

Flugfunk-Empfänger

Doppelsuper für 108...137 MHz

Entwurf: G. Baars
Text: Sjef van Rooij

(email: gert_baars@hetnet.nl)

Diese Empfänger-Schaltung für das Flugfunk-Band von 108...137 MHz bietet nicht nur ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis, sie ist auch vergleichsweise unkompliziert. Spezielle Bauelemente sind nicht erforderlich, und alle Einstellungen können "nach Gehör" vorgenommen werden.



Das klassische Flugfunk-Band ist der VHF-Frequenzbereich von 108...137 MHz, er schließt nahtlos an das UKW-Rundfunk-Band (87,5...108 MHz) an. Der Sprechfunk spielt sich dabei zwischen 118 und 137 MHz ab, der darunter liegende Bereich (108 bis 118 MHz) ist ausschließlich Navigationssendern vorbe-

halten, die aber auch mit einer Kennung (meist zwei oder drei Morse-Buchstaben) und manchmal auch zusätzlich mit einer gesprochenen Information moduliert sind. Die nahe liegende Idee, den Empfangsbereich eines herkömmlichen

UKW-Rundfunk-Empfängers durch einen technischen Eingriff nach oben zu verschieben, führt allerdings nicht zum Ziel. Der Kanal-Abstand beträgt im Rundfunk-Band 100 kHz, im Flugfunk-Band dagegen nur 25 kHz, so dass die Trennschärfe völlig unzureichend wäre. Außerdem arbeiten VHF-Flugfunk-Einrichtungen noch immer mit Amplituden-Modulation (AM), während der UKW-Rundfunk die Frequenz-Modulation (FM) anwendet. Der Umbau eines UKW-Rundfunk-Empfängers wäre deshalb etwas zu aufwändig.

Profil-Skizze

Die wichtigsten Merkmale des hier beschriebenen Selbstbau-Flugfunk-Empfängers sind folgende:

- Die Schaltung arbeitet nach dem Prinzip des Doppel-Überlagerungs-Empfängers (Doppel-Superheterodyn-Verfahren). Vorhanden sind zwei Oszillatoren und zwei Mischstufen, und dadurch bedingt gibt es auch zwei Zwischenfrequenzen. Das Doppelsuper-Prinzip gewährleistet eine hohe Selektivität (Trennschärfe) und gleichzeitig eine wirkungsvolle Spiegelsignal-Unterdrückung.
- Der Empfänger wird über Kapazitäts-Dioden abgestimmt; die getrennte Grob- und Fein-Einstellung erleichtert das präzise

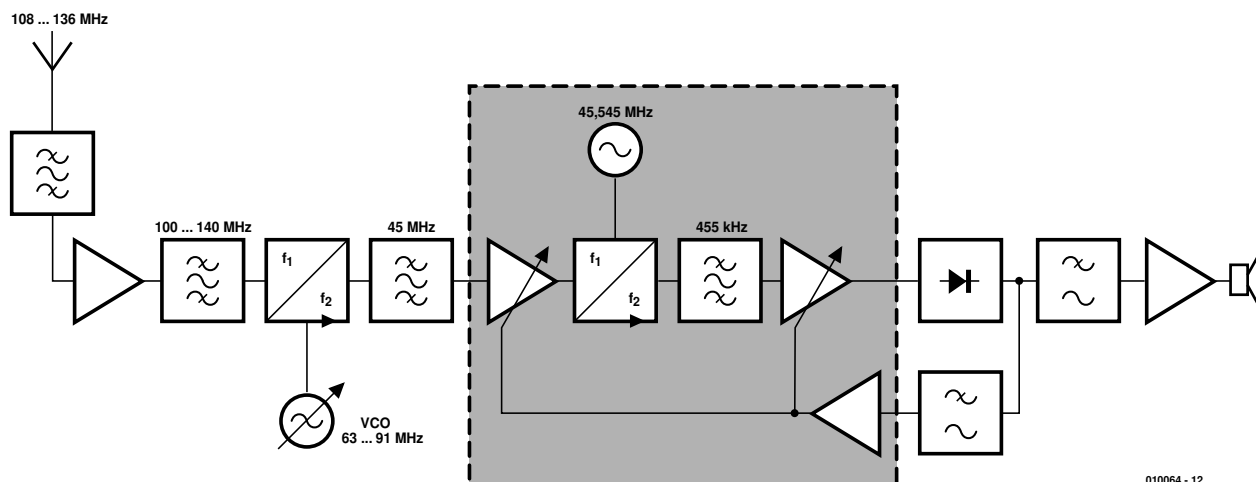


Bild 1. Der Flugfunk-Empfänger arbeitet nach dem Doppelsuper-Prinzip, die Zwischenfrequenzen betragen 45 MHz und 455 kHz.

- Abstimmen auf die Empfangs-Frequenz.
- Für den erfolgreichen Bau sind keine speziellen Kenntnisse im Bereich der Hochfrequenz-Technik erforderlich. Bis auf eine Ausnahme werden nur handelsübliche Fest-Induktivitäten verwendet. Die einzige Spule, die von Hand gewickelt werden muss, ist eine einfache, aus fünf Windungen bestehende Luftspule.
- Für die Einstell-Arbeiten werden keine Messgeräte benötigt, es genügt die Beurteilung des Empfangs "nach Gehör".
- Die Empfänger-Schaltung ist einschließlich der Audio-Endstufe und der Spannungs-Stabilisierung auf einer gemeinsamen Platine unter-

- gebracht. Mit der Platine ist der Schaltungsaufbau schnell erledigt.
- Die Empfänger-Bandbreite hängt von einem einzigen keramischen Filter ab. Zur Auswahl stehen Filter-Typen mit 6 kHz und 15 kHz Bandbreite.
- Der Empfänger kann mit einer digitalen Frequenz-Anzeige (Frequenz-Zähler) erweitert werden, und auch die Abstimmung mit Hilfe einer externen PLL-Frequenz-Synthese-Schaltung ist vorgesehen. Konkrete Schaltungsentwürfe für diese beiden Erweiterungen sind allerdings noch nicht vorhanden. Auch sollen hier die Nachteile des einfachen Konzepts nicht verschwiegen werden:
- Der Empfänger hat (noch) keine

- Rauschunterdrückung, eine Lösung dafür soll im nächsten Heft vorgestellt werden.
- Die Handabstimmung ohne Frequenzanzeige ist für das Suchen bestimmter Frequenzen natürlich nicht optimal. Wenn man regelmäßig auf der gleichen Frequenz empfängt, ist das weniger ein Problem. Bei wechselnden Frequenzen sollte man entweder einen passenden unteretzten Skalenknopf für das Mehrgangpoti zum Wiederauffinden verwenden oder (noch besser) eine digitale Frequenzanzeige oder einen Frequenzzähler anschließen.

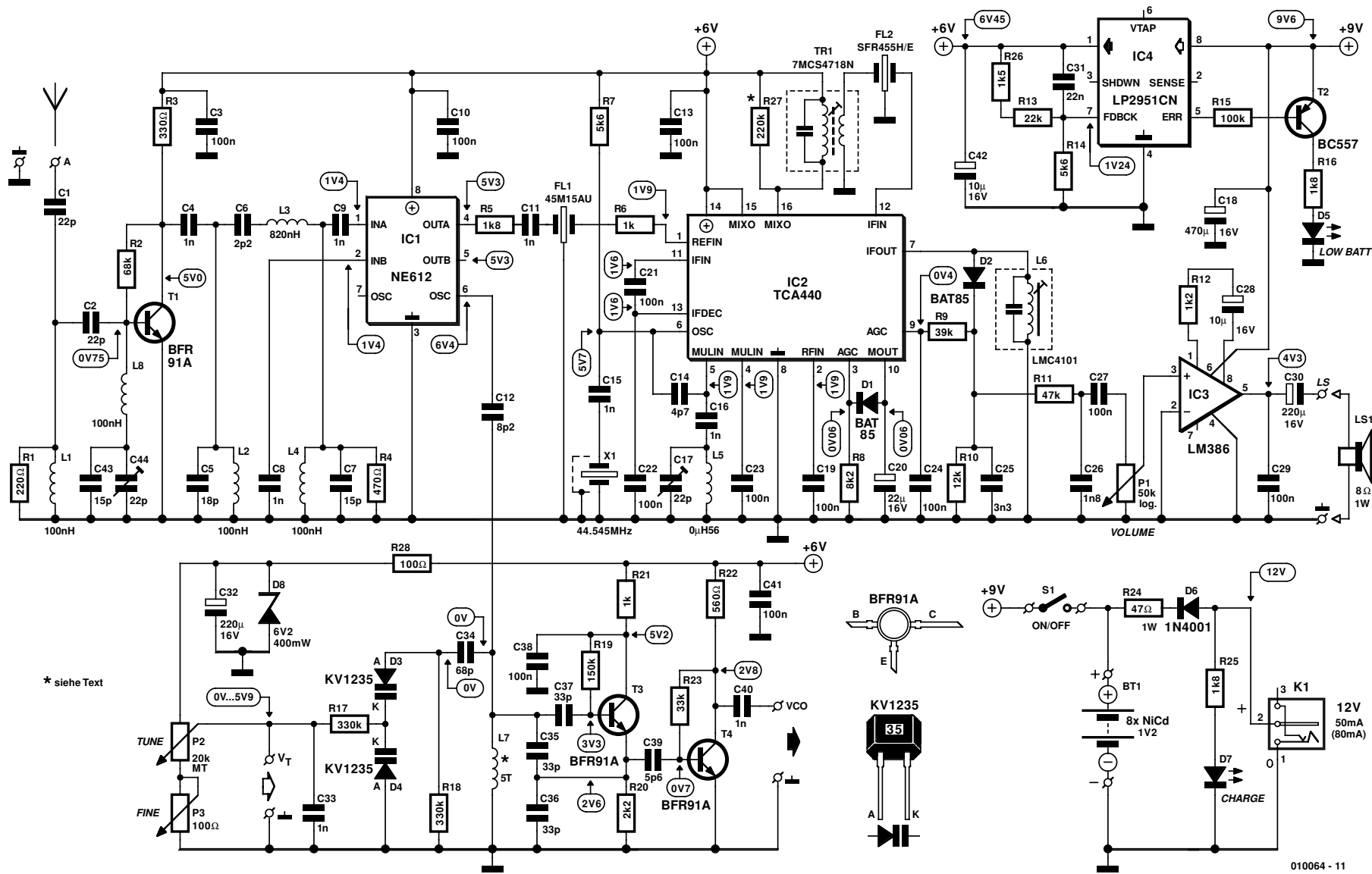
Blockschema

Das Funktionsschema des Flugfunk-Empfängers ist in **Bild 1** skizziert. Von der etwa 60 cm langen Stab- oder Wurf-Antenne gelangt das Empfangssignal (108...137 MHz) über ein erstes Bandfilter zu einem Verstärker, der das Signal um ca. 20 dB anhebt. Auf den Verstärker folgt ein etwas steileres Bandfilter, die Eck-Frequenzen liegen hier bei ungefähr 100 MHz und 140 MHz. Dieses Bandfilter hat vor allem die Aufgabe, Spiegelfrequenz-Signale so weit zu dämpfen, dass sie möglichst nicht mehr störend in Erscheinung treten können. Anschließend wird das verstärkte und gefilterte Empfangssignal mit einem frequenzvariablen Oszillator-Signal gemischt. Die Frequenz des spannungsgesteuerten Oszillators (VCO) lässt sich im Bereich 63...91 MHz variieren. Über diesen Oszillator wird die Empfangsfrequenz abgestimmt. Die Differenz-Frequenz zwischen dem Empfangssignal und dem Oszillator-Signal ist die erste Zwischenfrequenz (1. ZF). Da sie konstant 45 MHz beträgt, genügt ein nicht abstimmbares Bandfilter, um das entstandene Signal von unerwünschten Nebenpro-

Wichtiger Hinweis

Bei der hier vorgestellten Schaltung handelt es sich um einen Empfänger, mit dem aufgrund des Frequenzbereichs keine Rundfunksendungen empfangen werden können. Damit ist der legale Besitz und Betrieb dieses Empfängers in Deutschland einem Personenkreis vorbehalten, der auch im Besitz einer gültigen Zulassung zur Teilnahme am Amateurfunkdienst ist (was im Prinzip eine Amateurfunklizenz voraussetzt). Aber auch diesem Personenkreis ist das Abhören des Flugfunks nicht erlaubt, da es sich um einen Funkdienst handelt, der sich nicht an die Allgemeinheit wendet und der deshalb aus Gründen des Fernmeldegeheimnisses und der Vorgabe des Grundgesetzes durch eine Vorschrift (§ 86 Telekommunikationsgesetz) geschützt wird. Auch das Strafgesetzbuch stellt mit § 201 den Bruch des im Grundgesetz garantierten Schutzes des nicht öffentlich gesprochenen Wortes unter Strafe.

Voraussetzung für die Teilnahme am Flugfunkdienst ist in Deutschland ein dafür gültiges Sprechfunkzeugnis (BZF I, BZF II oder AZF). Aber auch dann darf der Flugfunk nur im Rahmen einer entsprechenden fliegerischen Betätigung und nur mit einem dafür zugelassenen Gerät empfangen werden. Im Ausland gelten natürlich die dortigen Gesetze, Richtlinien und Bestimmungen.



* siehe Text

Bild 2. Der Einsatz der integrierten Empfänger-Schaltung TCA440 (IC2) vereinfacht die Schaltung nicht unwesentlich.

dukten zu befreien. Das 1. ZF-Signal wird verstärkt und danach im zweiten Mischer mit einem Oszillator-Signal gemischt, dessen Frequenz konstant 44,545 MHz beträgt. Das Mischprodukt mit der Differenz-Frequenz 455 kHz (2. ZF) wird ausgefiltert und anschließend weiter verstärkt. Die Empfänger-Trennschärfe hängt fast ausschließlich von der Bandbreite des verwendeten 455-kHz-Filters ab. Das zweite ZF-Signal gelangt über einen weiteren Verstärker zum Demodulator und von dort über einen Tiefpass zur Audio-(NF-)Endstufe.

Vom Ausgang des Demodulators führt ein Signalweg über einen Tiefpass und eine Puffer-Stufe zurück zu den Verstärkern vor und hinter dem zweiten Mischer. Dieser Signalweg gehört zur automatischen Verstärkungsregelung, abgekürzt AGC (automatic gain control). Die AGC setzt beim Empfang starker Signale die Verstärkung herab, sodass die Lautstärke nahezu unabhängig von der Feldstärke ist, mit der die einzelnen Stationen empfangen werden. Das von durchbrochenen Linien gebildete Rechteck in Bild 1 soll andeuten, dass sich der zweite Mischer, der 44,545-MHz-Oszillator und die beiden einstellbaren Verstärker sowie die Puffer-Stufe für die Verstärkungsregelung in einem einzigen IC befinden. Der Schaltungsaufbau wird dadurch stark vereinfacht. Die Audio-Endstufe besteht ebenfalls aus nur einem einzigen IC, und an den Lautsprecher werden keine besonderen Anforderungen gestellt.

Schaltung

Die Schaltung des Flugfunk-Empfängers ist vollständig in **Bild 2** wiedergegeben. Auf der linken Seite oben ist unschwer die Antenne zu erkennen. Fest-Induktivität L1 bildet den Eingangskreis, und Saugkreis L8, C43 und C44 leitet bereits einen großen Teil der unerwünschten Signal-Komponenten nach Masse ab. Die Funktion des Eingangsverstärkers übernimmt T1, ein HF-Transistor vom Typ BFR91. Dieser Transistor bietet im VHF-Bereich eine hohe Verstärkung bei gleichzeitig geringem Rauschen. Der 100...140-MHz-Bandpass ist durch ein dreipoliges Butterworth-Filter realisiert, bestehend

aus den Induktivitäten L2...L4 und den Kondensatoren C5...C7. Zusammen mit dem Eingangsfiler wird eine Dämpfung der Spiegelfrequenz-Signale von mehr als 50 dB erreicht. Als erster Mischer arbeitet der bekannte integrierte Doppelbalance-Mischer NE612 (IC1). Dem Mischer-IC wird an Pin 6 über C12 das Signal des frequenzvariablen Oszillators zugeführt. Der Oszillator ist mit T3 aufgebaut; auch hier findet ein BFR91 Verwendung. Schaltungstechnisch handelt es sich um einen modifizierten Colpitts-Oszillator, wie man ihn in dieser oder ähnlicher Form in der HF-Technik häufiger antrifft. Dieser Oszillator-Typ zeichnet sich vor allem durch eine hohe Frequenz-Stabilität aus. Die Oszillator-Frequenz wird über die beiden Kapazitäts-Dioden D3 und D4 gesteuert. Die Kapazitäten dieser Dioden hängen von der Spannung ab, die am Verbindungspunkt der Kathoden liegt. Mit P2 (Grob-Einstellung) und P3 (Fein-Einstellung) lässt sich die Steuer-Spannung im Bereich von etwa 0,5 V bis 6 V einstellen. Diese Potis sind die Bedienelemente zum Einstellen der Empfangsfrequenz. Z-Diode D8 sorgt für zusätzliche Stabilität der Abstimm-Spannung, um die Drift der abgestimmten Empfangsfrequenz möglichst gering zu halten.

Die Spannung für die Kapazitäts-Dioden kann über Anschluss V_T von außen zugeführt werden, sodass die Möglichkeit besteht, die Empfangsfrequenz zum Beispiel über eine externe PLL-Frequenz-Synthese-Schaltung zu steuern. Für die digitale Anzeige der Empfangsfrequenz wird das VCO-Ausgangssignal benötigt. Dieses Signal gelangt über Puffer T4 nach außen. Ein Frequenzzähler, der die nötigen Eigenschaften besitzt, kann hier direkt angeschlossen werden. Wenn man auf die Option der digitalen Frequenz-Anzeige verzichtet, können T4, C39, R22 und R23 entfallen.

Filter FL1 hinter dem Ausgang des ersten Mixers ist ein keramisches 45-MHz-Filter mit einer Bandbreite von 15 kHz. Auf das Filter folgt der Schaltungsteil, der sich im Blockschema (Bild 1) innerhalb des von durchbrochenen Linien gebildeten Rechtecks befindet. Sämtliche Funk-

tionen (Eingangsverstärker, Mischer, Oszillator, ZF-Verstärker und AGC) befinden sich im TCA440 (IC2), einer fast vollständigen integrierten Empfänger-Schaltung. Allerdings sind noch diverse externe Bauelemente nötig, damit der TCA440 seine Aufgabe erfüllen kann. Die wichtigsten Komponenten sind der 44,545-MHz-Quarz (X1), der LC-Kreis L5, C17 des internen Oszillators und der aus dem HF-Übertrager Tr1 und dem keramischen Filter FL2 bestehende 455-kHz-Bandpass. Induktivität L6 bildet den Ausgangskreis des TCA440.

Es folgen noch ein einfacher Dioden-Gleichrichter (D2) für die Demodulation des amplitudenmodulierten Signals, ein Tiefpass (R10, R11, C25 und C26) sowie schließlich ein integrierter Audio-Verstärker vom Typ LM386 (IC3).

Stromversorgung

Die Flugfunk-Empfänger-Schaltung wurde für die Betriebsspannung 9 V konzipiert. Die 9-V-Spannung wird dem Audio-Endverstärker-IC (IC3) unstabilisiert zugeführt, während Spannungsregler IC4 für die übrige Schaltung eine stabilisierte Spannung von 6,45 V zur Verfügung stellt. Die Spannung am "Error"-Ausgang von IC4 geht auf "Low", wenn die Eingangsspannung unter den für die Stabilisierung erforderlichen Mindestwert sinkt. Das Error-Signal wird hier dazu verwendet, über T2 eine "Low Battery"-Anzeige zu steuern. Die Spannungsdifferenz zwischen dem Eingang und Ausgang von IC4 beträgt nur ca. 0,1 V, so dass LED D5 erst aufleuchtet, wenn die Batterie tatsächlich nicht mehr brauchbar ist.

Die Stromaufnahme der gesamten Schaltung beträgt bei Lautsprecher-Wiedergabe ungefähr 60 mA, beim Anschluss eines 32-Ω-Kopfhörers (beide Kapseln parallel geschaltet) sinkt sie auf ca. 35 mA. Dies bedeutet, dass eine 9-V-Alkaline-Blockbatterie für etwa 5 Stunden Lautsprecher-Empfang oder knapp 10 Stunden Empfang mit dem Kopfhörer ausreicht. Wenn man lieber wiederaufladbare Akkus verwenden möchte, kann man acht 1,2-V-Mignon-NiCd-Akkus in Reihe schalten. Um die Akkus aufzuladen, schließt man ein externes 12-V-Steckernetzteill an Steckverbinder K1 an. Widerstand R24 begrenzt den Ladestrom, und LED D7 arbeitet als Lade-Indikator. Bei dem für R24 angegebenen Wert 47 Ω hat der Ladestrom einen niedrigen Wert von ca. 50 mA, der bei NiCd- oder NiMH-Akkus auch bei Dauerladung unbedenklich erscheint. Das Steckernetzteill kann bei diesem Strom daher auch ständig angeschlossen bleiben. Wenn die Flugfunk-Empfänger-Schaltung ausschließlich an nicht wiederaufladbaren Batterien betrieben wird, können R24, D6, R25, D7 und K1 entfallen.

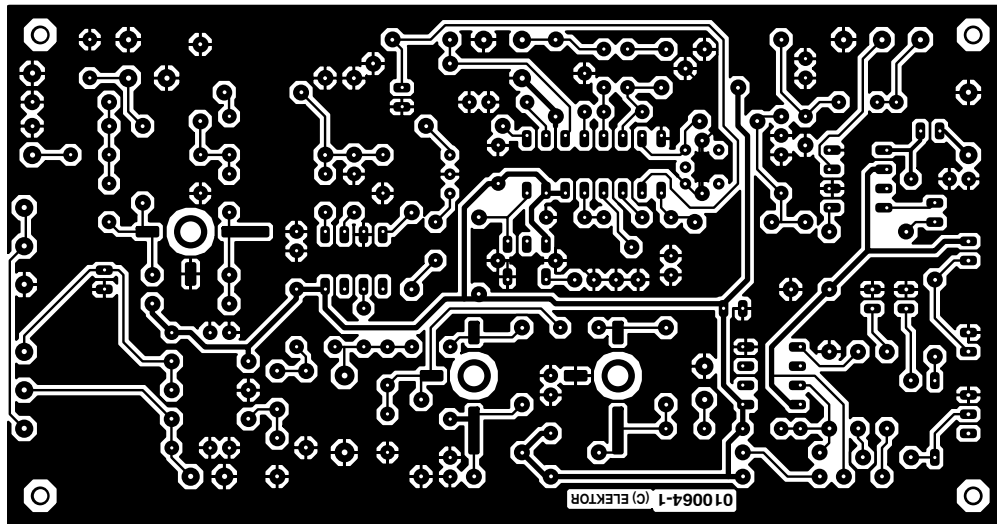
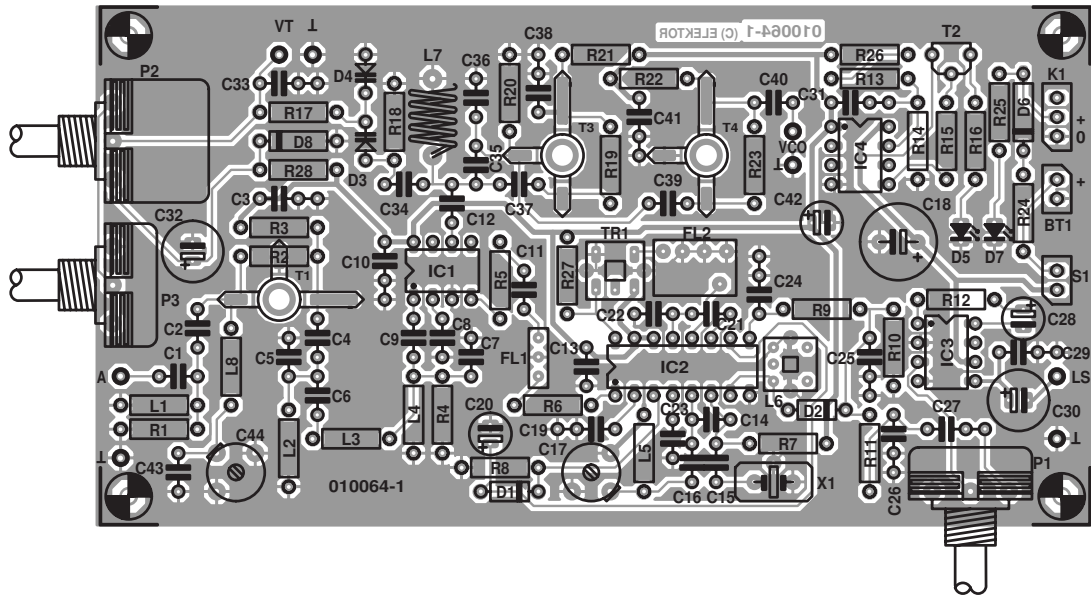
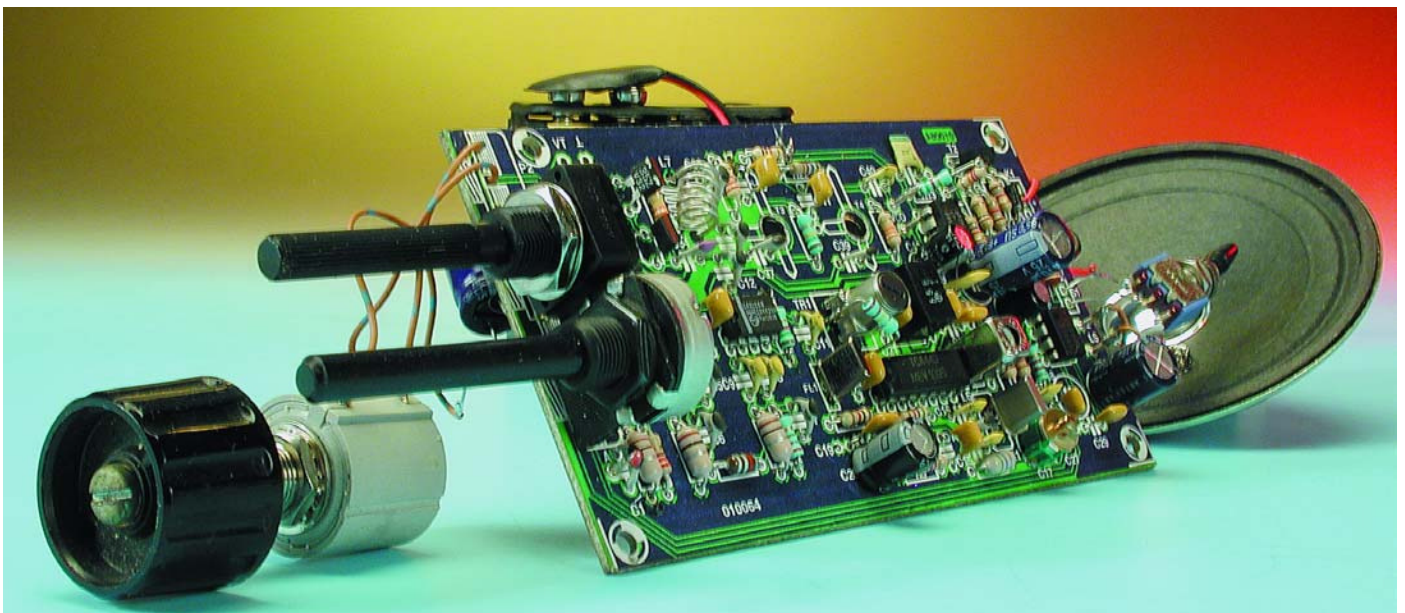


Bild 3. Platinen-Layout und Bestückungsplan für die Flugfunk-Empfänger-Schaltung in Bild 2.



Abstimmung und Selektivität

Wie schon beschrieben hängt die Empfänger-Selektivität hauptsächlich von den Eigenschaften des keramischen Bandfilters FL2 ab. Wahlweise verwendbar sind hier Filter mit der Bandbreite 6 kHz (SFR455H oder CFW455H) oder 15 kHz

(SFR455E oder CFW455E). Die höchste Selektivität, gleich bedeutend mit der niedrigen Bandbreite 6 kHz, ist hier jedoch nicht unbedingt die beste Lösung. Die Hand-Abstimmung wird durch die niedrige Empfänger-Bandbreite von 6 kHz deutlich erschwert. Die Gefahr, dass man mit Mehrgang-Poti P2 über schwach einfallende Stationen unabsichtlich hin-

wegdreht, ist wesentlich größer als bei 15 kHz Bandbreite. Mit P3, dem Poti für die Fein-Abstimmung, kann eine Station nur gefunden werden, wenn sie zuvor mit P2 grob eingestellt wurde.

Da der Kanal-Abstand im Flugfunk-Band international derzeit 25 kHz beträgt, reicht eine Bandbreite von 15 kHz im Prinzip völlig aus. Nur wenn für die Abstimmung eine externe Frequenz-Synthese-Schaltung verwendet wird, kann ein schmalbandiges Filter sinnvoller sein; das Rauschen wird nämlich durch die niedrigere Bandbreite reduziert. Die geringere Bandbreite empfiehlt sich natürlich auch in Hinblick auf die Umstellung auf einen Kanal-Abstand von 8,25 kHz, die in Europa bei Frequenzen der Flugverkehrskontrolle für den oberen Luftraum bereits begonnen hat.

Manchmal ist es störend, dass die Empfangsfrequenz nach dem Einschalten geringfügig wegdriftet. Diese Erscheinung lässt sich praktisch vollständig aus der Welt schaffen, indem man den Empfänger nach dem Einschalten etwa fünf Minuten lang warm laufen lässt.

Stückliste

Widerstände:

R1 = 220 Ω
R2 = 68 k
R3 = 330 Ω
R4 = 470 Ω
R5,R16,R25 = 1k8
R6,R21 = 1 k
R7,R14 = 5k6
R8 = 8k2
R9 = 39k
R10 = 12 k
R11 = 47 k
R12 = 1k2
R13 = 22 k
R15 = 100 k
R17,R18 = 330 k
R19 = 150 k
R20 = 2k2
R22 = 560 Ω
R23 = 33 k
R24 = 47 Ω (1 W)
R26 = 1k5
R27 = entfällt
R28 = 100 Ω
P1 = 50 k log.
P2 = 20 k (Mehrgang)
P3 = 100 W lin.

Kondensatoren:

C1,C2 = 22 p
C3,C10,C13,C19,C21...C24,C27,
C29,C38,C41 = 100 n
C4,C8,C9,C11,C15,C16,C33,
C40 = 1n
C5 = 18 p
C6 = 2p2
C7,C43 = 15 p
C12 = 8p2
C14 = 4p7
C17,C44 = 22-p-Trimmkondensator
C18 = 470 μ/16 V stehend
C20 = 22 μ/16 V stehend
C25 = 3n3
C26 = 1n8
C28,C42 = 10 μ/16 V stehend
C30, C32 = 220 μ/16 V stehend
C31 = 22 n
C34 = 68 p
C35...C37 = 33 p
C39 = 5p6

Halbleiter:

D1,D2 = BAT85
D3,D4 = KVI235
D5 = LED rot, high efficiency
D6 = 1N4001
D7 = LED grün, high efficiency
D8 = Z-Diode 6V2/400 mW
IC1 = SA612AN oder NE612
IC2 = TCA440
IC3 = LM386
IC4 = LP2951CN
T1,T3,T4 = BFR91A
T2 = BC557

Außerdem:

BT1 = 9-V-Batterie oder
8 x NiCd/NiMH 1,2 V
FL1 = 45M15AU
FL2 = SFR455H oder -E
(CFW455H oder -E)
K1 = Netzteilbuchse für
Platinenmontage
L1,L2,L4,L8 = 100 nH
L3 = 820 nH
L5 = 560 nH
L6 = LMC4101
L7 = Luftspule, 5 Windungen mit
1 mm versilbertem Kupferdraht,
5 mm Wickeldorndurchmesser
(siehe Text)
S1 = 1-poliger Schalter, Schließer
TRI = 7MCS4718N, Toko
X1 = 44,545-MHz-Quarz
(Gehäuse geerdet)
LS1 = Lautsprecher 8 Ω/1W
Platine EPS 010064-1 (siehe Service-
Seiten in der Heftmitte und
www.elektor.de)
Gehäuse, z.B.
BIM 150 mm × 80 mm × 50 mm

Spezielle Bauteile und komplette Bauteilsätze sind bei Geist Electronic-Versand (www.geist-electronic.de) erhältlich. Bei Bedarf ist auch der Autor bei der Bauteilbeschaffung behilflich (Barend Hendriksen, Tel. 0031-575-561866, E-Mail: barendh@xs4all.nl).

Bauarbeiten

In Bild 3 ist das Platinen-Layout für die Schaltung in Bild 2 mit dem zugehörigen Bestückungsplan dargestellt. Obwohl die Anzahl der Bauelemente vergleichsweise groß ist, gestaltet sich der Aufbau recht einfach. Selbstverständlich muss bei der Bestückung auf die richtige Lage aller gepolten und lage-abhängigen Bauelemente geachtet werden. Das betrifft nicht nur die Dioden, Transistoren und Elkos, sondern natürlich auch die ICs. Die Kapazitäts-Dioden D3 und D4 bedürfen besonderer Aufmerksamkeit, da bei ihnen eine deutliche Kennzeichnung fehlt. Wenn man eine derartige Diode so positioniert, dass der Typen-Aufdruck lesbar ist und die Anschluss-Drähte nach unten zeigen, ist der linke Anschluss-Draht der Anoden-Anschluss; der rechte Anschluss-Draht muss folglich der Kathoden-Anschluss sein. Auf der Platine sind D3 und D4 gegeneinander gedreht angeordnet, dies muss unbedingt beachtet werden!

Zweckmäßiger Weise werden auf der Platine zuerst die niedrigen und dann die hohen Bauelemente montiert (Widerstände, kleinere Kondensatoren, Elkos usw.). IC3 und IC4 kann man in Fassungen einsetzen, IC1 und IC2 müssen dagegen ohne Fassungen auf die Platine gelötet werden. Die HF-Transistoren T1, T2 und (falls der VCO-Ausgang vorhanden sein soll) auch T4 werden auf der Platinen-Unterseite montiert; die Anschluss-Fahnen müssen direkt mit den Platinen-Bahnen

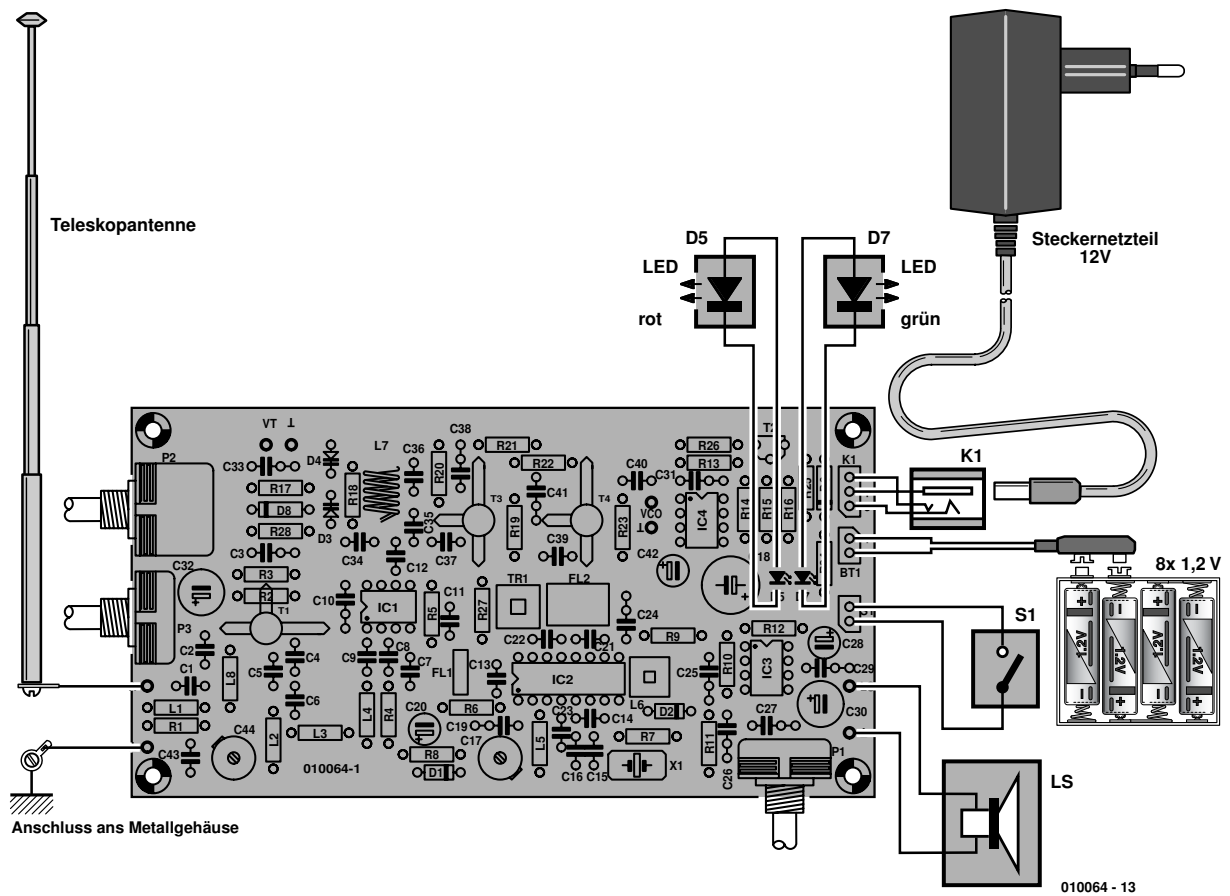


Bild 4. Der Verdrahtungsplan zeigt, wie die verschiedenen externen Komponenten mit der Platine verbunden werden.

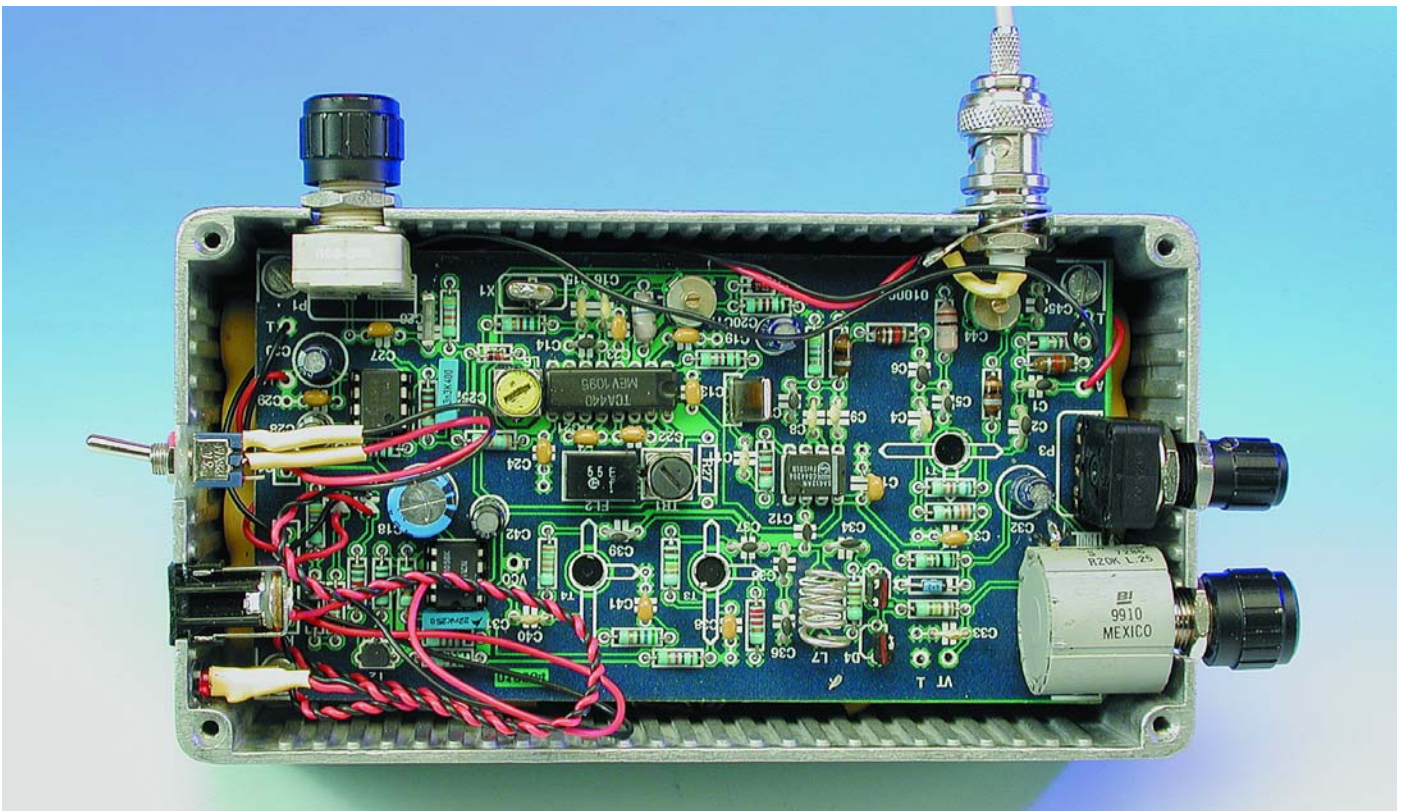


Bild 5. Blick in das Innere des Muster-Aufbaus. Das verwendete Metall-Gehäuse passt wie maßgeschneidert.

verlötet werden. Diese Transistoren passen nur in einer einzigen Lage auf die Platine. Für die Aufnahme ihrer pillenförmigen Gehäuse sind auf der Platine passende Bohrungen vorgesehen.

Die Spulen L1...L5 sowie L8 sind handelsübliche Fest-Induktivitäten; sie sehen nicht nur ähnlich wie Widerstände aus, auch der Wert ist als Farb-Code aufgedruckt. ZF-Übertrager Tr1 und Induktivität L6 sind ebenfalls gebrauchsfertig im Handel erhältlich. Sie befinden sich in einem kleinen Metall-Gehäuse und passen nur in einer einzigen Position auf die Platine. Übrig bleibt die selbst zu wickelnde Luft-Spule L7. Die Anfertigung ist kein Problem, denn diese Spule besteht aus fünf Windungen mit versilbertem Kupferdraht, Draht-

Durchmesser 1 mm. Der Innendurchmesser der Spule muss 5 mm betragen. Als Wickelkörper kann zum Beispiel der Schaft eines 5-mm-Spiralbohrers dienen. Nach dem Wickeln wird die Spule so auseinander gezogen, dass der Abstand von Windung zu Windung gut 1 mm beträgt und die Spule eine Gesamtlänge von etwa 12 mm hat.

Noch einige weitere Anmerkungen zum Schaltungsaufbau: Widerstand R24, der bei Akku-Betrieb den Akkuladestrom begrenzt, muss ein 1-W-Typ sein. R27 kann entfallen, er ist bei genauerer Betrachtung überflüssig. Die Anzeige-LEDs D5 und D7 müssen so montiert werden, dass sie nach dem Einbau der Platine in ein Gehäuse sichtbar sind. An das Metall-Gehäuse von Quarz X1 wird

ein blanker Draht angelötet, er wird auf dem kürzesten Weg mit Masse verbunden.

Die Potentiometer P1, P2 und P3 passen unmittelbar auf die Platine, abhängig vom verwendeten Gehäuse können sie aber auch an anderer Stelle montiert werden. Für die Verbindungen von P2 und P3 mit der Platine genügt gewöhnliche Schalt-Litze, Lautstärke-Poti P1 muss dagegen über abgeschirmtes Kabel angeschlossen werden.

Nach Abschluss der Montage-Arbeiten und der obligatorischen Sicht-Kontrolle kann die Schaltung in Betrieb genommen werden. Es empfiehlt sich, zuerst die im Schaltbild (Bild 2) an den Testpunkten angegebenen Spannungswerte zu überprüfen. Wenn keine größeren Abweichungen festgestellt werden, dürfte der Schaltungsaufbau erfolgreich verlaufen sein. Zu Vervollständigung zeigt **Bild 4** einen Verdrahtungsplan mit allen notwendigen Verbindungen.

Spiegelfrequenz-Signale

In diesem Beitrag taucht der Begriff "Spiegelfrequenz-Signal" mehrfach auf. Dieser Begriff soll nachfolgend kurz erläutert werden.

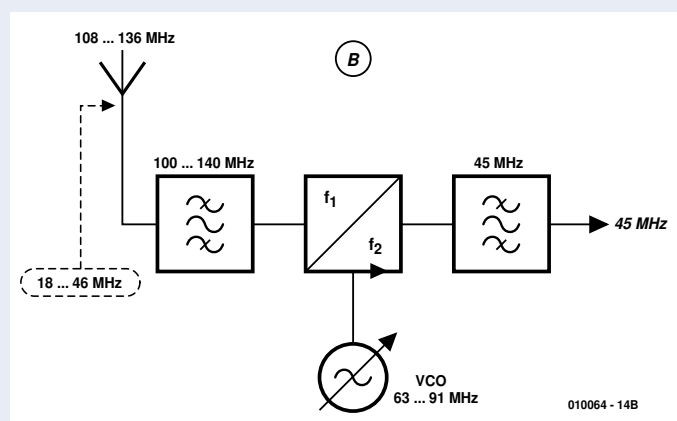
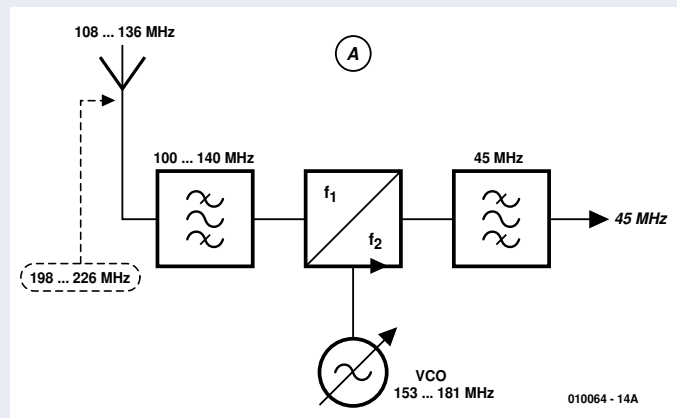
Im übertragenen Sinn handelt es sich bei diesen Signalen um ungebetene Gäste, die sich mit vorgetäuschter Legitimation durch die Hintertür einschleichen. Die Spiegelfrequenz-Signale sind der Preis, mit dem die Überlegenheit des Superheterodyn-Verfahrens erkaufte werden muss.

Ein "Super", auch "Überlagerungs-Empfänger" genannt, arbeitet im Prinzip wie folgt:

Das von der Antenne kommende Signal wird mit dem Signal eines frequenzvariablen Oszillators gemischt. Dabei entsteht ein Signal, dessen Frequenz die Differenz der Frequenzen ist, die das Antennen-Signal und das Oszillator-Signal haben. Da die Oszillator-Frequenz variiert wird, bleibt die Differenz-Frequenz, die so genannte Zwischenfrequenz, im gesamten Empfangsbereich konstant.

In **Bild A** wird das im Bereich 108...137 MHz liegende Empfangssignal mit einem Oszillator-Signal gemischt, dessen Frequenz im Bereich 153...182 MHz variabel ist. Die Differenz-Frequenz beträgt konstant 45 MHz; auf diese Frequenz sind die nachfolgenden Stufen fest abgestimmt. Der Haken an der Sache ist jedoch, dass auch Empfangssignale im Bereich 198...227 MHz die Differenz-Frequenz 45 MHz ergeben. Dem Mischer ist deshalb ein 100...140-MHz-Bandfilter vorgeschaltet, das die im "gespiegelten" Frequenzbereich liegenden Empfangssignale so weit wie möglich unterdrückt. Da der Spiegelfrequenz-Bereich um weniger als eine Oktave höher liegt als der genutzte Empfangsbereich, werden an die Steilheit des Bandfilters erhebliche Anforderungen gestellt. Man könnte auch ein Filter konstruieren, das schmalbandig und durchstimmbar ist, der Gleichlauf mit dem Oszillator-Signal würde jedoch einen hohen konstruktiven Aufwand erfordern.

Es gibt jedoch noch eine andere Möglichkeit, die Spiegelsignal-Unterdrückung zu verbessern. Statt der "Aufwärts-Mischung" wird die "Abwärts-Mischung" angewendet; davon macht auch der Flugfunk-Empfänger Gebrauch. Die variable Oszillator-Frequenz wird in einen Bereich verlegt, der um 45 MHz unter dem genutzten Empfangsbereich liegt: 108...137 MHz minus 63...92 MHz ergeben ebenfalls eine konstante Differenz-Frequenz von 45 MHz. Wie aus **Bild B** hervorgeht, ist in diesem Fall der Bereich 18...46 MHz der gespiegelte Bereich. Dieser Bereich liegt im Mittel mehr als zwei Oktaven unter dem Empfangsbereich, sodass Spiegelfrequenz-Signale bei gleicher Filter-Konstruktion wesentlich besser gedämpft werden.



Gehäuse-Einbau und Einstellungen

Da sich die Abmessungen in Grenzen halten, kann die Platine zusammen mit dem Lautsprecher und den Batterien bzw. Akkus in ein handliches Gehäuse eingebaut werden. Metall-Gehäusen ist gegenüber Gehäusen aus Kunststoff der Vorzug zu geben. Die abschirmende Wirkung eines Metall-Gehäuses verhindert, dass die Oszillator-Frequenz äußeren Einflüssen (Hand-Kapazität) unterliegt. Beim Muster-Aufbau wurde die Platine in das in der Stückliste angegebene Spritzguss-Gehäuse des Typs BIM5005 eingebaut. Die Platine passt in dieses Gehäuse zwar optimal hinein, für den Lautsprecher und die acht Mignon-Akkus ist der verbleibende Platz jedoch recht knapp bemessen. Einen Eindruck vom Muster-Aufbau vermittelt **Bild 5**. Als Antenne ist eine ca. 60 cm lange Teleskop-Stab-Ausführung am besten geeignet (wahlweise mit oder ohne BMC-Stecker), ersatzweise genügt auch ein Stück Draht der gleichen Länge. Die Flugfunk-Empfänger-Schaltung weist insgesamt vier Bauelemente auf, die eingestellt werden müssen. Die Spulen-Kerne von Tr1

und L6 sind ebenso wie Trimmer C17 so einzustellen, dass das Rauschen aus dem Lautsprecher maximale Stärke erreicht. Trimmer C44 wird zuerst in Mittelstellung gebracht; er kann später so eingestellt werden, dass eventuell störende starke UKW-Rundfunk-Sender so weit wie möglich gedämpft werden.

Wenn L7 wie angegeben gewickelt wurde, muss die Oszillator-Frequenz mit P2 im Bereich 63..91 MHz durchstimmbare sein. Falls man über einen geeigneten Frequenz-Zähler verfügt, kann man dies kontrollieren, indem man ihn an den VCO-Ausgang anschließt. Eventuell notwendige Korrekturen können durch Auseinanderziehen oder Zusammendrücken von L7 vorgenommen werden.

Empfang

Die Empfindlichkeit des Flugfunk-Empfängers beträgt ungefähr $0,5 \mu V$ bei einem Signal-Rausch-Verhältnis von 12 dB. Das reicht aus, um mit einer ca. 60 cm langen Teleskop-Stab-

oder Wurfantenne Flugfunk-Verkehr auch dann zu empfangen, wenn der nächste Flughafen nicht unmittelbar vor der Haustür liegt. In etwa 25 km Entfernung von einem größeren Flughafen konnten problemlos Approach-, Departure- und Tower-Informationen aufgenommen werden, und auch die Sendungen von schwächeren Flugfunk-Stationen waren hörbar.

Die Frequenzen der einzelnen Dienste sind von einem Flughafen zum anderen unterschiedlich, und auch die Militärflugplätze und die kleineren Zivilflugplätze haben ihre eigenen Frequenzen. Darüber hinaus gibt es festgelegte Frequenzen für den Bord-zu-Bord-Sprechfunk und für Ausbildungszwecke sowie spezielle Frequenzen für Segelflieger und Ballonfahrer beziehungsweise Verfolger. Hier sei auf die Spezialliteratur über den Flugfunk und Funkfrequenzen verwiesen oder auf die zahlreichen Websites, die Sie leicht finden, wenn Sie bei www.google.de nach Flugfunk+Frequenzen suchen.

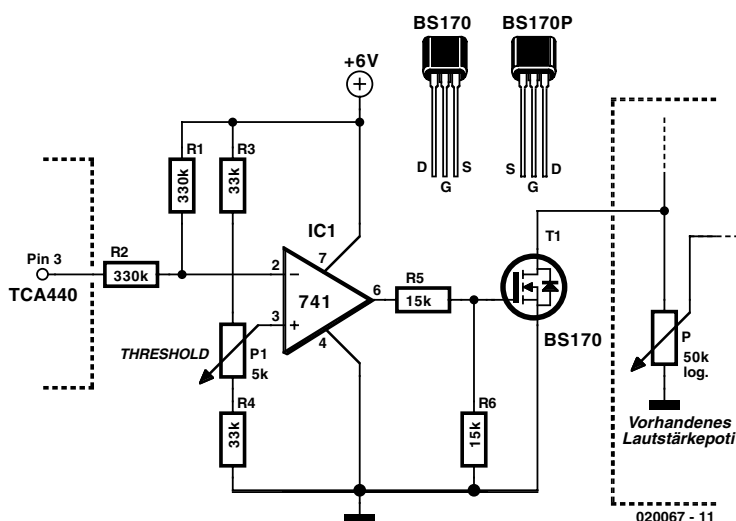
(010064)gd

Squelch-Zusatz

für Flugfunkempfänger

Entwurf von G. Baars

Wie schon in der letzten Ausgabe bei der Beschreibung des Flugfunkempfängers angekündigt, folgt hier eine Anleitung für die Erweiterung mit einer Rauschsperrschaltung.



Empfang ohne Rauschen ist nun einmal physikalisch unmöglich. Besonders ausgeprägt und damit störend ist es bei empfindlichen Empfängern mit Verstärkungsregelung in der Betriebsart "Telefonie" (umgangssprachlich als Sprechfunk bezeichnet). Beim Gegensprechen auf der gleichen Frequenz gibt es nämlich in Sprechpausen kein Sendersignal, so dass der Empfänger die Verstärkung hochfährt und regelrecht „aufrauscht“. Ohne Rauschsperrschaltung, die das erkennt und den NF-Ausgang stummschaltet, ist der Empfang ein sehr verrauschtes Vergnügen und auf die Dauer eigentlich unerträglich.

So funktioniert's

Wie die deutsche Bezeichnung "Rauschsperrschaltung" schon sagt, wird das NF-Signal gesperrt, wenn es überwiegend aus Rauschen besteht. Das

kann man rein NF-mäßig erreichen, indem man das NF-Signal filtert, gleichrichtet und einem Schwellwertschalter (einstellbaren Komparator) zuführt. Da im Rauschsignal im Vergleich zum Sprachsignal die höherfrequenten Anteile stärker vertreten sind, wird das Filter in der Regel ein Hochpass sein, um den Squelch in Abhängigkeit von der Amplitude des Rauschsignals zu schalten.

Eine einfachere und wirksamere Methode besteht darin, anhand der eingangs erwähnten Verstärkungsregelung des Empfängers das „Aufrauschen“ zu detektieren und die Rauschsperrschaltung zu schalten.

Diesen Weg beschreitet die hier vorgestellte Nachrüst-Schaltung, die ihre Stromversorgung von der Platine des Flugfunkempfängers bezieht. Als Steuersignal für die Rausch-

sperrschaltung dient die Regelspannung der AGC (automatic gain control = automatische Verstärkungsregelung) des Empfängers. Diese Spannung kann an Pin 3 des TCA440 im Empfänger abgegriffen werden.

Um eine einstellbare Schwelle für das Ansprechen der Rauschunterdrückung zu realisieren, wird die Spannung einem mit Opamp IC1 aufgebauten einfachen Komparator zugeführt. Der Ausgang dieses Komparators bleibt High (positiv), so lange die AGC-Spannung höher ist als die mit dem Potentiometer P1 eingestellte Schwellenspannung. Der Feldeffekt-Transistor T1 leitet dann und schließt das NF-Signal praktisch nach Masse kurz, so dass der Lautsprecher verstummt.

Sobald ein ausreichend starkes Sendersignal einfällt, regelt die AGC die Verstärkung des Empfängers herunter, die AGC-Spannung sinkt dann proportional zur Stärke des empfangenen Signals ab. Unterschreitet die Spannung den mit dem Squelch-Poti eingestellten Schwellwert, geht der Ausgang des 741 auf Low, der FET sperrt, und das vom Demodulator des Empfängers gelieferte NF-Signal wird im Lautsprecher hörbar.

Die Betriebsspannung von rund + 6 V für die Squelch-Schaltung kann sehr einfach auf der Empfängerplatine hinter dem Spannungsregler IC4 abgegriffen werden, sie liegt zum Beispiel an den Entkoppelkondensatoren C3, C10, C13 und C41. Die + 6-V-Leiterbahn ist leicht zu finden, und Masse-Anschlußpunkte gibt es auch genug - an allen mit der Massefläche verbundenen Lötunkten...

Für die NF-Verbindung zwischen dem Drain-Anschluss des FETs BS170 und dem „oberen“ Anschluss des Lautstärkepotis sollte man ein abgeschirmtes Kabel verwenden.

(020067-1e)