

Labortest: Icom IC-775 DSP 200-W-Transceiver mit DSP (1)

Dipl.-Ing. GÜNTER SCHWARZBECK – DL1BU

MOSFET-Linearendstufen, Schaltnetzteile und digitale Signalprozessoren werden in den neuen Transceivern zum Standard. Die Vorläufer von Icoms IC-775 DSP, IC-765 und IC-781 sind Spitzengeräte, die neugierig machen, wie dieser Hersteller die neuen Technologien umgesetzt hat.

Die „an der Antenne“ beobachteten Eigenschaften sollen hier meßtechnisch untersucht werden.

Vor einer labortechnischen Untersuchung ist ein Praxistest an unterschiedlichen Antennen, mit diversen Betriebsarten und allen KW-Bändern, zumindest für einen Funkamateurliebhaber, naturgemäß der erste Schritt. Sehr gute Beurteilungen der ausgesendeten SSB- und CW-Signale waren die erste freudige Erkenntnis, die von den eigenen Eindrücken bei der Handhabung unterstrichen wurden.

■ Konzept

Der IC-775 DSP bietet in „einem Kasten“ zwei Empfangsteile, einen 200-W-Sender mit Antennenabstimmgerät, bei dem Mikroprozessoren und ein Dreifach-Stapelregister einen hohen Komfort ermöglichen. Digitale Signalprozessoren entlasten das Nervenkitzel des Benutzers durch ein automatisch abstimmdes Notchfilter (ergänzt durch ein handeinstellbares herkömmliches analoges Kerbfilter). Neben der Selektion durch Quarzfilter bietet DSP

lich wurde, ist einem Schaltnetzteil zu verdanken.

Die 65 Tasten und 26 Knöpfe bedienen sinnvolle Funktionen, stellen aber dennoch nur einen Teil der Möglichkeiten dar, denn weitere „verborgene Funktionen“ sind unter dem „Set Modus“ versteckt; insgesamt 26 Hauptfunktionen, dazu weitere Unterprogramme.

Bei Geräten für professionellen Einsatz ist man heute bestrebt, möglichst viele Funktionen mit wenigen Tasten und Knöpfen einzustellen. Dies ermöglicht dann auch die PC-gestützte Betriebsabwicklung.

Für den „klassischen“ Amateurfunk-, DX- und Contestbetrieb ist jedoch der direkte Zugriff per Taste und Knopf wünschenswert. Selten benötigte Einstellungen sind dann als „Abruf“ verfügbar. Nebeneffekt: Das Handbuch ist fast so wichtig wie das Gerät selbst...

Die Beschreibung auch nur der wichtigsten Funktionen würde ein halbes Heft

füllen. Einen guten Eindruck verschafft bereits die Darstellung in Heftmitte des FA 3/96 (S. 299). Wer sich das 63 Seiten umfassende deutsche Handbuch ausleihen kann, wird nach dessen Studium ähnlich staunen wie nach Durchsicht der Stromlaufpläne.

■ Schwerpunkte Großsignalfestigkeit und Signalqualität

In dem folgenden Bericht soll der Schwerpunkt auf Erkenntnisse gelenkt werden, die sonst in den Testberichten nicht zu finden, aber im störgeplagten Europa sehr wichtig sind, z. B. Intermodulationsstörungen durch HF-Schaltdioden und Mischer, genauere Beurteilung der Qualität der ausgesendeten SSB- und CW-Signale, Wirkung der Filter, Änderungen von CW-Zeichen bei QSK/BK-Betrieb u.a.m.

Um den Umfang in Grenzen zu halten, können nicht alle Funktionen oder schaltungstechnische Lösungen besprochen werden. Interessenten werden sich ohnedies Daten- und Informationsblätter des Herstellers beschaffen. Erwähnt sei noch, daß das Testgerät aus einer der Anfangsserien stammt.

Seit 15 Jahren ist in der deutschen Amateurfunkliteratur das Großsignal- und Intermodulationsverhalten, u. a. ausgelöst durch die Linearitätsprobleme von HF-Schaltdioden und Mischern im Zusammenhang mit der Vorselektion, beschrieben worden [1]. Auch die Testberichte haben diese Thematik immer wieder behandelt, insbesondere die „KW-Rundfunksender-Intermodulation“, die für ein 5-kHz-Lattenzaunraster ab 10 MHz oder 14 MHz in den Abendstunden mit breitbandigen Antennen verantwortlich ist.

Da diese Rundfunk-Propagandaschlachten mit einer Anzahl von 500-kW-Sendern in Japan und den USA kaum vorkommen, ist dort das Problembewußtsein erst später erwacht [2].

Sollte die eine oder andere Darstellung etwas komplex erscheinen, dürfte sich der Inhalt dennoch im Rahmen von technisch orientierten Gesprächen auf den diversen Bändern durch fachkundige Interpreten aufhellen lassen.



Bild 1: Mit seiner großen Frontplatte und dem Icom-typischen Display ist der IC-775 DSP Musterbeispiel für einen Transceiver mit guter Handhabung.

eine weitere Gestaltung der Durchlaßkurven auf der Sender- wie auf der Empfängerseite durch Software. In der Betriebsstellung NR (Noise Reduction) ist eine deutliche Reduzierung des Hintergrundrauschens möglich.

Daß ein solches Gerät für 200 W Spitzen- und Dauerleistung mit einer eingebauten Stromversorgung unter 17 kg Masse mög-

Bild 2: Schlichte Rückseite mit Anschlüssen, die es in sich haben und beispielsweise die Verbindung zur Computerwelt herstellen



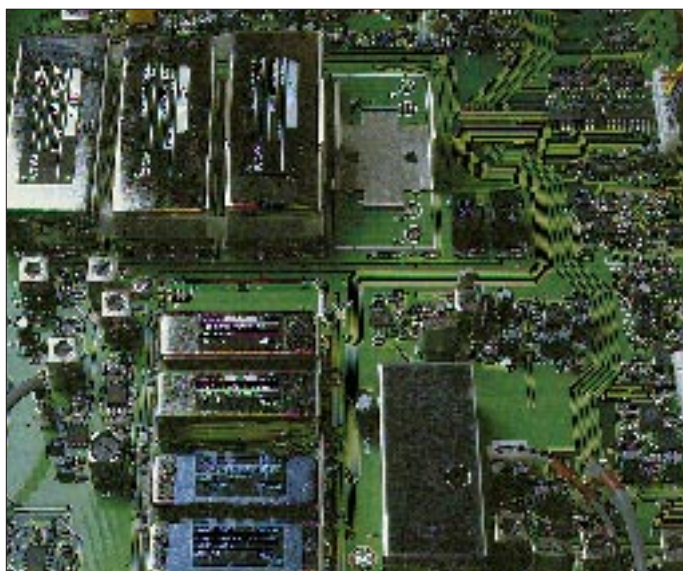


Bild 3:
Bei abgenommenem Gehäusedeckel zeigt sich ein mustergültiger Aufbau in jeweils voneinander abgeschirmten Modulen. Auch im Zeitalter der DSP-Technik verzichtet Icom nicht auf allerhand Möglichkeiten für Quarzfilter.

Fotos: Werkfoto (1), DK8OK

■ Schaltungstechnik des Empfängereingangsteils

Der HF-Teil des Empfängers hat folgenden Aufbau: Das Empfangssignal gelangt über den Antennentuner und ein Tiefpaßfilter (30 MHz) zu zwei ohmschen Dämpfungsgliedern, die mit Relais (*nicht Dioden!*) zu 6 dB, 12 dB oder 18 dB, entsprechend 1, 2 oder 3 S-Stufen, zusammenschaltet werden. Über die Diodenschalter gelangt das Signal je nach Frequenz zu einem Tiefpaß bis 0,5 MHz für Langwellen, einen Bandpaß 0,5 ... 1,8 MHz unter Einschluß eines 10-dB-Dämpfungsgliedes (Vermeidung von Intermodulation lokaler MW-Sender) bzw. Sub-Oktav-Bandpaßfilter unter Vorschaltung eines 1,8 MHz-Hochpasses. Durch diese Auslegung werden wiederum MW-Signale geschwächt, und es kommen nur Frequenzbereiche mit einem Umfang von weniger als 1:2 zur weiteren Verarbeitung (Vermeidung von Intermodulation 2. Ordnung).

Für den KW-Bereich sind neun Suboktav-Filter vorgesehen, davon für die Amateurbänder sieben Bandpässe mit einer nominalen Breite von etwa 1,4:1. In Bild 4 sind die Selektionskurven mit und ohne Zuschalten des Antennentuners dargestellt. Icom war der erste Großserienhersteller, der, angeregt durch Testberichte, die zweifelten Rufe der IM-geplagten europäischen Funkamateure aufgegriffen hat. Das Antennenabstimmgerät für 200 W besteht weitgehend aus Luftspulen, Luftdrehkondensatoren und mechanischen Schaltern, die genau das bieten, was man braucht, um aus dem Wellensalat einer leistungsfähigen Antenne etwas IM-frei herauszusieben. Es ist nicht allein die geringere Bandbreite, sondern vor allem das Fehlen von Dioden an Stellen, die dem gesamten HF-Spektrum ausgesetzt sind, die eine dramatische Reduktion des Lattenzaun-Übels bewirken.

Nach der Vorselektion sind gute PIN-Dioden-Schalter dann weitgehend unschädlich. So wird mit großem Schaltungsaufwand wahlweise direkt zur Mischerguppe durchgeschaltet oder alternativ über einen 10-dB-FET-Gegentaktverstärker oder einen 16-dB-FET-Kaskodeverstärker für höchste Empfangsempfindlichkeit eine Signalanhebung und Verbesserung der Rauschzahl erzielt.

In allen Verstärkern und den beiden Eingangsmischern kommt einheitlich der steile Sperrschicht-Feldeffekttransistortyp 2 SK 2171 zum Einsatz.

Vor den beiden Mischern für Haupt- und Nebenempfänger sind Puffer- und Anpaßverstärker eingefügt, die auch zu einer Verminderung der Oszillatorfrequenzabstrahlung beitragen.

Die ersten Mischer stellen eine Gegentakt-FET-Schaltung dar mit symmetrischer Signaleinspeisung in die Source-Elektroden, einer Gleichtakt-Oszillatorinjektion in die zusammengelegten Gate-Anschlüsse

und einer Gegentaktauskopplung der ersten ZF von 69 MHz. Das Ausgangssignal der Mischer wird je einem PIN-Diodenglied in T-Schaltung mit dem Ziel zugeführt, durch Abregelung eine Übersteuerung der nachfolgenden Stufen zu verhindern.

Das Ausgangssignal dieser Regler gelangt wiederum zu einem Anpaßverstärker in Gate-Schaltung. Die niedrige Eingangsimpedanz an der Source-Elektrode ermöglicht die Anpassung an den PIN-Dioden-Regler.

Die Oszillatorspannung für die Mischer stammt für Haupt- und Nebenempfänger aus dem Synthesizer. Um höchste Signalreinheit zu erzielen, läuft es über ein Hochpaßfilter, einen Pufferverstärker und ein Tiefpaßfilter.

■ Empfänger-ZF-Teil

Der weitere Signalweg führt zu einer Umsetzung in die 2. ZF von 9,01 MHz mit mehreren umschaltbaren Quarzfiltern, die mit weiteren Filtern auf der 3. ZF von 455 kHz zusammenwirken. Durch dieses Zusammenspiel ist eine wirksame zweifache Paßband-Einstellung möglich.

Eine weitere Signalfilterung erfolgt durch ein herkömmliches analoges ZF-Notchfilter (manuell einstellbar) und in der NF-Ebene durch ein automatisch abstimmbares Kerbfilter unter Anwendung eines digitalen Signalprozessors.

■ Empfängerselektion

Bild 5 zeigt den Selektionsverlauf der LSB- und USB-Einstellung. Die Messung erfolgte über alles, vom Antennenanschluss bis zum S-Meter. Sie schließt alle Filter ein, die auch für den NF-Ausgang wirksam sind, mit Ausnahme der in den Bildern 7 bis 9 gezeigten Selektionskurven, die unter Mithilfe des digitalen Signalpro-

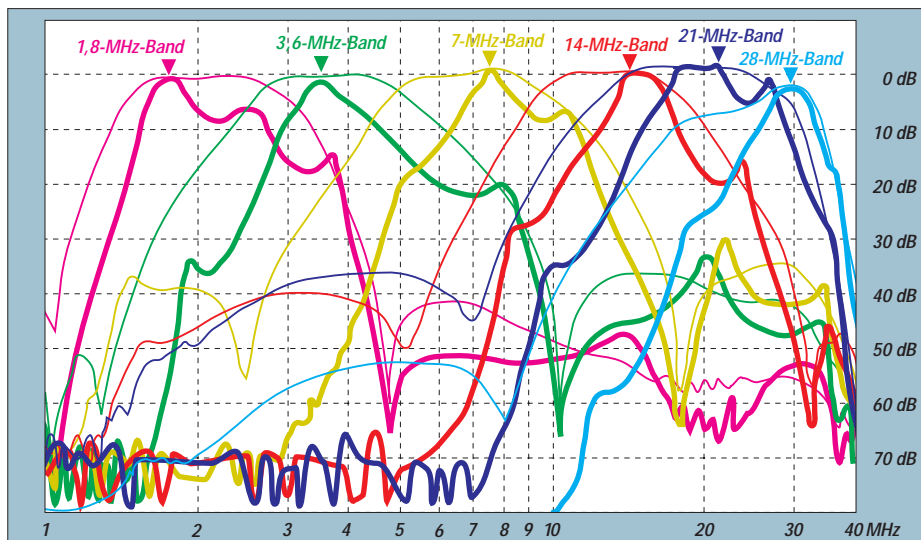


Bild 4: HF-Vorselektion ohne und mit Antennentuner auf den klassischen KW-Amateurbändern und 1,8 MHz; dünne Linien – ohne, dicke Linien – mit Antennenabstimmgerät

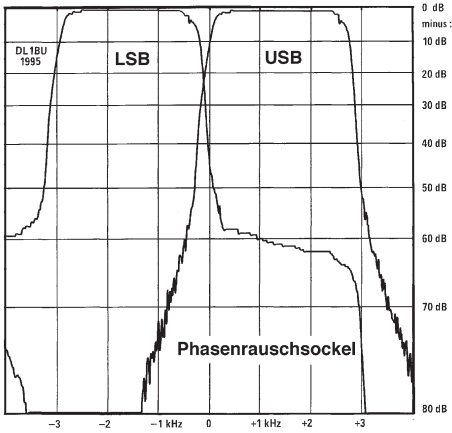


Bild 5: Selektionsverlauf (ZF) der Quarzfilter für unteres und oberes Seitenband

zessors entstanden sind. Hierfür wird eine aufwendige Meßtechnik eingesetzt, die „über alles total“, d.h., von der Antennenbuchse bis zum Lautsprecher die Selektion der oberen 30 dB aufzeichnet.

In Bild 5 werden die oberen 60 dB dank der Qualität der Regelung und des S-Meters rauschfrei und fast logarithmisch aufgezeichnet. Darunter beginnt der Einfluß des Phasenrauschens, der eine Sockelverbreiterung vortäuscht; außerdem strebt bei niedrigen Pegeln das S-Meter einem linearen Spannungsverlauf zu.

Bild 6 erfordert ggf. den Gebrauch einer Lupe, da aus Platzgründen, aber auch wegen des besseren Vergleichs, mehrere Selektionskurven in einer Darstellung untergebracht sind. Die durchgezogene Kurve Y zeigt die normale USB-Einstellung mit etwa 2,7 kHz Bandbreite von Bild 8, jedoch mit zugeschaltetem analogen Notchfilter. Die gestrichelten Kurven X und Z entstanden durch Einstellungen der Paßband-Steller Twin PBT.

In Bild 7 ist als durchgezogene Kurve die CW-Filterbandbreite 500 Hz zu sehen, punktiert nach Zuschalten des ZF-Notchfilters. Der breite gestrichelte Verlauf gibt die Stellung CW wide mit dem SSB-Filter

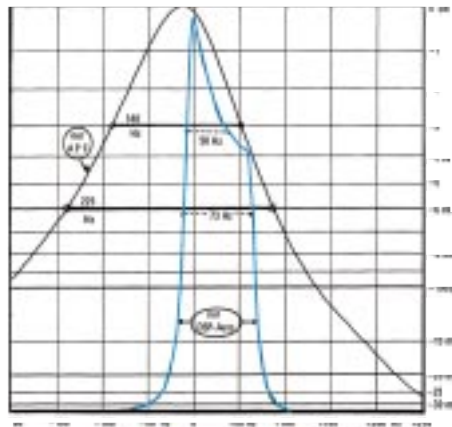


Bild 8: Analoges NF-Selektionsfilter APF und DSP-Auto-Superschmalfilter

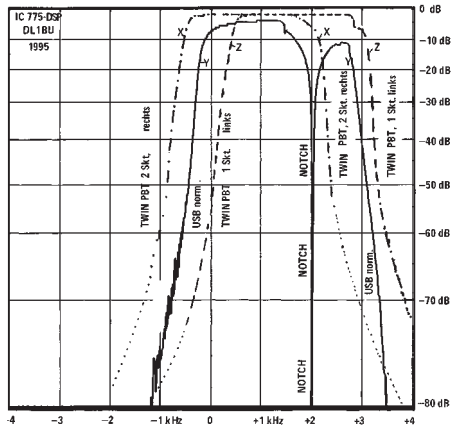


Bild 6: USB-Filterverlauf mit Notchfilter (ZF) und Wirkung der Paßbandeinstellung

wieder. Die große Flankensteilheit des 500-Hz-Filters bewirkt den breiten Phasenrauschsockel, da ein Phasenjitter zu einer hohen Rauschspannung durch Flankendemodulation führt. Eine Annäherung an einen rauscharmen starken Träger führt auch in der NF-Wiedergabe zu einem hörbaren Rauschen.

Während die bisherigen Darstellungen auf der vertikalen Achse 80 dB vom Verlauf des S-Meters zeigen, kalibriert mit einem Eichteiler, ist für die Selektionsdarstellung unter Einschluß des NF-Teils ein anderes Verfahren benutzt worden, das eine Dynamik von 30 dB wiedergibt. In Bild 8 stellt die breite Kurve die Selektion des Audio-Peak-Filters APF mit 140 Hz 3-dB-Bandbreite (über 500 Hz bei -20 dB) dar. Die steilflankige Kurve mit einer 3-dB-Bandbreite von 50 Hz (!) und 120 Hz bei -20 dB bietet das DSP-Auto-Filter.

Bild 9 zeigt das Zusammenwirken des APF mit dem 500-Hz-Quarzfilter mit dem Paßbandregler vom Linksanschlag über die Maximalstellung 6,5 Skalenteile bis zum Rechtsanschlag.

Aus Bild 10 ist das Zusammenwirken aller Möglichkeiten für die schmale CW-Filterung zu erkennen: DSP-Auto, APF und

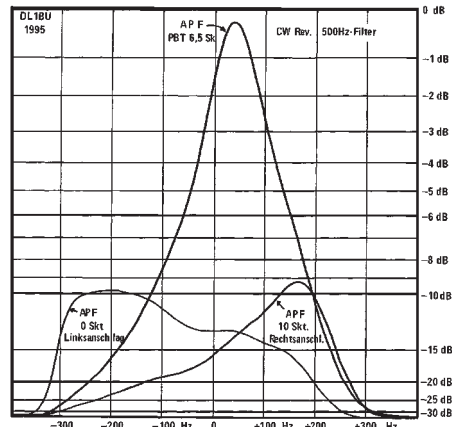


Bild 9: Audio-CW-Filter mit APF auf Maximum (6,5) sowie auf 0 und 10

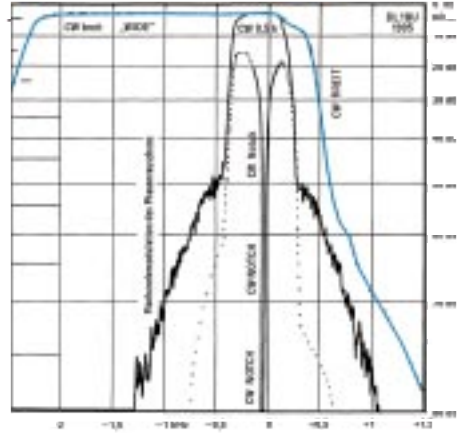


Bild 7: CW-Filter 2,5 kHz, CW-Filter 500 Hz, ohne und mit ZF-Notchfilter

500-Hz-Quarzfilter. Der Verlauf wird hier natürlich durch das schmalste Filter mit dem digitalen Signalprozessor dominiert. Ein stabiles CW-Signal steht stör- und rauschfrei im Lautsprecher, selbst bei überbelegtem Band.

Schließlich ist in Bild 11 die 16 kHz bis 25 kHz breite FM-Bandbreitenkurve mit 80 dB Dynamik zu sehen, ferner die 7 kHz bis 12 kHz breite AM-Kurve und die – bei dem großen Frequenzmaßstab schmal erscheinende – RTTY-Selektion.

■ Zusatzfilter

Das Testgerät war nur mit den Standardfiltern auf der 9-MHz-ZF (FL 80, FL 32 A) bestückt, zusätzlich sind möglich: FL 101 (250 Hz, CW, schmal), FL 102 (6 kHz, SSB, breit; AM, mittel; FM, schmal) und FL 223 (1,9 kHz, SSB, schmal). In der 455-kHz-ZF waren FL 96 (SSB 2,8 kHz) und FL 52A (CW, 500 Hz) bestückt.

Als Option erhältlich sind FL 53A (250 Hz, CW) und FL 222 (1,9 kHz, schmal). Auch in der Grundausrüstung ist durch die PBT-Steller nahezu die volle Perfektion einer kontinuierlichen Bandbreiteneinstellung verfügbar.

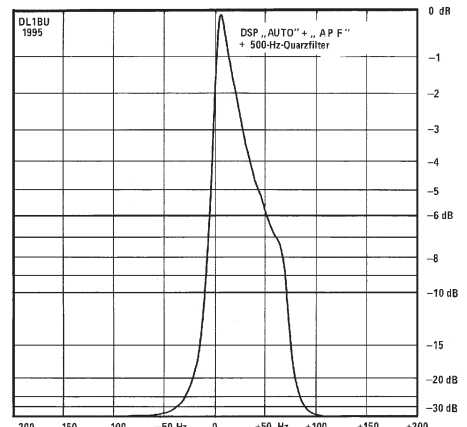


Bild 10: Sämtliche CW-Filter in Betrieb: 500-Hz-Quarzfilter, DSP Auto und APF

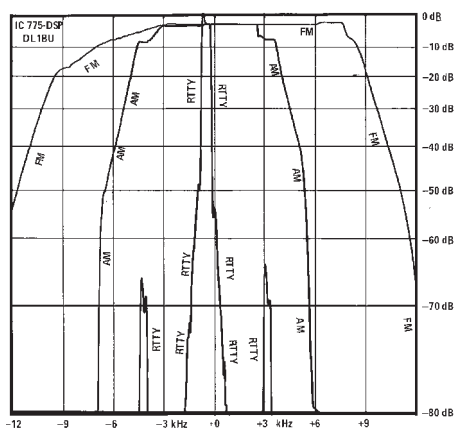


Bild 11: Gesamtselektion FM, AM und RTTY der Standardbestückung

■ Intermodulationsmessungen

Bei der Messung des Interzeptpunktes stellt sich die Frage nach dem Frequenzabstand der Doppelsignale. In Testberichten, die qualifiziert auf diese Fragen eingehen, wurde meist ein Abstand von 20 kHz gewählt. Dabei kann es vorkommen, daß bei großsignalfesten HF-Teilen das durch reziprokes Mischen entstehende Phasen- oder Seitenbandrauschen so stark wird, daß es das IM-Signal zudeckt oder zumindest verfälscht. Ein Ausweg ist die Wahl eines größeren Frequenzabstandes von z.B. 50 kHz.

Unterschreitet der Frequenzabstand der Doppelsignale die Bandbreiten des hinter dem 1. Mischer üblichen ersten Quarzfilters (ZF hier 69 MHz), sinkt der IP deutlich ab, weil nunmehr auch im 2. Mischer Intermodulation entsteht. Schließlich hat auch die Vorselektion einen Einfluß bei größeren Signalabständen. Hier wird eine ganze Kurvenschar mit Signalabständen von 2 kHz bis 1 MHz gezeigt, meist für Betrieb mit und ohne Vorverstärker.

Bei Empfängern mit gutem Großsignalverhalten und PIN-Diodenreglern hinter dem 1. Mischer kann man die Messung mit 1-mW-Doppelsignalen (2×0 dBm) vornehmen.

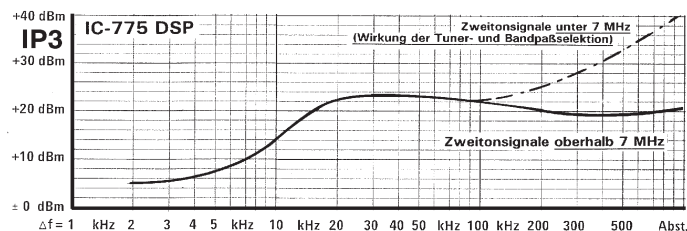


Bild 12: Eingangs-Interceptpunkts 3. Ordnung in Abhängigkeit vom Abstand der starken (!) HF-Doppelsignale und Wirkung der Vorselektion (mit Antennenabstimmgerät) ohne Vorverstärker bei 7 MHz. Zur Messung des IP₃ wurden zwei rauscharme Meßsendersignale über einen Leistungssummierer hoher Entkopplung zusammengefügt, die Ausgangspegel wurden auf $\pm 0,2$ dB justiert und einer 1-dB-Stufeneichleitung zugeführt. Die Frequenzabstände wurden auf 1 kHz bis 1 MHz und der Pegel des Doppelsignals so eingestellt, daß 0,1 μ V, 1 μ V bzw. 10- μ V-IM-Signale am Empfänger entstehen (-127 dBm, -107 dBm, -87 dBm). Vergleichssubstitution mit Meßsender. $IP_3 = 0,5 IMA + P_{in}$

So entstand die Darstellung in Bild 12 mit ausgeschalteten Vorverstärkern. Für Abstände ab 20 kHz (ungefähre Bandbreite des 1. Quarzfilters auf 69 MHz) bleibt der IP₃ bei etwa +22 dBm bis +23 dBm.

Interessant ist die Spaltung der Kurven ab 100 kHz Signalabstand: Stammen die Doppelsignale aus dem Bereich unterhalb 7 MHz, steigt der IP bei 1 MHz Abstand auf über +40 dBm an. Der Grund läßt sich Bild 4 entnehmen: Der erstklassige Antennentuner schwächt alle Signale unterhalb 7 MHz deutlich ab. Nach Ausschalten des Tuners verläuft die IP₃-Kurve bei etwa +20 dBm weiter.

0-dBm-Meßsignale sind reichlich stark, und nicht jeder Empfänger läßt sich so beurteilen.

In Bild 13 sind die Ergebnisse einer Alternativmethode gezeigt, bei der die Doppelträger soweit angehoben wurden, bis (bei abgeschalteter Regelung) am Empfänger ausgang IM-Signale von je 1 μ V erscheinen (-107 dBm) oder am S-Meter Signale von je 10 μ V (-87 dBm oder 14 dB unter „echten“ S 9). Es ergeben sich ähnliche Werte wie mit den 0-dBm-Pegeln. Durch die Wirkung der PIN-Dioden-Regler ist die Entlastung bei den schwächeren Signalen weniger ausgeprägt, so daß der IP vor allem bei knapperen Trägerabständen geringer ausfällt. In der Nähe der Selektionsflanke des 1. Quarzfilters tritt dann, je nach Pegelhöhe und Frequenzabstand, oft ein von den PIN-Dioden-Reglern verursachter Hystereseeffekt auf.

■ S-Meter

Der IC-775 verwendet das von vielen Benutzern bevorzugte Drehspul-Zeigerinstrument. Solange für das S-Meter kein separater logarithmischer Verstärker/Detektor benutzt wird, sondern die Regelspannung der AGC als Steuergröße erhalten muß, ist eine definitionsgemäße lineare dB-Kennlinie nur in Teilbereichen zu erzielen. Meist ist dies mit zugeschal-

tetem Vorverstärker ab S 5 der Fall, ohne Verstärker ab S 7. Darunter nähert sich die Kurve einem linearen Spannungsverlauf. In Bild 14 ist unten eine Skalenreihe der Sollwerte aufgetragen in S-Stufen nach Norm, in dBm-Werten (häufige Meßsenderkalibriergrundlage), in dB über 1 μ V (professionelle Pegelanzeige bei Empfängern oder als dB μ V/m für Feldstärken und schließlich in μ V- und mV-Spannungswerten am 50- Ω -Eingang). Empfängerbezogene Daten wurden früher immer, heute teilweise, in Leerlaufspannungswerten angegeben. Bei $R_g = R_{in} = 50 \Omega$ ist U_o dann $2 \times U_{in}$, dB μ V-Werte sind 6 dB höher. Hier zeigt sich der Vorteil des Leistungsmaßes dBm: Es entstehen keine Unklarheiten, ob Leerlauf oder der normale Lastfall vorliegt. Auf der senkrechten Achse sind dann die angezeigten S-Werte aufgetragen.

Empfängerempfindlichkeit auf 28 MHz

	ohne Vorv.	mit PRE 1	mit PRE 2
Rauschmaß* [dB]	16	10,5	7
MDS [dBm] ($P_{NF} = +3$ dB)			
SSB, B = 2,7 kHz	-124	-131	-134
CW, B = 500 Hz	-131	-137	-142
CW + APF + Auto/DSP			-150
Rauschabstand [dBm] (10 db S + N/N)			
SSB, B = 2,7 kHz	-117	-123	-126
CW, B = 500 Hz	-126	-132	-135

* bandbreiteunabhängig

■ Empfindlichkeit

Angaben über die Empfindlichkeit machen nur Sinn, wenn die von außen kommenden Stör- und Nutzspannungen, ggf. auch das Rauschen einer leistungsfähigen Antenne, die über die Ionosphäre mit einem „lebendigen“ Gebiet gekoppelt ist, nicht das Empfängerrauschen übertönen. Dies ist meist auf den Bändern über 20 MHz der Fall. Daher werden die Empfindlich-

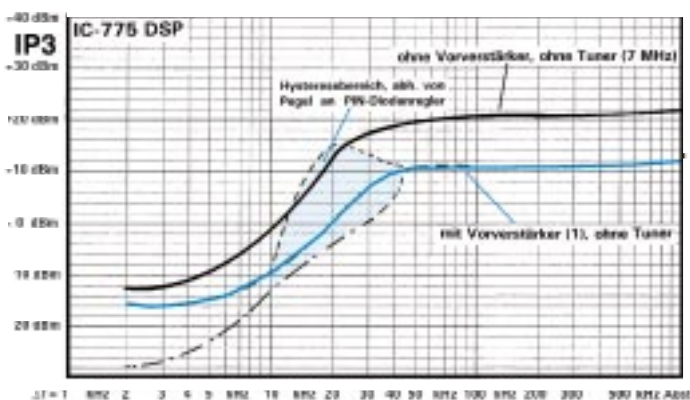


Bild 13: Verlauf des Interceptpunktes 3. Ordnung ohne Antennenabstimmgerät, mit (obere Kurve) und ohne Vorverstärker (untere Kurve) bei schwachen Eingangssignalen, IM etwa 1 μ V. Die Messung erfolgte wie bei Bild 12.

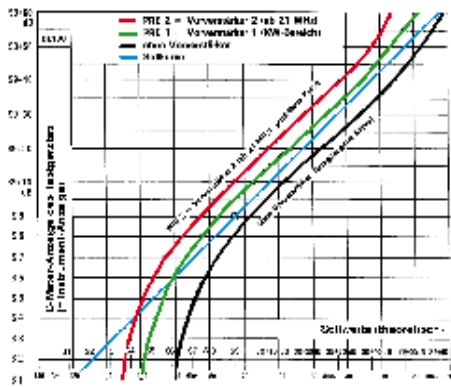


Bild 14: S-Meter-Kennlinie, ohne Vorverstärker (schwarz), mit PRE 1 (grün) und PRE 2 (rot). Unten (Abszisse) die Eingangsspannung (plus Soll-S-Stufen), links die S-Anzeige des Mustergerätes

keitsangaben hier für das 28-MHz-Band gemacht. Dort finden sich ab 28 200 kHz auch zahlreiche QRP-Baken, die eine schnelle Idee über brauchbare DX-Gebiete geben. Die Tabelle gibt zunächst die bandbreitenunabhängige „Rauschzahl“ als dB-Wert (dann als Rauschmaß) an. Der Wert von 16 dB ist typisch für Empfänger ohne Vorverstärker; er reicht bei extrem schwachen Funksignalen nicht immer aus.

Der IC-775 hat zwei auswählbare Vorverstärker, einen FET-Gegentaktverstärker mit 10 dB für alle KW-Bänder und einen rauscharmen Kaskodeverstärker mit 16 dB Verstärkung für Frequenzen oberhalb 21 MHz. Dieser bietet das beste noch sinnvolle Rauschmaß von 7 dB, das auch von professionellen Empfängern nicht oder selten erreicht wird. Damit kann man mit einer Drehrichtantenne auf 28 MHz noch externe Rauschzunahmen aus günstigen DX-Zonen wahrnehmen – sofern das Band offen ist.

Der zweite Teil der Tabelle zeigt die Eingangspegel in dBm, bei dem am NF-Ausgang ein Rauschanstieg an einem Effektivwert-Voltmeter auftritt, abhängig von Bandbreiten und Vorverstärkern (MDS = minimum discernible signal = kleinstes erkennbares Signal). Die Werte in der dritten Zeile ergeben einen Signal/Rausch-

Abstand von 10 dB, was auch bei SSB-Empfang schon eine brauchbare Lesbarkeit ergibt.

Gute Werte für die „Einsignal-Empfindlichkeit“ bringen nur dann die erhoffte Wirkung, wenn nicht durch Großsignalprobleme ein Hintergrundschleier von Brodeln, Rauschen und Pfeifen die schwachen Funksignale zudeckt. Durch Einsatz des Antennentuners zur Vermeidung der Rundfunksender-Intermodulation und der geringen Bandbreite von 50 bis 80 Hz läßt sich, zumindest für CW, die sagenhafte Empfindlichkeit für 3 dB Rauschabstand von -150 dBm, entsprechend unter 10 nV (!) erzielen – wenn der externe Rausch- und Störpegel das zulassen. Auf den Bändern unter 21 MHz ist dieser Zustand kaum noch erreichbar.

■ Wiedergabeverzerrungen

Für die saubere Wiedergabe wäre das Traumziel, wenn (bei SSB) im Hörbereich, z. B. von 0,1 bis 5 kHz, eine völlig unveränderte Reproduktion eines USB-Signals im KW-Bereich möglich wäre. Damit ist nicht nur ein geringer Klirrfaktor des Demodulators und des NF-Verstärkers angesprochen, sondern auch die Freiheit von Rauschen und Kombinationsfrequenzen, aber ebenso ein optimiertes Schwundregelverhalten. Der Empfänger hat erstmals eine kontinuierlich einstellbare AGC, die Regelverzerrungen bei zu kurzen Zeitkonstanten optimal auszuregulieren erlaubt. NF-Verstärker-IS nach dem Prinzip der Operationsverstärker bringen durch extreme Gegenkopplung ein Höchstmaß an Linearität. Selbst in dem kleinen eingebauten Lautsprecher hat man bei einwandfrei arbeitenden SSB-Stationen eine auffallend saubere Wiedergabe. Aufkommende Überlagerungstöne oder CW-Zeichen werden mit dem DSP-Notchfilter automatisch fast total eliminiert.

Bild 15 zeigt ein Doppelsignal im 40-m-Band auf 7008,5 kHz und 7009 kHz, vom Empfänger, abgestimmt auf 7006,5 USB, umgesetzt in die NF-Ebene. Dadurch entstehen zwei „erlaubte“ NF-Signale von

2 kHz und 2,5 kHz (NF-Ton 1 und 2). Alles andere sind unerwünschte Mischprodukte durch NF-Harmonische (4 kHz und 5 kHz, 2. Harmonische), NF-Intermodulation 2. Ordnung (4,5 kHz), und schließlich 3. Ordnung (1 kHz, 1,5 kHz, 3 kHz und 3,5 kHz). Da sie um 40 dB bis 60 dB abgesenkt sind, kommt das Doppeltensignal recht sauber aus dem Lautsprecher.

Bild 16 zeigt die gleiche Konstellation mit schwächeren „Wunschsignalen“ (S 9), einmal wie in Bild 15 (unterster Kurvenzug A), dann mit einem kräftigen 200-Hz-Nadelimpulsspektrum (ähnlich Zündfunken, bei 9 kHz Bandbreite bewerteter Pegel etwa 500 µV) als oberste Kurve C. Nach Einschalten des Störaustasters (Noise Blanker) wird mit der Kurve B der Störabstand um etwa 10 dB verbessert.

Ohne das Doppeltensignal ist die Wirkung des Störaustasters noch deutlicher.

■ DSP

Die Wirkung der Signalprozessoren wurde mehrfach erwähnt (DSP-Notchfilter, Audio-Peak-Filter, Rauschreduzierung, NR). außerdem wird auf Veröffentlichungen über die extern an den NF-Ausgang anzuschließenden DSP-Zusätze hingewiesen. Der Empfangsteil ist erfahrungsgemäß im Mittelpunkt des Interesses. Aber auch der Sender des IC-775 DSP enthält interessante Lösungen, die im Teil 2 untersucht werden.

(wird fortgesetzt)

Literatur

- [1] Schwarzbeck, G., DL1BU: Großsignalverhalten von KW-Empfängern, cq-DL 52 (1981), H. 3, S. 117
- [2] Schwarzbeck, G., DL1BU: Großsignalverhalten von KW-Empfängern - Teil 2, cq-DL 52 (1981), H. 11, S. 536; Senderintermodulation
- [3] Schwarzbeck, G., DL1BU: Yaesu FT-1000, 200-W-Transceiver mit Doppelpemfänger (0,1 - 30 MHz) - Teil 2, CQ DL, 62 (1991), H. 4, S. 215; IM-Bildung durch Dioden und Ferrite
- [4] Schwarzbeck, G., DL1BU: 300-W-MOS-FET-Linearendstufe für 144 MHz, Testbericht über HL V 300 (Beko), CQ DL 64 (1993), H. 1, S. 8
- [5] Schwarzbeck, G., DL1BU: Telegrafie mit Zwischenhören (Break-In, QSK), CQ DL 63 (1992), H. 2, S. 282

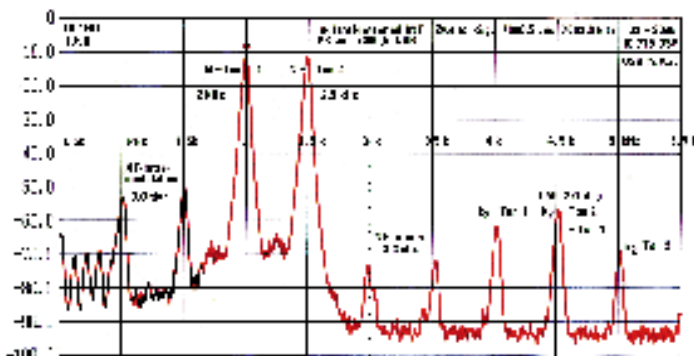


Bild 15: NF-Intermodulation im SSB-Durchlaßbereich (USB mit AGL), NF-Harmonische

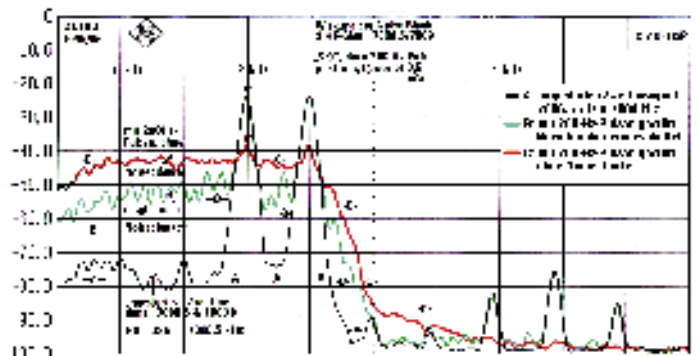


Bild 16: Zweitton-Empfangssignal, 200-Hz-Impulsstörung, Wirkung des Störaustasters

Labortest: Icom IC-775 DSP 200-W-Transceiver mit DSP (2)

Dipl.-Ing. GÜNTER SCHWARZBECK – DL1BU

Im zweiten Teil des Beitrages geht es um Messungen am Sendeteil: Der IC-775 DSP verfügt nicht nur über die für Transceiver ungewöhnlich hohe Senderausgangsleistung von 200 W, Icom hat dabei noch eine Menge für ein sauberes Ausgangssignal getan, das sich überdies vom Nutzer zudem seinen Wünschen entsprechend beeinflussen läßt.

Für den Transceiver IC-775 DSP gibt es eine detaillierte Beschreibung in deutscher und englischer Sprache mit über 60 Seiten. Als „Zeichen der Zeit“ fehlt jedoch die früher übliche Funktionsbeschreibung. Dieser Bericht stützt sich auf Messungen und knappe unkommentierte Stromlaufpläne.

Aus der Werbung kann man entnehmen, daß die SSB-Aufbereitung das frühere Gegenstück zur Filtermethode, nämlich das Phasenverfahren, anwendet. Damit wird ein Vergleich mit anderen Geräten besonders interessant, zumal der Übergang von bipolaren Sendertransistoren zu „Power-MOSFETs“ (auch im Treiber) Einfluß auf das Ausgangssignal haben sollte. Aus der Praxis heraus wird folgerichtig ein sehr sauberes SSB-Signal bestätigt.

■ Intermodulationsmessungen

Wiederum wäre die Intermodulation das wichtigste Kriterium für das schmale, verzerrungsarme Signal. Wie schon beim Empfangsteil besprochen, handelt es sich um Mischprodukte, die sich um das in die HF-Lage umgesetzte Eingangssignal gruppieren. Es ist wieder primär die IM dritter Ordnung, z.B. $2 f_1 - f_2$, die unerwünschte Produkte in der Nähe des Soll-Spektrums erzeugt; die IM-Summenprodukte, die weit entfernt auftreten, werden weggefiltert.

Bei einer früheren Untersuchung einer 2-m-MOS-FET-Endstufe [4] war die IM-

Absenkung derart spektakulär, daß eine Prüfung mit Zweitonansteuerung aus guten UKW-Transceivern immer nur den Zustand des Sendersenders reproduzierte. Der Ausweg bestand in der „künstlichen“ Erzeugung eines Doppelsignals aus zwei separaten Sendern über einen Leistungsaddierer mit hoher Entkopplung. Da die üblichen „Hybrid-Combiner“ meist nur bis etwa 1 W befriedigend arbeiten, war die Anfertigung eines Koaxial-Leitungs-Combiners aus zwei 75-Ω-Kabeln und einem 100-Ω-Schluckwiderstand angesagt. Das Ergebnis übertraf selbst professionelle Röhrensender.

Bild 17 zeigt die Zusammensetzung eines USB-Doppeltonsignals im 20-m-Band. In Bildmitte ist ein Restträger auf 14200 kHz kaum noch erkennbar, etwa 55 dB unter „PEP“, der Spitzenwertleistung der obersten Diagrammbegrenzung. Ein Zweitons-SSB-Signal erscheint dann 6 dB unter PEP, da zwei Sinustöne unterschiedlicher Frequenz sich zu bestimmten Zeiten mit ihren Spitzenwerten „arithmetisch“ addieren und sich die automatische Schwundregelung (AGC; automatic gain control) mit ihrer Abregelung nach dieser Maximalspannung richtet. Daher gibt es auch zwei verschiedene Angaben des Intermodulationsabstandes, einmal gemessen von der oberen PEP-Linie oder den um 6 dB geringeren Wert, der sich an den (gleichhohen) Pegeln der Einzeltöne orientiert.

Da es sich um ein USB-Signal handelt, erscheinen die hier benutzten Einzeltöne von 700 Hz und 1700 Hz „rechts von der Mitte“ bei 14200,7 kHz und 14201,7 kHz (jedes „Kästchen“ ist 1 kHz breit und 10 dB hoch). Die dem Doppeltonsignal nächstliegenden Spektrallinien liegen um die Frequenzdifferenz $1,7 \text{ kHz} - 0,7 \text{ kHz} = 1 \text{ kHz}$ unterhalb und oberhalb; sie entstehen durch Linearitätsabweichungen und stellen die Sender-Intermodulation dritter Ordnung dar ($2 f_1 - f_2$ und $2 f_2 - f_1$, also 14199,7 kHz und 14202,7 kHz).

Die nächsten Spektrallinien sind dann IM-Produkte fünfter und siebenter Ordnung usf. Die gemittelte Absenkung ist als Pegellinie „IM d3“ etwa 36 dB unter PEP erkennbar. Dies ist guter Durchschnitt; wichtig erscheint die zunehmende Absenkung der höheren IM-Produkte, die das Signal schmal und sauber erscheinen läßt.

■ Intermodulation bei Senden in SSB

Da die HF-Gegenkopplung auf den niederfrequenten Bändern aufgrund der höheren Verstärkung intensiver wirkt, ist die Endstufenlinearität z. B. im 80-m-Band noch etwas besser; dies zeigt Bild 18 mit einem LSB-Zweitonsignal mit dem unterdrückten Träger auf 3650 kHz. Das Doppeltonsignal 700 Hz und 1700 Hz ist nun spiegelbildlich gegen USB und unterhalb der Nennfrequenz, nämlich auf 3648,3 kHz und 3649,3 kHz zu finden. Die etwas niedriger liegenden dünnen Kurvenzüge stammen von einem um 10 dB abgesenkten Doppeltonpegel ohne ALC-Anzeige (automatic level control, Aussteuerungsregelung), gleichzeitig um etwa 300 Hz in der Nennfrequenz des unterdrückten Trägers nach oben versetzt, um den Vergleich mit dem erstgenannten Zustand zu erleichtern.

Bei der Normansteuerung liegt das IM3-Produkt 38 dB unter PEP oder 32 dB unter den Einzeltönen (im Bild Differenz D1 – D2). Bei der um 10 dB verringerten Ansteuerung sind die IM3-Pegel unterschied-

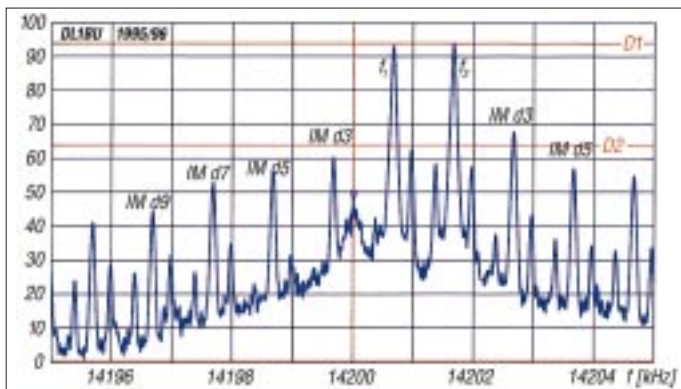


Bild 17: Sender-SSB-Zweitonsignal (USB; 700 Hz und 1700 Hz) für 14 200 kHz Trägerfrequenz und ALC \approx 10 % mit Intermodulationsprodukten 3. bis 9. Ordnung. Die Differenz D1 – D2 ist der Intermodulationsabstand 3. Ordnung; die Werte 5. und 7. Ordnung lassen sich entsprechend aus dem Diagramm ermitteln.

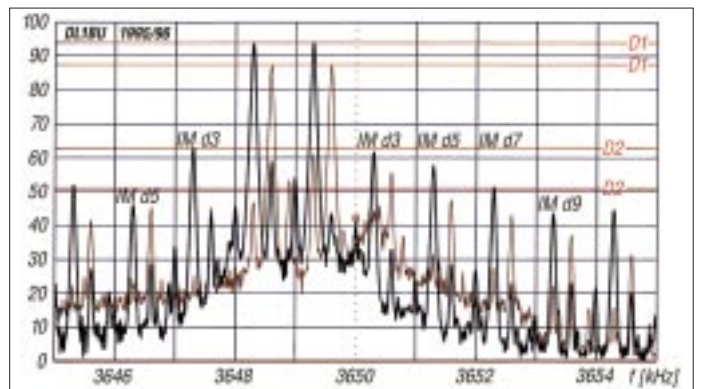


Bild 18: Sender-SSB-Zweitonsignal, (LSB; 700 Hz und 1700 Hz), 3600 kHz, Normansteuerung (schwarz) ohne ALC-Ausschlag und annähernd (PEP-)Vollaussteuerung sowie mit 10 dB weniger Aussteuerung (braun). Zwecks besserer Unterscheidbarkeit wurde die Sendefrequenz zwischen beiden Messungen um 300 Hz verschoben.

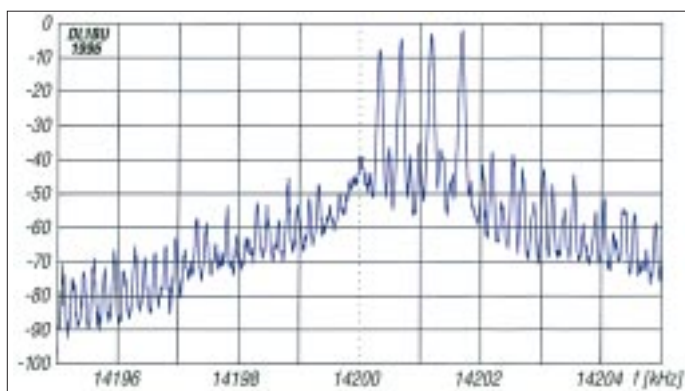


Bild 19: Intermodulationsspektrum eines Vierton-Signals (USB; 350 Hz, 700 Hz, 1200 Hz, 1700 Hz; je 1 mV bei 1/3 aufgedrehtem Mikrofonsteller), Trägerfrequenz 14 200 kHz, Ansteuerpegel unter ALC-Schwelle

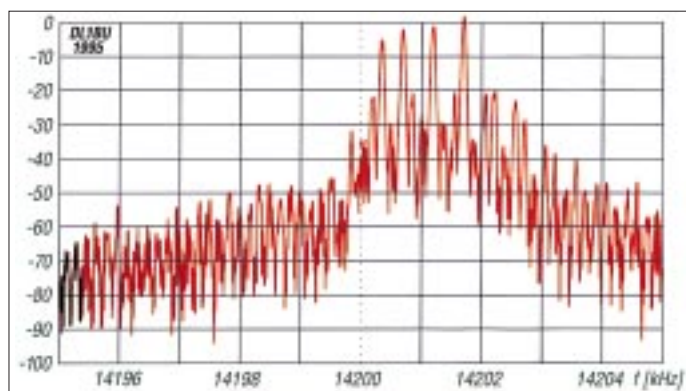


Bild 20: Intermodulationsspektrum eines Vierton-Signals (USB; 350 Hz, 700 Hz, 1200 Hz, 1700 Hz; je 1 mV bei 1/2 aufgedrehtem Mikrofonsteller), Trägerfrequenz 14 200 kHz, mit Prozessor, ALC-Anzeige 50 %

lich abgesenkt, im Mittel 49 dB unter PEP bzw. 43 dB unter den Einzeltönen.

Bei mäßiger Ansteuerung knapp unter der beginnenden ALC-Anzeige ist das Ausgangssignal recht sauber. Betrieb mit Prozessor hingegen ist bei allen derzeitigen Transceivern bei „kritischen Partnern“ nicht zu empfehlen, da dann die IM-Absenkung unter 20 dB geraten kann.

Die Bilder 19 und 20 entstanden durch eine Vierton-Ansteuerung mit 350 Hz, 700 Hz, 1200 Hz und 1700 Hz, einmal knapp unterhalb der ALC-Anzeigeschwelle und mit eingeschaltetem Sprachprozessor (Bild 20). Vor allem die in der Nähe des Vierton-signals liegenden Verzerrungsprodukte sind deutlich stärker. Dennoch erreicht die Absenkung je 3 kHz unter- und oberhalb der Spektrumsmitte lobenswerte 50 dB (über 8 S-Stufen).

■ Sendefrequenzgang-Beeinflussung

Moderne DSP-Geräte ermöglichen dem Benutzer den Zuschnitt der Durchlaßkurven (Frequenzgänge) des Senders. Sowohl die untere als auch die obere Übertragungsfrequenz lassen sich mittels Programmaufruf verändern.

Bild 21 zeigt zunächst die „Standardsituation“, dargestellt durch gleichhohe Einzel-

töne ohne ALC-Anzeige, die nacheinander als Eintonsignal eingespeist und gespeichert dargestellt wurden. Dabei bildet sich der USB-Frequenzgang ab mit einem leichten Maximum bei 2 kHz und raschem Abfall oberhalb 2,6 kHz und unterhalb 300 Hz. Dies ist die „default“-Einstellung für den Sender-Hochpaß bei 200 Hz und den Tiefpaß bei 2500 Hz. Aus Bild 22 ist der Normfrequenzgang unter Einschluß des Icom-Handmikrofons zu ersehen und zwar mit einem „ungeliebten“ Breitbandsignal: Das Mikrofon wurde vor eine Rauschquelle gestellt. Im Gegensatz zu der (Multi-) Eintonansteuerung von Bild 21 tritt nun die berüchtigte Intermodulation in

Erscheinung, die das ausgesendete Signal nach unten und oben verbreitert. Rauschen enthält alle Frequenzen und liefert somit einen absolut „harten“ Test.

Bild 23 gibt die beiden Extremfälle der „Software-Frequenzgang-Maniküre“ wieder: Der blaue Kurvenzug zeigt eine schmale Modulation, nominell von 500 Hz bis 2000 Hz, der rote eine breite von 80 Hz bis 2,9 kHz, jeweils unter Einschluß des Mikrofons mit Rauschspektrum.

■ CW-Sendesignal

Auch ein Telegrafiesignal hat, obgleich zunächst „fast unendlich schmal“, aufgrund des Impulscharakters eine (Klick-)

Bild 21: USB-Durchlaßkurve mit Eintonsignalen im Abstand 200 Hz, USB, nacheinander eingespeist, ohne ALC-Ausschlag; aufgenommen und gespeichert dargestellt (Bandbreiteinstellung: HP – 200 Hz, LP – 2500 Hz; Trägerfrequenz 14 200 kHz)

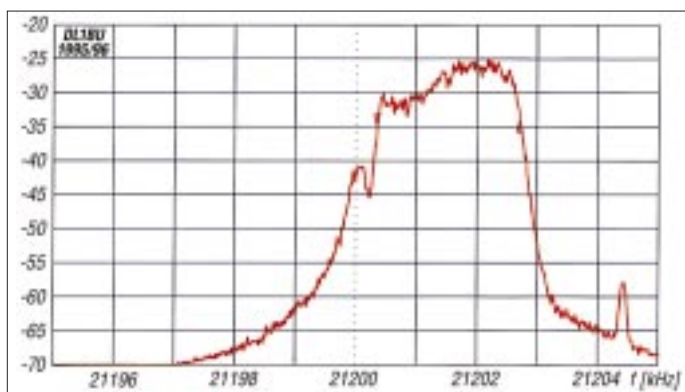
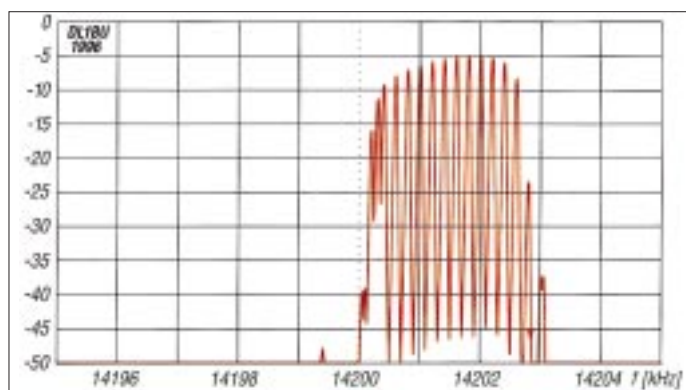


Bild 22: Standard-Durchlaßkurve bei Senden im USB, ohne ALC-Ausschlag; aufgenommen mit Hilfe akustischer Übertragung von weißem Rauschen zum Mikrofon (Bandbreiteinstellung: HP – 200 Hz, LP – 2500 Hz; Trägerfrequenz 14 200 kHz). Rauschen enthält alle Frequenzen und liefert einen „harten“ Test.

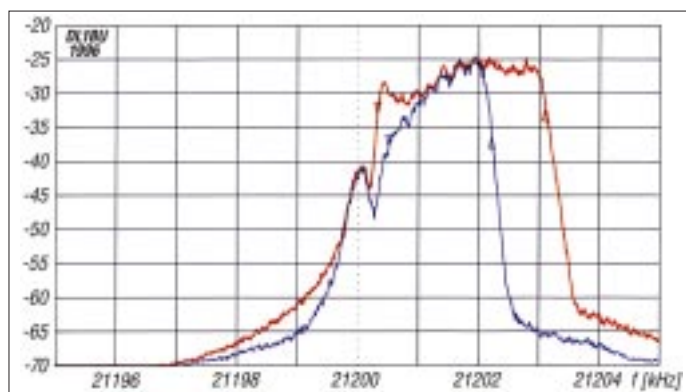


Bild 23: Durchlaßkurve bei Senden im USB, Frequenzgrenzen mit DSP auf minimale (HP – 500 Hz, LP – 2000 Hz; blau) und maximale Bandbreite (HP – 80 Hz, LP – 2900 Hz; rot) eingestellt, aufgenommen mit Hilfe akustischer Übertragung von weißem Rauschen zum Mikrofon (Trägerfrequenz 21 200 kHz)

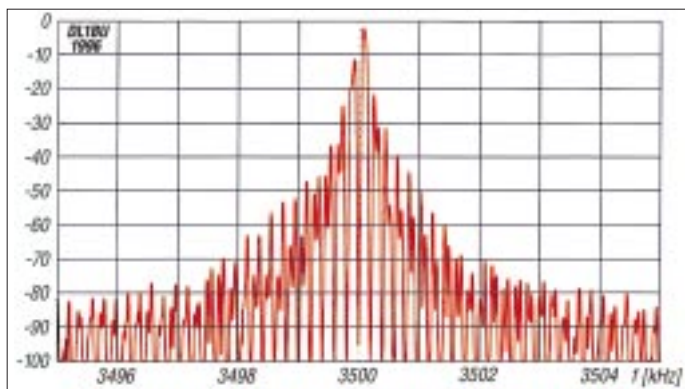


Bild 24: CW-Tastklick-Spektrum einer Morse-Punktfolge auf einer Sendefrequenz von 3550 Hz

Bandbreite. Stark verrundete Zeichen mit z. B. 5 ms Anstiegs- und Abfallzeit klingen weich und sind rücksichtsvoll gegen Frequenznachbarn. Im DSP-Notchfilter eines Empfängers verschwinden sie nahezu völlig. Sind die Zeichen „hart“ mit Flankensteilheiten deutlich unter 1 ms, hört man selbst bei geringer Empfängerbandbreite auch in Nachbarkanälen ein Klickspektrum. Im Notchfilter ist der Überlagerungston zwar weiterhin nicht zu hören, dagegen das Breitband-Klickspektrum sehr störend. Ein Kompromiß ist mit ungefähr 2 ms Anstiegs- und Abfallzeit erreicht. Bild 24 zeigt das Klickspektrum in einem Empfänger mit 100 Hz Bandbreite. Bei ± 1 kHz ist die Absenkung fast 50 dB (etwa 8 S-Stufen).

Die CW- und Voll-BK-Situation hat durch den Vormarsch der Digitaltechnik manchen Impuls bekommen, aber alte Schnelltelegrafisten schwören auf die frühere Technik mit schnellen Reed-Relais für die QSK-Sende/Empfangs-Umschaltung.

Zwar bieten die heutigen Transceiver eine Software-Justierung z.B. des Strich/Punkt-Verhältnisses; bei hohem Tempo und BK-Betrieb werden jedoch insbesondere die Punktlängen stark gekürzt. Bei mäßigem CW-Tempo und Verzicht auf BK (Zwischenhören) erlaubt dieser Transceiver die Variation des Punkt/Pausen/Strich-Verhältnisses von 1:1:2,8 bis 1:1:4,5. Damit kann man z.B. Zeitverfälschungen durch die Relais einer Linearendstufe oder einer elektronischen Taste ausgleichen, ein bei hohem Tempo auf die Hälfte verkürzter Morsepunkt läßt sich jedoch nicht wieder verlängern. Bei „VOX-Betrieb“ beschränkt sich die Punktverkürzung auf den *ersten Punkt* einer Zeichengruppe.

Diese Verhältnisse wurden für den IC-775 sowohl mit dem eingebauten „Keyer“ als auch mit extern angeschlossenen „El-Bug“ bei niedriger, mittlerer und hoher Gebe-geschwindigkeit aufgezeichnet, s. auch [5]. Abschließend sei auch der Betriebsart FM eine Darstellung des Senderspektrums auf 29 MHz gewidmet.

■ FM-Sendesignal

Bild 25 zeigt den Spektralverlauf eines mit 7 mV in 50%-Stellung des Mikrofon-verstärkungsstellers eingespeisten 1-kHz-Sinustons sowie den Signalverlauf mit dem „beliebten Abstimmgeräusch“, dem Vokal „A“.

Viele Eigenschaften, Meßwerte oder Tabellen dieses interessanten Transceivers sind

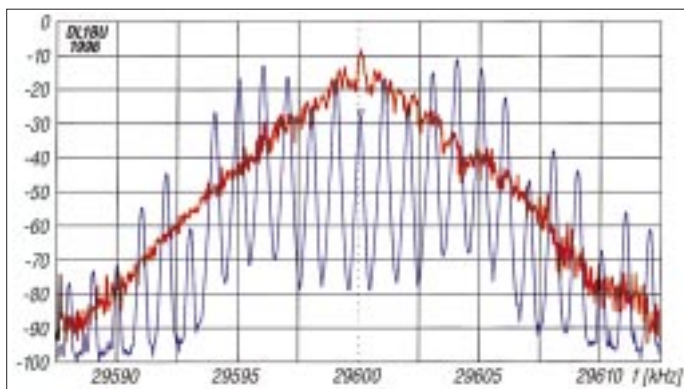


Bild 25: FM-Senderspektrum mit 1-kHz-Sinuston (7 mV bei 1/3 aufgedrehtem Mikrofonsteller; blau) und Sprachlaut „A“ (rot)

der ausführlichen Abhandlung über die wichtigsten Daten aus Platzgründen „zum Opfer gefallen“, ebenso Definitionen und Einzelheiten der IM-Meßmethodik oder der Telegrafiezeichennormung usw.

Zu technischen Daten, Display, Bedienelementen usw. sei nochmals auf das entsprechende FA-Typenblatt in der Ausgabe 3/96, S. 299, hingewiesen.

Interradio '96 abgesagt

Die Interradio, Fachmesse für Amateurfunk und weltweiten Rundfunkempfang, wird in diesem Jahr nicht stattfinden. Die Veranstalterfirma Heckmann GmbH in Hannover sagte die für den 19. und 20.10. geplante Ausstellung ab. Der Vorstand des DARC als ideeller Träger bekundete sein Bedauern über diese Entscheidung.

Grund für die Absage sind nach Aussage des Veranstalters vor allem Terminprobleme infolge der Baumaßnahmen wegen der EXPO 2000, eine Reihe von „Kleinigkeiten“, wie es Projektleiter Claus Dieter Diesener ausdrückte. So hätte die Halle 2, in der die Veranstaltung in den vergangenen Jahren stattfand, diesmal nicht zur Verfügung gestanden; auch von einem gesunkenen Interesse einiger Aussteller war die Rede.

Händler klagten in den vergangenen Jahren über zu geringe Umsätze, viele Besucher vermißten nach dem Umzug in die neue große Halle das Flair der ersten Jahre.

„Die Interradio kostet uns Geld“, hatte Claus Dieter Diesener nach der letzten Veranstaltung im Oktober 1995 erklärt. Doch damals hatte er auch positive Entwicklungen ausmachen können, die dazu geführt hätten, daß man trotz der schwierigen wirtschaftlichen Lage „gerne weitermachen“ wolle. Die Besucherzahl war gegenüber '94 geringfügig angestiegen, und man hatte zwar keinen Anlaß zur Euphorie gesehen, aber immerhin einen gewissen Erfolg.

Noch im Januar wurde unter den Ausstellern eine Umfrage durchgeführt, um auf deren Wünsche besser eingehen zu können. Dabei war auch eine Verkürzung auf einen oder anderthalb Tage zur Diskussion gestellt worden. Nach Auswertung der Fragebögen (der Rücklauf soll nicht allzugroß gewesen sein) wurde Anfang März noch verkündet, daß die Interradio wie geplant an zwei Tagen, stattfinden werde. Nur wenige Tage danach erfolgte die Absage.

Den traditionell mit der Interradio verbundenen Flohmarkt soll es möglicherweise dennoch geben, überlegt jedenfalls dessen Ausrichter, der DARC-Distrikt Niedersachsen. Wenn eine geeignete Örtlichkeit auf dem Messegelände gefunden wird, so der Organisator, Erich Prager, DJ3JW, soll er zum vorgesehenen Termin, evtl. „plus oder minus eine Woche“, stattfinden. Einen Umzug an einen anderen Ort schließt er aus, weil selbst bei stark zurückgehender Zahl der Händler und Besucher der Bedarf an Stellfläche und an Parkplätzen zu groß wäre, als daß man z. B. in eine Schule ausweichen könnte. Vierzehnmal hat die Interradio in Hannover stattgefunden. Mit ihrem Ableben würde im nord(ost)deutschen Raum ohne Frage ein Vakuum entstehen. Die Absage für 1996 ist denn auch kein endgültiges Aus. Im Jahr 1997 soll die Messe wieder stattfinden. Auch ein Termin ist schon festgesetzt: der 18. und 19.10.97.

Hans Weber/r/rf