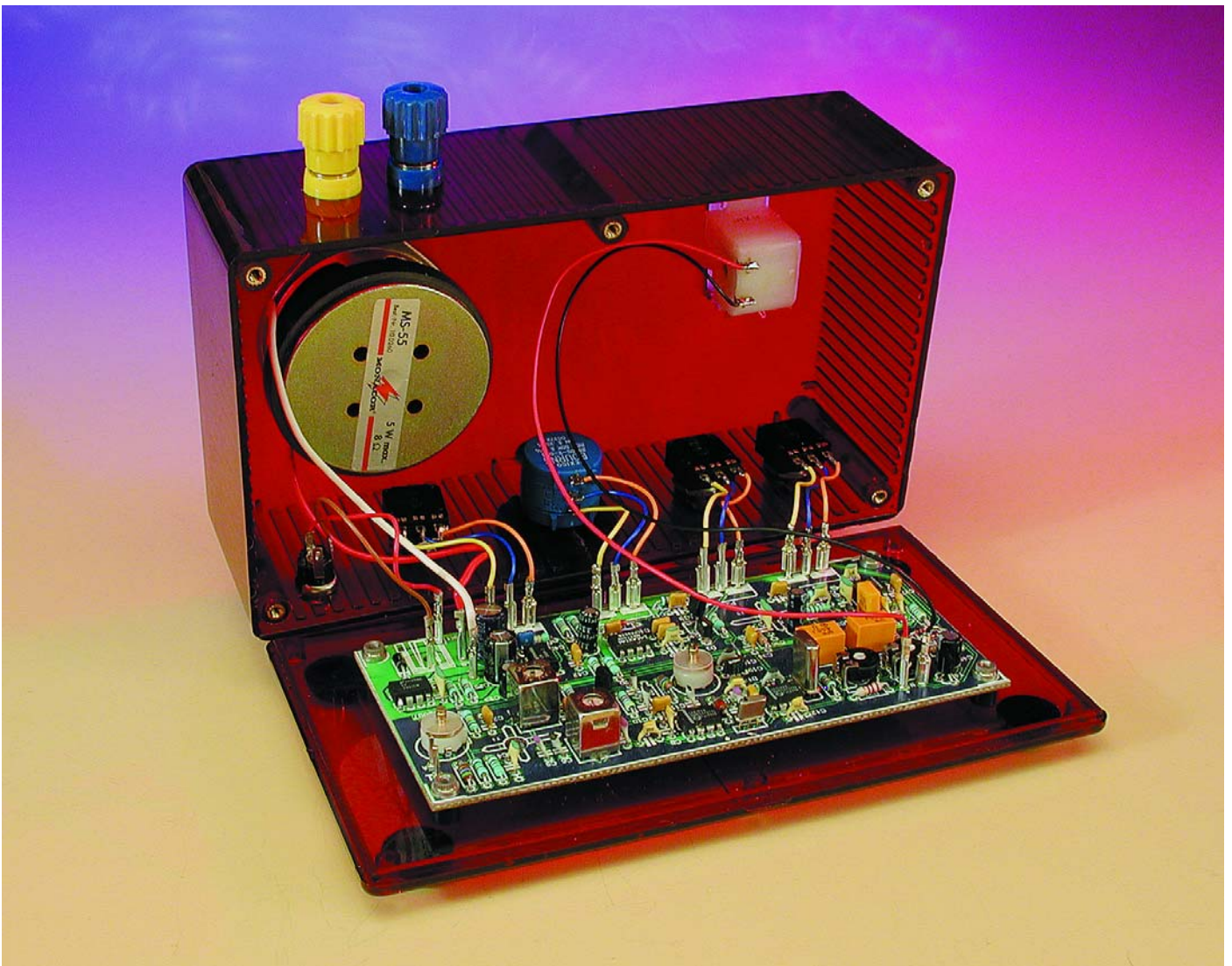


20-Meter-Empfänger

Dreifach-Super mit Direktkonversion

Von Gert Baars (g_baars@hotmail.com)

Dieser SSB/CW-Empfänger für das populäre 20-Meter-Amateurband weist einige interessante Eigenschaften auf. Er ist als Dreifachsuper mit variabler ZF-Bandbreite und einfachem Abgleich ausgelegt. Ein überlegtes Platinenlayout erleichtert den Nachbau.



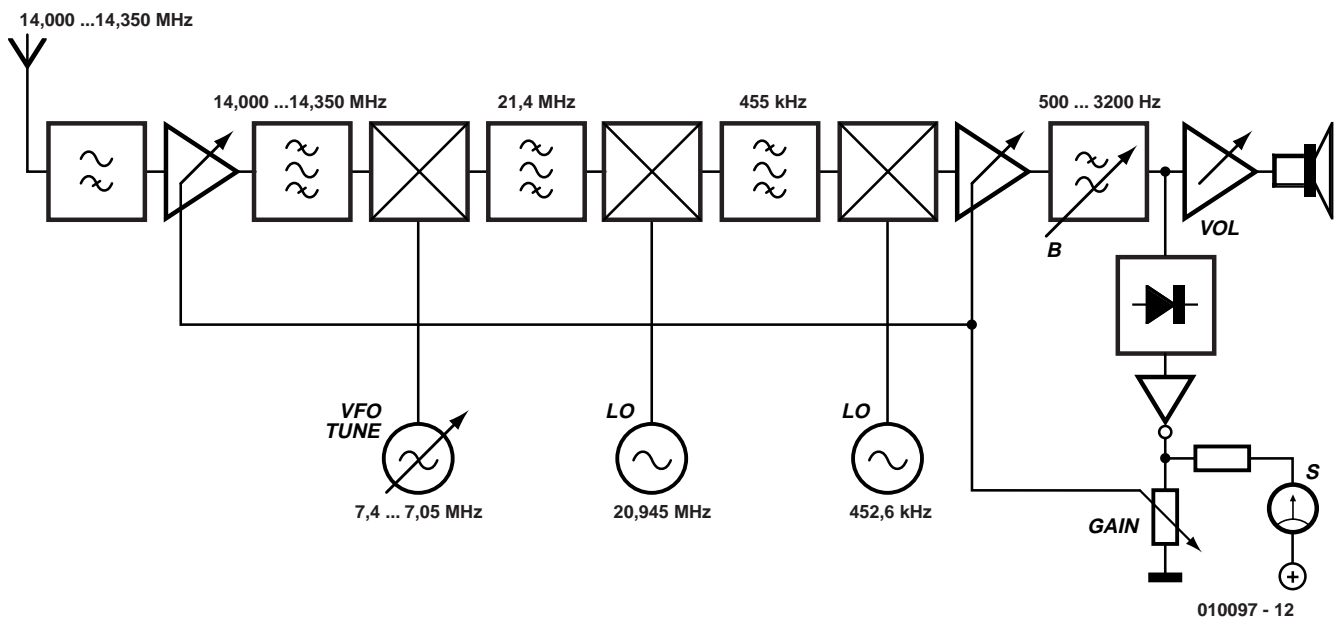


Bild 1. Das Blockschaltbild des Empfängers. Drei Oszillatoren und drei Mischer deuten darauf hin, dass es sich um einen Dreifach-Superhet-Empfänger handelt.

Bei den Überlegungen für einen gut reproduzierbaren 20-m-SSB-Empfänger standen neben guten Empfangseigenschaften auch Bauteilerhältlichkeit und Kosten im Vordergrund. Ein SSB-Filter für 50 kam daher von vorneherein nicht in Frage. Außerdem sollte der Empfänger auch ohne Oszilloskop und Frequenzzähler abzugleichen sein. Der hier beschriebene Entwurf erfüllt diese Forderungen und verfügt über ein gutes Preis/Leistungs-Verhältnis. Die wichtigsten Daten in Kürze:

- Empfangsbereich 14...14,350 MHz (20-m-Band)
- Geeignet für SSB, CW, RTTY, Fax und SSTV
- 3-fach-Superhet
- Empfindlichkeit ca. 0,5 μ V
- Bandbreite einstellbar zwischen 0,1...2,8 kHz
- Verstärkungsregelumfang 45 dB
- Spiegelfrequenzunterdrückung >65 dB
- Nf-Leistung max. 0,5 W an 8 Ω
- Aufgenommene Leistung max. 1,5 W

Auch an die Antenne werden keine besonderen Anforderungen gestellt. Da eine Spannungsregelung auf der Platine bereits vorhanden ist, genügt für die Stromversorgung ein einfaches, unstabiliertes Steckernetzteil.

Blockschaltbild

Anhand des Blockschaltbilds (Bild 1) ist das Konzept des Empfängers schnell erklärt:

Das Eingangssignal im Bereich von 14,000...14,350 MHz passiert zuerst ein Hochpassfilter und wird dann verstärkt. Anschließend sorgt ein Bandpassfilter für die Unterdrückung der Spiegelfrequenzen und anderer störender Komponenten. Dem anschließenden ersten Mischer wird das Signal eines VFOs zugeführt, mit dem die Abstimmung des Empfängers erfolgt.

Im Interesse der Stabilität sollte die VFO-Frequenz nicht zu hoch gewählt werden. Deshalb beträgt die erste Zwischenfrequenz (ZF) 21,4 MHz und der VFO-Bereich 7,4...7,05 MHz. Ein weiterer Vorteil der hohen Zwischenfrequenz ist der große Abstand zu den Spiegelfrequenzen, die jetzt bei 28,8...28,45 MHz liegen – und damit weit genug von der Eingangsfrequenz entfernt, um sie mit einem nicht besonders aufwendigen Eingangsfilter eliminieren zu können.

Auf den ersten Mischer folgt ein 21,4-MHz-Bandfilter, das in erster Linie die Aufgabe hat, Spiegelfrequenzen zu unterdrücken, die beim Heruntermischen auf 455 kHz im zweiten Mischer stören können.

Diese Spiegelfrequenzen liegen bei 20,945 – 0,455 = 20,490 MHz und werden vom steilflankigen Bandfilter weitgehend unterdrückt.

Wie schon erwähnt, beträgt die ZF hinter dem zweiten Mischer 455 kHz. Das Einfachste wäre es jetzt, einen 455-kHz-ZF-Verstärker mit nachfolgendem Produkt-detektor zu verwenden. Leider haben die gut und preiswert erhältlichen 455-kHz-Filter für unsere Anforderungen eine etwas zu große Bandbreite, auch wenn (wie hier geschehen) zwei davon hintereinander geschaltet werden. Aus diesem Grund wurde hier folgender Weg beschritten: Das 455-kHz-Signal wird mit einem auf fast die gleiche Frequenz abgestimmten Oszillator (LO) in einem dritten Mischer direkt auf NF heruntergemischt, so dass die Bandbreite des Empfängers durch die Bandbreite des NF-Verstärkers bestimmt wird. So kann man mit einem einstellbaren NF-Filter auf einfache Weise die Bandbreite des Empfängers der jeweiligen Betriebsart anpassen.

Das direkte Heruntermischen der ZF auf NF wird auch als 'direct conversion' bezeichnet. Der Nachteil dabei ist, dass Spiegelfrequenzen in nur 3 kHz Abstand liegen. Dieser Umstand wird meist in Kauf genommen. In unserem Fall ist aber das zwischen dem zweiten und dem dritten Mischer liegende 455-kHz-Filter schmal genug, um diese Spiegelfrequenzen zu unterdrücken. Eine weitere Verbesserung ergibt sich, wenn man die LO-Frequenz etwas tiefer als üblich legt. Die Überlegung dabei ist folgende:

Die -3-dB-Punkte des 455-kHz-Filters liegen bei 453 kHz und 456,4 kHz. Die LO-Frequenz liegt direkt unter dem Empfangssignal und die Spiegelfrequenz noch einmal um den glei-

chen Betrag tiefer. Der Trick besteht nun darin, die tiefste Frequenz des Empfangssignals mit der unteren Eckfrequenz des Bandfilters zusam-

menfallen zu lassen. Dadurch wird der Abstand zwischen der niedrigsten Durchlassfrequenz und der Spiegelfrequenz am größten und

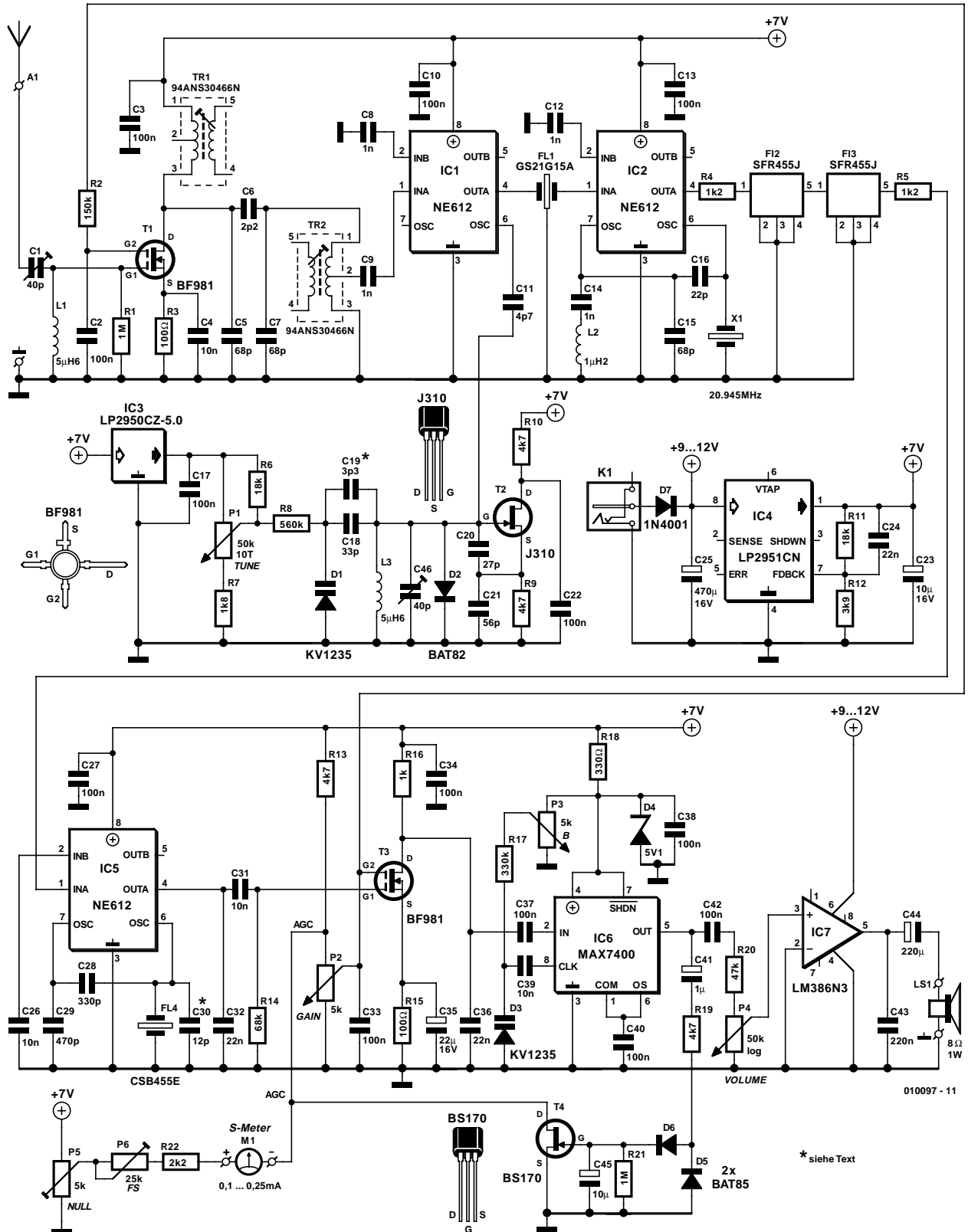


Bild 2. Die Schaltung bleibt durch eine effektive Kombination von ICs und diskreten Stufen relativ einfach.

ebenso die Unterdrückung der Spiegelfrequenz. Um das zu erreichen, muss die LO-Frequenz daher $453 \text{ kHz} - 400 \text{ Hz} = 452,6 \text{ kHz}$ betragen. Die Spiegelfrequenz hat dann einen Abstand von mindestens 800 Hz von der Bandfilter-Eckfrequenz und wird daher maximal unterdrückt.

Im Blockschaltbild folgt auf den dritten Mischer der NF-Teil des Empfängers. Auch in diesem Teil ist genauso wie am Empfängereingang ein geregelter Verstärker zu finden. Es folgt das Tiefpassfilter, das letztendlich für die Bandbreite des Empfängers bestimmend ist. Die Eckfrequenz ist zwischen 500 Hz und 3200 Hz einstellbar, so dass die Bandbreite des Empfängers nach Abzug der zuvor genannten Filter-Untergrenze von 400 Hz zwischen etwa 100 Hz und $2,8 \text{ kHz}$ eingestellt werden kann. Bei diesem Filter handelt es sich um ein sehr steilflankiges Filter 8^{er}-Ordnung, das bei einer Frequenz von $1,25 \times$ Eckfrequenz bereits über 40 dB Unterdrückung liefert. Bleiben bei der Erklärung des Blockschaltbilds nur noch die NF-Endstufe und die AGC-Regelung übrig. Letztere regelt die Verstärkerstufen am Empfänger-Eingang und am Eingang des NF-Teils, so dass die Lautstärke auch bei schwankender HF-Signalstärke relativ konstant bleibt. Die geregelte Eingangsstufe trägt natürlich auch zu einem guten Großsignalverhalten bei.

VFO-Stabilität

Für einen SSB-Empfänger ist ein stabiler VFO eine Notwendigkeit. In der Praxis hat sich gezeigt, dass der hier verwendete Colpitts-Oszillator nach ungefähr $3\frac{1}{2}$ Minuten warmgelaufen ist und danach um nicht mehr als 25 Hz pro 5 Minuten wegläuft. Das ist für SSB- und CW-Empfang ohne ständiges Nachstimmen ausreichend.

Für die Beurteilung der Frequenzstabilität des VFOs sollte man nach der Fertigstellung der Platine ein paar Stunden warten. Eine weitergehende Beurteilung ist nach einigen Betriebsstunden möglich.

Um das Erreichen der optimalen Stabilität zu beschleunigen, kann man die Platine einem künstlichen Alterungsprozess durch Temperaturwechselbäder unterziehen. Dazu

legt man die luftdicht verpackte Platine ein paar Stunden ins Gefrierfach des Kühlschranks, lässt sie dann (immer noch verpackt, um Feuchtigkeitsniederschlag zu vermeiden) wieder etwa eine Stunde auf Raumtemperatur kommen, um sie anschließend einige Zeit bei erhöhter Temperatur zum Beispiel auf einem warmen Heizkörper zu lagern. Nach wiederum einer Stunde bei Zimmertemperatur geht es wieder ins Gefrierfach. Nach drei derartigen Temperaturzyklen sind mechanische Spannungen beseitigt und damit die Voraussetzungen für optimale Stabilität gegeben.

HF-Teil

Der gesamte Schaltplan ist in **Bild 2** zu sehen. Der größte Teil davon dient der Verarbeitung des HF-Signals, die im Wesentlichen schon anhand des Blockschaltbilds beschrieben wurde. Allerdings geht es im Schaltplan um die praktische Ausführung mit einzelnen Komponenten. So besteht das Eingangsfilter aus C1 und L1. Es dient nicht nur der Vorselektion, sondern auch der Abstimmung der Antenne. Als Eingangsverstärker wird (binahe könnte man sagen, wie üblich) ein Dual-Gate-MOSFET (T1) verwendet, der viel verstärkt und wenig rauscht. Mit einer (Regel-) Gleichspannung am zweiten Gate wird die Verstärkung in einem Bereich von gut 20 dB geregelt. Dieses Gate ist daher über R2 mit der AGC-Schaltung verbunden, die die Regelspannung erzeugt.

Das nachfolgende Bandfilter ist kritisch gekoppelt und besteht aus Tr1, Tr2, C5...C7. Es weist über einen Bereich von 500 kHz eine ziemlich flache Durchlasskurve auf und ermöglicht eine Unterdrückung von 65 dB im Spiegelfrequenzbereich von $28,800...28,450 \text{ kHz}$.

Als erster Mischer wird ein NE612 verwendet, (IC1), der in dieser Beschaltung auch mit 17 dB zur Verstärkung beiträgt. Der VFO ist als Colpitts-Oszillator mit dem FET J310 (T2) aufgebaut. Die Abstimmung des Oszillators übernimmt die Kapazitätsdiode D1, wobei die eigentliche manuelle Abstimmung durch Einstellung der Abstimmspannung mit Hilfe eines 10-Gang-Potentiometers (P1) erfolgt, das von einem eigenen

Low-drop-Spannungsregler (IC3) mit stabilen 5 V versorgt wird.

Das Ausgangssignal des ersten Mixers gelangt über ein keramisches $21,4\text{-MHz}$ -Filter (FL1) zum zweiten Mischer, der ebenfalls mit einem NE612 (IC2) bestückt ist und für die Umsetzung auf 455 kHz sorgt. Dabei wird als 'local oscillator' (LO) der interne Oszillator des ICs verwendet, der mit einem Ober-ton-Quarz als frequenzbestimmendes Element arbeitet.

Am Mischer-Ausgang treten zwei Ausgangssignale auf: Sowohl die Summe als auch die Differenz zwischen Eingangssignal ($21,4 \text{ MHz}$) und LO-Frequenz ($20,945 \text{ MHz}$). Da wir nur an der Differenz (455 kHz) interessiert sind, liegt am Mischerausgang ein keramisches 455-kHz -Bandfilter, das aus den beiden hintereinander geschalteten Keramikfiltern vom Typ SFR455J (FL2 und FL3) besteht und eine Bandbreite von etwa $3,4 \text{ kHz}$ aufweist. Auch der dritte Mischer ist wieder ein NE612 (IC5), dessen interner Oszillator mit Hilfe des keramischen Resonators FL4 auf ungefähr $452,6 \text{ kHz}$ abgestimmt ist.

NF-Teil

Am Ausgang von IC5 liegt das NF-Signal an. C32 filtert HF-Reste aus. Die erste NF-Verstärkerstufe verwendet wieder einen BF981 (T3), dessen Verstärkung über das zweite Gate gesteuert wird. Zur manuellen Einstellung der Verstärkung der beiden Transistorstufen mit T1 und T3 ist das Potentiometer P2 vorgesehen, gleichzeitig wird die Verstärkung in Abhängigkeit von der Amplitude des HF-Signals auch automatisch geregelt. Diese Regelspannung wird durch die AGC-Schaltung mit T4 durch Gleichrichtung mit D5 und D6 aus dem NF-Signal am Ausgang von IC6 abgeleitet. Bei SSB-Empfang ist es allerdings am besten, die Verstärkung mit P2 möglichst niedrig einzustellen, um Störungen und Rauschen zu reduzieren.

Auf die NF-Verstärkungsregelung folgt eines der wichtigsten Bauteile des Empfängers: Das einstellbare Tiefpassfilter mit dem MAX7400 (IC6). Dieses integrierte elliptische Filter 8^{er}-Ordnung arbeitet nach dem Prinzip der geschalteten Kondensatoren. Die Eckfrequenz (und damit die Bandbreite des Empfängers) ändert sich mit der Kapazität an Pin 8 des ICs. Durch Verwendung der Kapazitätsdiode D3 kann die Eckfrequenz mit dem Potentiometer P3 bequem zwischen 100 Hz und 2800 Hz so eingestellt werden, wie es für die jeweilige Betriebsart erforderlich ist. Bleiben noch die S-Meter-Schaltung und die NF-Endstufe.

Das S-Meter (M1) ist nichts anderes als die Anzeige der AGC-Spannung durch ein

Drehspulinstrument. Die Anzeige reagiert bei Signalen ab ein paar μV , so dass ganz schwache Signale und vor allem Rauschen nicht angezeigt werden. Vollausschlag wird bei Eingangssignalen ab etwa $200 \mu\text{V}$ erreicht. Für den Abgleich von Nullpunkt und Vollausschlag sind die beiden Trimpotentiometer P5 und P6 vorgesehen.

Die NF-Endstufe verwendet den LM386N3, der maximal immerhin 700 mW Ausgangsleistung liefert. Das IC kann direkt mit der unstabilierten Spannung des Steckernetzteils versorgt werden, da es eine relativ hohe Brummunterdrückung von 50 dB aufweist. Anstelle des 8- Ω -Lautsprechers lässt sich natürlich auch ein Kopfhörer anschließen. Bei entsprechender Einstellung der Lautstärke

mit P4 kann man sogar für "digitale" Betriebsarten (Fax, RTTY und CW) das serielle Port eines PCs direkt ansteuern. Zur Dekodierung auf dem PC gibt es bewährte Programme wie JVFAX und HAMCOMM.

Stromversorgung

Je nach NF-Ausgangsleistung beträgt die Stromaufnahme des Empfängers 30...150 mA bei einer Betriebsspannung von 9 V. Da mit IC4 bereits eine Spannungsregelung auf der Platine vorhanden ist, reicht zur Stromversorgung ein unstabiliertes Steckernetzteil mit einer

Gleichspannung von 9 bis 12 V aus – auch in der kleinsten Ausführung mit 300 mA Belastbarkeit. Eine solche Netzteilerschaltung besteht nur aus einem 9-V-Trafo, einem Brückengleichrichter und einem Elko von $470 \mu\text{F}/25 \text{ V}$ oder $1000 \mu\text{F}/25 \text{ V}$. Allerdings lohnt sich der Selbstbau kaum, und ein Steckernetzteil hat immer den Vorteil, dass die elektrische Sicherheit durch die einschlägigen Vorschriften gewährleistet ist.

Bauhinweise

Das Wichtigste für den erfolgreichen Nachbau ist natürlich die Platine,

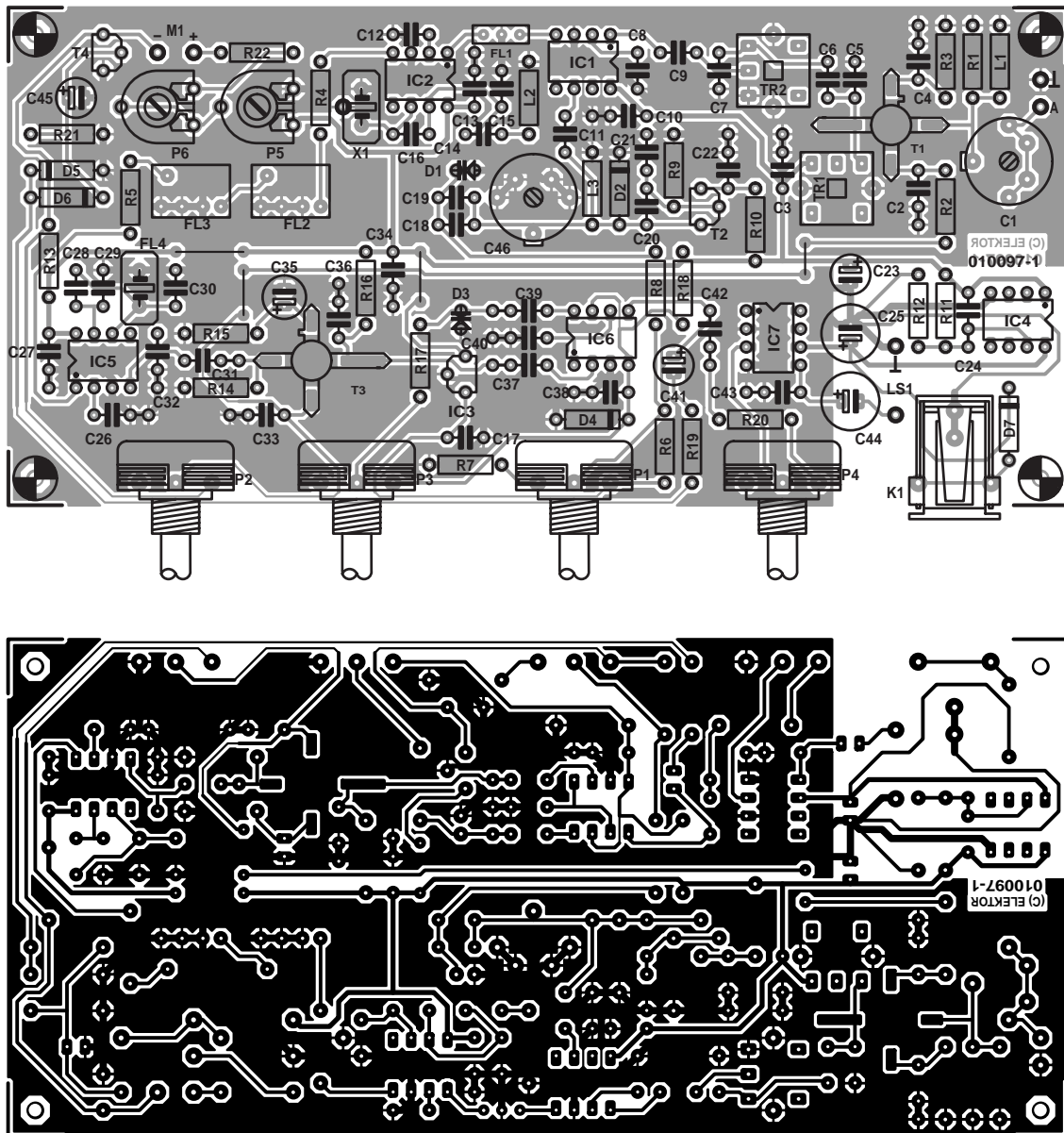


Bild 3. Layout und Bestückungsplan der einseitigen Platine, die keine besonderen Anforderungen beim Bestücken stellt.

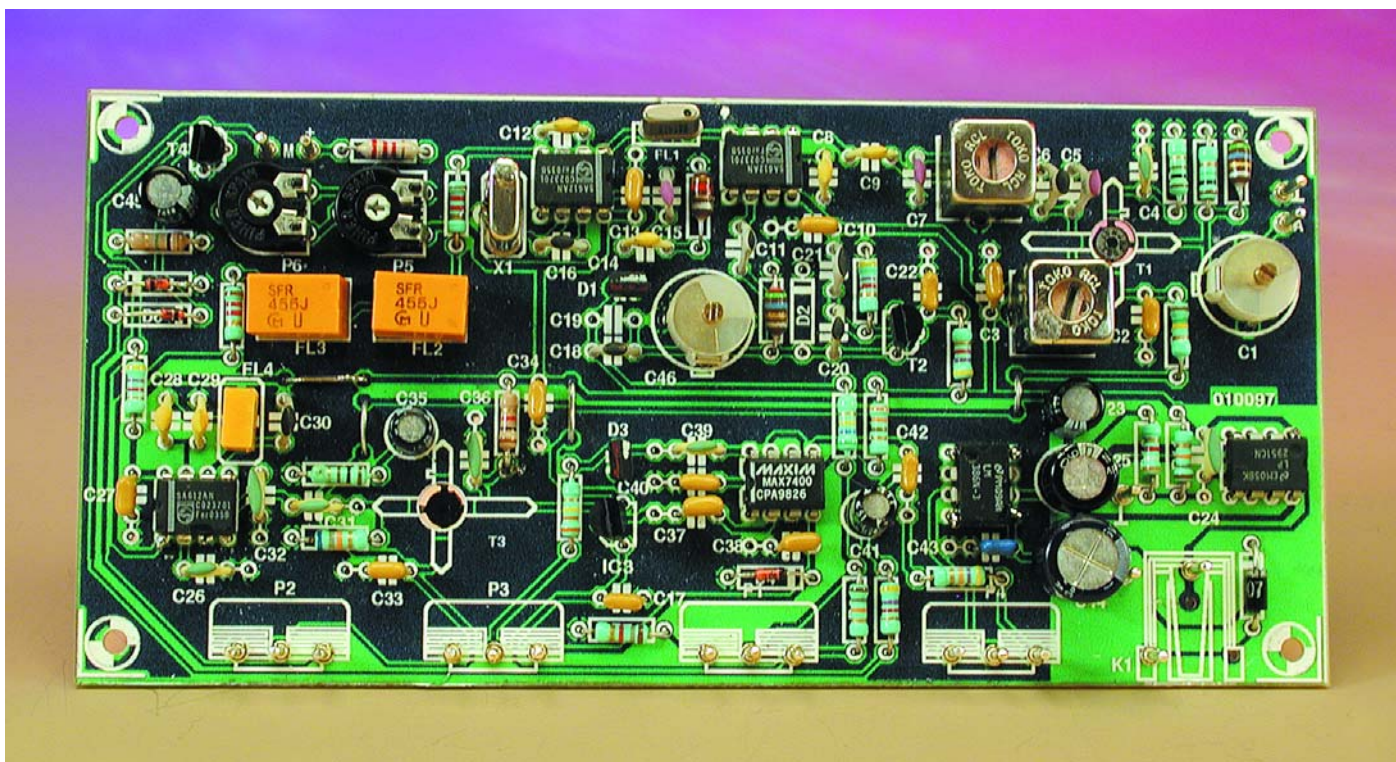


Bild 4. Die betriebsfertige Musterplatine. Das MOSFETs T1 und T3 werden auf der Platinenunterseite (Kupferseite) bestückt.

deren Layout und Bestückungsplan in **Bild 3** zu sehen sind. Alle im Schaltplan angegebenen Bauteile inklusive Potentiometer und Netz-

teilanschluss befinden sich auf dieser Platine. Mit nur vier Drahtbrücken ist es gelungen, eine doppelseitige Platine zu vermeiden. Die

Anschlusspunkte für die "externen" Komponenten (Antenne, Lautsprecher und Drehspulinstrument) sind im Bestückungsaufdruck deutlich angegeben. Die Potentiometer

Stückliste

Widerstände:

R1,R21 = 1 M
 R2 = 150 k
 R3,R15 = 100 Ω
 R4,R5 = 1k2
 R6,R11 = 18 k
 R7 = 1k8
 R8 = 560 k
 R9,R10,R13,R19 = 4k7
 R12 = 3k9
 R14 = 68 k
 R16 = 1 k
 R17 = 330 k
 R18 = 330 Ω
 R20 = 47 k
 R22 = 2k2
 P1 = 50 k Potentiometer, 10-Gang
 P2,P3 = 5 k lin. Potentiometer
 P4 = 50 k Potentiometer
 P5 = 5 k Trimpotentiometer
 P6 = 25 k Trimpotentiometer

Kondensatoren:

C1,C46 = 40 p Trimmkondensator
 C2,C3,C10,C13,C17,C22,C27,C33,C34,

C37,C38,C40,C42 = 100 n
 C4,C26,C31,C39 = 10 n
 C5,C7,C15 = 68 p
 C6 = 2p2
 C8,C9,C12,C14 = 1 n
 C11 = 4p7
 C16 = 22 p
 C18 = 33 p
 C19 = 3p3 *
 C20 = 27 p
 C21 = 56 p
 C23 = 10 μ/16 V stehend
 C24,C32,C36 = 22 n
 C25 = 470 μ/16 V stehend
 C28 = 330 p
 C29 = 470 p
 C30 = 12 p
 C35 = 22 μ/16 V stehend
 C41 = 1 μ/16 V stehend
 C43 = 220 n
 C44 = 220 μ/16 V stehend
 C45 = 10 μ/16 V stehend

Halbleiter:

D1,D3 = KV1235 (1 V/500pF, 8 V/25 pF)
 D2 = nicht bestückt
 D4 = 5V1/400 mW

D5,D6 = BAT85
 D7 = 1N4001
 IC1,IC2,IC5 = NE612 oder SA612AN
 IC3 = LP2950CZ-5.0 (eventuell 78L05)
 IC4 = LP2951CN
 IC6 = MAX7400
 IC7 = LM386N3
 T1,T3 = BF981
 T2 = J310
 T4 = BS170

Außerdem:

FL1 = GS21G15A oder GS21G15B
 FL4 = CSB455E
 FI2,FI3 = SFR455J
 L1,L3 = 5μH6
 L2 = 1μH2
 LS1 = 8 Ω/1 W
 M1 = 0,1 ... 0,25 mA Drehspulinstrument
 Tr1,Tr2 = 94AES30466N oder 94ANS30466N
 X1 = Quarz 20,945 MHz
 (Parallelresonanz, 3. Oberton, 2x20 p)
 K1 = Netzteilbuchse für Platinenmontage
 Platine EPS 010097-1 (Platine und Layout-Download siehe Serviceseiten in der Hefmitte und Website www.elektor.de)

müssen natürlich nicht unbedingt direkt in die Platine gelötet werden, man kann sie auch mit kurzen Drahtstücken anschließen. Allerdings sollte man für das Lautstärkepoti P4 dann abgeschirmtes NF-Kabel verwenden. Dank der Auslegung der Platine ergibt sich eine für eine HF-Schaltung sehr hohe Nachbausicherheit. Zu beachten ist, dass das Quarzgehäuse (X1) mit einem kurzen Drahtstück an Masse gelegt werden muss und dass die beiden MOSFETs T1 und T3 an der Platinenunterseite (Lötseite) montiert werden. Eine Besonderheit ist noch die Diode D2, die auf der Platine zwar vorhanden ist, aber nicht bestückt zu werden braucht. Es hat sich nämlich in der Praxis gezeigt, dass der Oszillator ohne diese Diode stabiler arbeitet. Die bestückte Musterplatine ist in **Bild 4** zu sehen. Obwohl für HF-Schaltungen ein Metallgehäuse wegen der abschirmenden Wirkung im Prinzip besser ist, lässt sich dieser Empfänger auch sehr gut in einem Kunststoffgehäuse betreiben.

Abgleich

Es wird vorerst noch keine Antenne angeschlossen. Die Lautstärke etwas aufdrehen und das Abstimmpotentiometer vom niedrigsten Stand 7,5 Umdrehungen nach rechts drehen. Jetzt den VFO-Trimmer C46, beginnend vom Minimum-Stand so weit aufdrehen, bis ein Pfeifton hörbar wird.

Als Nächstes werden die Kerne von Tr1 und Tr2 abgeglichen. Dazu eine nicht zu lange Antenne (1-2 m) anschließen und den Eingangstrimmer C1 auf maximale Kapazität einstellen. Die Kerne von Tr1 und Tr2 ganz eindrehen und dann wieder eine ganze Umdrehung zurückdrehen. Dann die beiden Kerne wechselseitig auf maximales Rauschen im Lautsprecher abgleichen. Anschließend wird auch noch C1 auf maximales Rauschen abgeglichen.

Abschließend ist das S-Meter bei nicht angegeschlossener Antenne abzugleichen. P6 stellt man etwa in die Mitte und gleicht dann mit P5 den Nullpunkt des Drehspulinstruments ab. Danach wird der Drain-Anschluss von T4

vorübergehend an Masse gelegt und P6 auf Vollausschlag des Drehspulinstruments abgeglichen. Der Drain-Kurzschluss von T4 ist nun wieder aufzuheben. Falls erforderlich, den Nullpunktgleich mit P5 noch einmal wiederholen.

Bleiben noch einige Optionen, die nicht direkt zum Abgleich gehören. Wie auch im Schaltplan zu sehen ist, wurde auf der Platine parallel zu C18 noch eine Position für einen zusätzlichen Kondensator C19 vorgesehen, der normalerweise nicht bestückt wird. Wer aber über einen Frequenzzähler oder HF-Generator verfügt, der hat die Möglichkeit, mit einem eingemessenen Wert für C19 den Abstimmbereich des Empfängers bei Bedarf anzupassen. Ähnliches gilt auch für den parallel zu FL4 geschalteten Kondensator C30. Dieser kann nämlich verwendet werden, um bei einer Streuung der Resonanzfrequenz des CSB455E die Frequenz des 452,6-kHz-Oszillators anzupassen. Wenn der Empfänger hörbar zu wenig Tieftonwiedergabe aufweist, kann man für den Kondensator C30 einen etwas kleinen Wert verwenden.

Bedienung

Wie schon erwähnt, benötigt der VFO etwas Aufwärmzeit, bis sich die gewünschte Stabilität einstellt. Fürs Erste stellt man Bandbreite (P3) und Verstärkung (P2) auf Maximum. Wird nun mit P1 auf einen Sender abgestimmt, muss als Erstes die Tonhöhenlage richtig eingestellt werden. Dazu am besten zuerst die Verstärkung mit P2 so weit reduzieren, dass das Signal gerade noch gut zu hören ist und dann die Abstimmung mit dem 10-Gang-Poti P1 genau nachjustieren.

Als Nächstes kann man die Bandbreite mit P3 so weit verringern, dass das Tonsignal einerseits noch akzeptabel klingt und andererseits Rauschen und Störungen (ORM) so weit wie möglich verringert werden. Bei Morsesendungen (CW) kann die Bandbreite sehr weitgehend reduziert werden. So ist zum Beispiel bei einer Morse-Tonhöhe von 700 Hz eine Bandbreite von 300 Hz noch ausreichend. Wenn man genügend Erfahrungswerte gesammelt hat, kann man die für die verschiedenen Betriebsarten optimalen Einstellungen des Bandbreitepotis P3 entsprechend markieren.

Antenne

Die Signale im 20-Meter-Band sind manchmal so stark, dass sich schon bei 10 cm Antennenlänge ein brauchbarer Empfang ergibt. Für den Hausgebrauch ist eine Antennenlänge von etwa zwei Meter gut ausreichend. Im europäischen Bereich gibt es damit bei den tagsüber und gegen Abend häufig sehr guten Empfangsverhältnissen recht hohe Signalstärken.

Für maximale Empfangsleistung kann man die Antennenlänge auch bis auf 10 Meter zur Langdrahtantenne ausdehnen. Eine so lange Antenne bedeutet natürlich auch einen hohen Störsignalpegel, so dass die AGC auch ohne Nutzsignal schon ansprechen kann. Bei derart langer Antenne empfiehlt sich die Verwendung eines einstellbaren Abschwächers am Antenneneingang (Spannungsteiler oder Poti). Zu beachten ist natürlich, dass bei jeder Änderung der Antennenlänge auch der Antennentrimmer C1 neu abgeglichen werden muss.

(010097-1e)



Besuchen Sie Elektors Website

mit dem Plus an Möglichkeiten und Informationen:

www.elektor.de