

Das Pa(c)ket-Radio (3): Synthesizergesteuerter 9k6/70-cm-Packet-Transceiver

Dipl.-Ing. GÜNTHER BORCHERT - DF5FC

Das Pa(c)ket-Radio zeichnet sich durch schnelle Sende-/Empfangs-Umschaltung aus, liefert 2 bis 4 W Sendeleistung und arbeitet im gesamten 70-cm-Band mit im 12,5-kHz-Raster getrennt einstellbaren Sende- und Empfangsfrequenzen. Der dritte Teil des Beitrags befaßt sich mit Aufbau, Inbetriebnahme und Abgleich des Geräts.

Zeit, sich der Praxis zuzuwenden. Ich möchte an dieser Stelle nochmals betonen, daß es sich zwar um ein durchentwickeltes Gerät handelt, der Aufbau allerdings alles andere als trivial ist. Ohne eine gewisse Lötterfahrung geht es nicht, sonst gibt es eine teure Enttäuschung.

■ Aufbau des Transceivers

Wer völlig ohne Bausatzunterstützung arbeitet, muß einen kleinen Meßpark sein eigen nennen. Es ist beispielsweise notwendig, die EingangsfILTER zu wobbeln. Ferner ist ein Spektrumanalysator beim Aufbau des Senders äußerst nützlich. Mit seiner Hilfe läßt sich der Hub einstellen und natürlich die Nebenwellenfreiheit sichern. Für eine gegebenenfalls erforderliche Fehlersuche sind diese Meßgeräte überhaupt unerlässlich. Ich empfehle dringend, sich dann Rat bei erfahrenen OMs zu holen.

Damit sich auch nicht so gut ausgerüstete OMs solch ein Gerät selbst bauen können, haben wir die kritischen Teile bestückt und vorabgeglichen. Das macht die Sache nicht unbedingt billiger, aber sehr sicher und daher letztendlich garantiert preiswerter.

Zurück zu den Meßgeräten. Unerlässlich sind ein Oszilloskop und ein Digitalmultimeter. Zu diesem Zweck sollten ein Abschlußwiderstand für 70 cm oder ein passendes 30- bis 40-dB-Dämpfungsglied und ein einfaches (oder auch besseres) Leistungsmeßgerät vorhanden sein, s.u. Nun aber endgültig zur Praxis.

Wie erwähnt, findet der komplette Transceiver auf zwei doppelseitig kaschierten Leiterplatten der Maße 100 mm × 90 mm Platz. Die Oberseite als durchgehende Massefläche ist für einen stabilen Betrieb zwingend erforderlich, außerdem müssen die Masselötstellen auf der eigentlichen Transceiver-Leiterplatte sehr sorgfältig ausgeführt werden. Wer den Bestückungsplan, besonders den der eigentlichen Transceiver-Leiterplatte, genau studiert, erkennt sofort, daß es an einigen Stellen sehr eng zugeht. Das ist die Konzession an den Nichteinsatz von SMD-Bauteilen in diesen Bereichen. Besonders der Komplex um den Modulator

ist äußerst gedrängt. Dort stehen fast alle Bauelemente und sind im 2,54-mm-Raster aufgebaut.

An dieser Stelle wieder der obligatorische Hinweis: Für den Aufbau ist es sehr wichtig, zuerst den ganzen Text zu lesen und sich eingehend mit den Leiterplatten zu beschäftigen. Teilweise ist die Aufbaureihenfolge wichtig, da man sonst nicht mehr oder nur sehr schwierig an die Lötstellen herankommt. Ein typischer Fall hierfür ist die Front-Leiterplatte zusammen mit der Frontplatte. Einmal falsch zusammengebaut, läßt sie sich nur noch zerstörend zerlegen! Also: lesen, lesen, lesen ...

Im Gegensatz zu meinen bisherigen Projekten (meist Einplatinen-Aufbauten) empfehle ich bei diesem Gerät ein schrittweises Vorgehen. Versuche haben gezeigt, daß man so besser den Überblick behält und ggf. auch

leichter Fehler finden kann. Ich empfehle also, sich unbedingt an die beschriebene Reihenfolge zu halten, da ein Schritt auf dem anderen aufbaut.

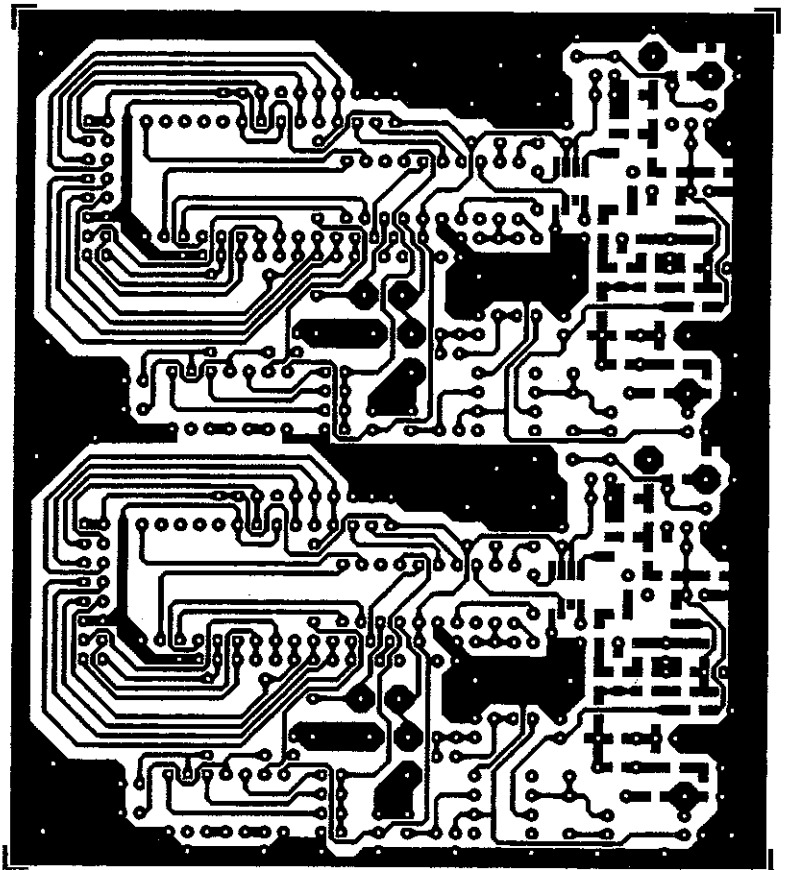
Die schöne Bastelarbeit beginnt mit der Frontplattenpartie. Wir benötigen diese fest mit der Frontplatte verbundene Leiterplatte mit den Schaltern zum Test beider Hauptleiterplatten, zur Steuerung und zur Stromversorgung.

Als zweiter Schritt sollte dann die PLL zusammengebaut werden. Bausatzbezieher haben es hier bequem, da die beiden VCOs und damit alle SMD-Teile bereits aufgelötet und die Oszillatoren sogar abgeglichen sind. Sie müssen nur noch die bedrahteten Bauteile verarbeiten, bei sorgfältigem Aufbau also eine reine Bestückungsarbeit.

In der dritten Stufe folgt dann der komplette Aufbau der eigentlichen Transceiver-Leiterplatte. Um die Arbeit auch hier so sicher wie möglich zu gestalten, sind wiederum alle SMDs und abgleichintensiven Schaltungsteile bestückt und vorabgeglichen. Ich hoffe, auf diese Weise eine hohe Nachbausicherheit zu erreichen und die Ausfallwahrscheinlichkeit der zum Teil recht teuren HF-Spezialteile (MMICs, Endstufe, Antennenumschalter und auch die Filter) sehr niedrig zu halten (und damit auch spätere Besuche meiner Platinen in ihrem Geburtshaus zur Nachbehandlung).

Vor allem was die SMDs betrifft, ist mir bisher auch noch kein Patentrezept einge-

Bild 11:
Leitungsführung der Platine für die beiden PLLs. Die Rückseite ist wiederum als durchgehende Massefläche ausgelegt.



ollen, daraus Teilesätze zu machen, ohne jedes Teil einzeln verpacken zu müssen (ich habe auch keine Galeerensträflinge zur Hand, die das machen würden!). Bei allen Bestückungsarbeiten gilt es, sowohl den Bestückungsplan als auch den Bestückungsaufdruck ganz genau zu beachten. Nachdem alle Bauteile sicher ihren Platz gefunden haben, müssen die Platinen nochmals genau auf Lötanschlüsse hin kontrolliert werden. Ein Lötstoppdruck leistet hier wertvolle Dienste. Die internen Verbindungen zwischen den Schaltern und der PLL sowie den Stellern und der Transceiver-Leiterplatte laufen über Flachbandkabel. Sie sind auf der Schalter-Leiterplatte eingelötet und auf den anderen Platinen gesteckt.

■ Inbetriebnahme

Zur Inbetriebnahme der PLL wird die halterplatte über die beiden 16poligen Kabel mit den entsprechenden Pfostensteckern verbunden, dabei bitte auf die Zuordnung Sender und Empfänger achten! Die PLL erhält eine Versorgungsspannung von 10 V (von dem Regler auf der Transceiver-Leiterplatte oder einem Netzgerät); es dürfen etwa 150 mA fließen. Auf der Frontplatte sollte die „On“-LED leuchten. An den Ausgängen der beiden Oszillatoren läßt sich mit einem Frequenzzähler jeweils die richtige Funktion nachweisen. Der Empfängeroszillator sollte bei der Schalterstellung „000“ auf 440,7 MHz schwin-

gen, d.h. 10,7 MHz oberhalb der Empfangsfrequenz.

Das PROM ist so programmiert, daß die Einer-Megahertzstelle, die Hunderter-Kilohertzstelle und die Zehnerstelle angezeigt werden. Die Schalteranzeige „000“ steht also für 430,000 MHz. Um alle Amateurfunk-„Kanäle“ zu erreichen, ist die PLL in 12,5-kHz-Schritten programmiert, was nicht ganz zu der dekadischen Einstellung der letzten Stelle paßt. Für die gilt daher: 0 = 0 kHz; 1 = 12,5 kHz; 2 = 25 kHz; 3 = 37,5 kHz; 4 ist nicht definiert; 5 = 50 kHz; 6 = 67,5 kHz; 7 = 75 kHz; 8 = 87,5 kHz; 9 ist wiederum nicht definiert! Die Ziffern 4 und 9 sind in der letzten Stelle nicht bestimmt und dürfen auf keinen Fall verwendet werden, da dann die PLL austrasten kann.

Analoges gilt für die Sendefrequenzeinstellung. Die PLL arbeitet hier im Bereich von 310 MHz bis 320 MHz (genauer 319,9875 MHz). Auch hier wird die Sendefrequenz direkt von den Schaltern abgelesen, und es gilt die oben beschriebene Zuordnung der letzten Stelle. Die Abstimmspannung (gemessen an Pin 6 des NE 5534) sollte jeweils im Bereich 3 bis 8 V liegen und einen Hub von mindestens 2 V (zwischen „000“ und „998“) haben. Dann funktioniert die PLL sicher.

Wenn dies sauber läuft, wenden wir uns der eigentlichen Transceiver-Leiterplatte zu. Im Rahmen dieser Bauanleitung wollen wir davon ausgehen, daß alle Filter und der

Modulator schon abgeglichen sind (Bausatzvariante), weitergehende Erklärungen würden den Textrahmen sprengen. Eine wesentlich ausführlichere Bauanleitung ist vom Autor erhältlich, s. u.

Nachdem alle Lötstellen sauber sind und keine Kurzschlüsse entdeckt werden konnten, beginnen wir vorsichtig damit, die eigentliche Transceiver-Leiterplatte in Betrieb zu nehmen. Das 20polige Flachbandkabel von der Schalter-Leiterplatte wird auf das entsprechende Gegenstück auf der Transceiver-Leiterplatte gesteckt (auf die Einbaurichtung achten!). Damit sind die beiden Potentiometer (Lautstärke und Rauschsperr) angeschlossen

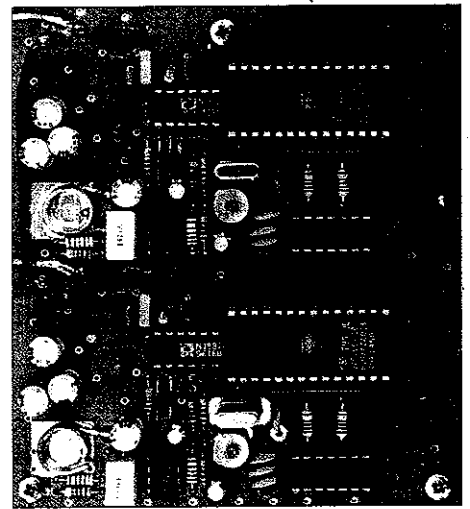


Bild 13: So sieht eine bestückte und eingebaute PLL-Leiterplatte aus.

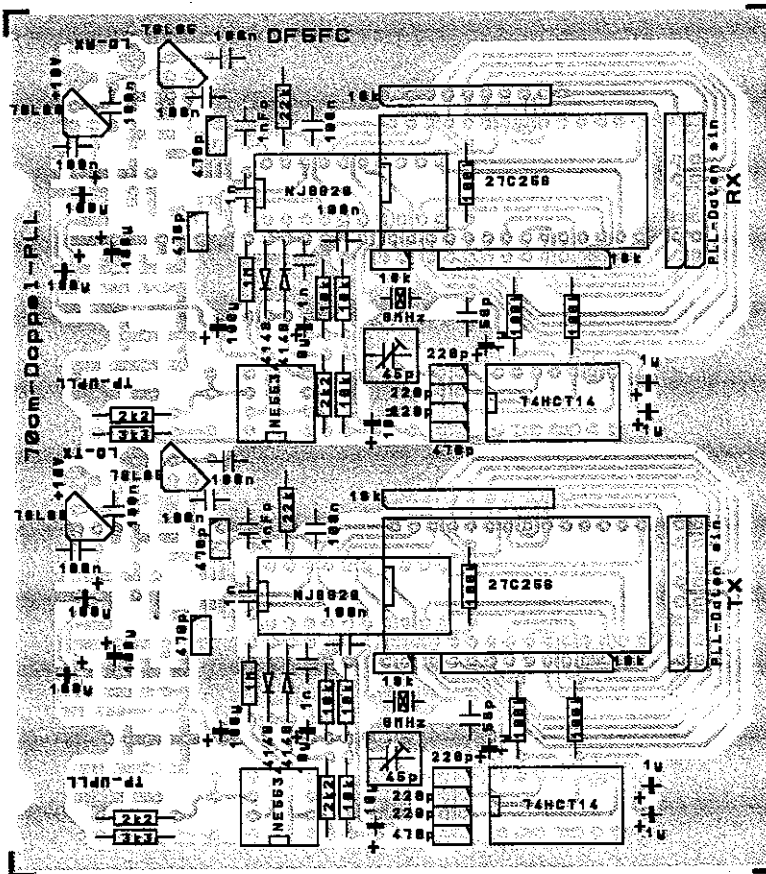


Bild 12: Bestückungsplan der Leiterplatte für die beiden PLLs (Sender und Empfänger)

Auf den zehnpoligen Pfostenstecker steckt man ein kurzes Anschlußkabel, das mit dem Lautsprecher oder einer passenden Buchse verbunden ist. Wer mag, kann schon die beiden DIN-Buchsen verdrahten. Natürlich ist an dieser Stelle auch jeder andere Stecker denkbar (z.B. angecrimpter Sub-Min-D-Stecker). Wir verwenden die DIN-Buchsen (Bild 2), da sie 1:1 zum TNC passen.

Bei dieser ersten Inbetriebnahme darf noch kein Stecker in die Modemeingänge gesteckt sein. Der Transceiver könnte sonst auf Sendung gehen, und das nimmt das Endstufenmodul ohne Kühlung extrem übel – auf Überhitzung steht es überhaupt nicht!

Alles o k ? . Dann Strom an. Vorher sollte das Lautstärkepotentiometer auf Mittelstellung und das Rauschsperrpotentiometer auf Rechtsanschlag eingestellt werden (damit man was hört).

Wenn alles richtig nach Plan verkabelt worden ist, darf ein Strom von 100 bis 120 mA für den Transceiver fließen, und es müßte rauschen. Sollte es statt dessen rauchen oder der Strom erheblich höher sein (so um 1,6 A bis 2,6 A), sofort ausschalten (!) und Fehler suchen. Der Sender darf noch nicht arbeiten!

Nun sind beide Platinen getestet, und sie können auf eine Trägerplatte, am besten aus Aluminium, montiert werden. Natürlich kommt jedes Metallgehäuse in Frage (der Transceiver muß mindestens 10 mm über der Masse schweben!), wir verwenden hier eines von Schubert (Modell 218, es gibt passende Frontplatten, Rückwände und Montageplatten!).

Die montierte Transceiver-Leiterplatte muß für das Endstufenmodul und den Endstufenspannungsregler mit einem Kühlkörper versehen werden. Ich empfehle entweder eine dicke L-Schiene aus Aluminium oder einen massiven Vierkant mit 10 mm Kantenlänge, beides mit entsprechenden Bohrungen.

Der Bausatz enthält einen Vierkant, das das PA-Modul kühlt. Es führt die Wärme in das Blech, auf dem der Transceiver montiert worden ist. Der Spannungsregler hat einen eigenen kleinen Kühlklotz (in Bild 6 oben rechts für den Regler zu erkennen).

PLL und Transceiver sollten voneinander abgeschirmt werden. Tests haben gezeigt, daß man sie nebeneinander montieren kann, ohne daß sie sich beeinflussen. Leider ergibt dies eine sehr große Grundfläche. Die PLL wird nach unten hängend montiert, stehend nach oben das eigentliche Transceiverboard.

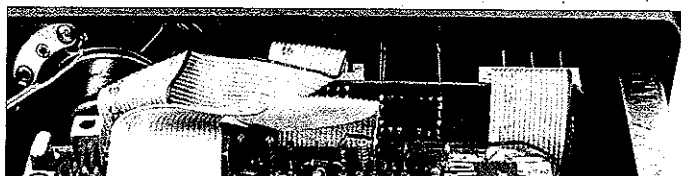
Die Befestigungslöcher müssen extrem sorgfältig gebohrt werden, damit sich nichts verkantet! Genaue Bohrpläne sind in der ausführlichen Bauanleitung selbstverständlich vorhanden. Sie haben eine Skalierung von 1:1 (jedenfalls vor dem Druck) und können so als Bohrplan direkt auf die zu bohrenden Flächen aufgelegt werden.

Nachdem alles mittels der Sechskant-Stehbolzen montiert wurde, müssen die Spannungsversorgungsleitungen und die beiden dünnen Koaxialkabel für die Oszillatorzuführung verlegt werden. Ich empfehle hier der einfacheren Verarbeitung wegen ein Teflonkabel. 1 m davon kostet etwa 4 bis 5 DM, aber wir brauchen nur etwa 0,5 m. Solches Kabel kann beim Löten nicht verschmoren oder schmelzen, was das Handling sehr vereinfacht.

Bitte die Zuordnung von Empfänger und Sender nicht vertauschen, sonst geht nichts! Jede der Oszillatorleitungen sollte etwa 200 mm lang sein. Mit den verbleibenden 100 mm kann man den Antennenanschluß der Leiterplatte mit der Antennenbuchse verbinden. Bei allen diesen Verbindungen unbedingt daran denken, daß es hier um 440 MHz geht und solche Frequenzen allergisch auf schlechte oder keine Masse reagieren, besonders am Ausgang.

Alles sauber verdrahtet? Dann kann die Baustelle zum ersten Mal komplett eingeschaltet werden. Zunächst sollte wieder ein Strom von max. 250 mA fließen, und es darf im Lautsprecher rauschen. Nach Anschluß einer Antenne müßte man auf Anhieb den „Ortsdigi“ oder das Relais empfangen können, wahrscheinlich jedoch noch verzerrt (Frequenzeinstellung am Schalter nicht vergessen!).

Bild 14:
Hinter der Frontplatte befindet sich noch eine Montage-Leiterplatte für die Bedienelemente.



Nun brauchen wir ein Oszilloskop, Alle OMs, die einen Funkgerätemeßplatz ihr eigen nennen, wissen eh, wie man einen Empfänger abgleicht und könnten die nächsten Absätze überspringen. Alle anderen Nachbauer schließen das Oszilloskop an den Testpunkt NF auf der Transceiver-Leiterplatte an. Hier finden wir das nur grob gefilterte Ausgangssignal des Demodulators auf dem Weg zum 9600-Bps-Modem. Der 455-kHz-Kreis im Demodulator wird nun ohne Eingangssignal (das ist sehr wichtig!) auf bestes Rauschen eingestellt, möglichst symmetrisch zur Nulllinie auf dem Schirmbild. Erfahrungsgemäß klingt es dann auch „am besten“. Danach heißt es für diesen Kreis „Finger weg!“.

Jetzt stellt man wieder den Digipeater ein bzw. die Frequenz, auf der er sein sollte. Diese Frequenz kann, je nach Quarz in der PLL, bis zu 50 kHz danebenliegen. Der entsprechende Trimmer auf der PLL (neben dem PLL-Baustein) wird langsam durchge-

dreht und ein ggf. empfangenes PR-Signal auf bestes, d.h. symmetrisches Datenaugen eingestellt. Alle Versuche haben gezeigt, daß diese Methode im Vergleich mit dem konzentrierten Meßgeräteinsatz sehr gut reproduzierbare Werte ergibt.

Jetzt sollte das typische Packet-Signal zu hören sein; ein ggf. schon angeschlossener TNC schreibt mit. Für alle, die es noch nicht gehört haben: 9600-Bps-Packet-Radio klingt wie ein verstärktes Rauschen. Also nicht wundern, sondern einfach mit einem TNC testen! Die 9600-Bps-NF ist im übrigen nicht über die Rauschsperrle mit einem DCD verknüpft, das geschieht bloß mit dem 1200-Bps-Signal am 1200-Bps-Ausgang, da viele einfachere Modems diese Möglichkeit nicht besitzen.

Zurück zum Sender. Den Modulator stellt man nach Anschluß der Signalquellen mittels der beiden Potentiometer auf $U_{ss} \approx$

500 mV am Testpin IP MOD ein. Dieser Test ist immer möglich, da der Modulator nicht getastet wird.

Als vorletzter Prüfschritt folgt der Test des Senders. Nachdem wir uns vergewissert haben, daß alles zur Kühlung des Endstufenhybrids und des zugehörigen Spannungsreglers getan wurde (Kühlblock gut festgeschraubt und plan aufliegend), kann man den Testpin „PTT“ direkt mit Masse verbinden. Die Betriebsspannung wurde vorher auf 12 V eingestellt (Achtung: Intern liegen +10 V vor), die Strombegrenzung auf etwa 2 A. Am Antennenanschluß ist ein Leistungsmesser ausreichender Belastbarkeit (mindestens 5 W) angeschlossen, ein Dämpfungsglied oder ähnliches tut es auch.

Bei Betätigen der PTT sollte der Strom von etwa 250 mA auf ungefähr 1,5 A bis max. 2,1 A ansteigen und das Meßgerät dabei eine Leistung von 2,5 bis 3 W anzeigen. Je nach Toleranzen sind bis zu 3 dB mehr drin, das wären dann etwa 6 W, was aber die obere Grenze darstellen dürfte.

Wenn genügend HF-Leistung vorhanden ist, wird die 1-MHz-Stelle des Sender-Frequenzwahlschalters einmal komplett durchgestimmt und dabei die Leistung beobachtet. Sie sollte über das Band hinweg um nicht mehr als 1,5 dB schwanken. Diese Messungen müssen relativ schnell vonstatten gehen, denn bei Dauerstrich kann sich die Endstufe bei nicht ganz ausreichender Kühlung stark erwärmen. Das sollte sehr vorsichtig mit dem Finger kontrolliert werden. Dabei aber Vorsicht: Auf der Platinenoberseite liegt beim Senden am Hybridaus-

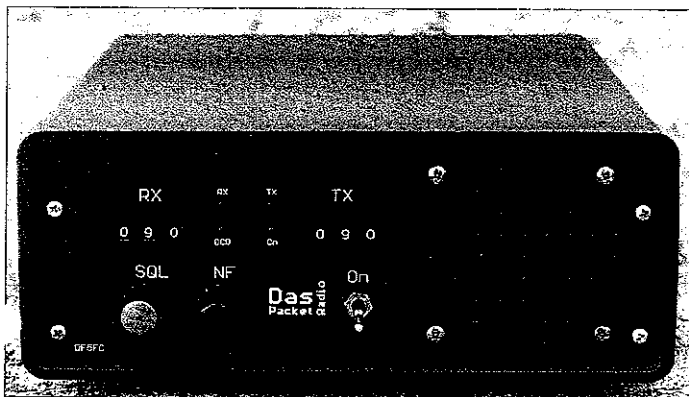


Bild 15:
Blick auf die Bedienseite des betriebsbereiten Pa(c)ket-Radios mit den Nummernschaltern

...ang die volle HF-Ausgangsleistung an. Obwohl es „nur“ um die 3 W sind, brennt es ganz nett im Finger!

Ist der Sender soweit o.k.; dann kann als letzter Schritt die genaue Frequenzeinstellung der PLL erfolgen. Dazu koppelt man einen ausreichend genauen Frequenzzähler an den Ausgang des Senders (entweder über Dämpfungsglied, Richtkoppler, Antenne oder ...). Bei der höchsten erreichbaren Frequenz (439,9875 MHz analog der Schalterstellung „998“) wird diese mittels des entsprechenden Trimmers auf der PLL (an der Seite neben dem PLL-Baustein) auf ihren exakten Sollwert eingestellt. Achtung: Nicht den Trimmer des Empfängers verwenden! Der Empfänger verfügt über eine getrennte Referenzfrequenzzeugung.

■ Endtest

Wenn bisher alles geklappt hat, steht dem Endtest nichts mehr im Wege. Der TNC oder das Modem werden mit den entsprechenden Eingängen des Transceivers verbunden. Die Belegung der Buchsen ist aus Bild 2 zu entnehmen und für beide Daten-

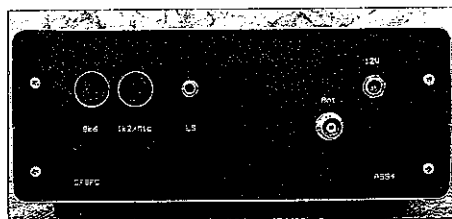


Bild 16: Rückfront des Pa(c)ket-Radios
Fotos: TO

raten gleich. Normalerweise haben die PTT-Ausgänge, die über Transistoren nach Masse schalten mit dem Transceiver keine Probleme (bzw. andersherum).

Nachdem die richtige Modulationsspannung eingestellt worden ist, kann das PR-Programm gestartet werden; und das Mitschreiben sollte kein Problem darstellen. Wenn das klappt, folgen der Connect-Versuch und die freudige Erfolgsmeldung an mich!

■ Zusammenfassung

Diese Beschreibung richtet sich an alle die OMs, die noch gern Geräte selbstbauen und gleichzeitig in die 9600-Bps-Packet-Radio-Welt eindringen möchten. Sicher ist ein ge-

kaufter Transceiver viel schöner (wirklich?), aber wie verhält es sich beim Umbau eigentlich mit der Garantie? Was geschieht überhaupt bei einem Defekt? Wer könnte ihn noch beseitigen?

Selbstbauer sind hier besser dran! Hoffentlich hilft dieses Gerät auch bei der unbedingt nötigen Bandbelegung. Übrigens: Auch wenn es unglaublich scheint, am 1200-Bps-Eingang kann man so etwas Anachronistisches wie ein Mikrofon anschließen und ganz gewöhnliche Telefonie machen und das auch noch ohne Rechner. Viel Spaß!

■ Anmerkung

Für diesen Transceiver gibt es wie erwähnt einen Bausatz, der alle erforderlichen Teile (entweder nur die Platinen inklusive SMD-Bauelementen oder alle notwendigen Teile einschließlich Gehäuse) enthält. Interessenten können direkt bei mir (Günther Borchert, DF5FC, Blauer Kamp 48, 31141 Hildesheim) anfragen. Eine wesentlich ausführlichere Bauanleitung halte ich gegen Kostenerstattung ebenfalls bereit. Bitte anfragen.

7PLUS mit Windows 95

Obwohl noch quasi aus der „Steinzeit“ der Computerei stammend, ist 7PLUS für Packet-Radio immer noch unverzichtbar, will man anstelle ASCII-Text beliebige, z.B. Binärdateien per AX 25-Protokoll versenden (ähnlich MIME bei der e-Mail). Darüber hinaus kann 7PLUS eine längere Datei in für Packet-Radio praktikable Teile zerlegen und die auch wieder zusammenfügen sowie Fehler finden und korrigieren.

zur Geburtsstunde dieses Kodierers und Dekodierers war MS-DOS Standard. Die Bedienung gestaltete sich entsprechend alles andere als einfach oder gar bequem. Inzwischen hat wohl die Mehrzahl der Nutzer den Umstieg auf Windows 95 vollzogen. Aber sehr viel einfacher ist auch hier der Einsatz des 7PLUS nicht, selbst, wenn man von den Möglichkeiten der Startleiste plus „Ausführen“ Gebrauch macht

Die Kodierung/Dekodierung in die bzw. aus der 7PLUS-Welt wird nun mit dem neuen AZ-7PLUS-Handler, der aus 7PLUS eine echte Windows-95-Applikation macht, zum Kinderspiel. Die Bedienung ist so intuitiv wie bei allen anderen gut konzipierten Windows-Programmen. Selbst das gezielte Splitten von Dateien etwa in 5000 Bytes/Teildatei bedarf kaum mehr als eines Mausclicks.

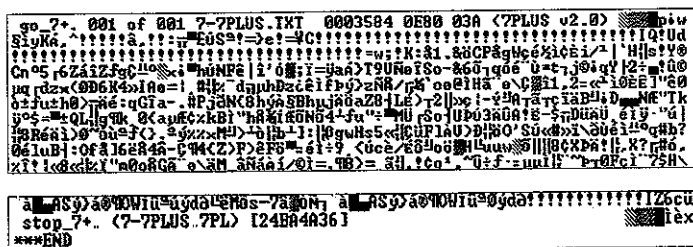
Der AZ-7PLUS-Handler dekodiert 7PLUS-Dateien, kodiert Dateien mit wählbarem Split in das 7PLUS-Format, extrahiert 7PLUS-Anteile aus mitgeschriebenen Dateien, erstellt Korrekturdateien und repariert Meta-Dateien.

Außerdem läßt er sich individuell konfigurieren, um den Anwender von Routinearbeit zu befreien. So ist es z.B. möglich, das Verzeichnis vorzugeben, in dem vornehmlich zu verarbeitende Dateien gesucht werden sollen.

Selbsterstellte 7PLUS-Dateien werden automatisch mit der Kennung für das Dateieinde (BBS-abhängig, z.B. ***END) versehen, auf Wunsch erhalten sie zusätzlich einen Dateikopf mit Hinweisen darauf, wer die jeweilige Datei eingespielt hat; wichtig etwa beim internationalen Verteilen von 7PLUS-Dateien.

Auch mit langen Verzeichnisnamen wird der AZ-7PLUS-Handler fertig; er eröffnet ohne den umständlichen Rückgriff auf den Explorer die Möglichkeit, solche Dateien vor der Bearbeitung umzubenennen. Eine umfangreiche Onlinehilfe sorgt dafür, daß man auf ein voluminöses Handbuch verzichten kann.

Der AZ-7PLUS-Handler ist für 49,50 DM bei AZ-Soft, H. Cordes, Adelgundenstr. 21, 80538 München, Tel. (0 89) 22 09 55, Fax (0 89) 22 57 42, erhältlich und kommt auf einer 3,5"-Diskette, mit Windows 95-gerechtem Setup und auf den jeweiligen Anwender vorbereitet. Rufzeichen und „Handle“ müssen bei der Bestellung angegeben werden. **PI/TO**



...LUS-File aus einem Word-5-Text mit den typischen Start- und Endsentenzen

Das Windows-95-Fenster des AZ-7PLUS-Handlers ▶

