

Opto-Sensoren

Opto-elektronische Sensoren sind in nahezu allen Bereichen der Elektronik zu finden. Von der Infrarot-Fernbedienung im Bereich der Unterhaltungselektronik, über Messaufgaben im Labor und in der Industrie bis hin zur Datenübertragung im Kommunikationsbereich kommen optische Sensoren zum Einsatz. Dieser Artikel verschafft einen Überblick über die Einsatzbereiche, den Aufbau und die Funktionsweise von unterschiedlichen Sensoren.

Einsatzmöglichkeiten

Die Einsatzmöglichkeiten für opto-elektronische Sensoren sind derart vielfältig, dass es unmöglich ist, in diesem Artikel auf alle Möglichkeiten einzugehen. Anhand von ausgesuchten Beispielen entsteht jedoch ein guter Einblick in diese interessante Thematik.

Der häufigste Einsatzfall für Opto-Sensoren ist sicherlich im Bereich der Unterhaltungselektronik zu finden, wo heutzutage nahezu jedes Gerät mit einer Infrarot-Fernbedienung ausgestattet ist. Das von der Infrarot-Fernbedienung abgestrahlte Licht im nicht sichtbaren Bereich wird von einem Infrarot-Sensor in Form einer Fotodiode oder eines Fototransistors detektiert und in elektrische Signale gewandelt, die dann von der nachgeschalteten Elektronik verarbeitet werden.

Wie bei den Fernbedienungen arbeiten auch viele andere Systeme mit Licht im nicht sichtbaren Infrarotbereich. So wer-

den mit Infrarotlicht sowohl digitale Daten in unterschiedlichster Form als auch Audiosignale übertragen. Zur schnellen und unkomplizierten Datenübertragung sind heute viele Computer und Handys mit Infrarot-Schnittstellen ausgestattet.

Ein weiteres Beispiel für den Einsatz von Infrarotlicht ist die frequenzmodulierte Audioübertragung, die ohne weiteres auch in HiFi-Qualität möglich ist.

Viele moderne Rauchmelder arbeiten mit Infrarotlicht nach dem Streulicht-Prin-

zip. Bei diesem Verfahren sind die Sendediode und die Fotozelle so angeordnet, dass nur von Rauchteilchen gestreutes Licht auf die Fotozelle fallen kann. Auch elektronische Flammenmelder arbeiten oft auf opto-elektronischer Basis und reagieren auf die von den Flammen ausgehende Infrarotstrahlung.

Helligkeitssensoren, z. B. zur Steuerung von Lichtanlagen, arbeiten hingegen vorwiegend mit Licht im sichtbaren Bereich. Das Gleiche gilt auch für viele Messein-

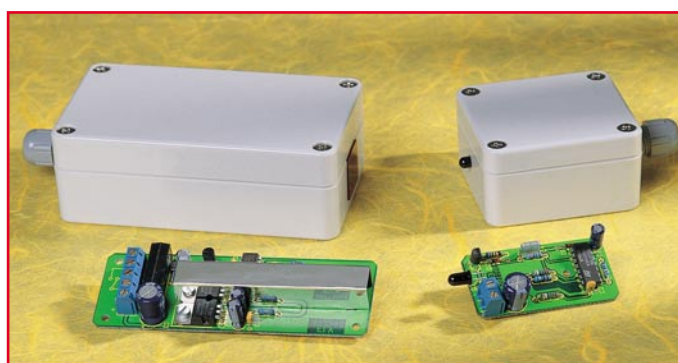


Bild 1: Die ELV-Lichtschranke für Alarmanwendungen arbeitet mit moduliertem Infrarotlicht.

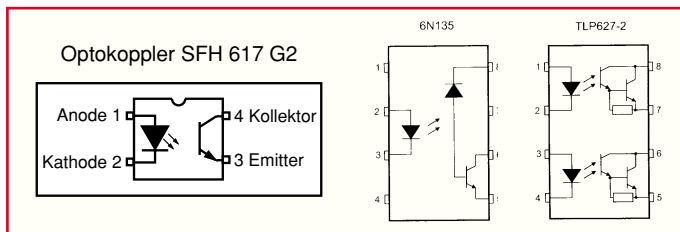


Bild 2: Optokoppler, von denen auch mehrere in einem Gehäuse untergebracht sein können, dienen zur galvanischen Trennung.

richtungen, z. B. zur Erfassung der Umgebungshelligkeit in Wetterstationen oder in der Fotografie.

Vom Aufbau besteht häufig kein wesentlicher Unterschied zwischen den Sensoren zur Erfassung der Umgebungshelligkeit und den Sensoren für den Infrarotbereich. Meistens sind die Infrarot-Sensoren nur mit einem zusätzlichen Tageslichtfilter aus Infrarot durchlässigem Kunststoff ausgestattet.

Ein weiterer interessanter Einsatzbereich für Optosensoren ist die Sicherheitstechnik, wo Lichtschranken als Alarmmelder zum Einsatz kommen. Die in Abbildung 1 dargestellte ELV-Lichtschranke für Alarmanwendungen ist dafür ein Beispiel. Werden bei einer derartigen Lichtschranke als Lichtquelle Laser eingesetzt, so sind ganze Gebäudefronten oder Grundstücksgrenzen mit einem einzigen Sensor zu überwachen.

Auch innerhalb von vielen elektronischen Schaltungen und Geräten kommen opto-elektronische Bauelemente zum Einsatz. Ein gutes Beispiel dafür sind Optokoppler (Abbildung 2), die vorwiegend zur galvanischen Trennung eingesetzt werden. Bei diesem Bauelement sind dann die lichtemittierende Diode und die Empfangseinheit in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht. Häufige Einsatzgebiete sind z. B. primär getaktete Netzteile, wo im Bereich des Regelkreises Optokoppler die galvanische Trennung zwischen der Primär- und Sekundärseite übernehmen und im Bereich von galvanisch getrennten Schnittstellen zu finden sind.

Zur mechanischen Positions-Erkennung kommen üblicherweise Gabellichtschranken zum Einsatz. Des Weiteren werden diese besonders robusten Bauelemente oft auch zur kontaktlosen Drehzahlmessung eingesetzt. Gabellichtschranken arbeiten nahezu ausnahmslos mit Infrarotlicht.

Ein weiteres Opto-Element mit integriertem Sender und Empfänger ist der Opto-Reflex-Koppler in Abbildung 3, der die Detektierung von Objekten über die Refle-



Bild 3: Zur Objekterkennung dienen Opto-Reflex-Koppler.

xion des IR-Strahls vornimmt. Opto-Reflex-Koppler arbeiten üblicherweise im Entfernungsbereich von wenigen mm.

Im digitalen Audiobereich erfolgt die Verkopplung von verschiedenen Audiogeräten mit Hilfe von

Kunststoff-Lichtwellenleitern. Auch hierbei ist Licht das Übertragungsmedium, jedoch wird es nicht durch die Luft, sondern durch eine flexible dünne Kunststofffaservom Sender zum Empfänger geleitet. Da hierdurch gleichzeitig eine galvanische Trennung zwischen den Komponenten entsteht, spielen Massepotential-Differenzen keine Rolle mehr. Vom Übertragungskabel geht keine Störung aus und in „störstrahlungsverseuchter“ Umgebung kann keine Störeinkopplung auf die Übertragungsleitung erfolgen. In Abbildung 4 sind die im digitalen Audiobereich



Bild 4: Diese Transmitter und Receiver werden bei Lichtwellenleitern in der digitalen Audiotechnik eingesetzt.

üblicherweise verwendeten Transmitter und Receiver zu sehen, die Datenraten bis zu 6 MBit/s verarbeiten können.

Auch die Übertragung von herkömmlichen, analogen Signalen mittels abgeschirmter Leitungen kann in der Praxis bei größeren Entfernungen mit einer ganzen Reihe an Problemen behaftet sein. Bei Potentialdifferenzen verursachen Ausgleichströme dann über die Abschirmung der NF-Leitung Brummstörungen. Des Weiteren sind Störeinkopplungen direkt auf das Kabel möglich. Mit den in Abbildung 5 dargestellten Schaltungen können analoge Audiosignale über mehr als 100 Meter störicher und potentialfrei übertragen werden.

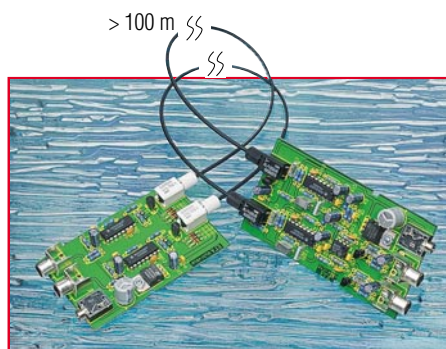


Bild 5: Schaltung zur potentialfreien Übertragung von analogen Audiosignalen über Lichtwellenleiter bis zu Längen von mehr als 100m.

Nachdem wir einige Einsatzmöglichkeiten für opto-elektronische Bauelemente betrachtet haben, kommen wir nun zu den eigentlichen Sensoren.

Fotowiderstand

Der Fotowiderstand, auch LDR (Light Dependend Resistor) genannt, ist eines der ältesten und einfachsten optischen Sensoren und besteht aus Halbleiter-Mischkristallen ohne PN-Übergang. Da keine Sperrschicht vorhanden ist, kann ein LDR wie ein lichtabhängiger Widerstand betrachtet werden. Fotowiderstände sind sowohl für den sichtbaren Lichtbereich als auch für den Infrarotbereich herzustellen. Während im sichtbaren Lichtbereich Cadmiumsulfid als Halbleitermaterial verwendet wird, nutzt man für eine höhere Empfindlichkeit im Infrarotbereich Bleisulfid oder Bleiselenit.

Der Widerstandswert eines LDRs sinkt grundsätzlich bei Lichteinfall, da dann im Bauelement freie Ladungsträger erzeugt werden.

Während der Widerstandswert im abgedunkelten Zustand je nach Aufbau bis hin zu einigen MΩ betragen kann, sinkt der Wert bei Lichteinfall (je nach Lichtmenge) auf einige 100 Ω. Bei extremem Lichteinfall sind sogar Werte unterhalb 100 Ω möglich.

Der Aufbau eines LDRs ist in Abbildung 6 skizziert. Zwischen 2 Kupferkammern auf einer isolierten Trägerplatte befindet sich das lichtabhängige Halbleitermaterial, meistens Cadmiumsulfid.

Der Nachteil dieses Materials ist jedoch die hohe Trägheit, sodass die Grenzfrequenz nur bei wenigen Hz liegt. Ein weiterer störender Effekt ist das Nachdriften des Widerstandswertes nach einer Helligkeitsänderung, sodass Präzisionsmessungen nahezu unmöglich sind. Aufgrund der störenden Effekte wurde der Fotowiderstand durch modernere Bauelemente, wie die Fotodiode und den Fototransistor, fast vollständig verdrängt. Vorwiegend zu finden sind Fotowiderstände noch in Dämmerschaltern, wo die Trägheit und das Nachdriften keinen Nachteil hat.

Fotodiode

Der am häufigsten verwendete optische

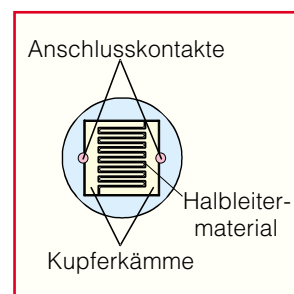


Bild 6: Aufbau eines LDRs (Fotowiderstand)



Bild 7: Fotodiode BPW34

Sensor ist die Fotodiode (Abbildung 7), die je nach Anwendungszweck mit unterschiedlichen elektrischen Parametern hergestellt wird. Die höchste spektrale Empfindlichkeit kann dabei, je nach Ausführung, sowohl im sichtbaren Lichtbereich als auch im Infrarotbereich liegen. Fotioden für den Infrarotbereich sind meistens mit einem als Tageslichtfilter dienenden Gehäuse ausgestattet.

Von der elektrischen Betriebsweise her sind Fotioden sowohl im Diodenbetrieb (mit Vorspannung) als auch im Elementbetrieb (ohne Vorspannung) zu verwenden.

Im Elementbetrieb wird die Fotodiode dann als Stromgenerator, der die Strahlungsenergie in eine direkt proportionale elektrische Energie umwandelt, genutzt. Bei den meisten Fotiodentypen besteht zwischen dem Fotostrom und der Beleuchtungsstärke über 8 und mehr Zehnerpotenzen ein linearer Zusammenhang. Ohne externe Spannungsquelle wird eine optische Energie in eine elektrische Energie umgewandelt.

Der Kurzschlussstrom eines Fotoelements steigt linear mit der Beleuchtungsintensität und der bestrahlten Fläche. In der gleichen Weise arbeiten auch fotovoltaische Solarzellen als Fotoelement.

Durch Anlegen einer Spannung in Sperrrichtung können Fotoelemente auch im Diodenbetrieb genutzt werden.

Für die exakte Messung der Lichtintensität ist die Proportionalität zwischen dem optischen Signal und dem elektrischen Signal wichtig.

Eine speziell für Messaufgaben im sichtbaren Spektralbereich konzipierte Silizium-Fotodiode steht unter der Typenbezeichnung BPW21 (Abbildung 8) zur Verfügung. Diese Fotodiode, die z. B. auch in verschiedenen ELV-Schaltungen zum Einsatz kommt, ist mit einem auf die Augencharakteristik des Menschen angepassten Bewertungsfilter ausgestattet. Das Diagramm in Abbildung 9 zeigt die relative spektrale Empfindlichkeit dieses Sensors, die im Bereich von 350 nm bis 820 nm liegt. Der unterhalb von 400 nm liegende

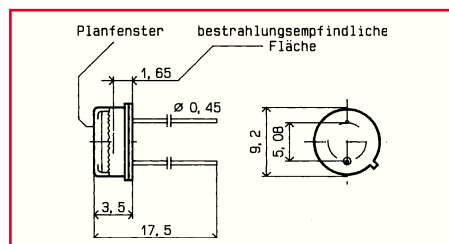


Bild 8: Mechanischer Aufbau der Fotodiode BPW 21 zur Tageslicht-Erfassung.

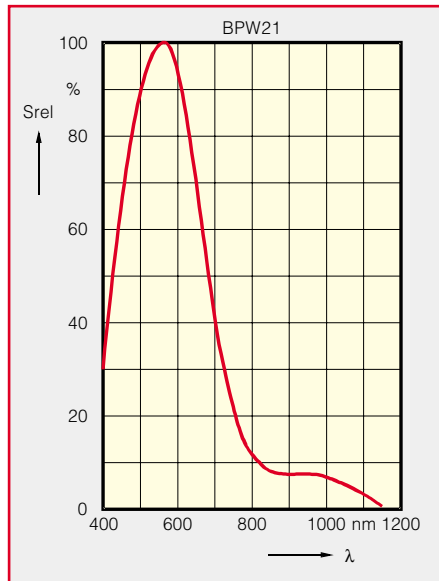


Bild 9: Relative spektrale Empfindlichkeit der Fotodiode BPW 21.

Ultraviolettbereich und der über 800 nm liegende Infrarotbereich werden vom menschlichen Auge nicht mehr wahrgenommen. Laut Datenblatt ist der Fotostrom der BPW21 im Bereich von 10^{-2} bis 10^5 Lux absolut linear.

Ein weiteres Beispiel für eine Silizium-Pin-Fotodiode ist die BPW34 (Abbildung 7), die wahlweise ohne Tageslichtfilter unter der Bezeichnung BPW34B und mit Tageslichtfilter unter der Bezeichnung BP34F zur Verfügung steht. Die spektralen Empfindlichkeiten der beiden Varianten dieser Fotodiode sind in Abbildung 10 dargestellt.

Fototransistor

Ein Fototransistor ist im Grunde genommen nichts anderes als eine Fotodiode (Kollektor-Basis-Diode) mit nachgeschaltetem Transistor als Verstärker. Fototransistoren

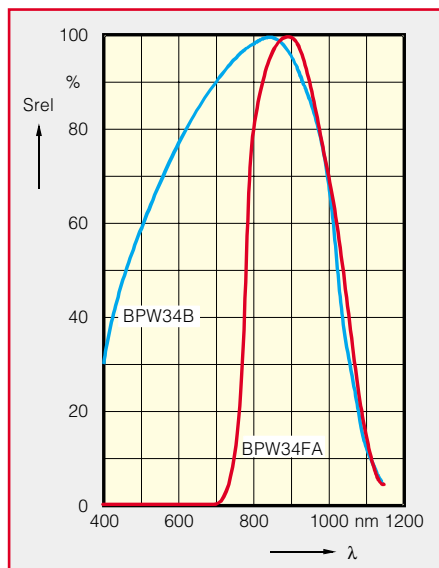


Bild 10: Relative spektrale Empfindlichkeit der Fotodiode BPW 34 mit und ohne Tageslichtfilter.

stehen sowohl mit Basisanschluss (zur externen Einstellung des Arbeitspunktes) als auch in zweipoliger Ausführung zur Verfügung.

Auch wenn die Fotoempfindlichkeit im Vergleich zu den Fotioden geringer ist, wird dies durch die Stromverstärkung, die üblicherweise zwischen 100 und 1000 liegt, mehr als ausgeglichen. Besonders vorteilhaft sind Fototransistoren in Verbindung mit Digitalschaltungen zu nutzen, da die externe Beschaltung sich dann meistens nur noch auf einen einzigen Kollektorwiderstand beschränkt.

Im dynamischen Verhalten sind Fototransistoren jedoch erheblich langsamer als Fotioden. Ein Beispiel für den Einsatz eines Fototransistors ist der ELV-Screencheck SC 200, dessen Messbereich von ca. 20 Hz bis 200 Hz reicht. Mit dem Screen-Check kann die aktuelle Bild-Wiederholfrequenz eines Monitors ermittelt werden.

IR-Empfänger-Module

Für den Fernbedienungseinsatz kommen heute in den meisten Anwendungsfällen integrierte Empfängerbausteine zum Einsatz, die aus einer Fotodiode mit integriertem Verstärker und allen zur Demodulation erforderlichen Komponenten bestehen. Diese Bausteine sind dann speziell für den Fernbedienungseinsatz konzipiert und haben eine hohe Stör-Unempfindlichkeit, insbesondere gegenüber Leuchtstofflampen und getakteten Leuchtstofflampen (Energiesparlampen).

Weit verbreitet ist der IR-Empfängerbaustein SFH 506 von Siemens, der mit der TSOP17xx-Serie von TEMIC pin- und funktionskompatibel ist. Abbildung 11

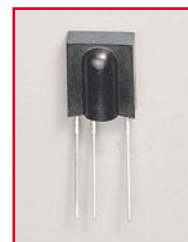


Bild 11: Infrarot-Empfänger der TSOP17xx-Serie von TEMIC (baugleich mit der SFH-506-Serie von Siemens).

zeigt diesen Baustein, der in einem 3-poligen Kunststoffgehäuse untergebracht ist, das gleichzeitig als Filter dient und für eine Wellenlänge von 950 nm im Infrarotbereich optimiert ist.

Neben der Fotodiode und dem Vorverstärker sind im Gehäuse noch die automatische Verstärkungsregelung, ein Bandpassfilter und der Demodulator integriert. Das Blockdiagramm in Abbildung 12 zeigt die interne Struktur des SFH 506, dessen TTL- und CMOS-kompatibler Ausgang aktiv low ist.

Insgesamt stehen 6 unterschiedliche Varianten des SFH 506 zur Verfügung, die auf eng tolerierte Trägerfrequenzen von 30 kHz, 33 kHz, 36 kHz, 38 kHz, 40 kHz und 56 kHz abgestimmt sind. Dadurch wird eine beson-

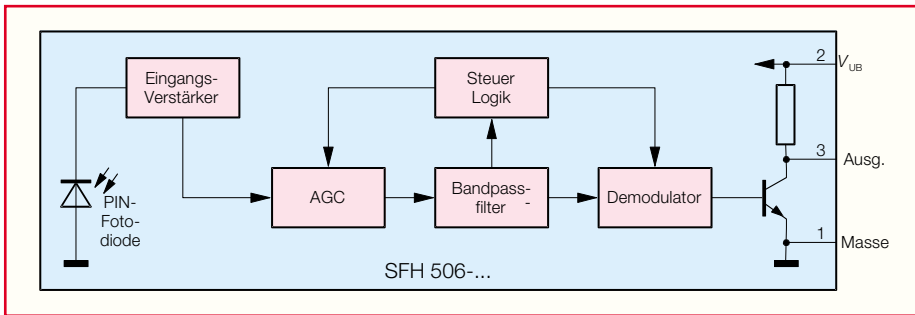


Bild 12: Interne Struktur des SFH 506, baugleich mit der TSOP-17-Serie

ders hohe Störsicherheit gegenüber Fremdlicht-Beeinflussungen erreicht.

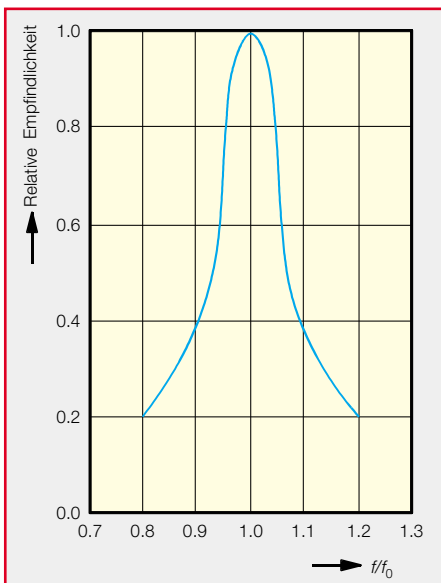


Bild 13: Abhängigkeit der relativen Empfindlichkeit der SFH-506-Empfänger-Serie von der Trägerfrequenz.

In Abbildung 13 ist die Abhängigkeit der relativen Empfindlichkeit dieses Bausteins von der Trägerfrequenz zu sehen. Wenn die Trägerfrequenz z. B. um 20 % vom jeweiligen Sollwert abweicht, beträgt die Empfindlichkeit des Bausteins nur noch 20 % des Maximalwertes. Bei genau abgestimmter Trägerfrequenz hingegen sind mit diesem Baustein Reichweiten von bis zu 30 Metern möglich.

Die am Ausgang des SFH 506 zur Verfü-

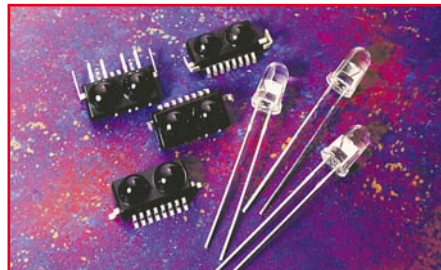


Bild 16: Integrierte IrDA-Module mit Sender und Empfänger im Vergleich zu IR-Sendediode.

gung gestellten demodulierten Daten können direkt einem Mikrocontroller zur Verfügung gestellt werden. Wichtig ist dabei eine störungsfreie Versorgungsspannung des Bausteins, die z. B. mit einem zusätzlichen Siebglied erreicht werden kann. Das obere Diagramm zeigt das von einer IR-Diode abgestrahlte Infrarotsignal und das untere Diagramm die daraus resultierende demodulierte Information.

IrDA-Schnittstellen

Viele moderne Laptops, Handys und

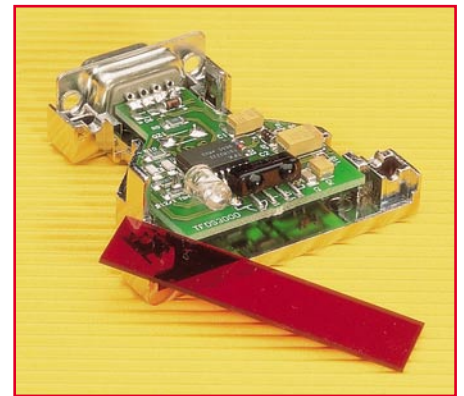


Bild 17: Dieses kompakte, externe IrDA-Modul ermöglicht mit der entsprechenden Software eine drahtlose Datenübertragung.

PCs sind heute mit so genannten IrDA (Infrared Data Association) -Schnittstellen ausgestattet, über die eine schnelle bidirektionale Daten-Kommunikation möglich ist.

Integrierte Transceiver-Bausteine hal-

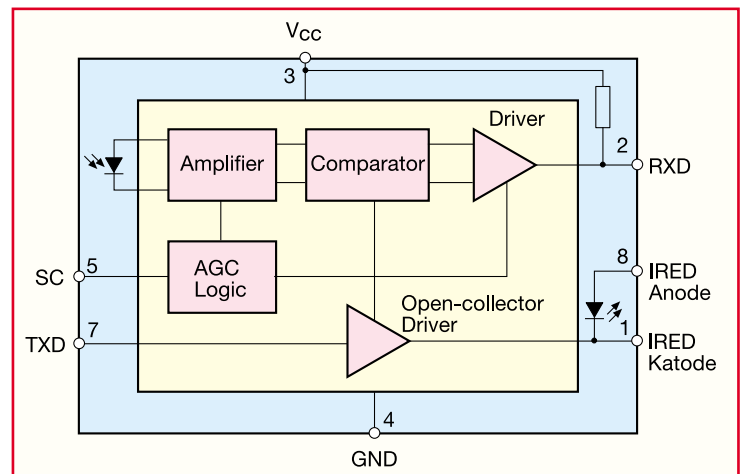


Bild 18: Blockschaltbild des integrierten IrDA-Transceivers TFDS 4000

ten auch hier den Schaltungsaufwand in Grenzen. Üblicherweise sind IrDA-Schnittstellen für Datentransferraten bis zu 115,2 kBit/s konzipiert. Integrierte Transceiver-Bausteine im Vergleich zu Standard-IR-Sendediode sind in Abbildung 16 zu sehen. Mit einer Zusatz-Sendediode, wie in dem kompakten, externen IrDA-Modul in Abbildung 17, sind dann Reichweiten bis zu 10 Metern möglich. Das Blockschaltbild in Abbildung 18 zeigt die internen Stufen des TFDS4000 von TEMIC, mit dem verschiedene Applikationen mit wenig Aufwand zu realisieren sind.

Weitere interessante, integrierte Opto-Sensoren sind Licht zu Frequenzumsetzer oder z. B. IR-Licht zu Spannungs-Konverter. In diesem Baustein, der z. B. von Texas Instruments angeboten wird, ist dann neben der IR-Diode eine Operationsverstärker-Stufe mit allen erforderlichen externen Komponenten integriert.

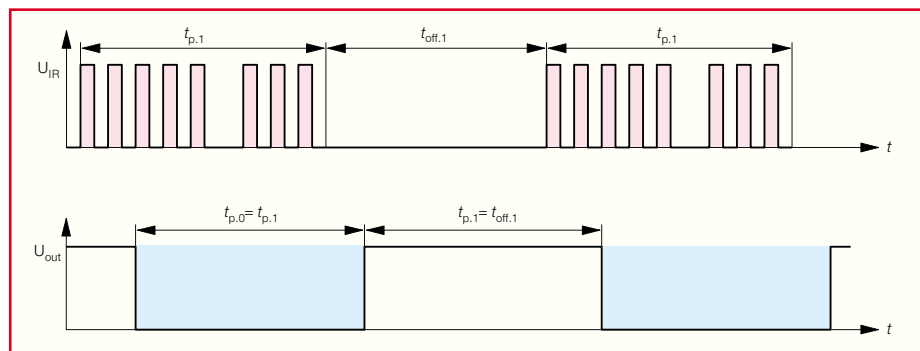


Bild 15: Das von einer Fernbedienung abgestrahlte Infrarot-Signal (oben) und das daraus resultierende demodulierte Signal.