

DRAHTLOSES MIKROFON

Audio über das ISM-Band

Als der ISM-Frequenzbereich 863...865 MHz für Audioanwendungen in Europa freigegeben wurde, hatte Circuit Design, Hersteller professioneller HF-Module, die Idee, für diese Anwendung Sender und Empfänger mit großem Dynamikbereich und in einer Qualität zu entwickeln, die für drahtlose Mikrofonanlagen unbedingt erforderlich ist.



Die Module WA-TX-01 (Sender) und WA-RX-01 (Empfänger) stellen ein neues Konzept zur drahtlosen Übertragung von Audiosignalen dar. Die Funktechnik lässt sich damit bei geringem Stromverbrauch in einer Vielzahl von Audioapplikationen einsetzen. Sender und Empfänger enthalten Komponenten wie SAW-Filter, SAW-Resonatoren und rauschreduzierende ICs. Diese Schlüsselkomponenten ermöglichen es, die kleinen und qualitativ hochwertigen Audiomodule nach der europäischen Funkverordnung und nach der EMC-Norm unter der R&TTE-Richtlinie zu entwickeln. So braucht man sich beim Einsatz der Funkverbindung in Audiogeräten keine Gedanken um die komplizierte sowie kosten- und zeitaufwendige Zertifizierung zu machen. Der Arbeitsfrequenzkanal für jedes Modul ist festgelegt. Es stehen aber vier verschiedene Kanäle im Bereich 863...865 MHz zur Verfügung, so dass mehrere Systeme am gleichen Ort betrieben werden können.

Dynamische Übertragung

Der maximale für den Menschen hörbare Schalldruck beträgt 140 dB SPL (SPL = **Sound Pressure Level**, Deutsch: Schalldruckpegel, auch Schallpegel), basierend auf dem minimalen hörbaren Schalldruck von 0 dB SPL = 20 μ pa. Sogar in einem stillen Raum gibt es ein Hintergrundrauschen von etwa 20 dB SPL. Der Schalldruck der menschlichen Stimme beträgt ungefähr 120 dB SPL. Also kann man folgern, dass der für normale drahtlose Audioübertragung benötigte Schalldruck bei 100 dB liegt. Wenn eine hörbare Frequenz von 15 kHz analog frequenzmoduliert wird, beträgt die beanspruchte Bandbreite (BW):

$$BW = (\text{maximaler Frequenzhub} + \text{höchste Modulationsfrequenz}) \cdot 2$$

Leider muss jede FM-Schaltung mit einem FM-Restrauschen leben, das vom Quarzoszillator oder der PLL verursacht wird. Es ist damit zu rechnen, dass ohne Modulation ein Restrauschen von 50 Hz (Hub) verbleibt. Für eine Dynamik von 100 dB (= Faktor 100.000) benötigt man demnach einen Frequenzhub von $50 \cdot 100.000 = 5$ MHz. Sie können sich schon denken, dass die benötigte Bandbreite dann viel größer ist als die zulässige Bandbreite für diese Anwendung. Zum Ver-

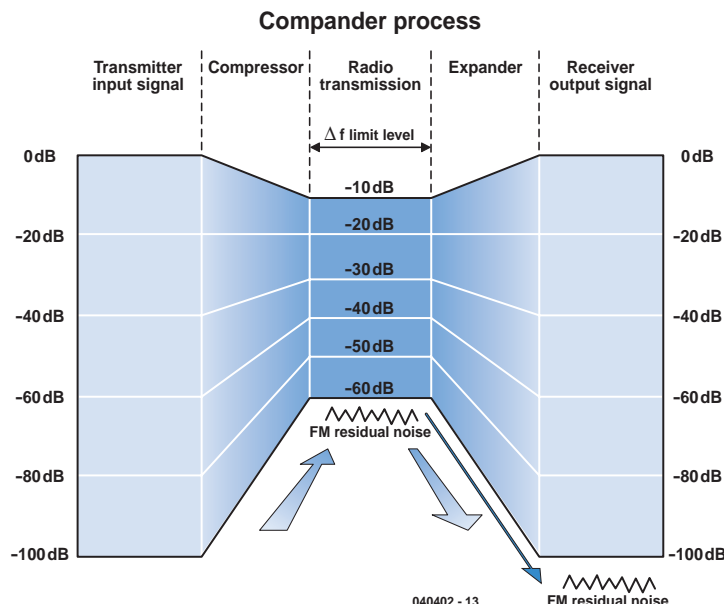


Bild 1. Ein Komponder zur Rauschunterdrückung.

gleich: Der frequenzmodulierte UKW-Rundfunk muss mit 75 kHz Hub und einer Bandbreite von 180 kHz (Mono) beziehungsweise 264 kHz (Stereo mit ARI) auskommen.

Um dieses Problem zu lösen und den laut Funkgesetz vorgeschriebenen Frequenzhub einzuhalten, wird ein Kompressor im Sender und ein Expander im Empfänger eingebaut. Diese Methode nennt man Componder Noise Reduction System (Bild 1).

Bei einem Dolby-System zur Rauschunterdrückung variiert das Kompressionsverhältnis mit der Signalfrequenz. Bei dem hier verwendeten Komponder-Rauschunterdrückungssystem wird hingegen der Pegel im gesamten Frequenzbereich durch einen Kompressor in einem festen Verhältnis von 2:1 auf die Hälfte komprimiert und dann, genau entgegengesetzt, durch einen Expander im Verhältnis von 1:2 auf das Doppelte ausgeweitet. Eine Dynamik von 100 dB wird so auf dem Übertragungsweg zu 50 dB.

Nun können Sie den Frequenzhub wie gehabt berechnen. Bei 50 Hz FM-Restrauschen benötigt man für 20 dB einen Frequenzhub von 500 Hz, für 40 dB 5 kHz und für 52 dB 20 kHz. Das drahtlose System mit 50 dB S/N (Signal to Noise Ratio) kann einen Schalldruck mit einer Dynamik von 100 dB übertragen.

Warum wird im „Digitalzeitalter“ überhaupt eine analoge Übertragung statt zum Beispiel PCM für eine drahtlose Mikrofonanlage eingesetzt? Dafür gibt es gleich mehrere Gründe: Viele Länder haben digitalen drahtlosen Mikro-

fonanlagen kein eigenes Frequenzband zugewiesen. Digitale Übertragungsverfahren wie PCM benötigen aber einen breiten Frequenzbereich, was unterhalb von 1 GHz nicht einfach unterzubringen ist. Und über 1 GHz tauchen oft „tote Zonen“ auf, so dass sich dieser Frequenzbereich nicht eignet, da bei Live-Veranstaltungen auf der Bühne mit vielen Positionswechsels zu rechnen ist. Schließlich erfordert eine digitale Konvertierung sehr viel mehr Strom, so dass man eine Anlage kaum mit kleinen Batterien betreiben kann.

Bei Bedarf können die Module (Sender und Empfänger) mit Hilfe eines rauscharmen DC/DC-Wandlers von Circuit Design auch an einer 1,5-V-Batterie betrieben werden. Um bei drahtlosen Mikrofonanlagen eine Dynamik von insgesamt 100 dB zu erreichen, muss das Restrauschen des DC/DC-Wandlers unter -60 dBm liegen. Der DC/DC-Wandler WA-DC-01 benötigt minimal nur 0,9 V Eingangsspannung, um ausgangsseitig eine Spannung von 3 V bei einem maximalen Laststrom von 50mA liefern zu können.

Der Sender

In Bild 2 ist der Sender WA-TX01 mit den folgenden Funktionsblöcken dargestellt:

Eingangspuffer (BUF)

Diese Schaltung enthält einen Eingangspuffer für die Mikrofoneneinheit und andere Tonsignalquellen. Der

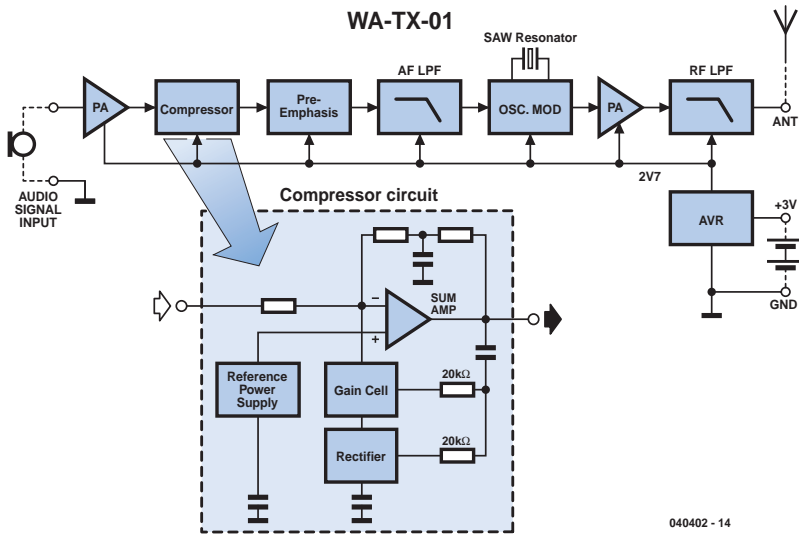


Bild 2. Das Blockschaltbild des Sendemoduls...

maximale Eingangspegel beträgt -15 dBV, der Eingangswiderstand 7,5 kΩ. Wenn der maximale Ausgangspegel der Signalquellen nicht ausreicht, muss ein rauscharmer Verstärker vorgeschaltet werden. Wenn der Pegel der Signalquelle zu groß ist, ist ein Dämpfungsregler zu verwenden.

Kompressor

Das Audiosignal der Pufferstufe wird in einem Verhältnis von 2:1 auf die Hälfte komprimiert. Der Kompressor besteht aus einer Referenzstromquelle, einer Vollweggleichrichterschaltung und einem Summierverstärker. Die Referenzstromquelle versorgt jeden Schaltungsteil mit Vorspannung und

konstantem Strom. Die Vollweggleichrichterschaltung richtet das ankommende Signal mit Hilfe eines externen Kondensators gleich. Der Ausgangsstrom des Gleichrichters steuert den Gain-Cell-Verstärker. Die Zeitkonstante des Dynamikreglers wird unter anderem bestimmt durch einen externen Siebkondensator mit einem internen 10-kΩ-Widerstand. Der Summierverstärker addiert das ankommende sowie das Signal der Gain Cell. Der für den Kompressor verwendete Summierverstärker hat andere Eigenschaften als der für den Expander verwendete. Daher wird für Sender und Empfänger jeweils ein anderes spezielles Bauteil eingesetzt.

Preemphasis

Um ein Rauschen des höheren Audio-signalbereichs zu unterdrücken, das speziell bei der Frequenzmodulation auftritt, hebt diese Schaltung den höheren Frequenzbereich mit einer Zeitkonstante von 50 μs an.

NF-Tiefpassfilter (AF-LPF)

Diese Schaltung begrenzt die NF-Bandbreite des Audiosignals, um innerhalb der erlaubten Grenzen der Störleistung im benachbarten Kanal zu bleiben.

Oszillator und Modulator

Um direkt im 800-MHz-Bereich zu schwingen, wird ein quarz-basierter SAW-Resonator (SAW = Oberflächenwellen = OFW) mit hoher Temperaturstabilität als schwingendes Element verwendet. Die Frequenzmodulation erfolgt durch eine Kapazitätsdiode, die im Schwingkreis eingebaut ist.

HF-Leistungsverstärker (PA)

Diese Schaltung verstärkt die HF-Leistung des Oszillators auf 5 mW Sendeleistung.

HF-Tiefpassfilter (RF LPF)

Diese Schaltung unterdrückt die zweite sowie jede weitere Oberwelle und sorgt für eine Antennenanpassung.

Spannungsregler (AVR)

Diese Schaltung sorgt für eine stabile Spannung von 2,7 V in der gesamten Schaltung. Batteriespannung 3 V bis 9 V.

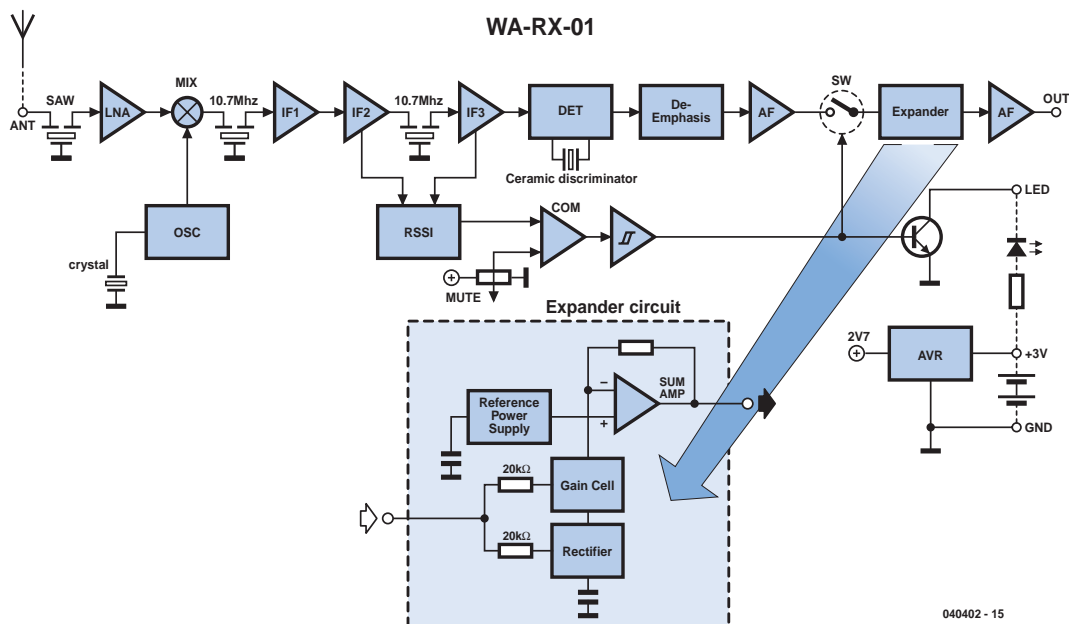


Bild 3. ...und des Empfangmoduls.

Der Empfänger

Das Blockschaltbild des Empfängers WA-RX-01 in **Bild 3** ist fast ein Spiegelbild des Empfängers mit ähnlichen Komponenten:

HF-Bandpassfilter (SAW)

Der 800-MHz-Frequenzbereich, der für dieses drahtlose Audiosystem verwendet wird, wird durch dieses Bandpassfilter gefiltert. Um Frequenzen außerhalb des Bandes zu eliminieren, wird ein OFW-Filter mit hoher Selektivität eingesetzt.

Oszillator (OSC)

Quarzoszillator für das Heruntermischen auf eine Zwischenfrequenz von 10,7 MHz.

HF-Verstärker (LNA)

Der 800-MHz-Bereich wird durch einen rauscharmen Verstärker um 10 dB verstärkt.

Mixer (MIX)

Diese Schaltung erzeugt eine Zwischenfrequenz von 10,7 MHz, indem sie das im 800-MHz-Band empfangene und verstärkte Signal mit dem Oszillatorsignal mischt.

ZF-Verstärker (IF 1...3)

Verstärkt um insgesamt 100 dB und arbeitet in der letzten Stufe als Begrenzer. 10,7 MHz-Keramikfilter vor und hinter dem Zwischenfrequenzverstärker sorgen für Selektion.

FM-Detektor (DET)

Diese Schaltung demoduliert das fre-

quenzmodulierte ZF-Signal.

RSSI-Detektor (RSSI)

HF-Signale von der mittleren Stufe des ZF-Verstärkers werden gleichgerichtet, die entstehende Gleichspannung ist proportional zur Feldstärke.

Muting Comparator (COM)

Vergleicht das RSSI-Signal (Feldstärke-signal) mit der am Poti eingestellten Gleichspannung. Wenn der Antenneneingangspegel auf 17 dB μ V oder weniger sinkt, wird das Ausgangssignal abgeschaltet.

Deemphasis

Gleicht die Preemphasis von 50 μ sec aus, um wieder einen geraden Frequenzgang zu erhalten.

NF-Verstärker (AF)

Diese Schaltung verstärkt das demodulierte Audiosignal zur Anpassung an die Expanderschaltung.

Analogschalter (SW)

Wenn die Feldstärke zu weit sinkt, wird das Audiosignal vom Komparator über diesen Schalter gemutet (abgeschaltet). Gleichzeitig signalisiert die LED die Stummschaltung.

Expander

Das Tonsignal-Dynamik wird im Verhältnis von 1:2 verdoppelt. Die Funktionen des Expanders ergeben sich aus den Erläuterungen zum Kompressor.

NF-Ausgangsverstärker (AF)

Das Signal der Expanderschaltung

wird am Ausgang weiter verstärkt.

Spannungsregler (AVR)

Diese Schaltung versorgt die gesamte Schaltung mit einer stabilen 2,7-V-Spannung. Betriebsspannung 3 V bis 12 V.

Interface

Dank dieser komplexen Module, die fast die gesamte erforderliche Elektronik enthalten, bleibt der Rest einfach.

Bild 4 zeigt die zwei Teile der Schaltung. Am Sender kann man nicht nur ein Mikrofon anschließen, sondern alternativ eine beliebige Audioquelle mit einem maximalen Pegel von -15 dBV. In den meisten Fällen kommt aber ein Elektret-Mikrofon zum Einsatz. Am NF-Eingang liegt eine kleine Offsetspannung, wenn P1 auf Maximum gedreht ist, bei unserem Labormuster ungefähr 0,15 V. Wer mit dem Gedanken spielt, dort ein dynamisches Mikrofon anzuschließen, sollte deshalb unbedingt einen Koppelkondensator verwenden. Oder man lässt R1 weg und schließt das dynamische Mikro an dem für das Elektret-Mikro vorgesehenem Platz an. Mit P1 kann man zu starke Mikrofonsignale abschwächen, damit das Funkmodul nicht übersteuert.

Die Schaltung des Empfängers ist ein wenig weniger einfach. Das Empfangsmodul hat zwei Ausgänge, einen für das Signal und einen, der anzeigt, ob das Signal auch gut genug ist oder stummgeschaltet wird. Da wir beim Empfänger genug Strom zur Verfügung haben (hier ist ja Batteriebetrieb nicht erforderlich), spendieren wir noch eine

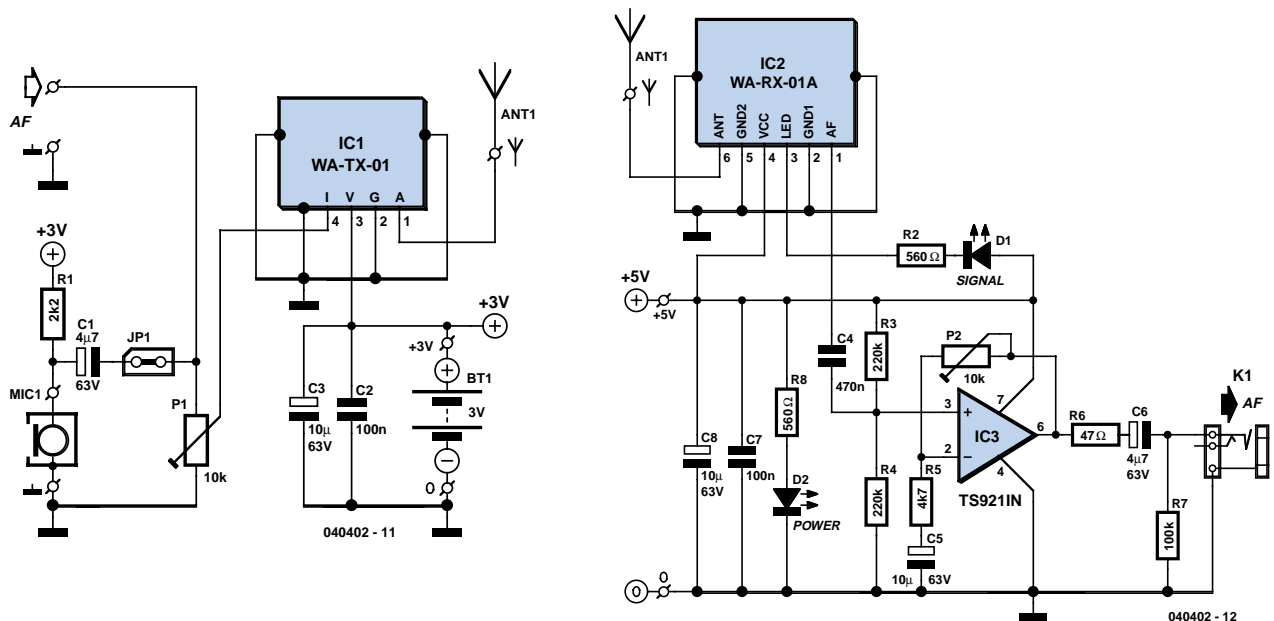


Bild 4. Nur ein Interface für die Funkmodule.

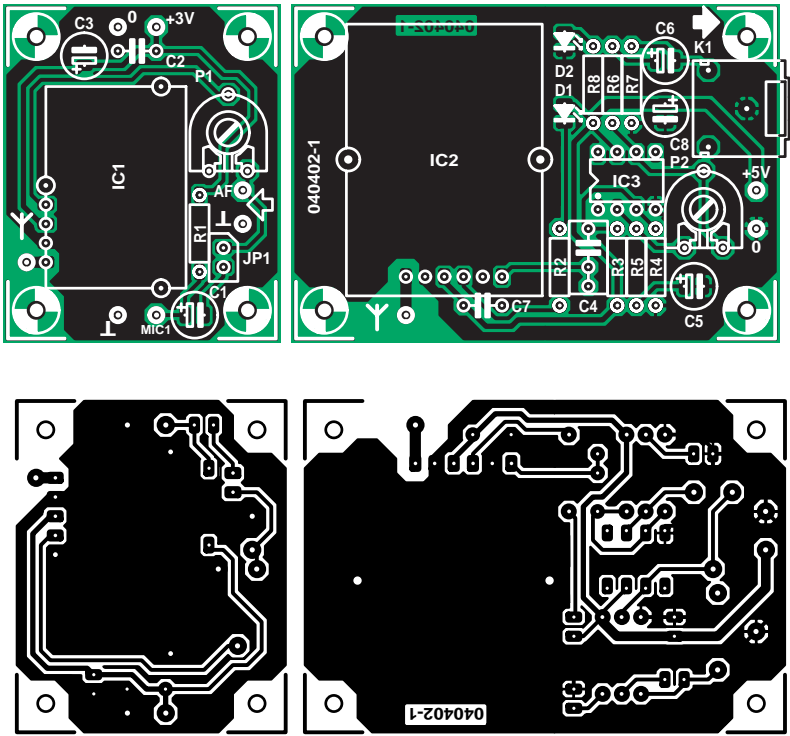


Bild 5. Zwei Platinen für eine Funkverbindung.

Stückliste:

Widerstände:

R1 = 2k2
 R2,R8 = 560 Ω*
 R3,R4 = 220 k
 R5 = 4k7
 R6 = 47 Ω
 R7 = 100 k
 P1,P2 = Trimpoti 10 k

Kondensatoren:

C1,C6 = 4µF/63 V stehend
 C2,C7 = 100 n
 C3,C5,C8 = 10 µF/63 V stehend
 C4 = 470 n

Halbleiter:

D1 = 3-mm-LED, grün, low current
 D2 = 3-mm-LED, rot, low current
 IC1 = WA-TX-01 (Circuit Design)
 IC2 = WA-RX-01A (Circuit Design)
 IC3 = TS921IN (oder anderer Rail-to-rail-Opamp)

Außerdem:

JP1 = 2-poliger Pfostenverbinder + Jumper (u.U. gewinkelt)
 K1 = 3,5-mm-Klinkenbuchse für Platinenmontage (z.B. Conrad 732893)
 BT1 = Batteriehalter für 2x1,5-V-Zellen
 MIC1 = Elektret-Mikro*

Funktionsanzeige in Form von LED D1. Um den Ausgang des Empfängermoduls (mit 10 kΩ nicht gerade extrem niederohmig) zu stärken, haben wir einen Puffer-Verstärker nachgeschaltet. Es handelt sich hier um einen klassischen, nicht-invertierenden Wechselspannungsverstärker mit einem Rail-to-rail-Opamp, der an einer Betriebsspannung von 2,7...12 V (fast wie das Modul) betrieben werden kann. Als Versorgungsspannung ist hier +5 V angegeben, es dürfen aber auch 3 V oder 12 V sein! Bei einem anderen Opamp (kein Rail-to-rail-Typ) ist eine Versorgungsspannung von +5 V notwendig. Viele Opamps arbeiten erst mit einer symmetrischen Betriebsspannung von ±5 V richtig, brauchen also asymmetrisch 10 V. Ein weiterer Vorteil des eingesetzten TS921 ist der hohe Ausgangsstrom, der ohne weiteres einen Kopfhörer oder sogar zwei parallele 32-Ω-Kopfhörer-Kapseln treiben kann (dann muss C6 durch 100 µF/10 V ersetzt werden). Der Ausgangswiderstand von 47 Ω schützt den Opamp gegen die induktive Belastung durch ein abgeschirmtes Kabel, aber auch gegen einen Kurzschluss. (Trimm-) Poti P2 sorgt für eine Verstärkung von 1 (P2 auf Minimum) bis 10 dB (P2 auf maximalen Widerstand). C6 entkoppelt die Gleichspannung vom Ausgang, R7 sorgt dafür, dass der Ausgang immer geladen ist. Da der Opamp asymmetrisch versorgt wird, ist auch in der Gegenkopplung mit C5 ein Kondensator erforderlich. Durch R3 und R4 ist der Opamp immer auf halbe Betriebsspannung eingestellt. C7 und C8 entkoppeln zusätzlich die Versorgungsspannung.

Bei höheren Betriebsspannungen ist es erforderlich, die Vorwiderstände der Low-current-LEDs so weit zu erhöhen, dass ein LED-Strom von nicht mehr als ungefähr 2 mA fließt.

Für die Funkmodule und die wenigen externen Bauteile haben wir eine zweiteilige Platine (Bild 5) entworfen, deren „Audio-Design“ nicht zu verleugnen ist.

Nun bringt man die Bauteile an, wobei man feststellt, dass das Sendemodul nur auf die Kupferseite der Platine passt. Als Audioausgang wird eine übliche 3,5-mm-Klinkenbuchse eingesetzt.

Fehlt nur noch die Antenne. Im Prinzip reicht ein steifer Draht von $1/4 \lambda$ (78 mm für 860 MHz), professionelle Antennen kann man auf der Web-Site von Circuit Design <http://www.circuit-design.de/> finden.

(040402)rg



Frequenz	863,125; 863,625; 864,500; 864,875 MHz
HF-Kanäle	einer (fest)
Frequenztyp	F3E
Distanz	50 m freie Sicht
S/N-Verhältnis	90 dB (W/IHF-A-Filter)
Audio-Frequenzgang	50 Hz ... 15 kHz $\pm 3,5$ dB (Ausgangspegel -50 dBV ± 3 dB)
THD	2 % (@AF 1 kHz, Dev. = 15 kHz oder 7,5 kHz)
Emphase	50 μ /s
Betriebstemperatur	0...50 °C

Sender

Oszillator	OFW quarzbasierend
HF-Leistung	2 mW
Frequenzstabilität	± 10 kHz
Pre-Emphase	50 μ s
Rauschunterdrückung	Kompressor
Nebenaussendung (spurious emission)	1 μ W max.
Hub	15 kHz (1 kHz @ -25 dBV)
Audio-Eingangspegel	-115...-15 dBV (1 kHz)
Audio-Eingangsimpedanz	5 k Ω
Versorgungsspannung	3...9 V
Max. Stromaufnahme Modul	25 mA
Gemessene Stromaufnahme	17 mA @ 3 V

Empfänger

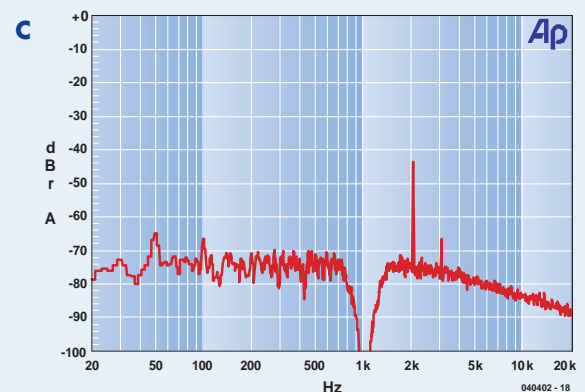
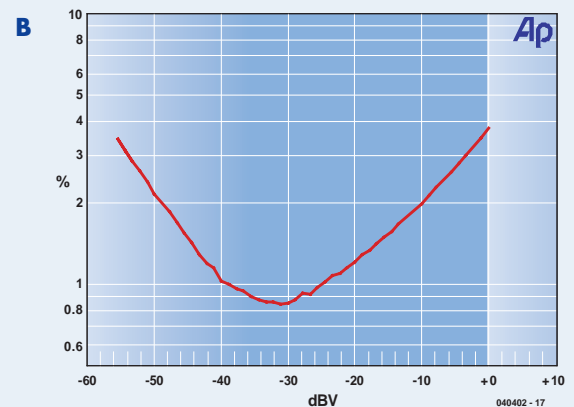
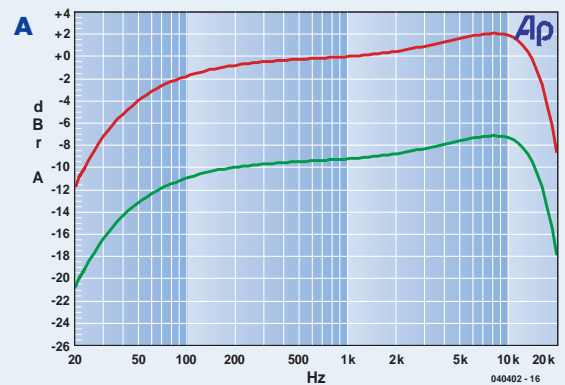
Empfänger	Superhet
Mischer-Oszillator	quarzgesteuert
Zwischenfrequenz	10,7 MHz
Rauschunterdrückung	Expander
Empfindlichkeit	21 dB μ V (@THD 2 %)
Empfindlichkeit Squelch	17 dB μ V ± 4 dB
Audio-Ausgangspegel (Modul)	-20 dBV (Hub 15 kHz) Max. -10 dBV (Hub 30 kHz)
Audio-Ausgangsimpedanz (Modul)	10 k Ω
Versorgungsspannung	3...12 V
Max. Stromaufnahme Modul	30 mA
Gemessene Stromaufnahme	32 mA @ 3 V 40 mA @ 5 V 52 mA @ 9 V

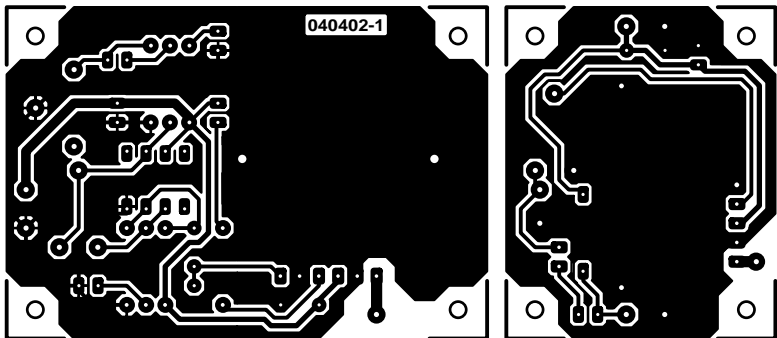
*0 dBV = 0,775 V

Kurve A zeigt die Übertragungskurve der kompletten Funkstrecke, gemessen bei minimaler (grün) und bei maximaler Verstärkung (rot). Das Eingangssignal des Senders betrug -46 dBV (etwa 5 mV). Das Ausgangssignal bei maximaler Verstärkung beträgt -31 dBV. Der Ausgangspegel des Empfängers liegt 5 dB über dem Eingangspegel des Senders. Bei einem stärkeren Eingangssignal wird die Bandbreite am oberen Ende etwas eingeschränkt, aber die Amplitude liegt bei 5,5 kHz bis zu 3 dB über der bei 1 kHz.

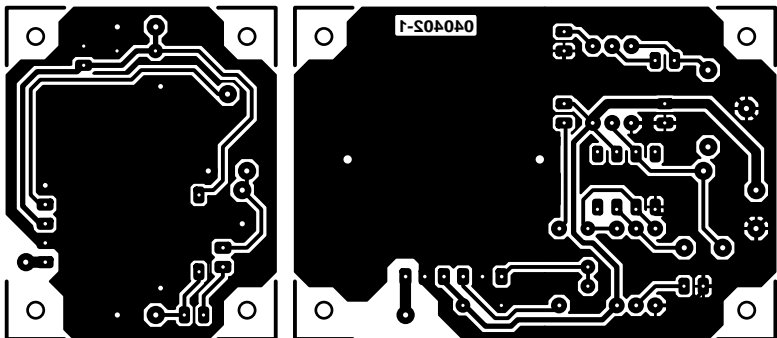
Kurve B zeigt die Verzerrungen (mit Rauschen) am Ausgang des Empfängers über die Aussteuerung, gemessen bei einer Bandbreite von 22 Hz ... 22 kHz. Bei einem Eingangssignal von 5 mV (senderseitig) scheint sich das Optimum zu befinden. Das Eingangssignal wird hier von -70 dBV auf -15 dBV angehoben, die Verstärkung des Empfängers ist maximal. Für Sprachsignale ist das mehr als ausreichend.

Kurve C zeigt das Frequenzspektrum bei einem Eingangssignal von 5 mV (senderseitig). Die Verzerrungen bestehen vor allem aus der zweiten Harmonischen. Der THD+N-Wert liegt hier bei 0,85 % (B = 22 Hz ... 22 kHz)





non reflected



reflected