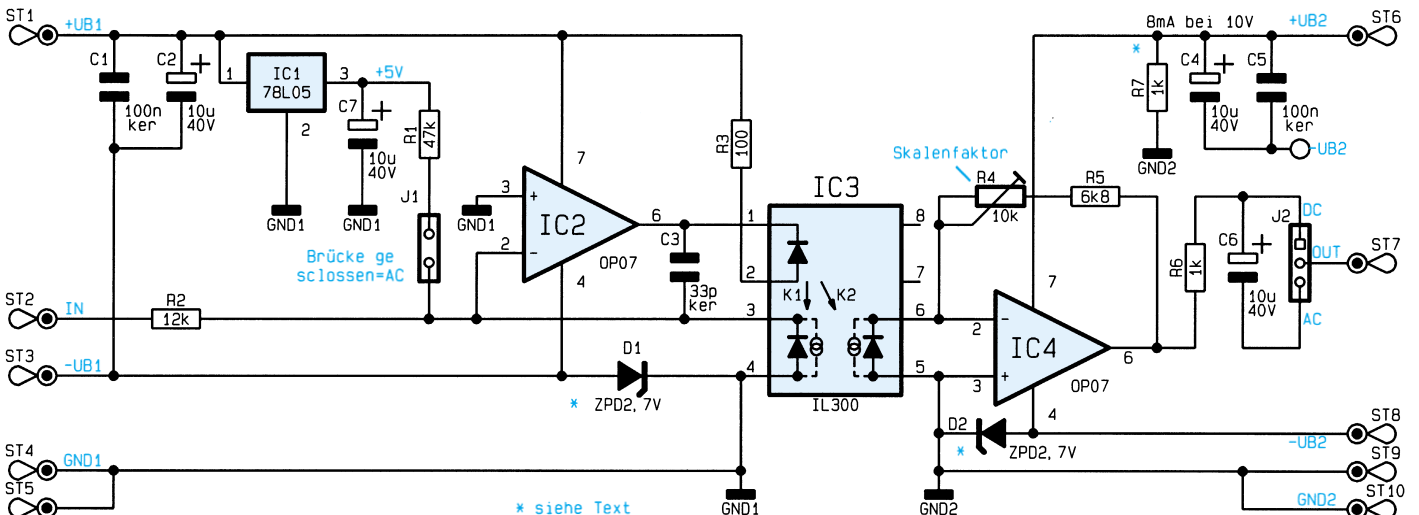


Bild 2: Schaltbild des optischen Trennverstärkers

Tabelle 2

| | K 3 | |
|----------|-------|-----------|
| IL 300 A | 0,56 | bis 0,623 |
| IL 300 B | 0,623 | bis 0,693 |
| IL 300 C | 0,693 | bis 0,769 |
| IL 300 D | 0,760 | bis 0,855 |
| IL 300 E | 0,855 | bis 0,950 |
| IL 300 F | 0,950 | bis 1,056 |
| IL 300 G | 1,056 | bis 1,175 |
| IL 300 H | 1,175 | bis 1,304 |
| IL 300 I | 1,304 | bis 1,449 |
| IL 300 J | 1,449 | bis 1,610 |

Doch nun zurück zur Schaltung. Zur Übertragung von bipolaren Signalen wie z. B. Audiosignalen sind vorgespannte Verstärkerstufen erforderlich. Dazu wird die Drahtbrücke J 1 geschlossen und über den Widerstand R 1 ein Strom von ca. 100 μ A eingeprägt. Im Ruhezustand kann sich an den Eingängen des Operationsverstärkers erst dann ein Gleichgewicht einstellen, wenn sich der Ruhestrom der Servo-Fotodiode ebenfalls auf 100 μ A einstellt.

In der vorliegenden Dimensionierung ist der Trennverstärker für Eingangsspannungen von ± 1 V in einem Frequenzbereich von 0 bis 20 kHz vorgesehen. Der maximale Servo-Fotostrom von ca. 200 μ A fließt jetzt bei einer Eingangsamplitude von +1 V.

Ausgangsseitig werden Wechselspannungssignale über den Elko C 6 ausgekoppelt, wobei über die Drahtbrücke J 2 der Minuspol des Elkos C 6 mit dem Lötstift ST 7 zu verbinden ist.

Wie bereits erwähnt, können zur Versorgung der Schaltung sowohl Plus-/Minus-Spannungen als auch einfache Versorgungsspannungen dienen. Natürlich ist auch eine gemischte Versorgung (eingangsseitig Plus-/Minus-Spannung, ausgangsseitig einfache Versorgungsspannung oder umgekehrt) möglich.

Bei einer symmetrischen Spannungsversorgung der Eingangsstufe entfällt die Z-Diode D 1, während bei einer Plus-/Minus-Spannungsversorgung des Ausgangsverstärkers die Z-Diode D 2 und der Widerstand R 7 nicht einzulöten sind.

Bei einfacher Versorgungsspannung ist grundsätzlich der Pluspol der Spannungsquelle mit +U_B und der Minuspol mit -U_B zu verbinden. Durch die jeweilige Z-Diode wird dann das Massepotential ca. 2,7 V über dem Minusanschluß liegen.

Nachbau

Zum Nachbau dieser kleinen Schaltung steht eine Leiterplatte mit den Abmessungen 79 x 30 mm zur Verfügung. Da nur eine Handvoll Bauteile zu bestücken sind, ist der Aufbau in ca. einer halben Stunde zu bewerkstelligen.

Wir beginnen mit den beiden Drahtbrücken J 1 und J 2, die je nach Betriebsart einzulöten sind.

Danach werden die Anschlußbeinchen der sechs 1%igen Metallfilmwiderstände abgewinkelt, durch die zugehörigen Bohrungen der Leiterplatte geführt und an der Lötseite mit ausreichend Lötzinn festgesetzt.

Als dann sind die überstehenden Drahtenden, wie auch bei allen folgenden Bauteilen, so kurz wie möglich abzuschneiden.

Die beiden Z-Dioden D 1 und D 2 sind einzulöten, wenn einfache Betriebsspannungen zur Versorgung der Verstärkerstufen dienen. Bei Plus-/Minus-Versorgung entfällt die jeweilige Z-Diode ersatzlos.

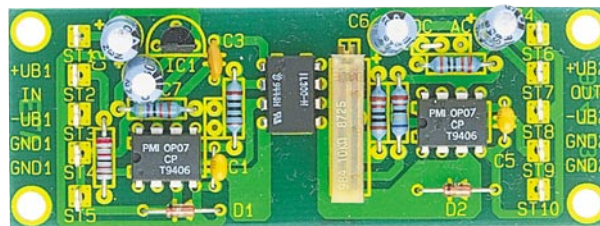
Während die Einbaulage der 3 Keramik-

kondensatoren keine Rolle spielt, ist bei den 4 Elkos unbedingt auf die korrekte Polarität zu achten. Üblicherweise ist bei den Elkos der Minuspol gekennzeichnet.

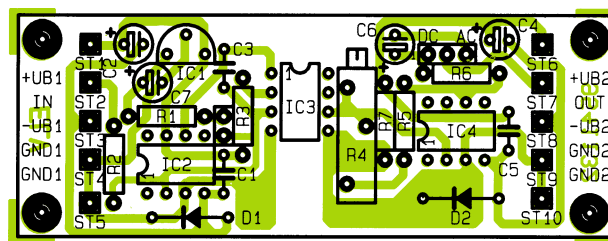
Zum Anschluß der Versorgungsleitungen sind 10 Lötstifte mit Öse stramm in die zugehörigen Bohrungen der Leiterplatte zu pressen und mit ausreichend Lötzinn festzusetzen.

Die Anschlußbeinchen des Spannungsreglers 78L05 sind vor dem Festlöten so weit wie möglich durch die zugehörigen Bohrungen der Platine zu führen.

Beim Einlöten der 3 integrierten Schaltkreise ist unbedingt auf die richtige Polarität zu achten. Entweder sind die Bauteile an Pin 1 durch eine Punktmarkierung gekennzeichnet, oder die ICs weisen eine



Ansicht der fertig aufgebauten Leiterplatte



Bestückungsplan des optischen Trennverstärkers

Stückliste: Optischer Trennverstärker

Widerstände:

| | |
|------------------------------------|--------|
| 100 Ω | R3 |
| 1k Ω | R6, R7 |
| 6,8k Ω | R5 |
| 12k Ω | R2 |
| 47k Ω | R1 |
| Spindeltrimmer, 10k Ω | R4 |

Kondensatoren:

| | |
|----------------------|----------------|
| 33pF/ker | C3 |
| 100nF/ker | C1, C5 |
| 10 μ F/40V | C2, C4, C6, C7 |

Halbleiter:

| | |
|-------------------|----------|
| 78L05 | IC1 |
| OP07 | IC2, IC4 |
| IL300 (E-H) | IC3 |
| ZPD2,7V | D1, D2 |

Sonstiges:

| | |
|----------------------------|----------|
| Lötstifte mit Lötöse | ST1-ST10 |
| 5cm Schaltdraht versilbert | |

Gehäusekerbe auf, die mit dem Symbol im Bestückungsdruck übereinstimmen muß.

Zuletzt wird der Spindeltrimmer R 4 eingelötet, wobei eine zu große Hitzeentwicklung auf das Bauteil zu vermeiden ist.

Abgleich und Einbau

Der Abgleich des Trennverstärkers ist ausgesprochen einfach. Im DC-Mode wird eine stabile Gleichspannung von +1,00 V ($\pm 0,1$ mV) an den Eingang (ST 2) gelegt und die Ausgangsspannung mit Hilfe des Spindeltrimmers R 4 auf exakt diesen Wert eingestellt.

In der Wechselspannungsbetriebsart ist R 4 so abzugleichen, daß die Amplituden der Eingangs- und Ausgangsspannung exakt übereinstimmen.

Die Leiterplatte des Trennverstärkers wurde so konzipiert, daß der Einbau in bestehende Gerätekonzepte einfach und schnell möglich ist. Beim Einbau in bestehende Geräte bzw. Schaltungskonzepte ist unbedingt ein ausreichender Sicherheitsabstand zu netzspannungsführenden Teilen einzuhalten. Sämtliche VDE- und Sicherheitsbestimmungen sind sorgfältig zu beachten.