

Einfach aufzubauende Anlage für Wettersatellitenempfang (1)

Dipl.-Ing. RADEK VACLAVIK – OK2XDX

Ein rauscharmer Block-Konverter (LNB) für 1,7 GHz, ein über die Betriebsart WFM verfügbarer 2-m-Empfänger und ein PC mit Soundkarte genügen, um mit Hilfe einer 60-cm-„Schüssel“ Wetterbilder vom Meteosat zu empfangen. Das mit modernsten Bauelementen ausgestattete Empfangsmodul bedarf zum Abgleich nur eines einfachen Multimeters.

Kernstück der Empfangsanlage ist ein LNB, der für einen weiten Ausgangsfrequenzbereich ausgelegt ist. Dadurch erschließt er einem großen Kreis von Funkamateuren und Elektronikern einen leichten Zugang zum Wettersatellitenempfang. Für die Weiterverarbeitung des umgesetzten Signals eignen sich ein 2-m-Handy oder ein Scanner (Bedingung: WFM) ebenso wie ein möglicherweise vorhandener 137-MHz-Wettersatellitenempfänger. Mit Ausnahme der Eingangsspule werden alle für die hohen Frequenzen wesentlichen Spulen und Filter durch Leiterzüge gebildet, wodurch eine hohe Nachbausicherheit gegeben ist. Niedrige Rauschzahl und hohe Durchgangsverstärkung machen an einem 60-cm-Spiegel einen zusätzlichen Vorverstärker entbehrlich.

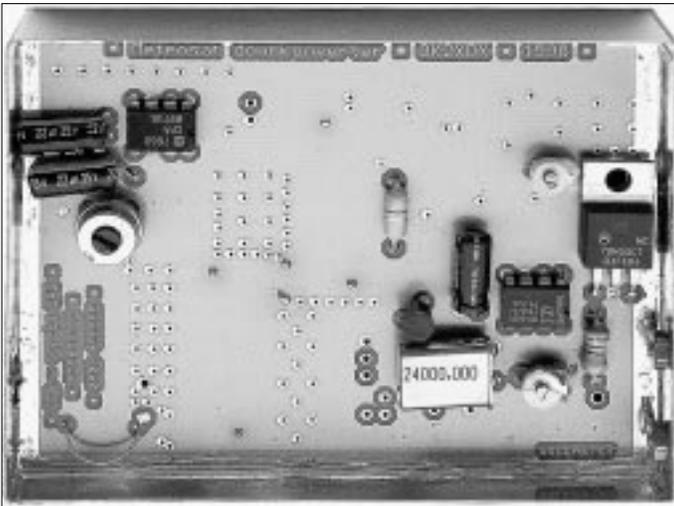


Bild 1: Bestückungsseite des LNB; links unten ist die Eingangsspule aus einem Silberdrahtbügel zu sehen, deren Lage zu variieren ist, um höchstmögliche Empfindlichkeit zu erzielen. Die Löcher dienen der induktivitätsarmen Masseverbindung zwischen Ober- und Unterseite; sie müssen unbedingt offen bleiben.

Die zweite Folge dieses Beitrags befaßt sich u.a. mit einem quarzgesteuerten Nachsetzer, der, in einem 25poligen D-Sub-Steckergehäuse untergebracht, anstelle o.g. Empfangsgeräte zum Einsatz gelangen kann.

■ Konzeption des LNB

Wettersatelliten wurden bereits ausgiebig in der Literatur beschrieben. Unter den für uns interessanten geostationären Satelliten kommt in erster Linie der Meteosat 7 in Frage [1]. Er sendet WEFAX-Daten auf den beiden Kanälen 1691 MHz und 1694,5 MHz. Um einen vorhandenen

2-m-Empfänger zu nutzen, muß das Signal von 1691 MHz in den Bereich 140...150 MHz umgesetzt werden. Genau dies ist die Aufgabe des LNB. In Bild 2 sind verschiedene Möglichkeiten des Empfangs gezeigt.

Wir geben hier dem einfachsten Fall (c) den Vorzug, bei dem das demodulierte Ausgangssignal direkt der Soundkarte eines PCs zugeführt wird. Deren 13poliges Digitalfilter ist nach vorliegenden Erfahrungen die beste Möglichkeit zur Weiterverarbeitung des Bildsignals.

Bisher publizierte Schaltungskonzepte [4], [5] weisen verschiedene Nachteile auf. So enthält [4] eine Reihe von schwierig abzugleichenden Vervielfacherstufen. Demgegenüber verwendet [5] zwar eine PLL, aber wegen der hohen Rauschzahl

kommt man nicht ohne zusätzlichen Vorverstärker aus [6].

Inzwischen gibt es eine ganze Reihe hochintegrierter Spezialschaltkreise für das 2,4-GHz-ISM-Band, die in großen Stück-

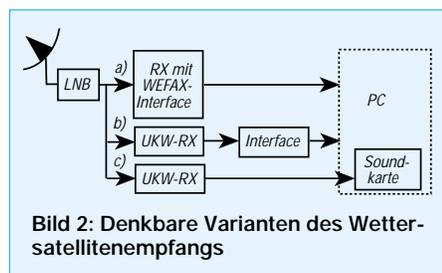


Bild 2: Denkbare Varianten des Wettersatellitenempfangs

zahlen zu niedrigen Preisen hergestellt werden [2], [3]. Die hier gezeigte Schaltung basiert auf dem HPMX 5001 von Hewlett Packard (IC3). Er ist für einen Eingangsfrequenzbereich von 1,7 bis 2,4 GHz und eine ZF von 100 bis 300 MHz ausgelegt. Ich habe die Schaltung für ein Ausgangssignal von 155,000 MHz ausgelegt, weil diese Frequenz mit den meisten 2-m-Geräten (ggf. nach Frequenzerweiterung beim Fachhändler) zu empfangen ist und sich ein Referenzquarz von 24 MHz eignet, der äußerst preiswert zu haben ist.

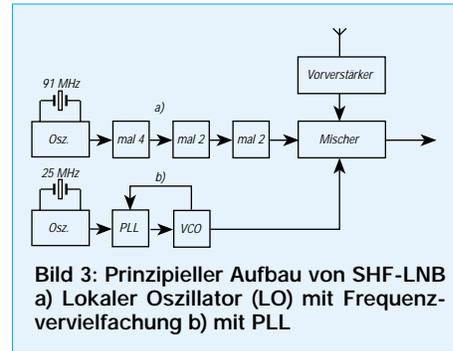


Bild 3: Prinzipieller Aufbau von SHF-LNB
a) Lokaler Oszillator (LO) mit Frequenzvervielfachung b) mit PLL

Bild 3 stellt übliche Aufbaumöglichkeiten von SHF-Konvertern vor. Die Variante a) geht von einem 100-MHz-Quarzoszillator aus, dessen Signal mehrere Vervielfacherstufen durchläuft. Ist eine Stufe falsch abgestimmt, arbeiten die folgenden auch nicht mehr. Also sind eine entsprechende Abgleichausrüstung sowie fundierte HF-Kenntnisse gefragt.

Die zweite Variante beruht auf einer PLL, die günstigstenfalls nur einen Abgleichpunkt enthält. Früher mußte man die SHF herunterteilen und mit diskreten Bauelementen weiterverarbeiten. Dies zog einen komplizierten Aufbau des Oszillorteiles nach sich, vom hohen Preis der Mikrowellen-Bauteile ganz zu schweigen.

Heute stehen uns preiswerte Spezialschaltkreise zur Verfügung, die alle notwendigen Baugruppen in einem Gehäuse vereinen. So weist der für Datenübertragungsanwendungen entwickelte HPMX-5001 sogar getrennte Empfänger- und Sendertrakte auf (Bild 5). Davon benötigen wir lediglich Oszillator, Pufferverstärker, Vervielfacher, Empfangsmischer, Vorverstärker und Verteiler.

■ Schaltungsbeschreibung

Bild 4 zeigt die komplette Schaltung des LNB. Der Oszillator arbeitet auf der halben Frequenz (768 MHz), welche durch C16, C17, C18, L7' und D1 vorgegeben wird. Sein Ausgangssignal durchläuft eine Teilung durch 32, und wird dann über C13/R5 dem PLL-Mischer in IC4 (NE612) zugeführt. Der NE612 enthält neben dem Mischer einen internen Referenzoszillator, der mit X1, C21 und C22 zusammenspielt.

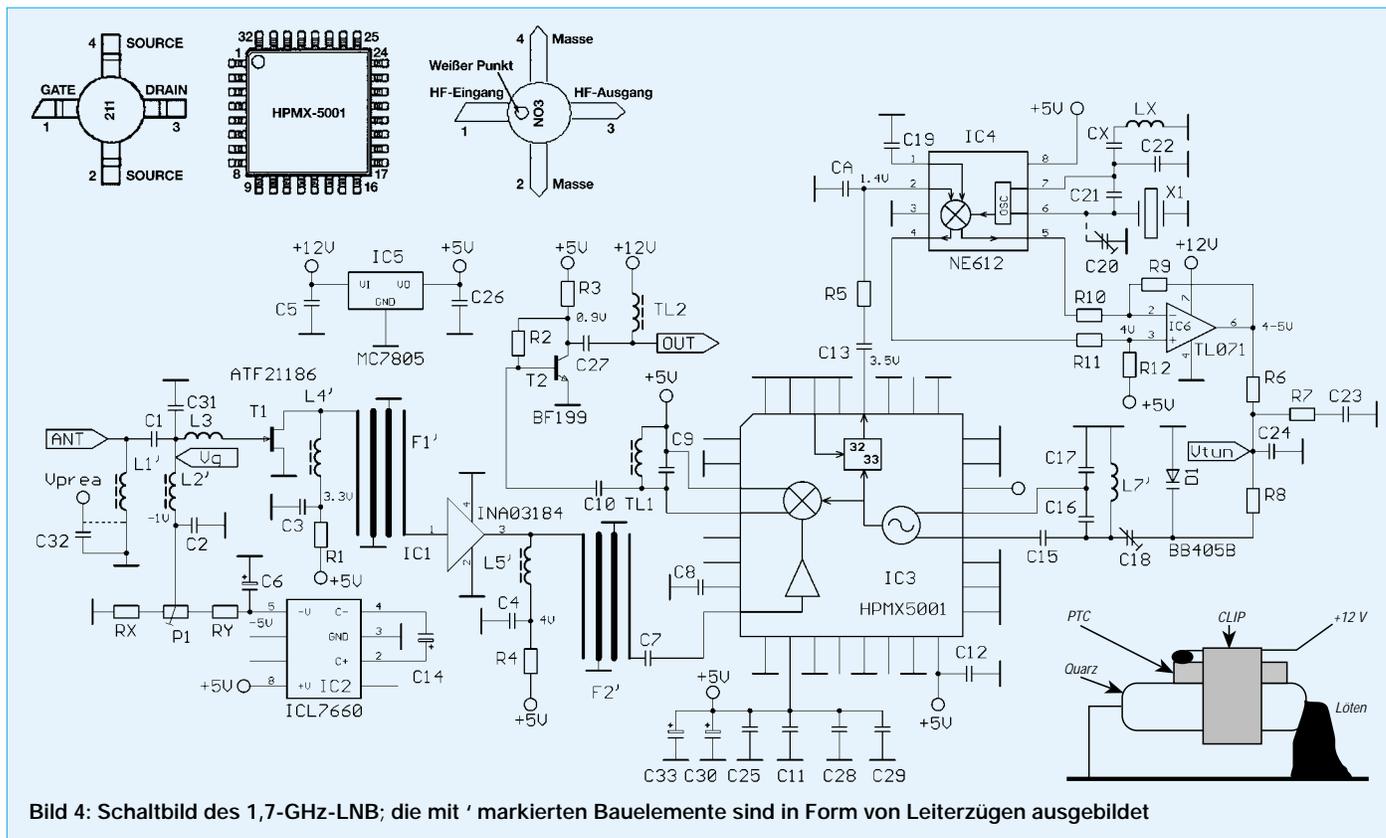


Bild 4: Schaltbild des 1,7-GHz-LNB; die mit ' markierten Bauelemente sind in Form von Leiterzügen ausgebildet

L_X und C_X sind ggf. für einen Obertonquarz gedacht und bei einem Grundwellenquarz wegzulassen. C_{20} dient der Feinabstimmung und entfällt, wenn $X1$ schon die richtige Lastkapazität aufweist bzw. der Empfänger hinreichend kleine Abstimmsschritte (5 kHz ausreichend) zulässt.

Die resultierende Spannung wird mit dem High-Speed-Operationsverstärker $IC6$ (TL071SMD) verstärkt und dient nach korrekter Aufbereitung im aus $R6, R7, C23$ und $C24$ bestehenden Schleifenfilter als Regelspannung für die VCO-Kapazitätsdiode $D1$. C_A sorgt für verbesserte Stabilität der PLL und entfernt hochfrequente Anteile aus dem vom Frequenzteiler stammenden Signal. $L3$ und $C31$ führen dem GaAsFET ATF-21186 das Antennensignal zu. Beide beeinflussen die optimale Rauschanpassung für $T1$. Dieser erhält seinerseits via $L2'$ vom Spannungswandler $IC2$ eine negative Vorspannung. Durch diese HF-technisch

saubere Erdung des Emitters von $T1$ bleibt einem die ansonsten mühselig zu montierende Überbrückung des Emitterwiderstands mit einem unbedrahteten Scheibenkondensator erspart.

Über das Filter $F1$ gelangt das verstärkte SHF-Signal an den Eingang des monolithischen Verstärkers $IC1$ (INA-03184), der es um weitere 24 dB anhebt. Es folgt der in $IC3$ enthaltene Mischer. Das erhaltene 2-m-Signal erfährt durch $T2$ (BF199) noch eine weitere Verstärkung, bevor es an der Ausgangsbuchse abgenommen werden kann.

■ SHF-technische Besonderheiten

Die „gedruckten“ Filter $F1$ und $F2$ habe ich mit der bekannten Mikrowellensoftware PUFF [7] entworfen. Dabei ist das verwendete Leiterplattenmaterial ein wesentlicher Entwurfsparameter. Wegen des hohen Preises bin ich bewußt nicht von speziellem Mikrowellenmaterial ausgegangen, sondern habe normales FR4 verwendet. Die dadurch in Kauf zu nehmende höhere Durchgangsdämpfung der Filter ist leicht mit dem preiswerten $IC1$ zu kompensieren (24 dB).

Die Filter bedürfen keiner Abstimmung und haben eine 3-dB-Bandbreite um 100 MHz. Ihre gemessenen Kurven stimmten gut mit den simulierten überein [9], [10]. $L1, L2, L4$ sowie $L5$ sind ebenfalls „gedruckte“ Viertelwellenleitungen für die Stromversorgung bzw. für den Schutz des Eingangs vor elektrostatischen Aufladungen.

Sollte die Leiterplatte im Eigenbau entstehen, ist unbedingt auf dasselbe Material zurückzugreifen, da ansonsten die für leichten Nachbau bewußt als „no tune“ ausgelegten Spulen und Filter nicht mehr stimmen.

Besonders wichtig ist die Erdung der an der Platinenunterseite sitzenden SHF-Bauelemente über Hohlnieten. Ohne dem erhält man frei nach Murphy einen Oszillator und keinen Konverter. Man veranschauliche sich, daß Ströme im SHF-Bereich wirklich nur an der Oberfläche der Leiterbahnen bzw. Masseflächen entlangkriechen und daher einzig und allein über diese Löcher ihren Weg von der Unter- zur Oberseite finden können.

Der Referenzquarz wird mit einem PTC-Thermistor beheizt. Eine Temperaturstabilisierung ist zwingend notwendig. Dies leuchtet ein, wenn man bedenkt, daß bereits eine Verstimmung des Referenzoszillators um nur 78 Hz eine Veränderung des umgesetzten Empfangssignals von 5 kHz nach sich zieht.

■ Aufbau und Abgleich

Aus diesem Grund sind auch alle internen Betriebsspannungen mit $IC5$ (7805) stabi-

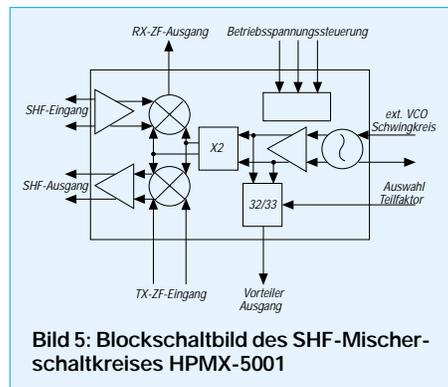


Bild 5: Blockschaubild des SHF-Mischer-schaltkreises HPMX-5001

Technische Daten des LNB

Eingangsfrequenz:	1691 MHz (1694,5 MHz)
Ausgangsfrequenz:	155 MHz (100...200 MHz)
Rauschzahl:	typ. 1,4 dB
Durchgangsverstärkung:	>40 dB
Betriebsspannung:	10...12 V =

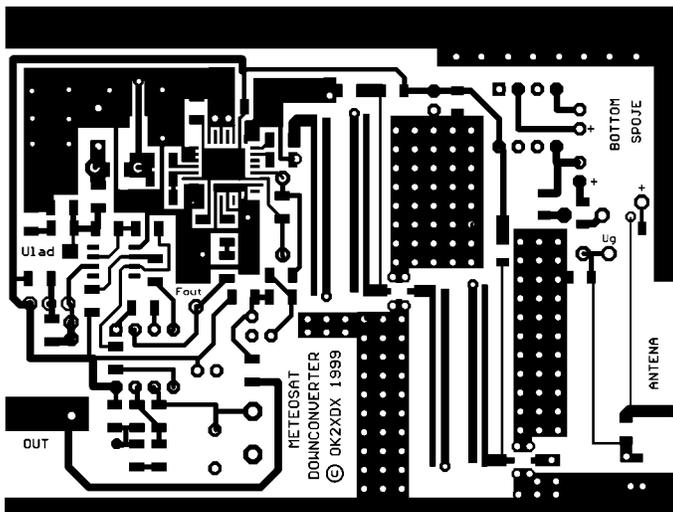


Bild 6: Leiterplatte des LNB, Unterseite

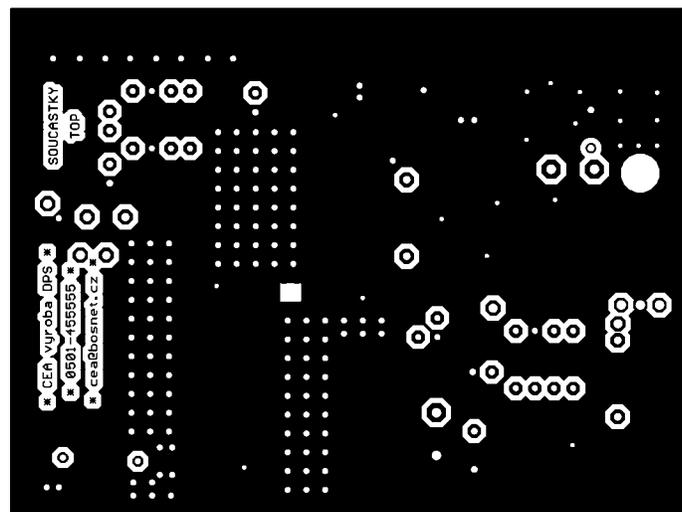


Bild 7: Leiterplatte des LNB, Oberseite

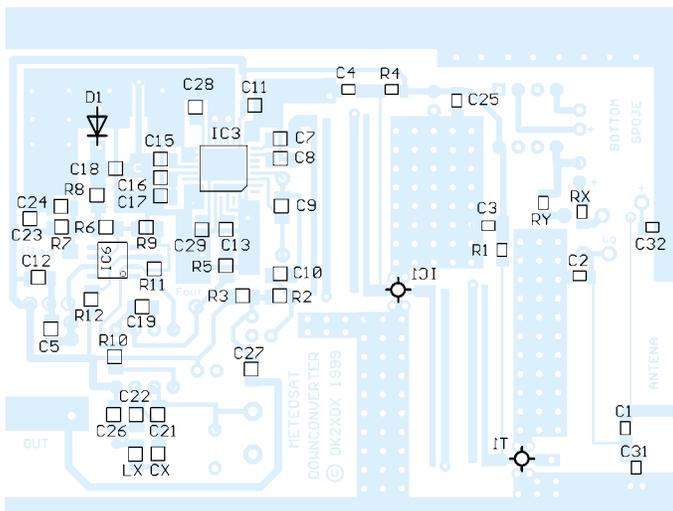


Bild 8: Bestückungsplan der LNB-Leiterplatte, Unterseite

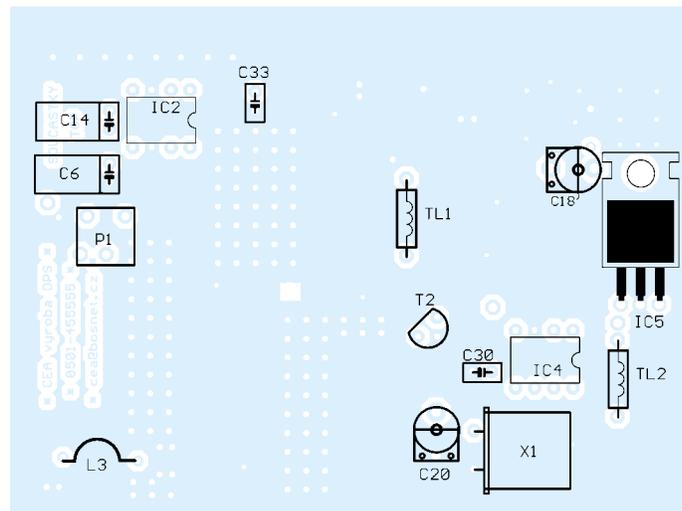


Bild 9: Bestückungsplan der LNB-Leiterplatte, Oberseite

lisiert. Der LNB wird über das Koaxkabel mit 12 V Betriebsspannung versorgt, wozu C27/TL2 dienen.

Der LNB ist in einem Weißblechgehäuse mit den Maßen 92 mm × 67 mm × 22 mm untergebracht, so daß eine allseitige Abschirmung gewährleistet ist. Zunächst werden die Durchbrüche für die Anschlußbuchsen ausgeführt. Vergessen Sie nicht, die Leiterplatte jetzt mit einer Feile auf genaues Maß zu feilen, so daß sie sauber in das Gehäuse paßt; eingelötet wird sie jedoch erst zu einem wesentlich späteren Zeitpunkt.

Das erste, was einzulöten ist, sind die Durchkontaktierungen für T1 und IC1. Anschließend kommen die Spannungsregler IC5 und IC2 nebst zugehöriger passiver Bauelemente an die Reihe. Die Prüfung der korrekten Funktion mit einem Voltmeter sollte das erste Erfolgserlebnis verschaffen.

Es folgt das behutsame Anlöten von IC3, IC4, IC6 und deren passiver Bauelemente. Bei der Unterbringung von D1 an der Platineunterseite ist auf möglichst kurze

Drähte zu achten. C_A kommt ebenfalls von unten direkt an die Pins 2 und 3 von IC4. Besondere Beachtung verdient die Montage von IC3; er muß vor dem Lötprozeß genau ausgerichtet werden (evtl. mit Sekundenkleber fixieren).

Bevor das Modul nun über ein Ampere-meter mit der Betriebsspannung verbunden wird, ist mit äußerster Sorgfalt nach möglichen Kurzschlüssen bzw. Zinnbrücken zu suchen (starke Lupe!). Der Strom darf 100 mA nicht überschreiten.

Der Abgleich beginnt mit der Einstellung von C18 auf minimale Kapazität sowie C20 (falls vorhanden) auf mittlere. Mit einem nichtmetallischen (idealerweise keramischen) Abgleichstift wird unter Messung der Regelspannung U_{tun} die Kapazität von C18 langsam erhöht. Wenn die Spannung sprunghaft ansteigt, ist die PLL eingerastet. Kommt man mit dem Finger in die Nähe von L7', so steigt die Abstimmspannung – die PLL folgt dem neuen Wert. Auch einer Änderung von C18 muß die Regelspannung folgen. Der Haltebereich der PLL liegt bei 3...9 V.

Eine Einpegelung auf 4...5 V ist optimal. Durch Ein- und Ausschalten der Betriebsspannung verifiziert man, ob die PLL sauber einrastet, anderenfalls U_{tun} vorsichtig verändern.

Es kann auch C18 bei einem festen Wert belassen und L7' durch Lötten verkürzt werden. Bei Fehlfunktion der PLL sind VCO-Frequenz und Referenzoszillator mit einem Zähler oder Oszilloskop zu überprüfen.

Wenn bis hierher alles funktioniert, geht es weiter mit dem Zusammenbau des Ausgangsverstärkers T2 sowie des Eingangsverstärkers IC1. Mißt man an R4/C4 4 V, ist dies ein Indiz für die richtige Funktion von IC1.

Nun ist der Moment gekommen, wo die Leiterplatte im Metallgehäuse unterzubringen ist. Zuerst ist für korrekten Sitz der Eingangs- und Ausgangsbuchse (N, BNC oder SMA) zu sorgen; ihre Mittelleiter müssen nach Einsetzen der Platine genau die richtigen Stellen auf derselben treffen. Es dürfen keinesfalls Drähte zur Kontaktierung der Innenleiter benutzt werden, dies würde

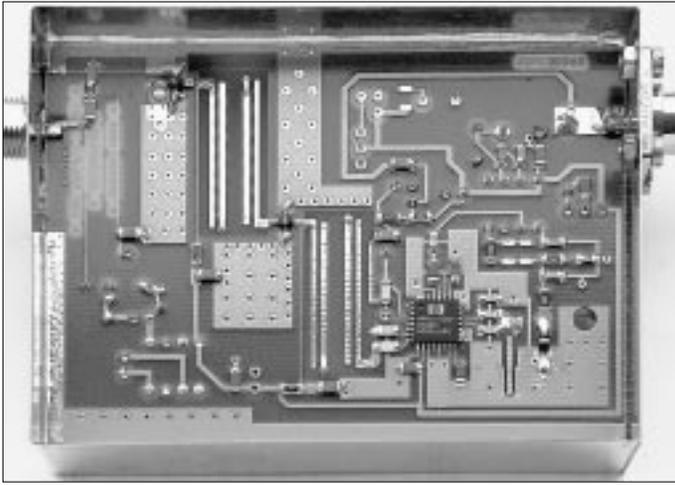


Bild 10: Auf der Leiterseite befinden sich die meisten Bauelemente. Besonders sorgsamem Umgang erfordert der 32beinige SHF-Mischerschaltkreis. Ferner müssen die Innenleiter der Anschlußbuchsen sauber auf den entsprechenden Leiterzügen aufliegen, bevor sie mit Lötzinn fixiert werden.

insbesondere am Antenneneingang zu erheblichen Verschlechterungen der Empfangsparameter führen.

Paßt alles, wird die Leiterplatte auf beiden Seiten ringsherum „wasserdicht“ eingelötet. Nach einer Abkühlungspause kommt T1 an seinen Platz, wobei jegliche Berührung seines Gates mit dem Finger unterbleiben sollte und der Lötcolben am besten über ein Kabel mit der Gehäusemasse verbunden wird. L3, bestehend aus 1/2 Windung 0,6 mm CuAg, kommt als eines der wenigen Bauelemente auf die „Bestückungsseite“.

■ Inbetriebnahme

LNB an ausgerichtete Schüssel angeschlossen, am Nachsetzer die passende Frequenz eingestellt, und schon ist das typische WEFAX-Signal des Meteosat 7 aufzunehmen... Sollte dieser wünschenswerte Idealfall nicht eintreten, empfiehlt es sich, zunächst die VCO-Frequenz genau zu messen und dementsprechend die Empfangsfrequenz noch einmal neu zu berechnen, oder aber die Empfangsfrequenz des Nachsetzers vorsichtig um bis zu ± 1 MHz zu variieren.

Erst wenn Empfang besteht, kann man versuchen, das Rauschen durch vorsichtiges Drehen an P1 zu minimieren, wobei weder der maximal zulässige Drainstrom von 200 mA noch $-U_{gsmax}$ (4V) überschritten werden dürfen. Letzte Optimierungschance ist das vorsichtige Verbiegen von L3. Geringstes Rauschen kommt bei ca. 1 mm Abstand von der Leiterplatte zustande. Für diese Einstellungen ist ggf. der Spiegel etwas vom Satelliten wegzudrehen, damit das Signal im Rauschen liegt.

Wie als letzte Maßnahme der PTC-Widerstand anzubringen ist, kann ebenfalls Bild 4 entnommen werden.

■ Betriebserfahrungen

In Tschechien sind mehr als 20 nachgebaute LNBs in Betrieb, was für die gute Reproduzierbarkeit der Bauanleitung spricht.

Garant für den Erfolg sind neben dem Design auch die Verwendung von Qualitätsbauelementen und der Originalplatine. Der Leserservice des FUNKAMATEUR erwägt, bei entsprechender Nachfrage die Platinen ins Vertriebsprogramm aufzunehmen.

Als Nachsetzer dienen überwiegend kommerzielle 137-MHz-Wettersatellitenempfänger oder Amateurfunk-Handys. Ich selbst nutze ein FT-50 und als Software JVCMM32 [8]. Zur Software folgen im zweiten Teil detaillierte Ausführungen, ebenso zu möglichen Variationen des LNB und zur Spiegelkonstruktion.

Ogleich ein 60-cm-Spiegel ausreicht, empfiehlt sich ein größeres Exemplar für höhere Systemreserve. Ein Vorverstärker, z.B. [6], leistet zusätzlich gute Dienste und entschärft ferner das Problem der Temperaturstabilität, weil der LNB mit seinem empfindlichen Oszillator dann auf dem Dachboden o.ä. residieren kann.

Eine Spannungsversorgung für Vorverstärker ist schon auf der Platine vorgesehen – es sind lediglich das kalte Ende von L1 von Masse zu trennen und parallel zu C32 12V anzulegen.

Übersetzung und Bearbeitung:
Dr. W. Hegewald, DL2RD

Literatur

- [1] <http://www.eumetsat.de>
- [2] Hewlett Packard Datenblätter: <http://www.hp.com>
- [3] Philips Datenblätter: <http://www.philips.com>
- [4] Barkowiak, B., DK1VA: Rauscharmer Meteosat-Konverter mit GaAs-FET Vor- und Mischstufe, UKW-Berichte 25 (1985) H. 1, S. 22
- [5] Vidmar, M., S53MV: Sprejem APT-WEFAX slika s satelita Meteosat. CQ ZRS (1995) H. 1
- [6] Vidmar, M., YU3MV: Ein sehr rauscharmer Antennenverstärker für das L-Band, UKW-Berichte 31 (1991) H. 3, S. 163
- [7] PUFF Manual (Mikrowellen-CAD-Programm, Bezug: UKW-Berichte, s. Bezugsquellenverzeichnis)
- [8] <http://www.jvcomm.de>
- [9] Vaclavik, R., OK2XDX: Prijimac a interfejs pro prijim meteosatelitu. PE A-Radio (1997) H. 3
- [10] Vaclavik, R., OK2XDX: Prijem geostacionarnich meteosatelitu, PE A-Radio (1997), H. 5

Stückliste für den LNB

Kondensatoren, Keramik SMD 1206

C1	100 p
C2, C3, C4, C10, C11, C12, C19, C25, C27, C32	1 n
C5, C26, C28, C29	47 n
C7	2,7 p
C8	3,3 p
C9	2,2 p (15 p @58,7MHz, 2,8 p @137,5 MHz, 2,2 p @155MHz)
C13	12p
C15, C16, C17	5,6 p
C21, C22	56 p
C23	100 n
C24	150 p
C31	1,8 p
C _x	s. Text
C 18	6 p Minitrimmer, 2 Anschlüsse, SKY oder Philips
C20	Minitrimmer 10 p, 2 Anschlüsse, SKY oder Philips
C6, C14	22µ/6V
C30	10 µ/6V
C33	47 µ/6V
C _A	47 p

Widerstände SMD 1206

R1	47
R2	3k3
R3	1k
R4	100
R5	22
R6	10k
R7	5k6
R8, R10, R11	33k
R9, R12	68k
R _x	1k5 (gibt untere Grenze für U _g vor, $-4 V < U_g < -0,5 V$)
R _y	4k7 (siehe R _x)
P1	Einstellregler 10k

Halbleiter

D1	BB405B
T1	ATF-21186
T2	BF199
IC1	INA-03184
IC2	ICL7660
IC3	HPMX5001
IC4	NE612 (SA612)
IC5	7805
IC6	TL071SMD

Sonstiges

L3	0,5 Wdg. CuAg 0,6mm, D= 10 mm
L _x	siehe Text
TL1	0,47 µH
TL2	47 µH
X1	24 MHz, Grundwellenquarz,

C_L = 32 pF, ± 25 ppm@60°C, Stabilität ± 25 ppm@10...40°C
Thermistor PTC
Siemens A60, B59060-A60-A10