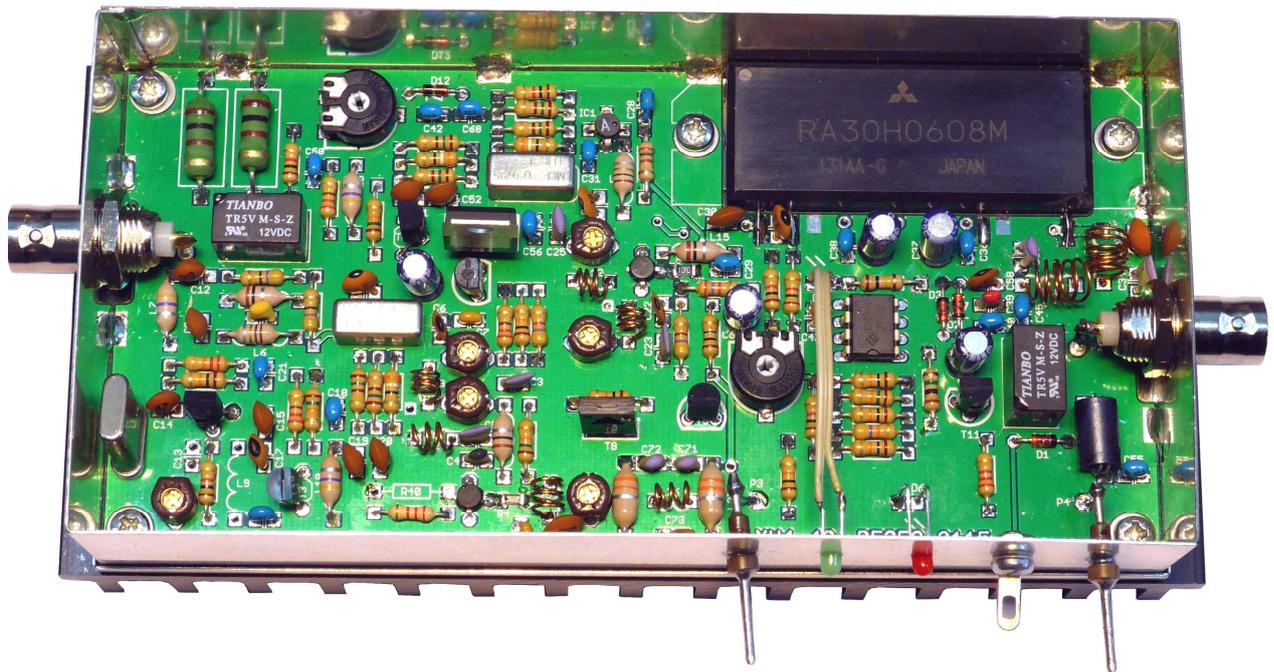


Baubeschreibung
Transverter für das 4 Meter Band
XV4-40
Holger Eckardt, DF2FQ



HE1215

Der nachfolgende Text beschreibt die Funktion, den Aufbau und die Inbetriebnahme des Lineartransverters XV4-40. Bitte lesen Sie alles sorgfältig und in Ruhe durch bevor Sie mit dem Zusammenbau beginnen. Viele Details, die beim Überfliegen vielleicht nicht auffallen, erleichtern den Aufbau erheblich. Obwohl es kein Anfängerprojekt ist, sollte jeder der schon etwas Löterfahrung besitzt mit der Bestückung zurechtkommen.

Technische Daten des Transverters:

Allgemein

Frequenzbereich	69,5MHz ... 71,5 MHz → 28,5 ... 30,5 MHz
Betriebsspannung	10,5 ... 13,8 V
Stromaufnahme	70mA Empfang, max. 6.5A Senden
Abmessungen	160x75x50mm inkl. Kühlkörper

Empfangszweig

Verstärkung	10dB
Rauschzahl	2,5dB
ZF-Durchschlag	>60dB
Spiegelfrequenzdämpfung	>80dB

Sendezweig

Ansteuerleistung	1mW ... 8W konfigurierbar
Ausgangsleistung	40W (CW), 25W _{pep} (SSB)
Intermodulation	-30dBc bei 25W _{pep}
Nebenaussendungen	<-60dB

Das Schaltungsdesign in der Übersicht

Das Schaltbild des Transverters zeigt Bild 1. Im unteren Drittel sieht man den Quarzoszillator (T2) mit seinem Pufferverstärker (T3, T6), der jeweils einen eigenen Mischer für den Sende- (U2) und den Empfangspfad (U1) ansteuert. In der Bestückungsvariante hier ist er für Grundwellenquarze dimensioniert.

Empfangsrichtung

Eine einzelne Verstärkerstufe (T1) reicht für den Empfangspfad aus. Von der Antennen- zur Ausgangsbuchse kommt man so bei einer Rauschzahl von 2,5dB auf 10dB Durchgangsverstärkung. Das ist eigentlich schon besser als nötig, da das Rauschen, das die Antenne auf dem 70MHz-Band empfängt, kaum unter 15dB liegt. In [1] gibt es einen sehr interessanten Artikel dazu. Auch die Verstärkung von 10dB ist für einen nachgeschalteten Transceiver genug, wenn er nicht völlig taub ist. Mehr würde nur das S-Meter in die Höhe treiben, nicht den Signal-Rauschabstand. Auf Bild 2 sieht man die Messkurven von Verstärkung und Rauschzahl.

Eine einzelne Verstärkerstufe reicht für den Empfangspfad aus. Von der Antennen- zur Ausgangsbuchse kommt man so bei einer Rauschzahl von 2,5dB auf 10dB Durchgangsverstärkung. 2,5dB Rauschzahl ist eigentlich schon besser als nötig, da das Rauschen, das die Antenne auf dem 70MHz-Band durch atmosphärische Effekte empfängt, kaum unter 15dB liegt.

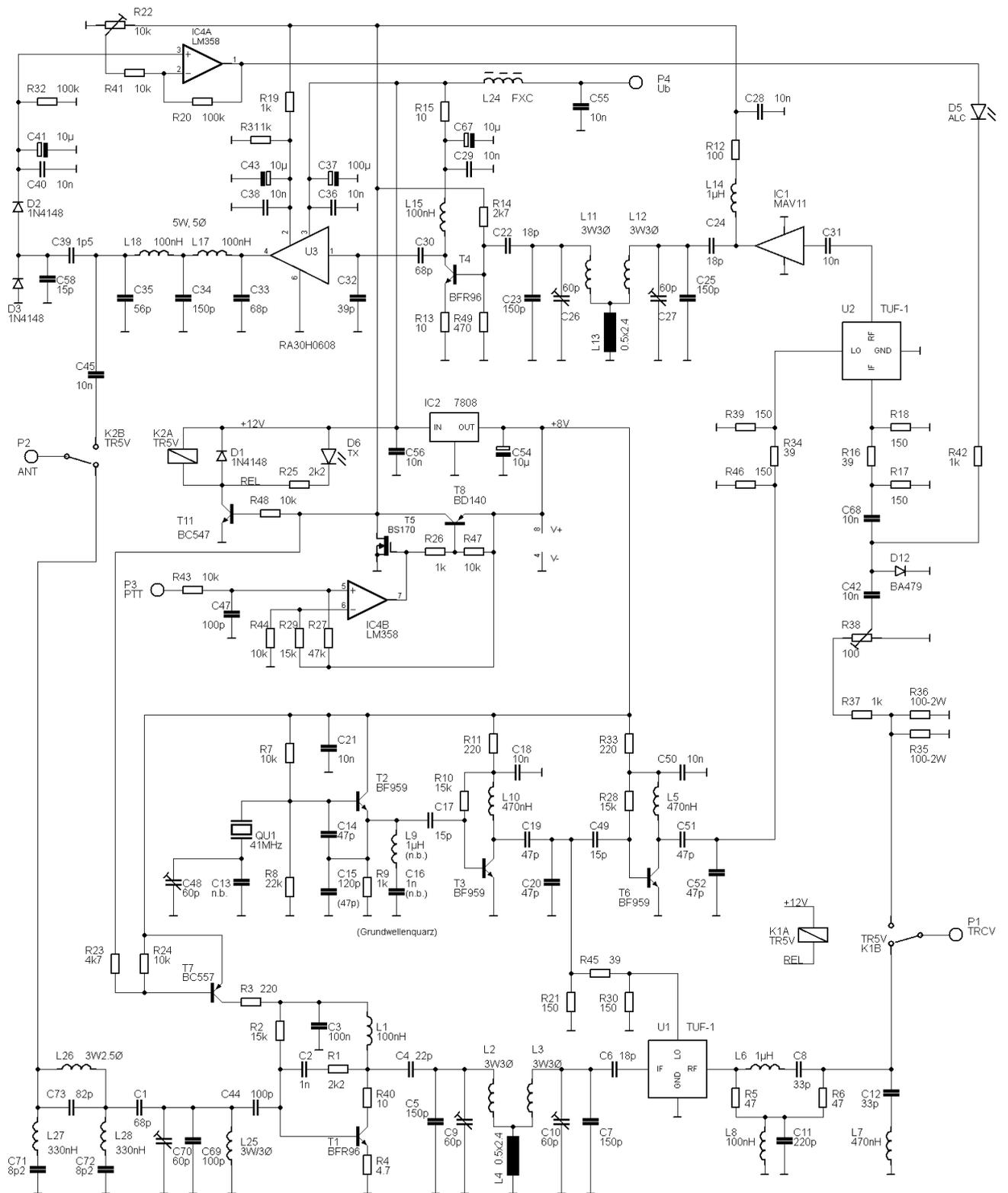


Bild 1, Schaltbild des Transverters

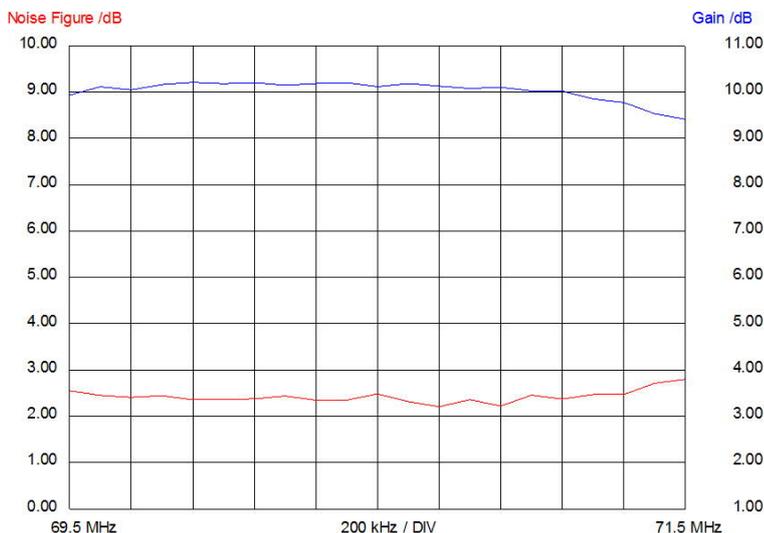
Auch die Verstärkung von 10dB ist für einen nachgeschalteten Transceiver genug, wenn er nicht völlig taub ist. Mehr würde nur das S-Meter in die Höhe treiben, nicht den Signal-Rauschabstand. Auf Bild 2 sieht man die Messkurven von Verstärkung und Rauschzahl.

Vor dem ersten Transistor gibt es eine dämpfungsarme Anpassung mit einem LC-Kreis (C1, C69, L25). Eine Bandsperrre reduziert den Pegel der Rundfunkstationen um über 70dB.

Der folgende Vorverstärker (T1) ist zweifach gegengekoppelt. Einmal im Emitter des Transistors und einmal zwischen Basis und Kollektor. Das hat mehrere Vorteile. Die starke Gegenkopplung begrenzt die Verstärkung, die sonst bei dem Mikrowellentransistor unnötig hoch wäre. Sie erzeugt eine angenehme Eingangs- und Ausgangsimpedanz, die sich gut anpassen lässt und vor allem, sie linearisiert die Schaltung, so dass der Interzeptpunkt, dritter Ordnung (ein Maß für die Eigenschaft eines Verstärkers große Signale verzerrungsarm zu verarbeiten) immerhin bei 27dBm liegt. Dies ist weit mehr, als der Mischer selbst besitzt (er liegt bei ca. 13dBm), so dass letzterer der begrenzende Faktor bei der Großsignalfestigkeit des Empfangspfades ist.

Die Vorstufe wird während des Sendens abgeschaltet, aber nicht um Strom zu sparen. Die Reste der Sende-HF, die auf den Eingang des Transistors koppeln, regen zusammen mit der schlechten Anpassung durch den offenen Eingang, diesen zu Schwingungen an.

Vor dem Mischer liegt das Bandfilter zur Selektion des richtigen Seitenbandes (C6, L2, C7, L3). Bild 3



3 zeigt die Durchlasskurve von der Antennenbuchse bis zum Mischereingang.

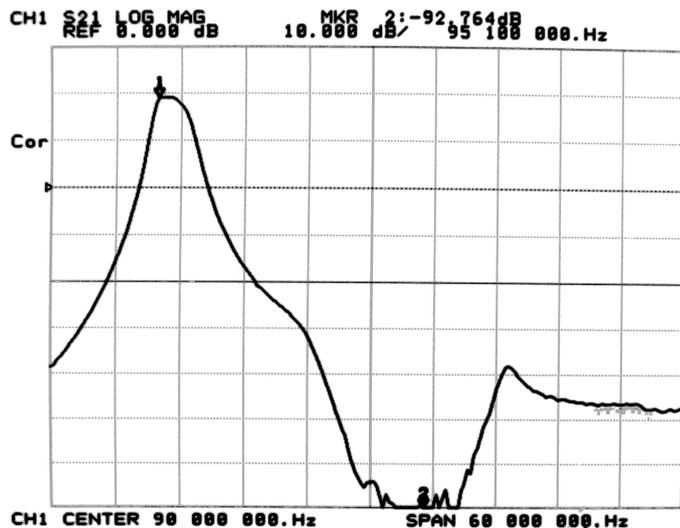
Damit ein Diodenringmischer seine guten Werte für die Großsignalfestigkeit erreicht, ist es wichtig, dass alle Ports, oder wenigsten zwei der drei für alle auftretenden Frequenzen und deren Oberwellen reflektionsarm, d.h. mit 50 Ohm abgeschlossen sind. Auf der Oszillatorseite wird das mit einem 3dB Dämpfungsglied gewährleistet. Am Ausgang sorgt ein Diplexer für den sauberen Abschluss. Dies ist eine Frequenzweiche, bestehend

Bild 2, Rauschzahl (rot) und Verstärkung (blau)

aus einem Saugkreis für das Nutzsignal (L6, C8) und einem Parallelschwingkreis (C1, L8), der alle übrigen Signale auf einen 50 Ohm Widerstand umleitet. Schließlich gibt es noch einen Saugkreis für die Oszillatorfrequenz (C12, L7), damit der folgende Nachsetzer keine Probleme mit dem 41MHz Signal bekommt.

Senderichtung

In Senderichtung folgt auf den Mischer ein Verstärker-MMIC (IC1), dann das Bandfilter zur Selektion des richtigen Seitenbandes und Unterdrückung der Mischprodukte und eine Treiberstufe (T4). Die Endstufe wird mit einem PA-Modul von Mitsubishi realisiert. Die Sende-Empfangsumschaltung erfolgt mit Hilfe von Relais (K1, K2).



Um das Band und seine Mitbenutzer vor allzu heftigen Auswirkungen von Übersteuerung des Senders zu schützen, gibt es eine ALC-Schaltung mit einem Operationsverstärker (IC4A). Und weil in dem IC-Gehäuse noch ein zweiter davon zur Verfügung stand, wurde eine Präzisions- Sendempfangsumschaltung damit realisiert (IC4B).

Eine HF-Vox gibt es nicht. Bei der Ansteuerung aus dem Transceiver braucht eine solche Schaltung

Bild 3, Gesamtdurchlasskurve von 60 bis 120MHz (Marker 1: 70MHz)

erstmal ein paar Millisekunden, bis sie reagiert. Derweil steht die HF auch am Ausgang des PA-Moduls an und das antennenseitige Relais muss unter Last schalten. Das würde es bei der Sendeleistung nicht sehr lange mitmachen.

Hinter dem Anschluss für den Transceiver geht es erstmal mit zwei dicken Widerständen los (R35, R36), die dessen Sendeleistung in Wärme verwandeln. Das funktioniert problemlos bis 4 Watt und bei SSB-Betrieb auch noch bis 8 Watt. Noch mehr Leistung bekommt den Teilen auf Dauer nicht.

Da der Ringmischer um gute Signale zu liefern nicht mehr als -10dBm Eingangsleistung abbekommen sollte, kommt jetzt noch ein Poti (R38), mit dem man die Steuerleistung anpassen kann (dazu später mehr).

Darauf folgt eine Pindiode (D12) als Stellglied für die ALC. Der Regelumfang der Schaltung beträgt allerdings kaum mehr als 12dB, so dass sie einen nicht rettet, wenn man den Eingang nur hinreichend stark überfährt.

Auf das MMIC folgt, wie beim Empfangszweig, ein induktiv gekoppeltes Bandfilter (C25L12, C23, L11) und darauf die Treiberstufe (T4) für die PA. Der Treibertransistor kann bis zu 200mW liefern, benötigt werden zu Ansteuerung des PA-Moduls aber nur 25mW, so dass an diese Stelle der Intermodulationsabstand eines 2-Ton Signals immer noch besser als 40dB ist.

Auf Bild 4 sieht man das Spektrum des Senders bei Ansteuerung mit zwei Trägern. Durch nicht-lineare Effekte im Verstärker ergeben sich Mischprodukte im Abstand der Differenzfrequenz der beiden Träger. Diese Signale verbreitern das Sendespektrum und stören Stationen auf benachbarten Frequenzen. Bei unserem Modul liegen die ersten Nebenlinien (IMD3, Intermodulation dritter Ordnung) im Diagramm 28dB unter den Einzelträgern von jeweils 37,8dBm (entsprechend einer PEP-Leistung von 24W, siehe Kasten). Bezogen auf die Gesamtleistung sind das 31dB. Das ist, zumindest auf dem praktisch leeren 4m-Band, in Ordnung und nicht schlechter als ein Großteil der auf dem Markt befindlichen Geräte für Kurzwellen und UKW. Bei einer Ausgangsleistung von 40W_{pep} ergibt sich bereits ein Intermodulationsabstand von 21dB bezogen auf das einzelne Signal, oder 24dB auf die Gesamtleistung. Das sollte man nach Möglichkeit vermeiden.

Umso wichtiger ist eine gute ALC Schaltung (Automatic Level Control), die die Leistung begrenzt, bevor die PA übersteuert wird. Erreicht wird dies mit einem Operationsverstärker (IC4), der das gleichgerichtete Signal von der Antennenbuchse bekommt und ab einer einstellbaren Schwelle einen Strom durch die Pindiode schickt. Die wird daraufhin niederohmig und reduziert den Pegel, der auf den Mischer gelangt. Eine LED (D5) zeigt den Einsatz der ALC an.

Bei CW und FM gibt es im Übrigen die Probleme nicht. Man kann, sofern man für hinreichende Kühlung sorgt (und die Lizenzbestimmungen dem nicht entgegenstehen), den Transverter bis zur Sättigungsleistung ausfahren, die je nach Umgebungstemperatur und Betriebsspannung deutlich über 40 Watt liegen kann.

Die PA-Module haben von sich aus schon eine recht passable Oberwellenunterdrückung, sie ist besser als 30 dB. Mit dem 5-poligen Tiefpassfilter auf der Platine erreicht man Werte von 57dB für die erste und 70dB für die zweite Oberwelle (Bild 5). Nicht-harmonische Signale gibt es im Sendespektrum innerhalb der Auflösung des Spektrumanalysators keine.

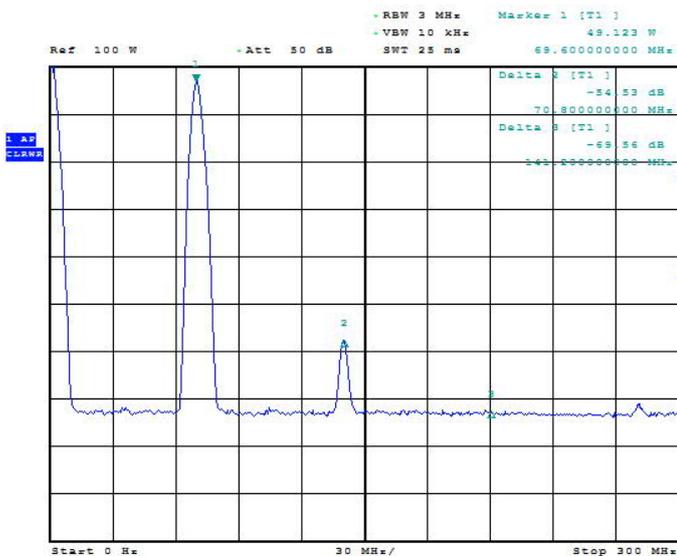


Bild 4, Spektrum des Senders bis 300MHz bei 50W

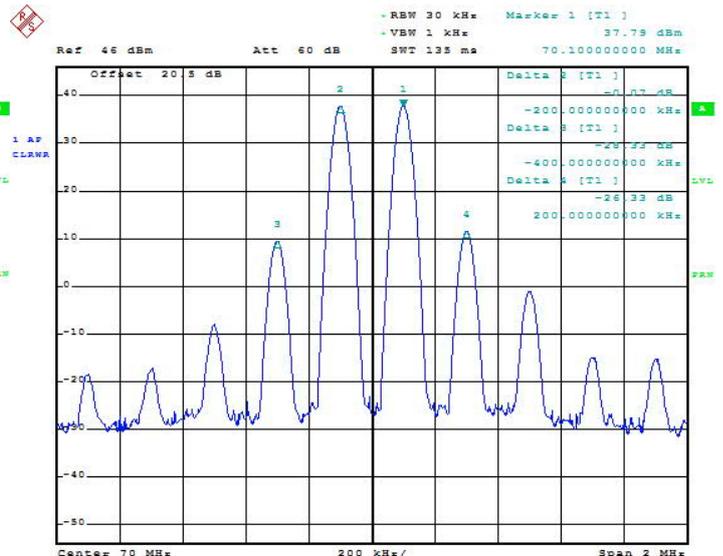


Bild 5, Intermodulation bei 24W_{pcp}

Platinenbestückung

Bild 5 zeigt den Bestückungsplan, auf dem Deckblatt sieht man parallel dazu ein Foto der Platine. Die Leiterplatte ist doppelseitig, die Oberseite besteht aber fast nur aus Massefläche.

Achtung: Der mitgelieferte 41MHz Quarz ist ein sehr kleines SMD-Bauteil. Da das Bestücken ohne Spezialwerkzeug kaum möglich ist, ist er bereits auf der Platinenunterseite eingelötet. Wundern Sie sich also nicht, wenn beim Durchsuchen der Bauteiletüte kein Quarz zu finden ist.

Nochmal Achtung: Auf dem Bestückungsdruck der Platine ist der Spannungsregler um 180° verdreht aufgedruckt. Es gilt der Bestückungsplan hier in der Baubeschreibung.

Was die Bestückung der Bauteile betrifft fällt es mir immer am leichtesten, mit den flachen Bauteilen, wie Widerstände, Diode usw. zu beginnen, und mich dann zu höheren Bauteilen durchzuarbeiten. Die Fehlerquote verringert sich, wenn man jedes bestückte Bauteil auf dem Bestückungsplan durchstreicht. Eine Lupe sollte parat liegen, da vor allem die Werte der Kondensatoren oft sehr schlecht ablesbar sind.

Alle Bauteile müssen so eingebaut werden, dass sie auf der Platine aufliegen. Bis auf die Luftspulen. Die sollten 1mm Abstand haben, damit die Kapazität zur Masse nicht die Güte verschlechtert. Die Drähte auf der Lötseite sollten nicht länger als 1-2mm herausragen, da der Abstand zwischen Deckel und Platine nur 3mm beträgt und es sonst zu Kurzschlüssen kommen kann.

Die meisten Spulen sind Festinduktivitäten mit 10mm Raster. Einige Spulen muss man aus 0,5mm Kupferlackdraht selbst wickeln. In Schaltbild steh dann z. B. „3W3Ø“. Das bedeutet drei Windungen Draht mit 3mm Innendurchmesser, oder 5W5Ø für 5 Windungen mit 5mm Innendurchmesser.

Die Trimmkondensatoren haben eine heiße, abgeflachte und eine kalte, runde Seite. Der Abgleich vereinfacht sich, wenn die kalte Seite auf Masse liegt. C13, C16 und L9 werden nur bei Verwendung eines Obertonquarzes benötigt.

Die Beinchen der BFR96 (die flachen) und des MMICs müssen direkt am Gehäuse abgebogen werden. Man sollte sich zweimal vergewissern, dass die Schrift nach oben schaut, denn hat man es falsch gemacht und muss sie in die andere Richtung biegen, brechen sie mit großer Wahrscheinlichkeit ab.

Es gibt zwei SMD-Bauteile auf der Platine, das sind die Emitterwiderstände von T1 und T4. Sie sollte als erstes Bestückt werden, solange noch Platz ringsherum ist. Es hat sich gezeigt, dass die bedrahteten Widerstände auf Grund ihrer Eigeninduktivität bei den Transistoren mit ihren hohen Transitfrequenzen mitunter zu Selbsterregung im Gigahertzbereich führen. Die Schaltung funktioniert dann schlecht, und man weiß nicht warum. Mit SMD-Widerständen passiert das nicht. Der Einbau der Teile ist nicht schwieriger als bei bedrahteten, nur wenn sie herunterfallen findet man sie kaum noch wieder.

Das PA-Modul wird so montiert, dass die Masseflansche unter und die Anschlussdrähte über der Platine liegen. Achtung, es darf erst nach dem Einbau in das Gehäuse angelötet werden um mechanische Spannungen an den Lötstellen zu vermeiden.

Mechanik und Thermaldesign

Die Abmessung der Platine ist so gewählt, dass sie in ein Schubert Weißblechgehäuse passt. Gehäuse und Kühlkörper sind bereits passend gebohrt.

Für durchschnittlichen Betrieb mit einem Sendempfangsverhältnis von 1 zu 3 beträgt die mittlere umgesetzte Verlustleistung 10 Watt. Ein Kühlkörper mit einem thermischen Widerstand von ca. 2,5 Grad/Watt erhöht die Flanschttemperatur dabei um 25°. Da Flanschttemperatur des PA-Moduls maximal 110°C erreichen darf, hat man selbst bei einer Umgebungstemperatur von 60°C noch genug Reserve, um diese Grenzdaten nicht zu überschreiten. Anfassen darf man das Gerät dann allerdings nicht mehr.

Montagepuzzle

Zuerst werden die BNC Buchsen auf die Seitenteile geschraubt. Es lohnt sich die Muttern fest anzuziehen. Nichts ist ärgerlicher, als wenn sich die Buchsen später losdrehen und man kommt nicht richtig dran, um sie wieder festzuziehen. Dann lötet man die Durchführungskondensatoren mit einem kräftigen LötKolben ein.

Die Platine wird über 3mm Abstandsbolzen aufgeschraubt. Zwischen Platine und PA-Modul kommen die zwei dicken Unterlegscheiben von 0,8mm. Zusammen mit dem 2,2mm dicken Flansch des Moduls ergeben sich die gleichen drei Millimeter, so dass die Platine gerade und spannungsfrei befestigt werden kann. Hier zeigt sich auch der Grund, warum die Bauteildrähte einigermaßen kurz abgeschnitten werden müssen.

Um die Platine in das Gehäuse einzubauen, steckt man zuerst die beiden Seitenteile und den unteren Deckel zusammen und legt die Platine mit Schrauben und Abstandbolzen hinein ohne sie festzuschrauben. Für die Überlappungen der Gehäuseteile gibt es auf der Platine passende Ausfräsungen.

Nun lötet man mit einem kräftigen LötKolben die Platine an einigen Stellen am Gehäuse fest. Auf dem Platinenlayout ist an den Stellen der Lötstopplack weggelassen. Dabei müssen die Seitenteile

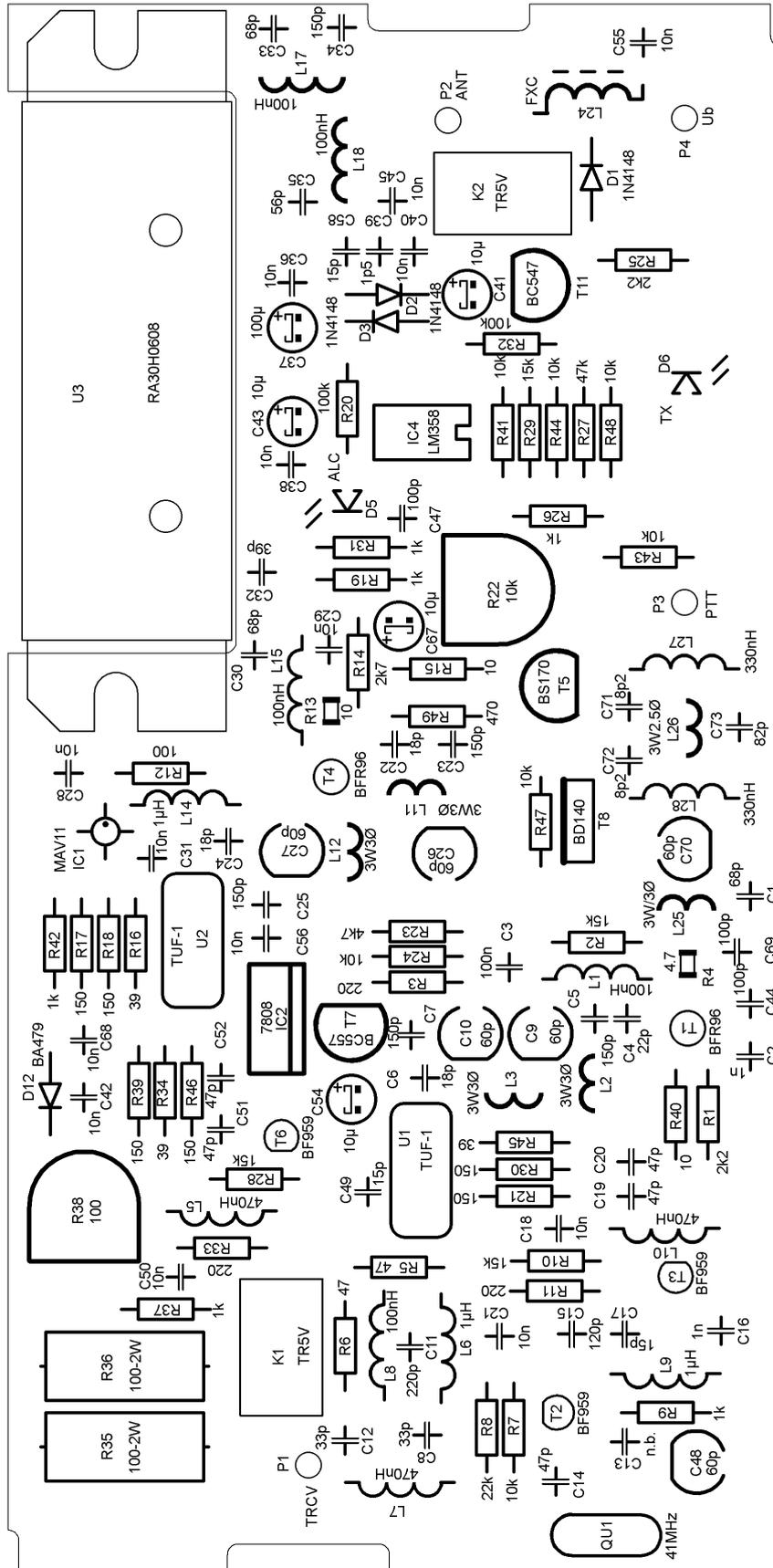


Bild 5, Bestückungsplan

ohne Spalt an der Platine anliegen. Die gegenüberliegenden Stoßstellen der beiden Seitenteile werden danach verlötet. Auf die Unterseite des PA-Modul trägt man noch eine großzügige Schicht Wärmeleitpaste auf. Dann werden die Schrauben festgezogen und erst jetzt wird das PA-Modul an den entsprechenden Pads auf der Platine angelötet.

Letzter Schritt ist das Verdrahten der BNC-Buchsen, des Betriebsspannungsanschlusses, der Tastleitung und der LEDs.

Der Abgleich

Viele Messgeräte braucht man nicht, um den Transverter abzugleichen. Im Prinzip reicht eine 4m Antenne, ein Wattmeter und ein 10-Meter Transceiver. Eine stabile Signalquelle für 70MHz erleichtert den Abgleich jedoch ungemein. Volt- und Amperemeter hat wahrscheinlich ohnehin jeder, der sich an so ein Projekt herantraut. Einen Oszilloskop, der die 70MHz darstellen kann, benötigt man, wenn etwas nicht so läuft, wie erwartet.

Die erste Inbetriebnahme erfolgt am besten ohne Gehäuse und Kühlkörper. Man kann dann leichter an die Schaltung heran, wenn etwas nicht funktioniert. Der endgültige Abgleich kann nur erfolgen, wenn der Transverter in dem Weißblechgehäuse eingebaut ist. Im offenen Zustand sind die Verhältnisse undefiniert und der Sendeteil kann instabil arbeiten.

Achtung, der Sender darf niemals ohne Kühlkörper betrieben werden. Das PA-Modul geht bei Überhitzung recht schnell kaputt. Insbesondere ist auch eine Verpolung der Betriebsspannung für das PA-Modul und den Spannungsregler auf der Stelle tödlich. Wer auf Nummer sicher gehen will, baut einen dicke serielle Diode (8 Ampere!) als Verpolungsschutz ein.

Zuerst wird im Empfangsbetrieb (PTT Anschluss offen) eine Betriebsspannung von 12V angelegt, die Stromaufnahme muss bei 70mA liegen. Mit einem Voltmeter kontrolliert man, ob die Spannung am Ausgang des Spannungsreglers IC2 8V beträgt.

Oszillator :

Mit den angegebenen Bauteilwerten schwingt Quarz schon auf einige 100Hz genau in der Nähe von 41MHz. Wer einen Frequenzzähler hat, kann mit dem Trimmer C48 die Frequenz exakt einstellen. Am Eingang der beiden Dämpfungsglieder (R45/R21 und R46/R34) sollte eine Schwingamplitude von ca. $3V_{ss}$ stehen, das entspricht einer Leistung von 20mW. Direkt am Mischer kann man die Leistung schlecht messen, da dieser durch die eingebauten Dioden das Signal verzerrt.

Empfangspfad :

Spätestens hier sollte der sich Transverter im Gehäuse befinden, damit er zuverlässig funktioniert.

Der Signalgenerator wird auf 70 MHz eingestellt und an die Antennenbuchse angeschlossen (Ausgangsspannung nicht mehr als ein paar Millivolt, evtl. Dämpfungsglied dazwischen schalten). Am Ausgang schließt man einen Empfänger auf 29 MHz an. Mit C9, C10 und C70 wird nun wechselseitig auf maximale S-Meteranzeige abgeglichen. Steht kein 70 MHz Signal zur Verfügung, kann man den Empfangspfad auch auf Rauschmaximum bei angeschlossener Antenne abgleichen. Oder man setzt sich auf eines der vielen zivilisationsgenerierten Störsignale auf dem Band und richtet sich danach.

Sender :

Um den Sender abgleichen zu können, muss die ALC ausgeschaltet sein. Dazu lötet man die LED D5 ab, damit der Regelkreis unterbrochen ist. Den PTT-Pin legt man auf Masse, um den Sendezweig zu

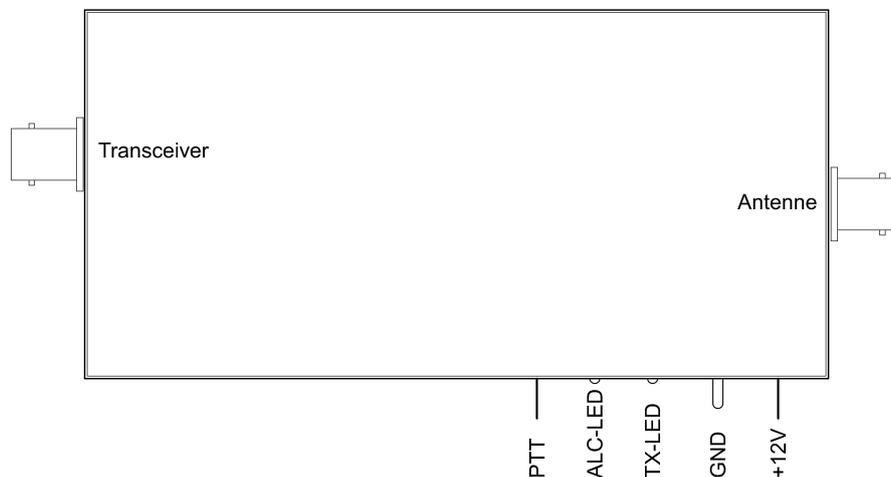
aktivieren. Beide Relais müssen klacken. Der Strom sollte zwischen 500 und 800mA liegen. Am Bias-Pin des PA-Moduls müssen ca. 4V anliegen.

An die TRX-Buchse wird der Steuersender angeschlossen, an die Antennenbuchse kommt das Wattmeter. R38, der Eingangsabschwächer, wird auf Linksanschlag gedreht, d.h. minimale Empfindlichkeit. Den Steuersender stellt man auf 29 MHz, die Ansteuerleistung sollte möglichst niedrig sein. Nun wird R38 langsam nach rechts gedreht, bis das Wattmeter zuckt und dann mit C26 und C27 die Ausgangsleistung optimiert.

Dann wird die Ansteuerleistung soweit vergrößert bis die Ausgangsleistung nicht mehr steigt. Durch vorsichtiges Biegen der Spulen L17 und L18 wird sie dann auf Maximum eingestellt. Die Sättigungsleistung liegt bei bis zu 50 Watt. Die Stromaufnahme kann dabei 8A betragen.

Mit einem CW Träger angesteuert, muss R38 so eingestellt werden, dass die Ausgangsleistung bei ca. 25 Watt liegt. R22 wird schließlich so eingestellt, die Leuchtdiode D5 (die dann natürlich wieder eingebaut sein muss) gerade anfängt zu leuchten und die Leistung leicht zurückgeht.

Man kann die Ausgangsleistung mit R22 auch auf 5 Watt einstellen. Dies ist z.B. bei Verwendung einer 4 Element-Yagi sinnvoll, da die Strahlungsleistung in DL bei der letzten Freigabe auf 25 Watt begrenzt war.



Modifikationen

Manche Transceiver haben einen speziellen Transverterausgang, der einen Pegel von 0dBm liefert. Das ist für den Transverter kein Problem, man lässt R35 und R36 weg und ersetzt R37 durch eine Drahtbrücke. Damit arbeitet das Gerät mit Ansteuerleistungen zwischen 100µW und 50mW.

Schlussbemerkung

Die hier veröffentlichte Schaltung darf von jedermann zur privaten Nutzung nachgebaut werden. Jede kommerzielle Verwertung, auch von Teilen der Schaltung, bedarf der Genehmigung des Autors. Für Schäden, die aus der Nutzung oder dem Nachbau der hier veröffentlichten Schaltung entstehen, übernimmt der Autor keine Haftung. Im ordnungsgemäß aufgebauten Zustand erfüllt das Gerät alle Anforderungen an die einschlägigen Normen wie CE, ROHS und ETSI.

Bei Fragen und Hinweisen bitte E-Mail an df2fq@dark.de.

DF2FQ Homepage:

www.df2fq.de

DF2FQ E-Mail:

df2fq@dark.de

Baubeschreibungen für 4m Antennen:

www.qsl.net/dk7zb/start1.htm

Viele Infos zum 4m-Band:

www.70mhz.org