

Direktüberlagerungsempfänger JUMA-RX1 für 80 und 40 m mit DDS-VFO

Juha, OH2NLT; Matti, OH7SV

Der Empfänger JUMA-RX1 wurde im Rahmen eines Bauwettbewerbs für Empfänger entwickelt, den die finnische Funkamateuervereinigung SARL veranstaltete. Das Ziel war der Entwurf und Bau von Empfängern, die auch von Neulingen im Amateurfunkhobby aufgebaut werden können und die aufgrund ihrer Einfachheit als Lehrstücke gelten können. Die Regeln wurden 2004 in der Novemberausgabe der Zeitschrift Radioamatoori veröffentlicht.

Besonders im 80- und 40-m-Band sind eine ausreichende Empfindlichkeit gepaart mit einem großen Dynamikumfang und einer gut arbeitenden AGC wichtig. Ein klarer, einfacher Aufbau, basierend auf modernen Techniken war ebenso ein Ziel unserer Konstruktion, wie eine geringe Leistungsaufnahme und eine Frequenzanzeige. Der JUMA-RX1 ist ein Direktüberlagerungsempfänger, dessen lokaler Oszillator (VFO) als mikrocontrollergesteuerter direkter Digitalsynthesizer (DDS) ausgeführt wurde. Dadurch ergibt sich ein kompakter und einfacher Aufbau, der eine ausgezeichneten Frequenzstabilität aufweist und neben den Amateurfunkbändern auch allgemein zum Empfang im Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 7,1 MHz einsetzbar ist. Der JUMA-RX1 nutzt das Doppelseitenbandprinzip (DSB) für den Empfang von SSB- und CW-Signalen. Seine Stromaufnahme ist kleiner als 50 mA.

Mechanischer Aufbau

Als Gehäuse kommt eine kleine kommerzielle Aluminiumbox von 142 mm × 42 mm × 72 mm zum Einsatz. Die Durchbrüche und Löcher für die Anzeige, Bedienelemente und Buchsen wurden nachträglich gebohrt bzw. gesägt. Außerdem gibt es einen kleinen Lautsprecher unterhalb des Deckels. Im Empfänger befinden sich zwei Platinen: die RX-Hauptplatine und die DDS/Steuerung. Die Anzeige ist ein gebrauchsfertiges LCD-Modul. Die RX-Hauptplatine umfasst

den Mischer, die notwendigen Verstärker, das SSB-Filter, die AGC und die Spannungsregelung. Außerdem versorgt sie die DDS-Platine mit der S-Meter-Spannung und 12-V-Betriebsspannung. Das lokale Oszillatorsignal wird durch die DDS-Leiterplatte erzeugt.

Der Oszillator wird durch einen Mikrocontroller gesteuert. Dabei lässt sich die Frequenz durch einen Drehgeber verändern, der durch den Mikrocontroller abgefragt wird. Zusätzlich steuert der Mikrocontroller



das LC-Display für die Frequenz-, Bargraf-S-Meter- und Versorgungsspannungsanzeige an. Darüber hinaus erzeugt der Controller auch NF-Töne zur Bestätigung.

Bild 1:
Vorderansicht
des JUMA-RX1

Die Platinen des JUMA-RX1 wurden mit der Idee entworfen, sie auch als eigenständige Baugruppen in eigenen Entwicklungen einzusetzen zu können. Daher ist der Empfänger auf einer kleinen, nur 50 mm × 80 mm großen, einseitig kaschierten Platine aufgebaut. Das Antennensignal gelangt über das mit X1 bezeichnete Pad nahe der oberen linken Ecke in den Empfänger. Die Lötstellen X2, X4, X9 und X7 nahe der Unterkante werden mit der DDS- und Steuerplatine verbunden. Nahe dem rechten Rand schließt man an X6

den Lautsprecher und an X5 das Potenziometer für die NF-Steuerung an. Nahe dem oberen Rand ist an X8 die Versorgungsspannung

Da der RX den Empfang beider Seitenbänder erlaubt, ist er somit auch als allgemeiner Stationsempfänger einsetzbar.



Bild 2:
Rückansicht
der JUMA-RX1 mit den
Seriennummern 1 und 2

und, wenn gewünscht, die Stummschaltung des Empfängers anzuschließen. Alle Bauelemente sind SMD-Bauteile. An den Ecken ist Platz für vier Befestigungsbohrungen.

Vorverstärker und Mischer

Der JUMA-RX1 nutzt das Direktüberlagerungsprinzip, sodass sowohl CW als auch SSB-Signal aufgenommen werden können.

Das von der Antenne kommende Signal filtert ein zweistufiges 7-MHz-Tiefpassfilter, das die bei diesem Empfängerprinzip entstehende dreifache VFO-Frequenz dämpft. Im Tiefpassfilter werden kommerzielle SMD-Drosselpulen verwendet, um das Wickeln von Spulen zu vermeiden. Der RX kann zwar auch Frequenzen bis hinunter zu 100 kHz empfangen, wurde aber nicht für dessen Empfang optimiert. Man kann ihn jedoch in diesem Bereich verbessern, indem man die Grenzfrequenz des Front-End-Tiefpassfilters auf die doppelte Empfangsfrequenz legt. So wäre z.B. mit einem 4-MHz-Tiefpassfilter der Empfang von 160 bis 80 m optimiert.

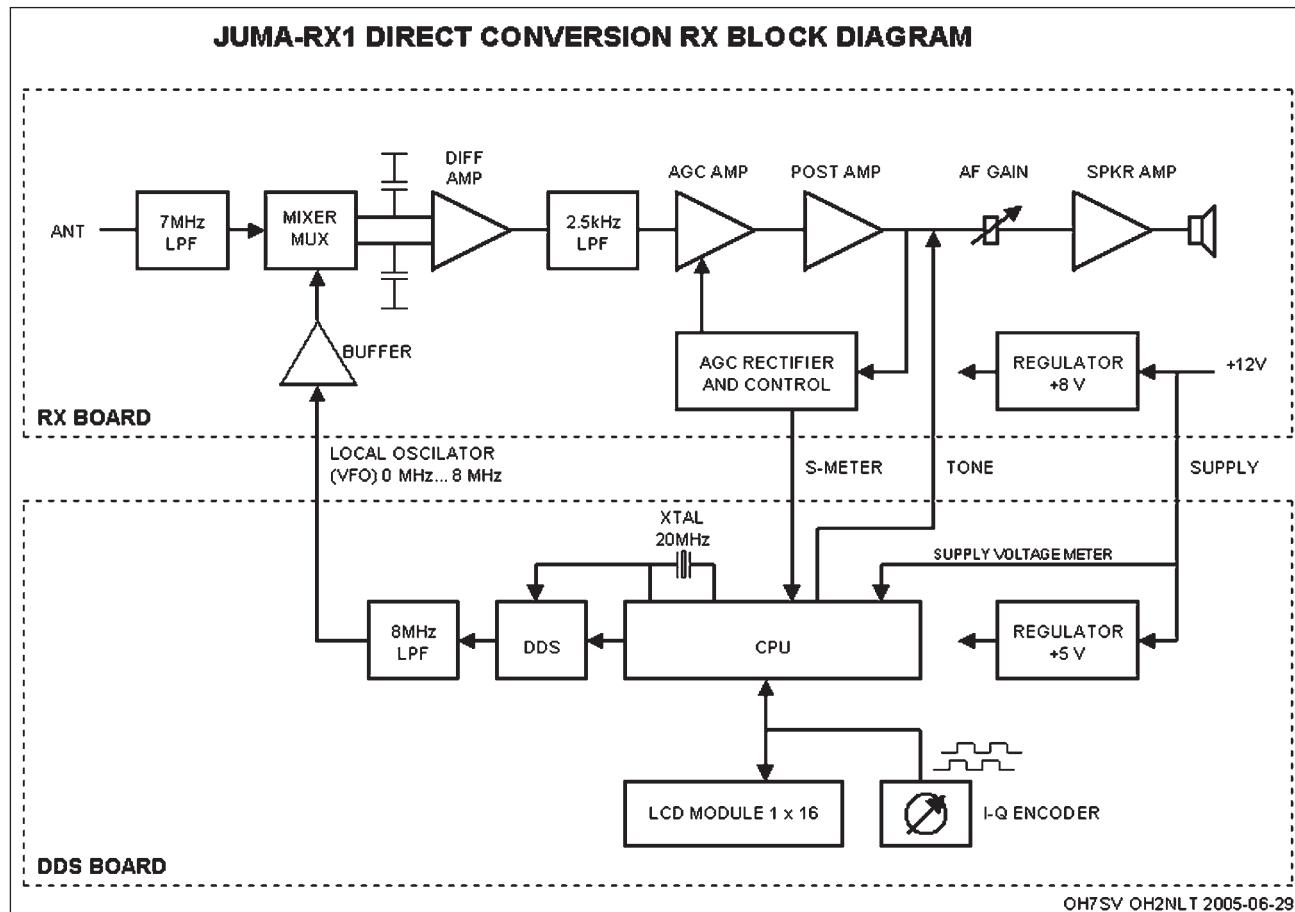
Dem Tiefpassfilter folgt ein Breitbandtransformator, der das Signal für den Mischer ausbalanziert. Gleichzeitig verhindert der Transformator, dass das Signal des auf der Empfangsfrequenz liegende lokalen Oszillators zur Antenne gelangt. Ein kommerzielles Filter von TDK ist gut als HF-Transformator geeignet. Alternativ kannst du den Übertrager selbst wickeln, indem du zwei 0,25 bis 0,35 mm dicke Kupferlackdrähte verdrillst und dann vier Windungen auf einen Ferritkern wickelst. Ein verwendbarer

Tabelle 1: Technische Daten

Betriebsspannung	9–15 VDC
Stromaufnahme	50 mA bei normaler Lautstärke, maximal 200 mA bei hoher Lautstärke
NF-Leistung	bis 1 W
Abmessungen	142 mm x 42 mm x 72 mm (B x H x T)
Anschlüsse	Antenne und Stromversorgung, optional Kopfhörerausgang und Stummschaltungseingang
Display	einzeliges 16-Zeichen-LCD für die Anzeige der Frequenz, Betriebsspannung und als S-Meter
Bedienung	NF-Verstärkung mit Ein/Ausschalter, Drehgeber mit Drucktaster
Frequenzbereich	3,5–7,5 MHz, 100 kHz–7,5 MHz mit etwas schlechtene Eigenschaften
Frequenzeinstellung	Drehgeber, Schrittweiten 10 Hz, 100 Hz und 100 kHz
Frequenzanzeige	6-stellig, Auflösung 10 Hz
Frequenzstabilität	wie eingesetzter 20-MHz-Quarz
Betriebsarten	SSB/CW und Digitalmodes, Schwebungsnnull-AM
Filterbandbreite	300 Hz–2,5 kHz
S-Meter	Bargraf mit 24 Segmenten
Empfindlichkeit	minimal lesbares Signal mit Vorverstärker TL082) –120 dBm = 0,22 µV
Dynamik	höchstes unverzerrtes Antennensignal auf Empfangsfrequenz –5 dBm = 126 mV; 20-dBm-Signal ohne Zustoppeffekte
IP3	23 dBm
ausgesendetes Oszillatorsignal	5 nW = –53 dBm bei 3,7 MHz

Ferritkern ist der kleine Doppellochkern BN-43-2402 von Amidon – andere Kerne sind auch verwendbar, z.B. der Amidon FT37-43 Ferritring, auf den dann aber sechs Windungen aufzubringen sind. Das TDK-Filter ZJYS51R5-2PB wird demnächst nicht mehr verfügbar sein, da es Blei enthält. Der neue kompatible Typ ist der ZJYS51R5-2PB-01. Das Filter ist z.B. von Farnell erhältlich.

parate Bandfilter oder sogar schmalere Filter, die schwierig herzustellen und aufzubauen sind. Das Sampling-Prinzip des Mischers selbst bildet ein schmales Bandfilter für die VFO-Frequenz. Die Breite dieses Filters ist ± 16 kHz – es dämpft Signale auf höheren Frequenz mit 6 dB/Oktave. So ist z.B. eine 100 kHz entfernte Station nach dem Mischer 16 dB und eine 1 MHz entfernt etwa



Der nachfolgende Mischer D1 ist ein CMOS-Schaltkreis HEF74HC4052 mit Schaltern für analoge Signale, die das Antennensignal wechselseitig auf die beiden Stützkondensatoren C36 und C37 schalten. Wegen der erforderlichen Schaltgeschwindigkeit und der 8-V-Betriebsspannung ist als einziger Schaltkreis der von Philips hergestellte IC mit dem HEF-Präfix nutzbar. Die Philips-Version unterscheidet sich von anderen der 74HC-Reihe durch die höhere maximale Schaltgeschwindigkeit und den breiteren Betriebsspannungsbereich. Diese Art des Mixers wurde wegen seiner ausgezeichneten dynamischen Eigenschaften und der leichten Möglichkeit des Einfügens zwischen Tiefpassfilter und HF-Verstärker gewählt. Andere Mischerarten erfordern normalerweise se-

35 dB gedämpft zu empfangen. Dies ist vorteilhaft, da man so Intermodulationen, die durch Rundfunkstationen verursacht werden können, vermeidet.

NF-Verstärker und NF-Filter

Der Mischer wird von einem Differenzverstärker (A1-A), einem JFET-Verstärker TL082, gefolgt. Die Verstärkung ist auf ein gemäßigtes Niveau eingestellt, um das Begrenzen starker Signal zu vermeiden. Dennoch soll die Verstärkungseinstellung groß genug sein, um den Signal-Rauschabstand dieser Stufe nicht zu verschlechtern. Die Rauscheigenschaften des Verstärkers sind für das 80- und 40-m-Band ausreichend, auch wenn große angepasste Antennen (z.B.

Bild 3:
Blockschaltbild

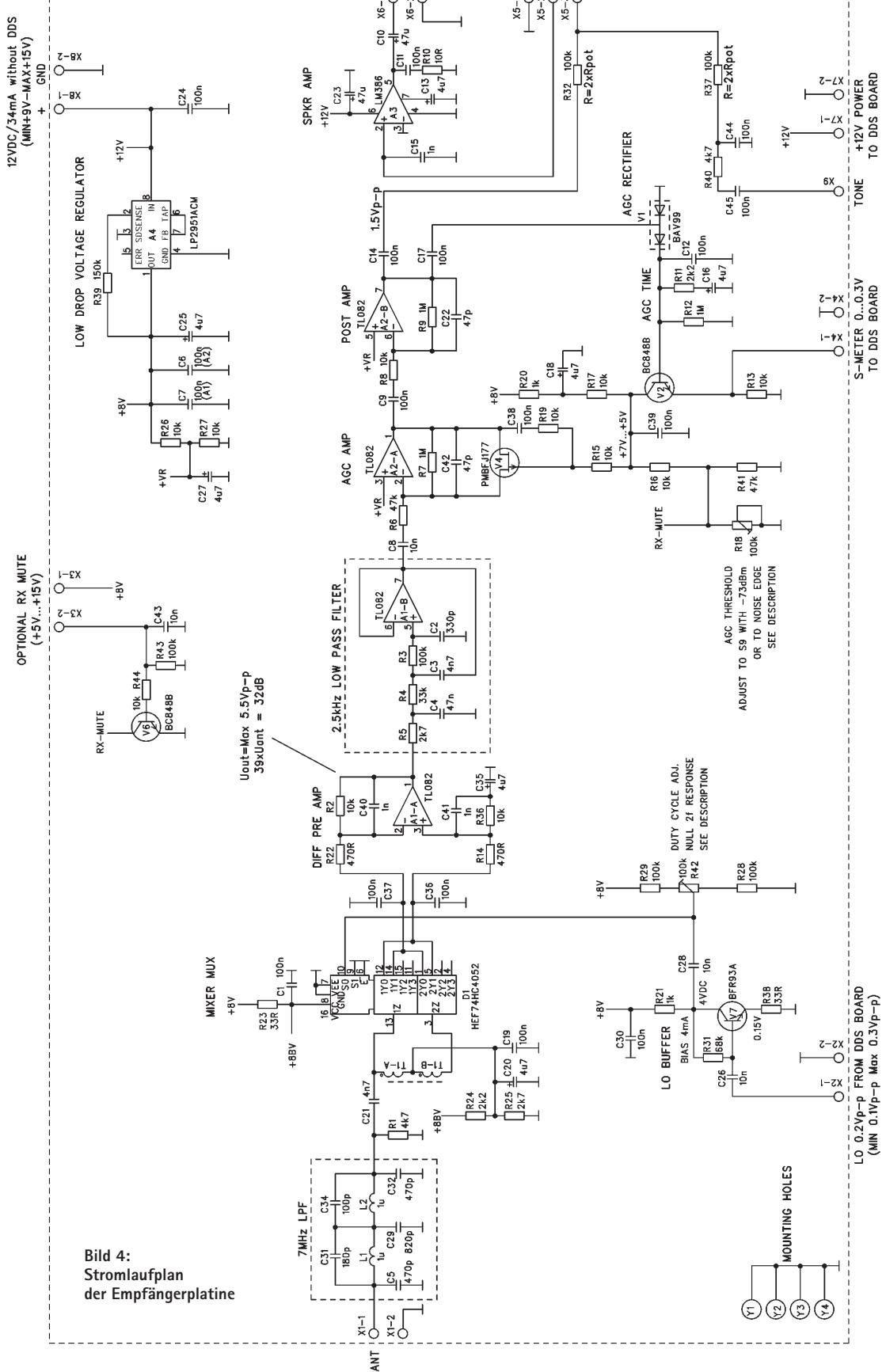


Bild 4: Stromlaufplan der Empfängerplatine

Dipole) benutzt werden, weil der Grundgeräuschpegel auf diesen Bändern relativ hoch ist. Wenn gewünscht können die Rauschegenschaften durch das Verwenden eines rauscharmen kompatiblen Verstärkers wie dem LT1113 verbessert werden. Beim Verwenden schlechterer Antenne ist dies jedoch nicht notwendig.

Die nächste Stufe ist das 2,5-kHz-SSB-NF-Filter. Es ist als aktives Tiefpassfilter mit einem Operationsverstärker (A1-B) ausgeführt. Die Verstärkung innerhalb des Durchlassbereichs des Filters beträgt 0 dB, sodass das gute Verhalten des Vorverstärkers gegenüber starken Signalen erhalten bleibt. Das Filter ist für den SSB-Empfang, jedoch auch für CW verwendbar. Die Dämpfung niedriger Frequenzen (0 bis 300 Hz) wird durch passende Koppelkondensatoren in der Verstärkerkette des Empfängers erzielt.

Der JUMA-RX1 enthält eine gute automatische Verstärkungsregelung (AGC), die aus einem einstellbaren Verstärker (A2-A und V4), Vorverstärker (A2-B), Signalgleichrichter (V1) und einer Steuerung (V2) besteht. Bei ansteigendem Antennesignal steigt der Widerstand des JFET V4 als Wirkung der Regelung, sodass der Widerstand im Rückkopplungszweig des Operationsverstärkers und dadurch seine Verstärkung verändert wird. Die Idee an der verzerrungsfreien NF-AGC ist, den Signalpegel über dem steuerten FET gering zu halten, nur etwa $10 \text{ mV}_{\text{SS}}$. Dann funktioniert der FET innerhalb seines linearen Widerstandsbereiches und folglich verzerrungsfrei.

Wenn der Empfänger zum ersten Mal in Betrieb genommen wird, ist die Schwellspannung der AGC mit dem Einstellwiderstand R18 so einzustellen, dass das Rauschen bei nicht angeschlossener Antenne unterdrückt wird. Die AGC erzeugt auch die für die S-Meter-Anzeige auf der DDS-Platine erforderliche Spannung von 0 bis 0,3 V. Aufgrund des einfachen Schaltungsdesigns fängt das S-Meter erst bei Antennensignalen ab etwa $10 \mu\text{V}$ an zu reagieren – dies entspricht dem S6-Level. Die AGC-Zeitkonstante wird durch den Kondensator C16 und die Widerstände R11 und R12 festgestellt. Die Änderungsgeschwindigkeit kann geändert werden, indem man den Wert von R12 ändert – eine Verdopplung halbiert die Geschwindigkeit. Die Dynamik der AGC-Strecke des Empfän-

gers ist mit etwa 110 dB so gut, dass selbst starke Stationen nicht deine Trommelfelle verletzen. Dieser breite Bereich wird wie folgt erzielt: Ein Antennensignal von $10 \mu\text{V}$ ist erforderlich, bevor die AGC reagiert. Dieses entspricht einer Signalzunahme von 33

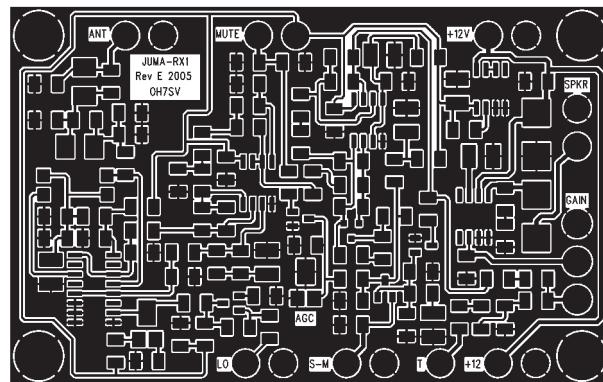


Bild 5:
Layout
der Empfängerplatine

dB. Die Verstärkung der AGC-Steuerstrecke beträgt 70 dB. Zusätzlich wird das NF-Signal durch die ansteigende HF-Spannung in der AGC selbst um 7 dB erhöht, was zusammen 110 dB ergibt.

Lautstärkeinstellung, Lautsprecherverstärker und Spannungsgeregung

Das Potenziometer zur Lautstärkeinstellung ist an die Pads X5 anzuschließen. Das heiße Ende des Potenziometers wird gleichzeitig über X9 zur DDS-Platine geführt, von der aus die Bestätigungstöne eingebendet werden. Der Pegel dieser Töne wird mit dem

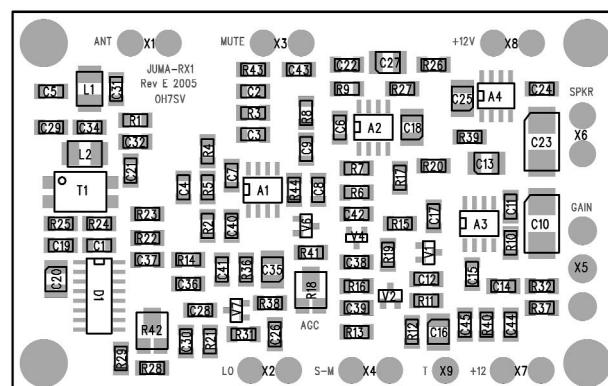


Bild 6:
Bestückung
der Empfängerplatine

einfachen RC-Filter aus R37, R40 und C44 eingestellt und gleichzeitig von dem rauen Charakter des Rechtecksignals bereinigt. Die Bestätigungstöne können auch im Lautsprecher gehört werden.

Als Lautsprecherverstärker kommt ein LM386 zum Einsatz, der bis zu 1 W an einen niederohmigen Lautsprecher abgeben kann. Dieser Schaltkreis legt auch die höchste zulässige

Betriebsspannung auf 15 V fest, da der IC direkt von dieser Spannung aus gespeist wird. Wenn wahlweise Lautsprecher- oder Kopfhörerbetrieb gewünscht wird, kann man eine Buchse mit Schalter auf der Gehäuserückseite einbauen, die dann den Lautsprecher beim Einstecken des Kopfhörersteckers abschaltet.

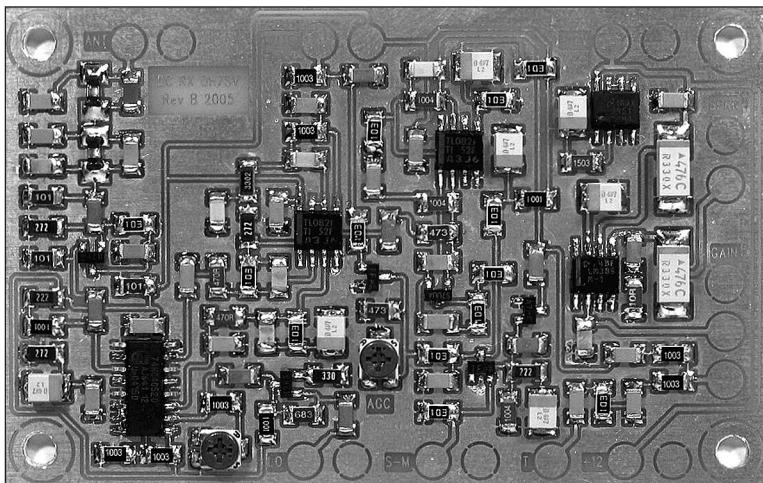


Bild 7:
Ansicht des Prototyps der bestückten Empfängerplatine; Die Serienleiterplatte wurde mit einem Lötstopplack versehen.

Die Betriebsspannung von 8 V der Empfängerplatine wird mit dem Spannungsregler LP2951 (A4) stabilisiert, der nur einen geringen Spannungsabfall zwischen Eingang und Ausgang erfordert. Dadurch können sowohl Trockenzenellen als auch Akkumulatoren verwendet werden, da die zugeführte Spannung bis auf 8,5 V fallen kann, ohne die Funktion des Empfängers zu beeinträchtigen. Zum Einstellen der Ausgangsspannung dient der Widerstand R39 in Reihe zu den IC-internen Widerständen. Falls die

Spannung nicht im Bereich von 7,9 bis 8,2 V liegt, ist es notwendig, R39 zu verändern. Den Reglerschaltkreis kann man durch den traditionelleren 78L08 im SO8-Gehäuse ersetzt. In diesem Fall ist die minimale Versorgungsspannung 10 V.

Pufferverstärker des LO und Stummschaltung

Auf der Empfängerplatine ist ein Pufferverstärker (V7) für den lokalen Oszillator integriert, der das von der DDS abgegebene Signal von 0,2 V_{SS} auf das erforderliche Niveau von etwa 5 V_{SS} zum Betrieb des analogen Mischers anhebt. Mit Hilfe des Einstellwiderstands R42 wird das Impulsverhältnis des zum Mischer D1 weitergegebene LO-Signal auf genau 50 % abgestimmt, indem man den Gleichspannungsarbeitspunkt des LO-Signals justiert. Indem man diesen Arbeitspunkt ändert, kann die Dämpfung der doppelten Empfangsfrequenz im Empfänger optimiert werden.

Als Zusatz ist auf der Leiterplatte eine Stummschaltung (V6) vorhanden, die beim Betrieb des Empfängers zusammen mit einem Sender nützlich sein kann. Die Stummschaltung arbeitet sanft und ohne Klicks. Sie ist aktiv, wenn eine Verbindung zwischen den Pads X3-1 und X3-2 besteht. Dafür kann z.B. ein Relais oder ein Schalter benutzt werden. Alternativ kann die Schaltung in Funktion gesetzt werden, indem eine positive Spannung von 5 bis 15 V an den Anschluss X3-2 gelegt wird – z.B. vom Sender während des Betriebs. Soll die Stummschaltung nicht benutzt werden, brauchen die Bauelemente V6, R43, R44 und C43 nicht bestückt zu werden.

DDS-Oszillator und Steuerung

Der lokale Oszillator des Empfängers ist nach dem Prinzip der direkten digitalen Synthese aufgebaut. Er besteht aus dem IC AD9833 von Analog Devices und einem ihm folgenden Tiefpassfilter. Der DDS-Schaltkreis wird im JUMA-RX1 von einem Mikrocontroller PIC 16F819 von Microchip angesteuert. Derselbe Controller steuert auch alle weiteren Funktionen im Empfängers. Die Schnittstelle zum Menschen besteht aus einem einzeiligen LC-Display mit 16 Zeichen und einem Drehgeber, der einen nicht rastenden Drucktaster umfasst.

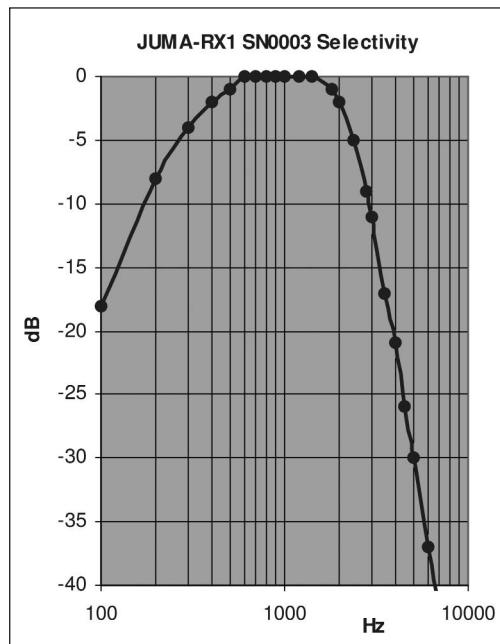


Bild 8:
Durchlasskurve des SSB-Filters

Alle Steuerungen des Empfängers kann man mit nur zwei Bedienknöpfen erreichen: den Lautstärkeknopf mit dem Betriebsspannungsschalter und den Drehgeber mit dem Taster darauf. Design und Bauteilauswahl wurden wegen der geringen Kosten ausgewählt.

Der mechanische Aufwand beim Bau der DDS- und Steuerungsplatine ist auf Minimum beschränkt worden, ohne Kompromisse beim allgemeinen Zusammenbau machen zu müssen. Die LC-Anzeige und das Gehäuse legten die Abmessungen der Leiterplatte fest. Die Höhe der Platine von 40 mm wurde aus der Höhe des Gehäuses abgeleitet, die Breite von 80 mm entspricht der Breite des LC-Displays.

Dabei wird die Platine mit denselben Schrauben befestigt, mit denen auch die Anzeige hinter der Frontplatte angeschraubt wird. Alle Bauelemente werden auf der Leiterseite der Platine aufgelötet, auch die Bauteile mit herkömmlichen Anschlüssen. Der Quarz und die IC-Fassung werden daher wie SMD-Bauelemente aufgelötet. Alle zur Platine führenden Leitungen können direkt auf die Pads aufgelötet oder über 2,5-mm-Stiftleisten angeschlossen werden.

Die meisten der realisierten Funktionen zur Steuerung des Empfängers wurden durch die implementierte Software realisiert, wobei die notwendigen Signalwege und Verbindungen selbstverständlich existieren müssen:

- Erzeugung der LO-Frequenz (erfordert den DDS-IC),
- Einstellung der Oszillatorkreisfrequenz mit Drehgeber,
- Anzeige der Frequenz auf dem LC-Display,
- Einstellung der Abstimmsschrittweite des Drehgebers,
- Anzeige der Einstellungen auf dem LC-Display,
- Sicherung der eingestellten Frequenz und der Schrittweite in einem nicht flüchtigen Speicher,
- graphische Anzeige eines S-Meters auf dem LC-Display,
- Messung der Betriebsspannung und Ausgabe des Messwerts auf dem LC-Display,
- Erzeugung der Bestätigungstöne des Benutzerinterfaces,
- Kalibrierung der Quarzoszillatorkreisfrequenz mittels Trimmer.

Mikrocontroller, Oszillator und LO-Tiefpassfilter

Als Mikroprozessor (eher ein Mikrocontroller) wurde ein PIC 16F819 von Microchip gewählt. Wir entschieden uns, ein IC im DIL-Gehäuse zu benutzen, da es beim Programmieren besser zu handhaben ist.

Der IC, oder besser seine Fassung, sind wie ein SMD-Bauteil auf der Platine aufzulöten. Der gewählte Controller bietet alle nötigen Eigenschaften zum Steuern des Empfängers: 2 KB Flash Memory für den Programmcode, 256 Byte RAM, 256 Byte EEPROM zum Speichern der Empfängereinstellungen. Außerdem steht ein 10 Bit breiter A/D-Umsetzer

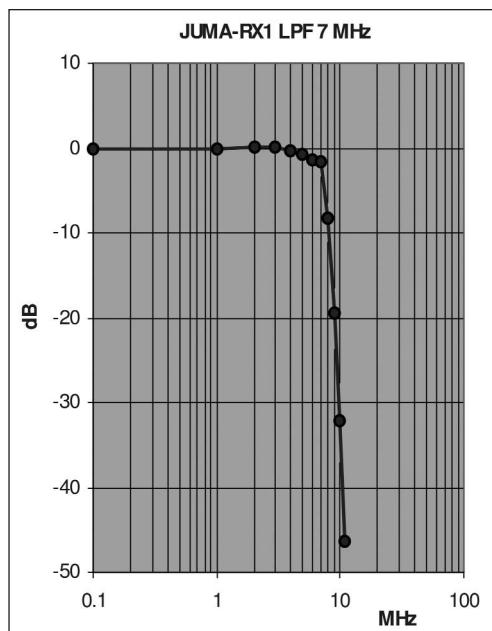


Bild 9:
Dämpfungskurve
des Eingangstiefpasses

zur Verfügung, den wir für das S-Meter und die Messung der Betriebsspannung nutzen. Das IC enthält darüber hinaus diverse Timer, I/O-Ports und andere Funktionen. Die größte Herausforderung bei der Entwicklung war die geringe Menge Flash-Speicher für das Programm. Auch die relativ geringe Anzahl von Ein-/Ausgängen bewog uns dazu, viele Anschlüsse doppelt zu benutzen. Der Oszillator zur Taktung des Mikrocontrollers wurde mit einem billigen 20-MHz-Quarz aufgebaut, der auch für die Erzeugung der Referenzfrequenz der DDS dient. Für den Controller würde auch eine niedrigere Frequenz genügen, aber die 20 MHz wurde wegen der DDS-IC-Anforderungen gewählt. Der Oszillator wurde durch einfaches Verbinden des Quarzes mit der Oszillatorschaltung des Mikrocontrollers realisiert, wobei an einem Anschluss das Taktsignal

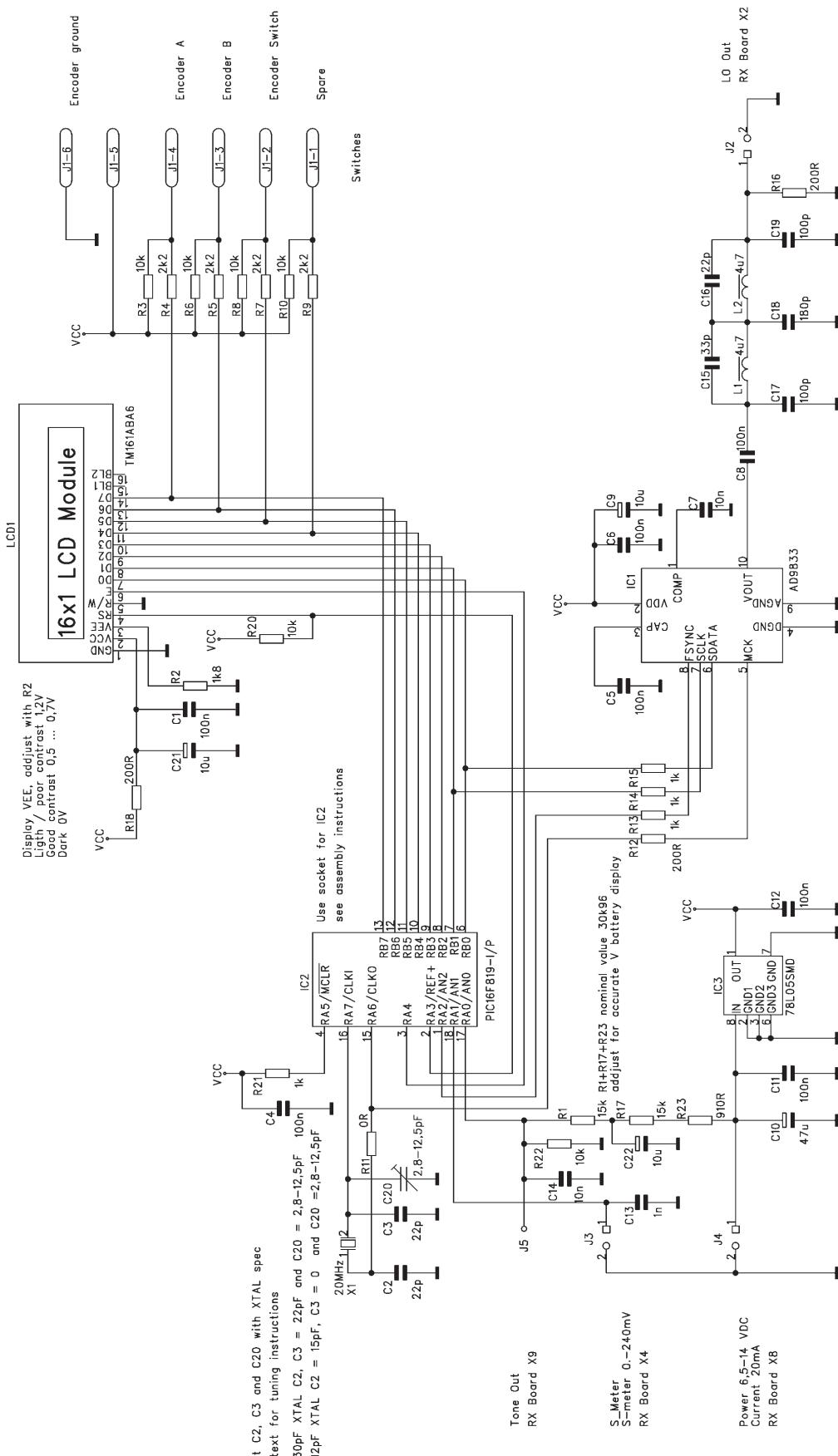


Bild 10:
Stromlaufplan der DDS-Platine

für die DDS abgegriffen wird. Die Feinabstimmung der Oszillatorfrequenz ist mit einem Trimmerkondensator möglich, der parallel zum Lastkondensator am Eingang des Oszillators angeschlossen ist.

Da die Frequenz mit einem DDS-IC aus der 20-MHz-Referenzfrequenz erzeugt wird, ist die maximal verwendbare Frequenz entsprechend der Nyquist-Theorie festgelegt: In einem Abtastsystem kann die Signalfrequenz nicht höher als die halbe Abtastfrequenz sein. Dies heißt, dass die LO-Frequenz theoretisch maximal 10 MHz betragen kann. In der Praxis lässt sich bei qualitativ hochwertigen Signalen nur 40 % der Referenzfrequenz nutzen. Das DDS-Prinzip erzeugt außerdem eine Reihe harmonischer Frequenzen, die von der Grundfrequenz abhängig sind. Diese werden mit einem 8-MHz-Tiefpassfilter ausgefiltert, bevor das LO-Signal der Empfängerplatine zugeführt wird. Nach dem Filter besitzt das Signal, das durch den DDS-Schaltkreis erzeugt wurde, eine Amplitude von etwa 250 mV_{SS}. Es wird an den Pufferverstärker auf der RX-Platine weitergegeben.

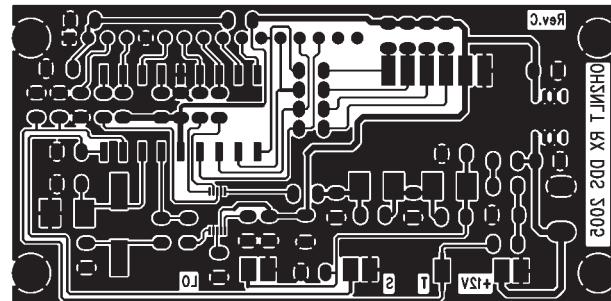
Doch das DDS-Prinzip hat auch seine Vorteile: Es ermöglicht die Erzeugung von Frequenzen in sehr feiner Auflösung. Bei unserer Entwicklung (mit 20-MHz-Referenz) sind es minimale Abstimmsschritte von 0,0745 Hz – genauer als erforderlich. Bedingt durch das DDS-Prinzip kann Phasenrauschen des Referenzoszillators direkt am Ausgang der DDS beobachtet werden. Aber es ist vergleichbar mit dem anderer Empfänger.

Nur kurz eine Erklärung des DDS-Prinzips: Während jedes Zyklus des Referenztakts wird eine vorgegebene Konstante (Zahl) dem Phasen-Akkumulators der DDS hinzugefügt. Der Inhalt dieses Speichers wird durch einen D/A-Konverter in ein Sinussignal umgesetzt, das am Ausgang als synthetisiertes Sinussignal zur Verfügung steht. Im Fall des AD9833 ist die voreinstellbare Konstante eine 28 Bit lange Zahl. Wer sich über die Funktionsweise der DDS genauer unterrichten will, sei auf die Webseiten von Analog Devices verwiesen, auf denen auch ein Datenblatt des im Empfänger verwendeten AD9833 zur Verfügung steht.

DDS-Spannungregler, LC-Display und Drehgeber

Die Betriebsspannung der DDS-Platine beträgt +5 V und die Stromaufnahme etwa 20

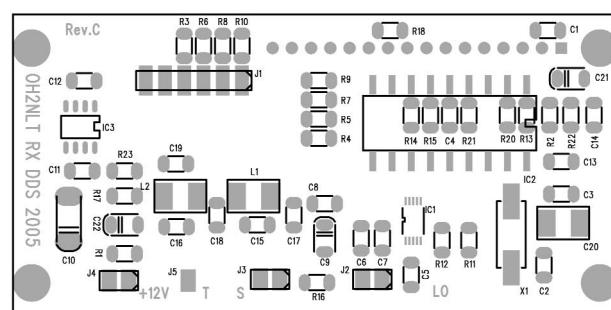
mA. Die Höhe der Spannung wird durch das LC-Display festgestellt, das 5 V zum Betrieb benötigt. Der DDS-IC und der Mikrocontroller würden sogar mit einer niedrigeren Spannung arbeiten. Um die erforderlichen 5 V stabilisiert aus der dem Empfänger zugeführten Spannung von 9 bis 15 V zu erzeu-



gen, wird der Spannungsregler 78L05 genutzt. Die 5 V werden auch als Referenzspannung für den Analog-Konverter des PIC 16F819 genutzt.

Bild 11:
Layout der DDS-Platine

Die Anzeige besteht aus einem preiswerten einzeiligen LC-Display mit 16 alphanumerischen Zeichen. Für den Betrieb sind acht Datenbits und einige Steuersignale erforderlich. Der Datenbus wird vom I/O-Port B des 16F819-Controllers realisiert. Ein Teil dieses Busses wurde auch zur Steuerung des DDS-ICs und zur Abfrage des Drehgebers benutzt. In unterschiedlichen Programmteilen übernimmt der Bus zum Teil unterschiedliche Funktionen. Mit einem RS-Signal wird das Display angewählt, sodass Daten oder Steuer-codes übertragen werden können. Der Pull-



Diese Eigenschaft verwenden wir, um Grafikelemente für das S-Meter benutzen zu können. Eine sichtbare Linie des Displays ist in zwei 8-Zeichen-Sektionen gegliedert. Mehr Informationen über die Steuerbefehle und die zeitlichen Abläufe bietet das Datenblatt des TM161AB6A-Displays. Der Kontrast der Anzeige wurde durch den Widerstand R2 auf der DDS-Platine eingestellt.

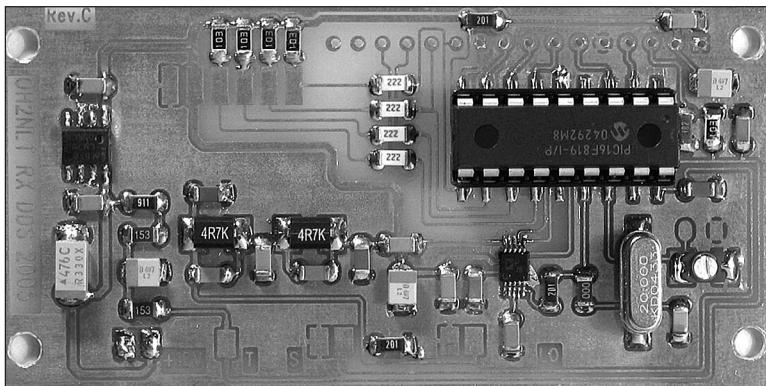


Bild 13:
Ansicht des Prototyps der bestückten DDS-Platine;
Die Serienleiterplatte wurde mit einem Lötstopplack versehen.

Ein entscheidendes Teil der Benutzerschnittstelle ist der Drehgeber mit Drucktaster, der zur Frequenzeinstellung genutzt wird. Die gesetzte Preisgrenze für das Projekt ließ es nicht zu, einen feiner auflösenden Drehgeber mit 100 Impulsen pro Umdrehung oder mehr einzusetzen, durch den dann das Gefühl eines echten VFO-Drehknopfs gegeben wäre. Wir wählten ein preiswertes Exemplar mit 30 Impulsen pro Umdrehung und mit einem Drucktaster aus. Das Programm wurde auf dieses Modell hin zugeschnitten, jedoch lässt sich jedes Exemplar mit 15 bis 30 Impulsen pro Umdrehung verwenden.

Der Drehgeber ist wie ein Drehschalter mit zwei Kontakten aufgebaut, die so eingestellt sind, dass sie beim Drehen zwei um 90° versetzte Signale produzieren. Aus diesen Signalen lässt sich die Drehung selbst und die Richtung ermitteln. Die Leitungen des Drehgebers und seines Tasters werden über Entkopplungswiderstände an den Datenbus des LC-Displays angeschlossen, wodurch das Programm ihre Zustände ermitteln kann.



Bild 14:
Die Quarzanschlüsse sind so zu kürzen und zu biegen, dass sie auf die Leiterbahnen aufgelötet werden können.

chend von ANSI-C verfasst. Es existiert eine bereits compilierter Hex-Datei, die in einen PIC 16F819 gebrannt werden kann.

Der Quellcode der Sammlung ist vorhanden und steht für eigene Ergänzungen oder Änderungen bereit. Die benutzten 16F819 besitzen 2 KB Flash-Speicher, der fast vollständig belegt ist. Wenn große Programmteile hinzugefügt werden sollen, ist es besser, einer PIC 16F88 zu verwenden. Er ist kompatibel, besitzt aber 4 KB Flash-Speicher. Das Projekt wurde mit Microchips MPLAB 7.00 Entwicklungsboard durchgeführt und mit dem Compiler Hi-Tech PICC_8.05PL2 der Hex-Code erzeugt.

Die Programmsammlung realisiert alle für die Benutzerschnittstelle erforderlichen Aktionen und einige Hilfsfunktionen. Nach dem Start werden die I/O-Ports konfiguriert, der DDS-Betrieb initialisiert, der EEPROM auf gespeicherte Einstellungen durchsucht und, wenn keine vorhanden sind, die Standardwerte gesetzt. Danach wird auf dem Display und per Ton eine Begrüßung ausgegeben. Nach der Initialisierung werden alle Programmteile von einer endlosen Hauptschleife aus gestartet. Jedoch werden einige zeitkritische Aufgaben, wie etwa das Abfragen des Drehgebers, durch Interrupts in 1-ms-Abständen aufgerufen. Die Abarbeitung der Haupschleife dauert etwa 6 ms, während der die im Manual [1] detailliert beschriebenen Abläufe abgearbeitet werden.

In der Zwischenzeit wurde die Steuerungssoftware des JUMA-RX1 weiter entwickelt. Die neueste Version 3.03 für den statt des PIC 16F819 eingesetzten PIC 16F88 kann nun mit vier Schrittweiten (10 und 100 Hz sowie 1 und 100 kHz) aufwarten. Hinzugekommen ist außerdem ein zweiter VFO. VFO A ist in Benutzung, wenn der Pin 44 des PIC 16F88 auf High liegt (Grundzustand durch Pull-up-Widerstand). zieht man das Potenzial auf Masse, wird auf den VFO B umgeschaltet. Der aktive VFO wird durch zwei unterschiedliche Separatoren in der Frequenzanzeige gekennzeichnet: Punkte für VFO A und Komma für VFO B. Beide VFOs lassen sich unabhängig voneinander einstellen. Die Speicherfunktion sichert die Einstellung beider VFOs und die Schrittweite.

Um die VFOs umzuschalten, ist ein Ein schalter nach Masse erforderlich. Es wird

Programmsammlung

Die gesamte Programmsammlung wurde in C geschrieben. Sie besteht aus Modulen, die jeweils bestimmte Eigenschaften des Empfängers realisieren. Der meiste Code ist konform mit ANSI-C und daher auch auf anderen Controllern nutzbar. Um Speicherplatz zu sparen, wurden einige Prozeduren abwei-

empfohlen, den Widerstand R21 (von Pin 4 nach VCC) von $1\text{ k}\Omega$ auf $10\text{ k}\Omega$ zu vergrößern. Es gibt keine Probleme mit dem kleineren Widerstand, aber der Stromverbrauch liegt um 5 mA höher.

Neben zwei älteren Versionen ist die aktuelle Version der Steuerungssoftware auf [1] verfügbar. Wer die Software eigenen Belangen anpassen oder verbessern will, findet im ebenfalls auf [1] zu findenden Manual zusätzliche Informationen über die einzelnen Programmmodulen (LCD, S-Meter, Drehgeber auslesen, DDS-Steuerung, Berechnungen für Frequenzanzeige, A/D-Umsetzung, Bestätigungstöne, Speicherfunktion).

Zusammenbau

Die größte Herausforderung beim Zusammenbau der DDS-Platine ist der DDS-IC AD9833, der nur in einem sehr kleinen SMD-Gehäuse verfügbar ist. Wenn du noch keine Erfahrungen mit dem Löten von SMD-Bauteilen hast, kann das Auflöten unmöglich erscheinen, da das IC-Gehäuse nur 3 mm Kantenlänge aufweist. Es besitzt zehn Anschlüsse, die einen Abstand von 0,5 mm zueinander haben. Zum Einbau des DDS-IC ist etwas Übung, eine Lupe, gutes Licht, dünnes Lötzinn mit Flussmittel und eine saubere, dünne Lötkolbenspitze nötig. Doch eine ruhige Herangehensweise und eine stabil aufliegende Hand ergeben gute Resultate.

Es gibt verschiedene Einbaumethoden, hier ein gute: Benetze den Bereich des ICs dünn mit Flussmittel. Verzinne die Lötpads, indem du ein wenig geschmolzenes Lötzinn auf den Pads verteilst. Geben acht, nur wenig und nur kurzzeitig Druck mit der Lötkolbenspitze auf die Pads auszuüben, damit sich die dünne Kupferfolie (0,5 mm) nicht von der Platine ablöst. Nach dieser Vorbereitung ist, wenn nötig, nochmals etwas Flussmittel aufzutragen und der IC AD9833 auf seinem Platz zu setzen. Dies lässt sich sehr gut mit einem Vergrößerungsglas durchführen.

Nachdem man sichergestellt hat, dass der IC korrekt platziert wurde (jeder Anschluss auf seinem Pad, kein Anschluss zwischen zwei Pads und keiner auf der Massefläche) kann er festgelötet werden. Dafür ist in der Regel kein zusätzliches Lötzinn erforderlich. Es genügt, mit der Lötkolbenspitze die vorher verzинnten Pads aufzuheizen, um den Schaltkreis aufzulöten. Sollten dabei Kurzschlüsse zwischen den Anschlüssen entste-

hen, sind sie sorgfältig mit Entlötlitze zu entfernen. Wenn aus einem Grund der IC entfernt werden muss, kann man dies leicht mit zwei Lötkolben tun, deren Spitzen so breit sind, dass sie alle Anschlüsse auf den beiden Seiten des ICs erwärmen.



Bild 15:
Nach dem Auflöten des
Quarzes im SMD-Stil
sollte es etwa
so aussehen.

Beim Zusammenbauen wird jeder wahrscheinlich seinen eigenen Erfahrungen folgen. Doch ein paar Tipps seinen angebracht. Es ist vorteilhaft, zuerst die DDS aufzulöten, da dann noch viel Platz um den Schaltkreis herum vorhanden ist. Die später unter den Controller liegenden Bauteile sind vor dem Bestücken desselben aufzulöten.

Nach dem Einlöten der Mikrocontrollerfassung ist mit einem Ohmmeter zu kontrollieren, dass es keine Kurzschlüsse zwischen den Pads oder von den Pads nach Masse gibt. Danach sollten der 5-V-Spannungsregler und die Bauteile um ihn herum aufgelötet sowie nach dem Anschluss der Betriebsspannung seine Ausgangsspannung kontrolliert werden. Die restlichen Bauteile können in einer beliebigen Reihenfolge bestückt werden.

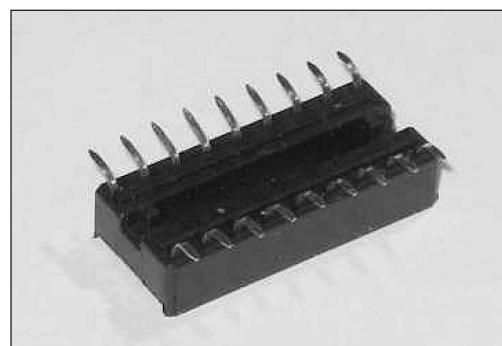


Bild 16:
Auch die Anschlüsse der
IC-Fassung sind vor dem
Auflöten umzubiegen.

Sollte ein mechanisch etwas anderes Display Verwendung finden, so kann die Verbindung zur DDS-Platine auch mit isolierten Drähten in der erforderlichen Länge hergestellt werden. Ist kein Drehgeber mit einer integrierten Drucktaste verfügbar, kann auch ein separater Taster verwendet werden. Zum Teil können auch andere Bauteile eingesetzt werden. Die Anordnung der Pads er-

laubt z.B. sowohl die Verwendung von SMD-Tantalkondensatoren als auch von Tantal-kondensatoren in Tropfenform bzw. Elektrolytkondensatoren. Die Anzeigebaugruppe und die DDS-Platine werden mit Schrauben und Hülsen miteinander verbunden, wobei zunächst die Verbindungsleitungen zwischen ihnen herzustellen sind.

Aufbautipps

Es ist am einfachsten, SMD-Bauteile aufzulöten, indem man zuerst eine Auflage verzinnt. Dann wird das SMD-Bauelement mit einer Pinzette in Position gelegt und ein Pad erhitzt, ohne zusätzliches Zinn aufzubringen. Wenn das Bauteil richtig mit dem Fuß angelötet wurde, ist die andere Seite (und möglicherweise die erste nochmals) mit etwas zusätzlichem Lötzinn festzulöten.

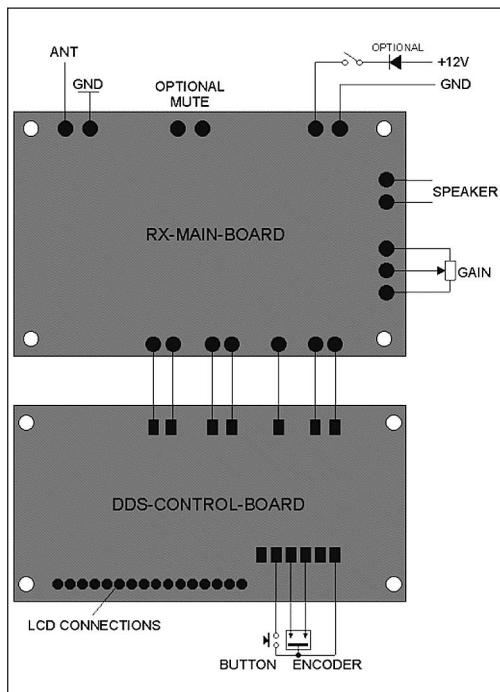


Bild 17:
Verdrahtung der Platinen

Wenn du ein SMD-Bauteil mit zwei Anschlüssen entfernen musst, geht dies leicht, indem beide Enden der Reihe nacheinander erhitzt werden. Das Entfernen mehrpoliger SMD-Teile, wie z.B. Schaltkreise, ist etwas schwieriger. Zuerst muss alles überschüssige Lötzinn mit Entlötlitze entfernt werden. Danach erwärme einen Anschluss und biege ihn vorsichtig mit einer Nadel etwas nach oben, sodass er nicht mehr auf dem Pad liegt. Verfahre so mit den restlichen Pins. Alternativ lässt sich auch eine spezielle Löt-kolbenspitze oder ein zweiter Lötkolben verwenden.

Die Herstellung des Durchbruchs für das Display kann etwas Geduld erfordern. Nachdem du die Öffnung gekennzeichnet hast, bringe entlang der Linie dicht an dicht kleine Bohrungen an und drücke das Blechstück heraus. Die restlichen Arbeiten lassen sich mit einer kleinen Feile erledigt werden. Eine Alternative bietet eine kleine Stichsäge oder eine Laubsäge, wozu an den Ecken der späteren Öffnung zuerst Bohrungen für das Sägeblatt anzubringen sind.

Nach dem Löten sollte man seine Arbeit sorgfältig überprüfen. Im Allgemeinen treten folgende Fehler auf: Bauteil falsch herum eingebaut, Kurzschluss zwischen einem Pad und Masse, nicht angelötete Anschlüsse, falsche Bauelementewerte. Diese Fehler können bei einer genauen Sichtkontrolle entdeckt und vor dem Einschalten beseitigt werden.

Einstellungen auf der DDS-Platine

Eigentlich sind auf der DDS-Platine keine Justierarbeiten notwendig. Jedoch hängen die Frequenz des LO und folglich auch die Frequenzgenauigkeit des Empfängers von der Frequenz des Referenzoszillators ab. Für die Justage des Referenzoszillators wurde ein spezieller Abgleichmodus in der Programmsammlung vorgesehen. Wenn der Drucktaster des Drehgebers während des Einschaltens des Empfängers gedrückt wurde, gelangt man in diesen Modus, bei dem auf dem Display 1 MHz angezeigt wird.

Im Abgleichmodus lässt sich die zur Ausgabe einer Frequenz von 1 MHz erforderliche DDS-Konstante verändern. Dafür ist das Ausgangssignal mit einem Präzisionsfrequenzzähler oder einem anderen Normal zu vergleichen und bei Abweichungen von 1 MHz der Trimmerkondensator C20 zu justieren. C20 beeinflusst die Frequenz des Referenzoszillators.

Aufgrund der Bauteiltoleranzen der Widerstände und des 5-V-Reglers kann es dazu kommen, dass die Betriebsspannung nicht so genau wie gewünscht angezeigt wird. Die Anzeige kann durch Hinzufügen eines Parallelwiderstands zu R23 ($910\ \Omega$) korrigiert werden. Ein verwendbarer Wert kann gefunden werden, indem man z.B. vorübergehend einen $100\text{-k}\Omega$ -Einstellwiderstand parallel zu R23 lötet. Wenn man eine genaue

Spannung angezeigt bekommt, kann der Einstellwiderstand ausgemessen und durch einen Festwiderstand ersetzt werden.

Der LCD-Kontrast wird durch die Spannung eingestellt, die am Stift 3 des Displaysteckers anliegt. Wir nutzen einen Widerstand von $1,8 \text{ k}\Omega$, um diese Spannung einzustellen. Die Spannung, die den gewünschten Kontrast hervorruft, hängt vom Displaytyp, der

erreicht, dass man ein $50\text{-}\mu\text{V}$ -Signal der Antennenbuchse zuführt und den Einstellwiderstand R18 so ändert, dass das S-Meter halb (bis zu S9) ausschlägt. Die nachfolgenden Markierungen auf dem LC-Display entsprechen dann etwa 10-dB-Schritten.

Mit Hilfe des Einstellwiderstands R42 wird das Impulsverhältnis des zum Mischer D1 weitergegebene LO-Signals auf genau 50 %

Tabelle 2: Bedienung der JUMA-RX1

Einschalten und Lautstärke ändern	Drehe den NF-Knopf.
Frequenz einstellen	Drehe den Drehgeber nach links oder rechts, bis die gewünschte Frequenz angezeigt wird.
Schrittweite einstellen	Drücke den Drehgeberknopf und drehe ihn. Das Display zeigt Step1, Step2 oder Step3 an.
Status anzeigen	Drücke den Drehgeberknopf kurz. S-Meter und Betriebsspannung werden wechselnd angezeigt.
Einstellungen speichern	Drücke den Drehgeberknopf für 2 s, bis der Bestätigungston ertönt.
Einstellmode auswählen	Schalte den Empfänger ein und drücke gleichzeitig den Drehgeberknopf, bis 1 MHz angezeigt wird.

Produktionsserie und zu einem geringen Grad von der Betriebstemperatur ab. Wenn du eine andere Anzeige benutzt oder der Kontrast nicht deinen Wünschen entspricht, kann R2 geändert werden. Beim Verringern des Wertes wird die Anzeige dunkler, beim Erhöhen heller. Der Einstellbereich liegt zwischen Null und einigen Kilohm. Ein verwendbarer Wert kann gefunden werden, indem man z.B. vorübergehend einen $5\text{-k}\Omega$ -Einstellwiderstand parallel zu R2 lötet.

Einstellung des Empfängers

Die Schwellspannung der AGC ist mit dem Einstellwiderstand R18 so einzustellen, dass das Rauschen bei nicht angeschlossener Antenne unterdrückt wird. Die Schwellspannung des JFET V4 kann exemplarabhängig etwas variieren. Wir haben die Schaltung so entworfen, dass die SST117 von Vishay Siliconix SST177 und die PMBFJ177 von Philips funktionieren müssten. Sollte sich der Schleifer bei der Justage nahe an einem Ende befinden, kann zur bequemeren Einstellung der Parallelwiderstand R41 verändert werden. Obgleich es möglich ist, die AGC-Schwellspannung per Gehör einzustellen, sollte man als genauere Methode ein Signal mit S9-Pegel benutzen. Dies wird dadurch

abgestimmt, indem man den Gleichspannungsarbeitspunkt des LO-Signals justiert. Indem man diesen Arbeitspunkt verändert, kann die Dämpfung der doppelten Empfangsfrequenz im Empfänger verbessert werden. Die Optimierung kann durchgeführt werden, indem das 7,2-MHz-Signal eines Generators mit etwa 1 mV an die Antennenbuchse geführt und der Empfänger auf 3,6 MHz eingestellt wird. Mit R42 ist nun ein Minimum oder besser ein völliges Ausblenden des Signals einzustellen.

Quelle:
[1] **JUMA-RX1**,
www.nikkemedia.fi/juma-rx1/index-en.html
[2] **SRAT Oy Finland**, www.srat.fi

Bauelemente und Bausätze

Aufgrund der schwankenden Verfügbarkeit von Bauteilen ist keine Lieferantenliste verfügbar. Jedoch sollten lokale Händler die benötigten Bauelemente führen. Oft werden SMD-Widerstände und -Kondensatoren in Beuteln zu 10, 25 oder 50 Stück verkauft. Einige stellen auch gemischte Päckchen für Amateure zur Verfügung. Kaufe sie, dann hast du auch für das nächste Projekt schon ein paar Teile.
Vom SRAT Oy, dem Shop der SARL [2], können Bausätze für 75 € bezogen werden. Frage Herrn Jukka Heikinheimo, OH2BR, doch einfach per E-Mail myynti@srat.fi oder via Telefon +358-9-5621080 bzw. Fax +358-9-5623987.

Autoren:
Juha Niinikoski
OH2NLT
www.kolumbus.fi/juha.niinikoski
Matti Hohtola
OH7SV
www.saunalahti.fi/hohtola/ham/ham-projects.htm

Übersetzungen:
Finnisch-Englisch:
Antti, OH2DT
Englisch-Deutsch:
Ingo, DK3RED