

# NF-Übertragung mit Infrarotlicht

**Die hier vorgestellte Schaltung zeigt, wie mit wenig Schaltungsaufwand die Übertragung von Audio-Signalen mit frequenzmoduliertem Infrarotlicht möglich ist.**

## Allgemeines

Das aus dem täglichen Leben nicht mehr wegzudenkende Medium Infrarotlicht eignet sich nicht nur zur Übertragung von digitalen Impulstelegrammen in Fernbedienungssystemen, Codeschlössern und zur Datenübertragung, sondern auch die Übertragung von Sprache und Musik in guter Qualität ist mittels Infrarotlicht ohne großen Schaltungsaufwand möglich.

Nun führt jedoch die direkte Modulation einer Infrarot-Sendediode mit einem Audio-Signal nicht ohne weiteres zum gewünschten Ziel. Zu groß sind die Störungen durch Fremdlicht und starke Amplitudenschwankungen. Bereits geringe Veränderungen der Übertragungsstrecke hinsicht-

lich Abstand oder Abstrahl/Empfangswinkel können das Signal unbrauchbar machen. Zusätzlich kommt es durch 50Hz-Licht oder durch Leuchtstofflampen zu starken Beeinträchtigungen.

Um trotzdem ein Infrarot-Übertragungssystem für analoge Audiosignale zu verwirklichen, bietet sich der mit kaum mehr Schaltungsaufwand verbundene Weg über die Frequenzmodulation an.

## Blockschaltbild

Die prinzipielle Funktionsweise der Audio-Übertragung mit frequenzmoduliertem Infrarotlicht ist im Blockschaltbild (Abbildung 1) zu sehen.

Zur senderseitigen Modulation ist ein spannungsgesteuerter Oszillator erforder-

lich, dessen Mittenfrequenz weit oberhalb des zu übertragenden Audio-Frequenzbereiches liegt. Am Steuereingang des Oszillators wird das zu übertragende NF-Signal angelegt, wobei die Amplitude den Frequenzhub des Oszillators bestimmt. Ausgangsseitig steuert der Oszillator über eine Konstantstromquelle die in Reihe geschalteten Infrarotlicht emittierenden Sendedi-

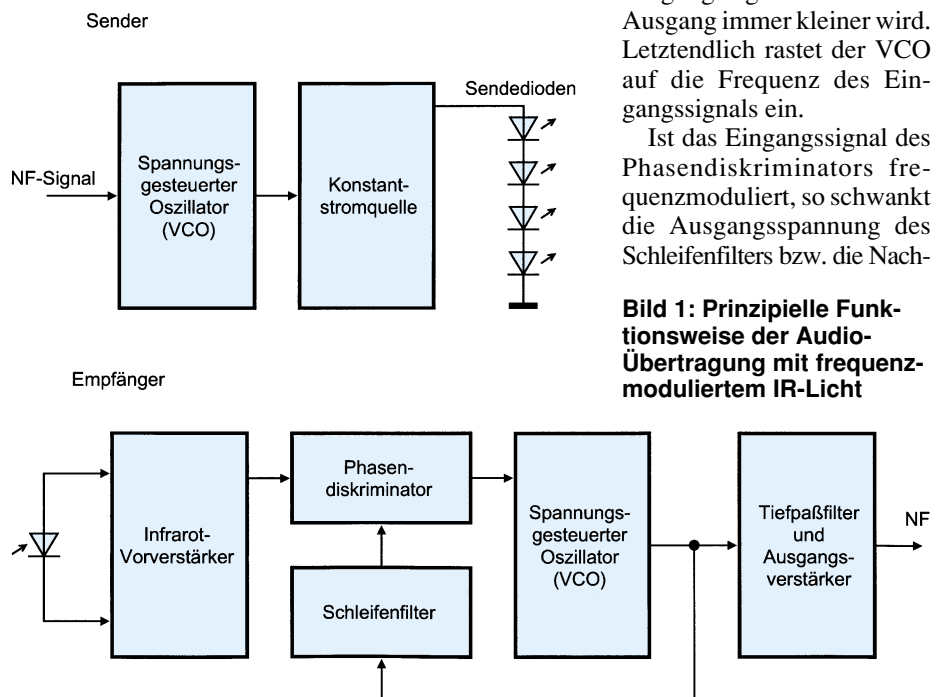
oden an. Empfängerseitig ist zunächst zur Signalaufbereitung ein empfindlicher Vorverstärker erforderlich. Da Amplitudenschwankungen bei der Frequenzmodulation keinen negativen Einfluß auf die Übertragungsqualität haben, ist eine beliebige Übersteuerung des Verstärkers zulässig.

Das verstärkte, frequenzmodulierte Signal wird anschließend dem mit einer PLL (Phase-Locked-Loop)-Schaltung realisierten FM-Demodulator zugeführt.

Der eigentliche Frequenz-Demodulator besteht aus einem Phasendiskriminator, der über einen Schleifenfilter (Tiefpaß) einen spannungsgesteuerten Oszillator ansteuert. Ohne NF-Eingangssignal rastet der VCO (Voltage-Controlled-Oscillator) exakt auf die Mittenfrequenz des Senders ein. Der Phasendiskriminator vergleicht ständig das vom Sender emittierte Signal hinsichtlich der Phase und somit auch der Frequenz mit dem Ausgangssignal des VCOs. Abweichungen erzeugen am Ausgang des Phasendiskriminators eine Fehlerspannung, die der Phasendifferenz zwischen dem Eingangssignal und dem Ausgangssignal des spannungsgesteuerten Oszillators proportional ist.

Über die Zeitkonstante des Schleifenfilters wird der Oszillator langsam nachgesteuert, bis die Frequenzdifferenz zwischen Eingangssignal und VCO-Ausgang immer kleiner wird. Letztendlich rastet der VCO auf die Frequenz des Eingangssignals ein.

Ist das Eingangssignal des Phasendiskriminators frequenzmoduliert, so schwankt die Ausgangsspannung des Schleifenfilters bzw. die Nach-



**Bild 1: Prinzipielle Funktionsweise der Audio-Übertragung mit frequenzmoduliertem IR-Licht**

### Technische Daten:

#### NF-Übertragung mit Infrarotlicht

Übertragungsreichweite: ..... 12 - 17 m  
 Übertragungsart: ..... Frequenzmodulation  
 Max. Frequenzhub .....  $\pm 35$  kHz  
 bei 1 V NF-Pegel  
 Klirrfaktor: ..  $< 1$  % bei 500 mV NF-Pegel  
 Verstärkung: ..... 0 dB ( $\pm 2$  dB)

#### Sender:

Sendediode: ..... 4 x SFH 415 T  
 Max. Emissionswellenlänge: ..... 950 nm  
 Abstrahlwinkel: .....  $\pm 17^\circ$  je Diode  
 Impuls-Spitzenstrom: ..... ca. 200 mA  
 Spannungsversorgung: .... 10,5 V-25 V DC  
 Stromaufnahme: ..... ca. 120 mA  
 Abmessungen der Platine: ... 53,5 x 41 mm

#### Empfänger:

Max. Lichtempfindlichkeit: ..... 950 nm  
 NF-Bandbreite: .... 20 Hz - 20 kHz (-2 dB)  
 Ausgangsimpedanz: ..... 1 k $\Omega$   
 Spannungsversorgung: .. 10,5 V - 25 V DC  
 Stromaufnahme: ..... ca. 30 mA  
 Abmessungen: ..... 78 x 53,5 mm

stimmspannung des VCOs aufgrund der Regelzeitkonstante im Rhythmus der Frequenzmodulation (NF-Signal). Die Nachstimmspannung stellt somit wieder das demodulierte Audiosignal dar.

In einer nachgeschalteten Stufe werden mit Hilfe eines Tiefpaßfilters die trägerfrequenten Signalanteile der Regelspannung ausgefiltert und am Ausgang des Ausgangsverstärkers steht das Audio-Signal wieder mit der gewünschten Amplitude zur Verfügung.

## Schaltung des Frequenzmodulators

Die Schaltung des Frequenzmodulators (Sender) ist in Abbildung 2 dargestellt. Das Audiosignal einer beliebigen Signalquelle wird der Schaltung an BU 2 zugeführt. Über den Spannungsteiler R 1, R 2 sowie den Koppelkondensator C 5 gelangt das Signal auf den Steuereingang des mit IC 3 realisierten spannungsgesteuerten Oszillators.

Der Oszillator ist mit der bekannten, preiswerten CMOS-Phase-Locked-Loop-Schaltung des Typs CD 4046 aufgebaut. Dieser Baustein enthält 2 Phasen-Detektoren und einen spannungsgesteuerten Oszillator (VCO), von dem in unserem Infrarot-Sender jedoch nur der Oszillator genutzt wird. Der CD4046 zeichnet sich durch einen weiten Frequenzbereich von <math>< 1\text{ Hz}</math> bis 1 MHz, sowie eine geringe Stromaufnahme aus.

Frequenzbestimmend für die Trägerfrequenz (Mittenfrequenz) von ca. 170 kHz ist der Kondensator C 7, während die maximal zu generierende Frequenz durch den Widerstand R 3 an Pin 11 des Bausteins festgelegt ist. Des weiteren ist die an Pin 4

des IC 3 anstehende Ausgangsfrequenz von der Steuerspannung an Pin 9 abhängig.

Durch Anlegen des NF-Signals an Pin 9 erfolgt in dieser Schaltung die Modulation des Oszillators. Der Frequenzhub am Ausgang ist direkt proportional zur Amplitude der NF-Spannung.

Mit dem Darlington-Transistor T 1, den Dioden D 7 bis D 9 und dem Widerstand R 7 ist eine 200mA-Konstantstromquelle aufgebaut, die über den Basisvorwiderstand R 6 direkt vom Oszillatortausgang gesteuert wird.

Da das Oszillatortausgangssignal ein Tastverhältnis von 1 : 1 aufweist, werden die im Kollektorkreis des Transistors liegenden Infrarot-Sendediode im arithmetischen Mittel mit einem Strom von ca. 100 mA beaufschlagt.

Zur Spannungsversorgung des Senders kann eine beliebige unstabilierte Gleichspannung zwischen 10,5 V und 25 V dienen, die an der 3,5 mm Klinkenbuchse BU 1 anzulegen ist.

Nach der Pufferung mit C 1 nimmt der Festspannungsregler IC 1 eine Stabilisierung auf 8 V vor. Der Elko C 2 dient zur Schwingneigungsunterdrückung am Ausgang des Stabilisators und die Kondensatoren C 3 und C 4 unterdrücken hochfrequente Störanteile.

## Schaltung des Empfängers

Abbildung 3 zeigt die Schaltung des Empfängerbausteins (Demodulator) dieser Infrarot-Tonübertragung.

Das vom Sender abgestrahlte Infrarotlicht gelangt direkt auf die als Element arbeitende Infrarot-Empfängerdiode D 1 (Fotodiode mit integriertem Tageslichtfil-

ter und vorgesetzter Sammellinse). Der Arbeitspunkt der Diode ist zunächst durch den Transistor T 1, dessen Basisvorwiderstand R 2 sowie die Widerstände R 1 und R 3 festgelegt. Sobald Infrarot-Impulse empfangen werden, werden diese über C 6 auf die Basis des als Impuls-Verstärker arbeitenden Transistors T 1 gekoppelt.

Zur ersten Signalaufbereitung und Verstärkung gelangen die am Emitter des Transistors T 1 anstehenden Infrarot-Signale auf den mit C 8, dem schnellen Operationsverstärker IC 2 A und R 7 aufgebauten Differenzierer.

Niederfrequente Störsignale, wie z. B. Fremdlicht oder Störungen durch Leuchtstofflampen sind am Ausgang des IC 2 A bereits weitestgehend unterdrückt.

Über den Koppelkondensator gelangt das Signal auf den mit IC 2 A aufgebauten invertierenden Verstärker, dessen Verstärkung, festgelegt durch R 8 und den im Rückkopplungszweig liegenden Widerstand R 11, 26,8 dB beträgt. Gleichzeitig bildet R 8 zusammen mit C 9 einen 100kHz-Hochpaß, so daß niederfrequente Störeinflüsse weiter unterdrückt werden.

Der Arbeitspunkt und somit der virtuelle Massepunkt des Verstärkers liegt über den Spannungsteiler R 9, R 10 auf halber Betriebsspannung.

Eine mit IC 3 A identisch aufgebaute Verstärkerstufe dient zur Signalverstärkung um weitere 26,8 dB. Auch hier bilden C 13 und R 12 einen 100kHz-Hochpaß.

Die Kondensatoren C 12 und C 23 dienen zur Schwingneigungsunterdrückung an den Verstärkerstufen.

Über C 16 wird das verstärkte Signal auf den Signaleingang (Pin 14) des in IC 4 integrierten Phasenkomparators gekoppelt. Der zweite Eingang des Phasenkomparators (Pin 3) erhält direkt das vom VCO-Ausgang (Pin 4) gelieferte Signal.

Die am Ausgang des Phasenkomparators Pin 2 proportional zur Phasendifferenz anliegende Fehlerspannung steuert über das mit R 14, R 15 und C 14 realisierte Schleifenfilter den VCO-Eingang (Pin 9) im Rhythmus der Frequenzmodulation nach.

Neben der Nachstimmspannung an Pin 9 ist der Kondensator C 15 für den VCO frequenzbestimmend. Die maximale Oszillatorfrequenz wird durch den an Pin 11 angeschlossenen Widerstand R 16 bestimmt.

Die Auskopplung der mit der Regelspannung an Pin 9 übereinstimmenden Niederfrequenz erfolgt am Demodulatorausgang Pin 10. Der nachgeschaltete, mit IC 3 B aufgebaute invertierende Verstärker nimmt eine Verstärkung um 15 dB vor. Gleichzeitig wird durch die mit R 20 und C 20 realisierte Tiefpaßfunktion (Grenzfrequenz 26,8 kHz) eine Unterdrückung der trägerfrequenten Signalanteile vorgenommen.

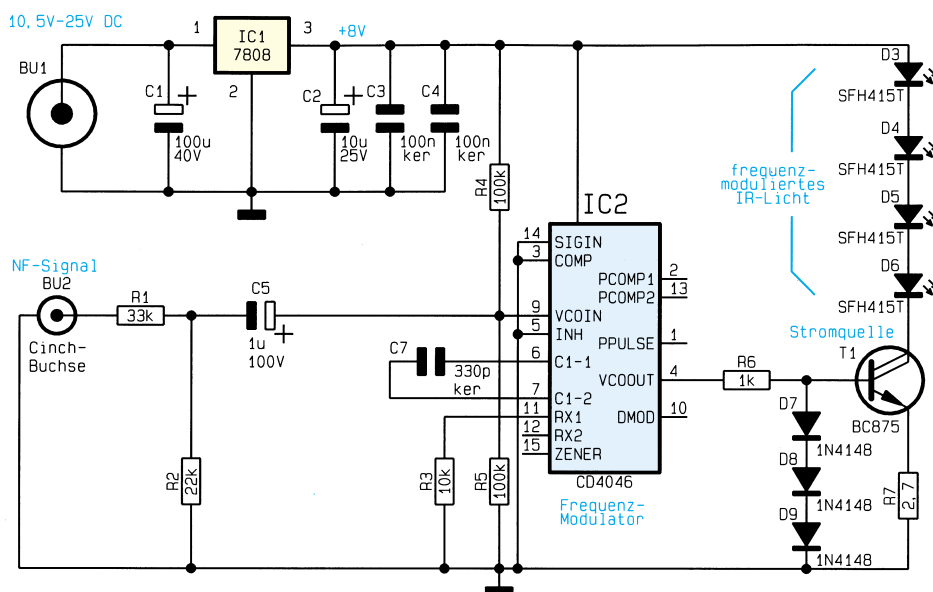
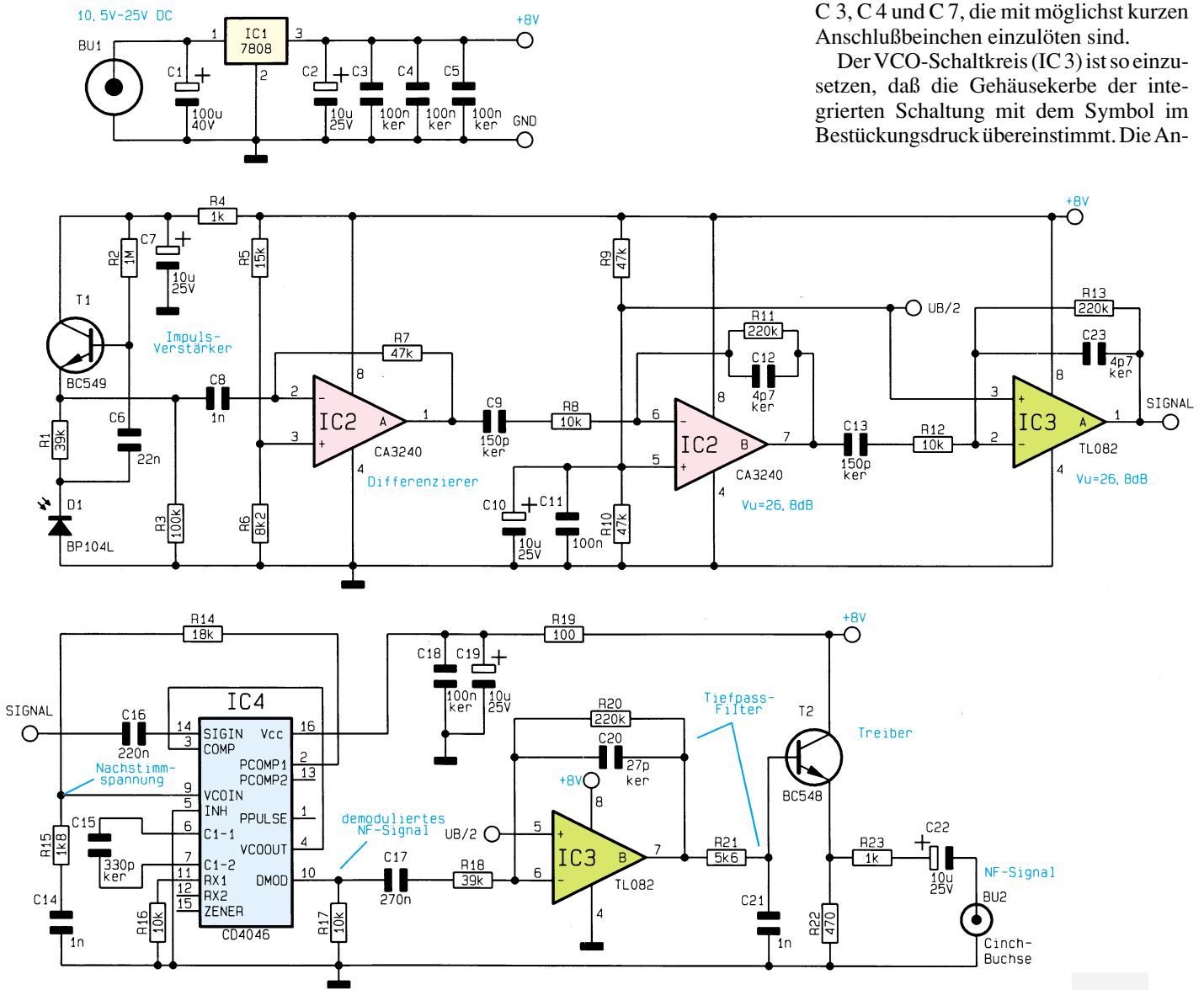


Bild 2: Schaltbild des Infrarot-Frequenzmodulators (Senders) mit Spannungsversorgung



C 3, C 4 und C 7, die mit möglichst kurzen Anschlußbeinchen einzulöten sind.

Der VCO-Schaltkreis (IC 3) ist so einzusetzen, daß die Gehäusekerbe der integrierten Schaltung mit dem Symbol im Bestückungsdruck übereinstimmt. Die An-

**Bild 3: Empfängerschaltung (Demodulator) der Infrarot-Tonübertragung mit zugehöriger Spannungsversorgung**

Über einen weiteren, mit R 21 und C 21 aufgebauten Tiefpaß zur Trägerunterdrückung und den Emitterfolger T 2 erfolgt die Signalauskopplung an der Cinch-Buchse BU 2 mit 1kΩ-Ausgangsimpedanz (R 23). Der Elko C 22 dient zur galvanischen Entkopplung.

Zur Spannungsversorgung des Demodulators dient ebenfalls eine unstabilierte Gleichspannung zwischen 10,5 V und 25 V. Nach der Pufferung der an BU 1 angelegten Versorgungsspannung mit C 1 nimmt der Spannungsregler IC 1 eine Stabilisierung auf 8 V vor. Während C 2 bis C 5 zur allgemeinen Stabilisierung dienen, erhält die PLL-Schaltung (IC 4) die Betriebsspannung über das zusätzliche mit R 19, C 18 und C 19 aufgebaute Siebglied.

**Nachbau**

Für die praktische Ausführung dieser interessanten kleinen Audioschaltung ste-

hen 2 Leiterplatten mit den Abmessungen 78 mm x 53,5 mm und 41 mm x 53,5 mm zur Verfügung, die sämtliche Komponenten einschließlich Anschlußbuchsen aufnehmen. Da weder der Modulator noch der Demodulator einen Abgleich erfordern, ist der Aufbau denkbar einfach und schnell erledigt.

Wir beginnen die Bestückungsarbeiten mit der Modulatorplatine (Sender), wo entsprechend der Stückliste und des Bestückungsplanes zuerst sieben 1%ige-Metallfilmwiderstände einzulöten sind. Die Anschlußbeinchen der Widerstände sind 1 mm hinter dem Gehäuseaustritt abzuwinkeln, durch die zugehörigen Bohrungen der Platine zu führen, leicht anzuwinkeln und nach dem Umdrehen der Platine in einem Arbeitsgang zu verlöten.

Danach sind 3 Dioden des Typs 1N4148 einzubauen, deren Katoden durch einen Ring gekennzeichnet sind.

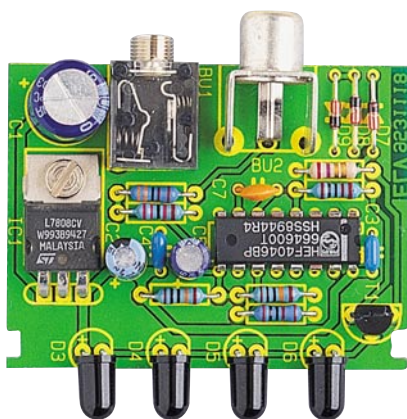
Es folgen die Keramikkondensatoren

schlußbeinchen des Transistors sind vor dem Anlöten möglichst weit durch die zugehörigen Bohrungen der Platine zu führen. Danach sind die Elkos unter Beachtung der korrekten Polarität einzulöten.

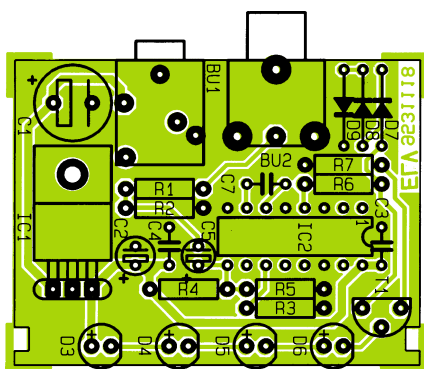
Die Anschlußbeinchen des 8V-Festspannungsreglers werden 2 mm hinter dem Gehäuseaustritt abgewinkelt, bevor das Bauelement mit einer Schraube M 3 x 5 mm und zugehöriger Mutter auf die Platine geschraubt und verlötet wird.

Nach dem Festsetzen der beiden Print-Buchsen sind die Anschlußbeinchen der 4 Infrarot-Sendediode 1 bis 2 mm hinter dem Gehäuseaustritt abzuwinkeln, durch die zugehörigen Bohrungen der Platine zu führen und mit Lötzinn festzusetzen. Die Katodenseite der Infrarot-Sendediode ist am unteren Gehäuserand abgeflacht.

Nach dem Aufbau der Sendepatine wenden wir uns dem Demodulator zu, wo die Bestückung der Bauelemente in gleicher Weise anhand der Stückliste und des



Fertig aufgebaute Leiterplatte des Senders (Modulator)



Bestückungsplan des Infrarot-Audio-Senders

### Stückliste: NF - Übertragung mit IR (Sender)

#### Widerstände:

2,7Ω	.....	R7
1kΩ	.....	R6
10kΩ	.....	R3
22kΩ	.....	R2
33kΩ	.....	R1
100kΩ	.....	R4, R5

#### Kondensatoren:

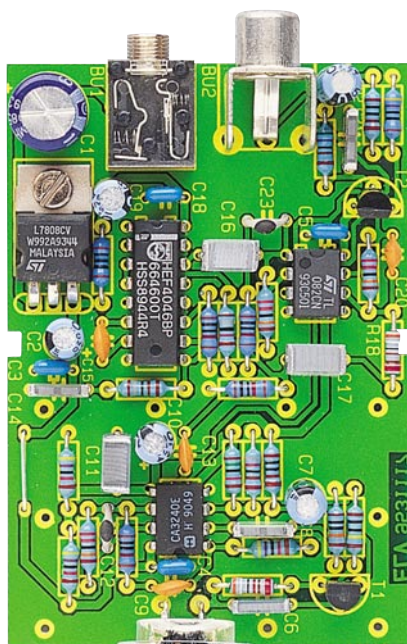
330pF/ker	.....	C7
100nF/ker	.....	C3, C4
1µF/100V	.....	C5
10µF/25V	.....	C2
100µF/40V	.....	C1

#### Halbleiter:

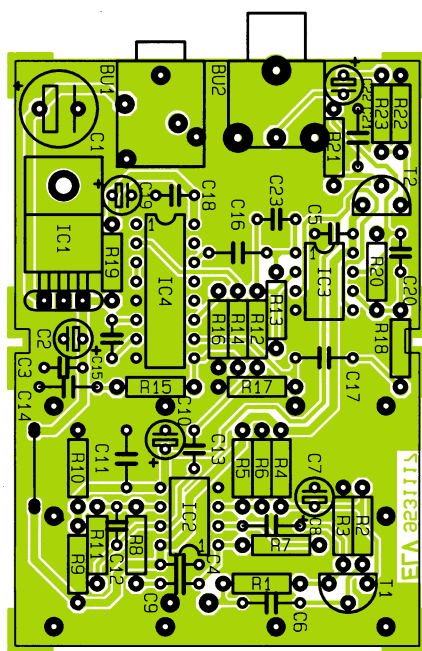
7808	.....	IC1
CD4046	.....	IC3
BC875	.....	T1
SFH415T	.....	D3 - D6
1N4148	.....	D7 - D9

#### Sonstiges:

Klinkenbuchse, Printmontage, mono	.....	BU1
Cinchbuchse, Print	.....	BU2
1 Zylinderkopfschraube, M3 x 5mm		
1 Mutter, M3		



Fertig aufgebaute Leiterplatte des Empfängerbausteins



Bestückungsplan des Infrarot-Empfängerbausteins (Demodulator)

Bestückungsplans vorgenommen wird.

Die Infrarot-Empfängerdiode des Typs BP104L ist werkseitig bereits mit der entsprechenden Optik verbunden. Die beiden Diodenanschlüsse sind vor dem Einlöten jeweils mit einem 1 cm langen Silberdrahtabschnitt zu verlängern. Zum polaritätsrichtigen Einbau ist die Sammellinse an der Kathodenseite (Pfeilspitze) mit einem schwarzen Punkt gekennzeichnet.

Nachdem beide Leiterplatten komplett fertiggestellt sind, wird eine gründliche Überprüfung hinsichtlich Bestückungsfehler, kalter Lötstellen und Lötzinnspritzer

### Stückliste: NF-Übertragungssystem mit IR (Empfänger)

#### Widerstände:

100Ω	.....	R19
470Ω	.....	R22
1kΩ	.....	R4, R23
1,8kΩ	.....	R15
5,6kΩ	.....	R21
8,2kΩ	.....	R6
10kΩ	.....	R8, R12, R16, R17
15kΩ	.....	R5
18kΩ	.....	R14
39kΩ	.....	R1, R18
47kΩ	.....	R7, R9, R10
100kΩ	.....	R3
220kΩ	.....	R11, R13, R20
1MΩ	.....	R2

#### Kondensatoren:

4,7pF/ker	.....	C12, C23
27pF/ker	.....	C20
150pF/ker	.....	C9, C13
330pF/ker	.....	C15
1nF	.....	C8, C14, C21
22nF	.....	C6
100nF/ker	.....	C3 - C5, C18
100nF	.....	C11
220nF	.....	C16
270nF	.....	C17
10µF/25V ...	C2, C7, C10, C19, C22	
100µF/40V	.....	C1

#### Halbleiter:

7808	.....	IC1
CA3240	.....	IC2
TL082	.....	IC3
CD4046	.....	IC4
BC549	.....	T1
BC548	.....	T2
BP104L	.....	D1

#### Sonstiges:

Klinkenbuchse, Printmontage, mono	.....	BU1
Cinchbuchse (Print)	.....	BU2
1 Zylinderkopfschraube, M3 x 5mm		
1 Mutter, M3		
3cm Schaltdraht, blank, versilbert		

vorgenommen. Ist diese Überprüfung zur Zufriedenheit ausgefallen, erfolgt zum ersten Funktionstest der Anschluß der Versorgungsspannungen und der Audiokomponenten.

Beide Leiterplatten sind für den Einbau in ein 2teiliges, schraubenloses Profilgehäuse vorgesehen. Die Gehäuse sind mit einer Feinsäge auf die erforderliche Länge zu kürzen.

Nach dem Gehäuseeinbau kann die Tonübertragung mit Infrarotlicht in HiFi-Qualität beginnen.

