

Magazin für Amateurfunk Elektronik · Funktechnik

938 Vor 75 Jahren wurde der Transistor erfunden

946 Yaesu neuer FT-710 bei DC4KU auf dem Messplatz

951 Unterbrechungsfreie Stromversorgung PG40S

952 »Radio in a Box« für DXpeditionen der Zukunft

954 Was ist ein Paraformer?

960 Thermometer mit Logger

969 Erfahrungen beim Aufbau einer BOG-Antenne



**Katastrophenwarnung mit EWF
und Cell Broadcast**



4 194040 005708

Yaesu FT-710 – ein erster Test

Dipl.-Ing. WERNER SCHNORRENBURG – DC4KU

Der Yaesu FT-710 ist ein moderner, direktabtastender KW/50/70-MHz-Transceiver mit 100 W Sendeleistung und Antennentuner. Wesentliche Merkmale: HF-Direktabtastung mit 14-Bit-Zweikanal-ADU, 3DSS-Echtzeit-Spektrumskop, RMDR 113 dB in 2 kHz Abstand, 4,3-Zoll-Touch-Farbdisplay, Lautsprechersystem AESS, Anschluss für externen DVI-D-Monitor.

Yaesu FT-710 und FTDX10 sind unterschiedlich aufgebaut, siehe Bilder 1 und 2. Der Yaesu FTDX10 ist ein Hybrid-SDR mit analogem Mischer, LO, Roofing-Filter und A/D-Umsetzung auf ZF-Ebene. Der Yaesu FT-710 ist dagegen ein direktabtastendes SDR, welches die HF-Signale direkt digitalisiert. Hierfür kommt der gleiche Zwillings-ADU wie im Yaesu FTDX10 zum Einsatz und das nachfolgende FPGA (anwenderprogrammierbares Gate-Array) kombiniert deren digitale

fängers und des Senders. Ein ausführlicher Beitrag über Funktion und Handhabung des Yaesu FT-710 wird in einer der folgenden Ausgaben zu lesen sein.

■ Empfänger Empfindlichkeit

Als Maß der Empfindlichkeit ist das Grundrauschen des Empfängers (MDS, engl. *Minimum Discernible Signal*) definiert. Legt man ein CW-Signal an den Empfängereingang, dessen Pegel P_i das

benötigt man einen HF-Generator, eine Eichleitung und ein kalibriertes AC-NF-Voltmeter, Bild 3.

Rauschmaß

Mit einem Rauschgrenzwert von -174 dBm/Hz, berechnet sich das Rauschmaß, engl. *Noise Figure* (NF), zu: $NF = MDS - 10 \log BW - (-174 \text{ dBm/Hz})$. Bei $BW = 2,4 \text{ kHz}$ gilt: $NF = MDS + 140 \text{ dB}$. Ergebnis: Die Empfindlichkeit ist auf allen Bändern ausreichend gut. In den höheren Bändern kann bei Bedarf der Vorverstärker AMP1 zugeschaltet werden, wobei die verzerrungsfreie Dynamik dadurch keine Beeinflussung erfährt, wie später noch gezeigt wird. Die Bezeichnung IPO steht für *Intercept Point Optimization*. Hiermit ist die Optimierung des Intercept Points 3. Ordnung gemeint. Ein IP_3 existiert bei direktabtastenden SDRs jedoch nicht. Vermutlich hat Yaesu diese Bezeichnung versehentlich von einem analogen Superhet-Empfänger übernommen.

■ RMDR und SBN

Zu den wichtigsten Kriterien eines Empfängers zählen *Reciprocal Mixing Dynamic Range* (RMDR) und *Sideband Noise* (SBN). Starkes Seitenbandrauschen kann ein kleines Signal neben einem großen Signal zudecken und einen Empfänger „taub“ machen. Höhere Empfindlichkeit oder bessere Selektion helfen hier nicht mehr weiter. Beim Abtastvorgang mischt sich das SBN des Taktgenerators auf das Empfangssignal mit auf, sodass dieses vom Rauschen unter Umständen zuge- deckt werden kann, Bild 4.

Das Phasenrauschen des Taktgenerators sollte deswegen möglichst kleiner als -140 dBc/Hz sein und der daraus resultierende RMDR möglichst groß ($> 110 \text{ dB}$). Zur Ermittlung des RMDR wird ein quasi rauschfreies Trägersignal (10-MHz-OC-XO von KVG) in den Empfänger eingespeist und dessen Pegel (P_i) soweit vergrößert, bis sich im Abstand von 2 kHz ein Signal-Rausch-Abstand $(S+N)/N$ von $+3 \text{ dB}$ über dem Grundrauschen (MDS) ergibt [2].

Daraus berechnen sich der RMDR zu $RMDR = P_i - MDS$ und das SBN zu $SBN = RMDR + 10 \log B$. Bei einem MDS von

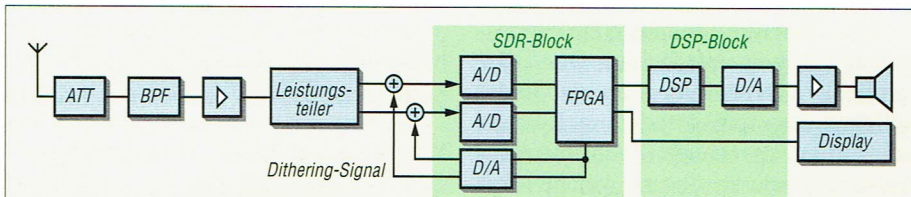


Bild 1: Blockschaltbild des FT-710, direktabtastendes SDR

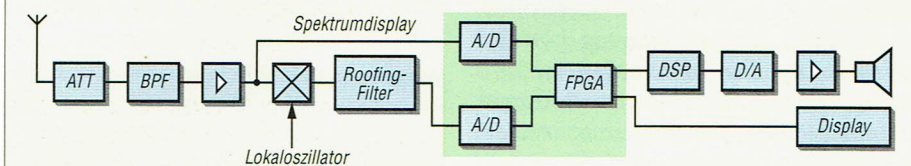


Bild 2: Blockschaltbild des FTDX10, Hybrid-SDR

Signale so, dass eine Überlastung (engl. *Overload*) erst spät auftritt. Zusätzlich sorgt ein *Dithering*-Signal in Form von Rauschen, eingespeist in die Eingänge der ADUs, für eine Reduktion der IMD_3 -Störungen [1].

Nachfolgend beschreibe ich den Test der wichtigsten HF-Eigenschaften des Emp-

Grundrauschen des Empfängers am NF-Ausgang um 3 dB anhebt (Spannungserhöhung am NF-Voltmeter um Faktor 1,414), dann entspricht die Leistung des Signals nach $(S+N)/N = 2$ dem des Grundrauschens (engl. *Noise Floor*); den Überlagerungston am NF-Ausgang hierbei auf 700 Hz einstellen. Für diese Messung

Tabelle 1: Empfindlichkeit (MDS) bei CW, BW = 500 Hz

Verstärker	1,9 MHz	3,7 MHz	7,1 MHz	14,2 MHz	21,2 MHz	28,2 MHz	50,1 MHz
IPO	-123 dBm	-125 dBm	-126 dBm	-126 dBm	-127 dBm	-127 dBm	-128 dBm
AMP1	-132 dBm	-135 dBm	-136 dBm	-136 dBm	-136 dBm	-136 dBm	-138 dBm
AMP2	-141 dBm	-142 dBm	-142 dBm	-142 dBm	-142 dBm	-143 dBm	-141 dBm

Tabelle 2: Empfindlichkeit (MDS) bei SSB, BW = 2,4 kHz

Verstärker	1,9 MHz	3,7 MHz	7,1 MHz	14,2 MHz	21,2 MHz	28,2 MHz	50,1 MHz
IPO	-117 dBm	-119 dBm	-120 dBm	-120 dBm	-121 dBm	-121 dBm	-122 dBm
AMP1	-126 dBm	-129 dBm	-130 dBm	-130 dBm	-130 dBm	-130 dBm	-132 dBm
AMP2	-134 dBm	-136 dBm	-136 dBm	-136 dBm	-136 dBm	-137 dBm	-135 dBm

Tabelle 3: Rauschmaß (Noise Figure) bei SSB, BW = 2,4 kHz

Verstärker	1,9 MHz	3,7 MHz	7,1 MHz	14,2 MHz	21,2 MHz	28,2 MHz	50,1 MHz
IPO	23 dB	21 dB	20 dB	20 dB	19 dB	19 dB	18 dB
AMP1	14 dB	11 dB	10 dB	10 dB	10 dB	10 dB	8 dB
AMP1	6 dB	4 dB	4 dB	4 dB	4 dB	3 dB	5 dB

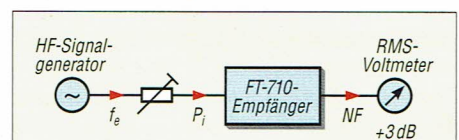


Bild 3: Messaufbau zur Ermittlung der Empfindlichkeit

Tabelle 4: RMDR und SBN in Trägerabständen von 2 kHz bis 100 kHz

Δf [kHz]	P_i [dBm]	SBN [dBc/Hz]	RMDR [dB]
2	-20	143	116
5	-18	145	118
10	-17	146	119
20	-16	147	120
50	-15	148	121
100	-14	149	122

Tabelle 5: DR_3 des FT-710 im 20-m-Band, mit und ohne Vorverstärker, $BW = 500$ Hz

Verstärker	MDS	P_i	DR_3
IPO	-126 dBm	-19 dBm	107 dB
AMP1	-136 dBm	-29 dBm	107 dB
AMP2	-142 dBm	-39 dBm	103 dB

Tabelle 6: Dynamik 2. Ordnung (DR_2)

Verstärker	MDS	P_i	DR_2
IPO	-126 dBm	-22 dBm	104 dB
AMP1	-136 dBm	-32 dBm	104 dB

-136 dBm bei $BW = 500$ Hz und einem Offset von 2 kHz ergeben sich beim FT-710 ein RMDR und SBN von

$$\begin{aligned} RMDR &= P_i - MDS \\ &= -20 \text{ dBm} - (-136 \text{ dBm}) \\ &= 116 \text{ dB und} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SBN &= RMDR + 10 \log B \\ &= 116 \text{ dB} + 10 \log (500 \text{ Hz}) \\ &= 116 \text{ dB} + 27 \text{ dB} = 143 \text{ dBc/Hz} \end{aligned}$$

In gleicher Weise wird die Messung in Abständen bis 100 kHz durchgeführt, Tabelle 4. Ergebnis: RMDR und SBN des FT-710 sind sehr gut. Kleine Signale in der Nähe großer Signale werden durch das Phasenrauschen (Seitenbandrauschen) des Empfängers nicht beeinflusst.

■ Intermodulation 3. Ordnung IMD_3 , DR_3

Zur Prüfung der Intermodulation 3. Ordnung wird der Empfänger mit zwei gleich großen HF-Signalen ($f_1 = 14,200$ MHz, $f_2 = 14,002$ MHz, $\Delta f = 2$ kHz) angesteuert und die Intermodulation bei $2 \cdot (f_1 - f_2)$ und $2 \cdot (f_2 - f_1)$ gemessen, Bild 8. Hierbei wird

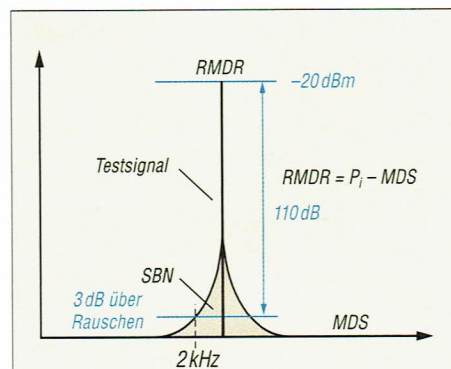


Bild 4: Ermittlung von SBN und RMDR mit einem rauscharmen Testsignal

der Pegel des Zweitonsignals schrittweise in 1-dB-Stufen bis hin zur Begrenzung des Empfängers vergrößert und der jeweils entstehende Intermodulationspegel 3. Ordnung notiert:

$$DR_3 = P_i - MDS$$

Die maximal erreichbare Dynamik (DR_3), mit und ohne Vorverstärker, zeigt die Tabelle 5. Einstellungen: $BW 500$ Hz; IPO, AMP1, AMP2: on/off.

Den Verlauf der entstehenden Intermodulation zeigt Bild 7. Der FT-710 erreicht ohne Vorverstärkung eine maximale, verzerrungsfreie Dynamik von 107 dB (grüne Kurve). Die Dynamik berechnet sich zu

$$\begin{aligned} P_i - MDS &= -19 \text{ dBm} - (-126 \text{ dBm}) \\ &= 107 \text{ dB.} \end{aligned}$$

Das ist ein ausgezeichnete Wert. Mit AMP1 (+10 dB) erreicht der Receiver die gleiche Dynamik von 107 dB, was die Großsignalfestigkeit des Verstärkers und der Bandfilter unter Beweis stellt. Erst bei Einschaltung beider Vorverstärker (AMP2, +20 dB) verkleinert sich die Dynamik um 4 dB, Tabelle 5.

Unterhalb der maximalen Aussteuerung (*Sweet Spot*) tauchen keinerlei IM-Produkte oberhalb des Grundrauschens auf, was ungewöhnlich ist, weil die meisten SDRs auch hier schon IM produzieren. Offensichtlich zeigt das *Dithering* hier seine positive Wirkung. Eine OVF- (*Overflow*-)Anzeige gibt es beim Yaesu FT-710 nicht. Der Empfänger gerät auch nicht ins *Clipping*, sondern bleibt durch eine gesonderte AGC stets unterhalb seiner Begrenzung von 0 dB_{FS} (*Full Scale*). Erst

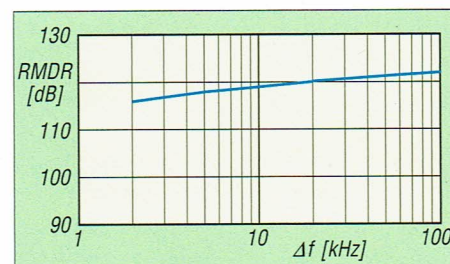


Bild 5: RMDR im Abstand von 2 kHz bis 100 kHz zum Träger

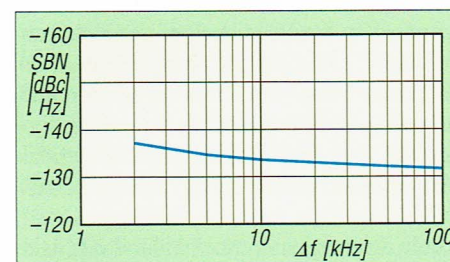


Bild 6: Phasenrauschen im Abstand von 2 kHz bis 100 kHz zum Träger

bei $P_i = +2$ dBm (1,6 mW) erfolgt ein *Blocking*.

Anmerkung zur Intermodulation: Theoretisch dürfte ein A/D-Umsetzer bis hin zu seiner Begrenzung (*Clipping*) überhaupt keine Intermodulation erzeugen. Aufgrund von Quantisierungsfehlern erzeugt ein ADU aber IM, deren Größe jedoch keiner Gesetzmäßigkeit folgt. Mit *Dithering* versucht man die Intermodulation möglichst gering zu halten.

Bei analogen Empfängern steigt und fällt die Intermodulation fest um den Faktor $1/3$, wodurch sich ein IP_3 berechnen lässt, über den man die Großsignalfestigkeit von Empfängern definieren und vergleichen kann.

Bild 7: IMD_3 -Verlauf des FT-710

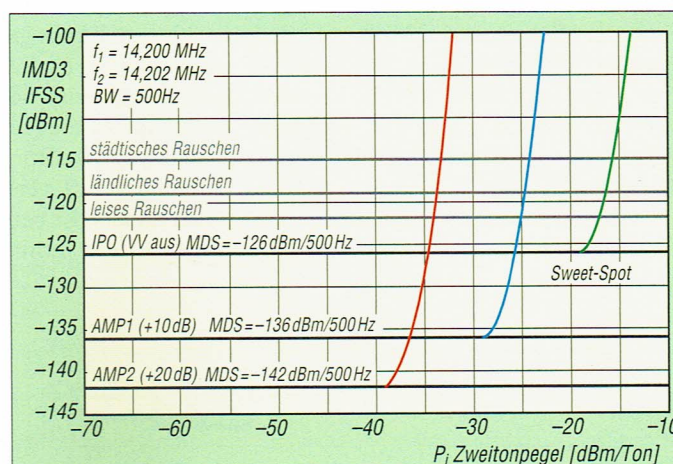


Bild 8: Messaufbau für IMD_3 -Messung

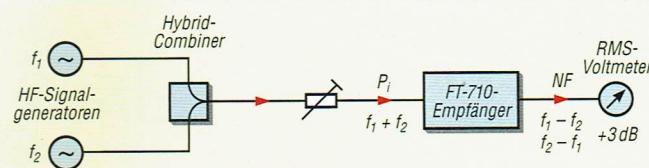




Bild 9: Entstehende IMD₃-Störsignale bei $P_i = -19$ dBm

Bei digitalen Empfängern gibt es aber keinen IP_3 , weil der Verlauf der Intermodulation nicht kalkulierbar ist. Die meisten Hersteller haben das Problem erkannt und geben bei direktabtastenden SDRs lediglich die Empfindlichkeit (MDS) und das Phasenrauschen (SBN) an, jedoch keinen $IMDR_3$.

Allein wichtig und entscheidend ist, dass sich alle IMD_3 -Kurven hin bis zur Begrenzung stets unterhalb der im Diagramm eingezeichneten Linien für *residential-noise* (städtisches Rauschen) bzw. *rural-noise* (ländliches Rauschen) befinden. Wird das erreicht, sind IMD_3 -Störprodukte bei Anschluss einer Antenne nicht mehr hörbar/detektierbar [3]. Der FT-710 erfüllt diese Anforderung.

■ Intermodulation 2. Ordnung (IMD_2 , DR_2)

Die Intermodulation 2. Ordnung sagt aus, wie hoch die Unterdrückung des Summensignals zweier CW-Signale ist. Im Beispiel verwende ich wieder ein Zweisignal (P_i) bei $f_1 = 6,1$ MHz und $f_2 = 8,1$ MHz und messe das unerwünschte Summensignal bei $f_1 + f_2 = 14,2$ MHz, Tabelle 6. Bei dieser Messung wird der Pegel beider Signale soweit erhöht, bis das IMD_2 -Signal mit +3 dB aus dem Grundrauschen erscheint, das heißt die Grenzemfindlichkeit (MDS) erreicht hat ($DR_2 = MDS$). Die DR_2 -Dynamik (DR_2 , Dynamikbereich 2. Ordnung) beträgt dann:

$$DR_2 = P_i - MDS.$$

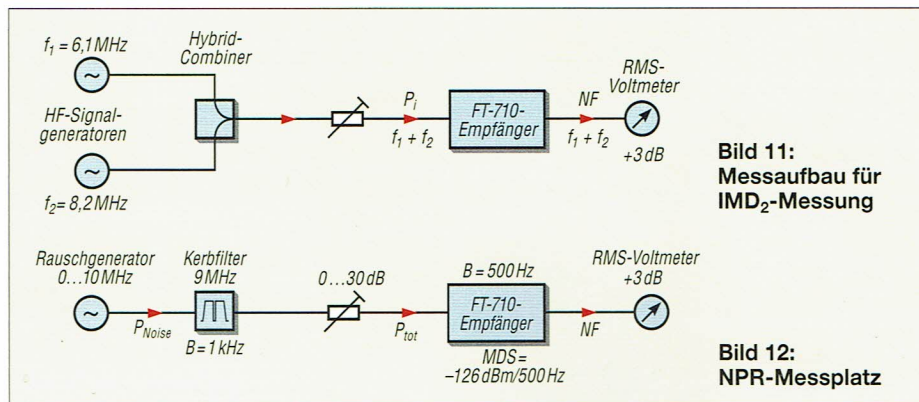


Bild 11: Messaufbau für IMD_2 -Messung

Bild 12: NPR-Messplatz



Bild 10: DR_2 -Störsignal bei $P_i = -22$ dBm, IPO

Der FT-710 besitzt mit und ohne Vorverstärker eine DR_2 -Dynamik von 104 dB. Ergebnis: Die Dynamik 2. Ordnung eines guten Empfängers sollte größer als 100 dB sein, was vom FT-710 erreicht wird. Erst bei $P_i = -22$ dBm entsteht bei 14,2 MHz ein Störsignal von 3 dB über Grundrauschen. Daraus berechnet sich ein DR_2 von -22 dBm $- (-126$ dBm) = 103 dB. Mit aktiviertem AMP1 ergibt sich ein DR_2 von -32 dBm $- (-135$ dBm) = 103 dB. Die Zuschaltung von AMP1 (+10 dB) beeinflusst nicht die Großsignalfestigkeit.

■ Blocking-Dynamikbereich

Der BDR eines Empfängers ist dann erreicht, wenn ein Signal so groß wird, dass ein kleines Nutzsignal im Abstand von 2 kHz bis 20 kHz um 1 dB an Amplitude (S/N) verliert.

$$BDR = \text{Blocking Level} - \text{Grundrauschpegel (MDS)}$$

Blocking (Desensibilisierung) entsteht im Prinzip nur bei analogen Überlagerungsempfängern, direktabtastende Radios kennen diesen Effekt nicht. Wird die maximale Aussteuerung eines ADU bei 0 dB_{FS} (Full Scale) erreicht, gerät er fast schlagartig in Begrenzung und ein weiterer Empfang ist nicht mehr möglich. Dieser Effekt wird als *Clipping* bezeichnet und tritt bei direktabtastenden SDRs meist bei etwa -10 dBm auf.

Beim FT-710 verläuft die Blockierung aber anders. Er verfügt über eine spezielle AGC, die verhindert, dass der HF-Pe-

gel am Eingang des ADU die Aussteuerungsgrenze von 0 dB_{FS} erreicht. Ein *Clipping* wird deswegen nicht erreicht und es erscheint auch keine Warnmeldung bei Übersteuerung des Empfängers, wie etwa beim Icom IC-7300 (OVF). Statt dessen reduziert der FT-710 bei hohen Signalen seine Dynamik, ähnlich einem analogen Empfänger. Yaesu definiert den BDR des FT-710 bei einem Dynamikverlust von 1 dB. Dies erfolgt bei einem Pegel von +2 dBm (IPO, BW = 500 Hz, 14,2 MHz), woraus sich ein BDR berechnet von

$$BDR = \text{Blocking Level} - MDS \\ = +2 \text{ dBm} - (-126 \text{ dBm}) = 128 \text{ dB}.$$

Ergebnis: Der FT-710 lässt sich demnach kaum übersteuern (blockieren) und sein BDR erreicht die Nähe analoger Empfänger. Hybrid-SDRs und superheterodyne Empfänger erreichen einen BDR von bis zu 140 dB.

■ Noise Power Ratio (NPR)

Die Intermodulationsfestigkeit eines Empfängers lässt sich auch über das Rauschleistungsverhältnis (NPR) ermitteln [4]. Der Eingang des Empfängers wird hierbei nicht mehr mit CW-Signalen angesteuert, sondern mit weißem Rauschen konstanter Leistung, Bild 12.

Der Testaufbau besteht aus einem Rauschgenerator (0 bis 10 MHz), 9-MHz-Notchfilter ($BW = 1$ kHz) und einstellbarem Dämpfungsglied.

Der Empfänger wird auf die Mitte des Notchfilters (8,999640 MHz) abgeglichen und empfängt an dieser Stelle nur noch das Grundrauschen des Empfängers. Anschließend wird der Rauschpegel (P_{Noise}) soweit erhöht, bis ein Rauschanstieg im Sockel des Notchfilters bzw. am RMS-Voltmeter von +3 dB zu erkennen ist. An diesem Punkt entspricht die erzeugte Intermodulation der Empfindlichkeit des Empfängers (Noise = MDS) und die Differenz von angelegter Rauschleistung (P_{tot}) zur Empfindlichkeit (MDS) entspricht dem NPR.

Beim FT-710 erfolgt dies bei einem Rauschpegel P_{tot} von -7 dBm. Daraus berechnet sich sein NPR zu

$$NPR = P_{\text{tot}} - BWR - MDS \\ = -7 \text{ dBm} - 10 \log(10 \text{ MHz} / 500 \text{ Hz}) - (-126 \text{ dBm}) \\ = 76 \text{ dB}$$

mit: P_{tot} = Rauschleistung (bezogen auf 10 MHz Rauschbandbreite), BWR (Bandwidth Ratio) = $10 \log(BRF/BIF) = 10 \log(10 \text{ MHz} / 500 \text{ Hz}) = 43 \text{ dB}$; MDS = -126 dBm.

Anmerkung: Normalerweise lässt sich das NPR am erkennbaren Rauschanstieg im Sockel des Notch-Filters erkennen. Beim Yaesu FT-710 ist das jedoch nicht möglich, da seine spektrale Darstellung über keine *Average*-Funktion verfügt. Stattdessen zeigt er nur ein wildes Gezappel von Spektrallinien an, wodurch sich kleine Signale im Rauschen kaum identifizieren lassen. Der FTDX10/101 hat das gleiche Problem. Weiterhin verfügt das Display nur über 50 dB Dynamik.

Ergebnis: Mit einem NPR von 76 dB liegt der FT-710 im Bereich guter SDR-Empfänger. Einfache SDRs erreichen hier nur 40 bis 50 dB. Als Vergleich: FTDX10: 78 dB, IC-7300: 76dB.

■ Sendetrakt

HF-Ausgangsleistung

Zur Messung der HF-Ausgangsleistung wird der Sender über ein 10-W-Dummyload (-60 dB Ausgang) mit einem Spektrumanalysator verbunden und die maximale Leistung eines CW-Sendesignals darüber ermittelt, Bild 13. Auf die gleiche Weise misst man auch den Oberwellenabstand der zweiten Harmonischen ($2 \cdot f$). Die Stromversorgung erfolgte über

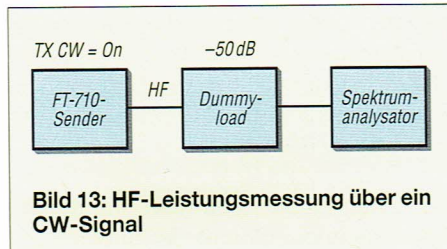


Bild 13: HF-Leistungsmessung über ein CW-Signal

ein Netzgerät 13,8 V/32 A. Einstellungen: CW 500 Hz, RF-Power 100 %, Versorgung 13,8 V, Dummyload 60 dB. Die Tabelle 7 zeigt die maximale Sendeleistung in den einzelnen Bändern und die Unterdrückung der zweiten Harmonischen.

Intermodulation des Senders

Zur Messung der Intermodulation des Senders verbindet man den Mikrofoneingang mit einem NF-Zweitongenerator ($f_1 = 800$ Hz, $f_2 = 1200$ Hz) gemäß Bild 15 und stellt die Mikrofonspannung so ein, dass der Sender seine maximale Ausgangsleistung (PEP) erreicht. Die IMD_3 -Abstände können direkt aus dem Spektrum des Analysators ermittelt werden, Bild 14.

Da der Sender mit zwei gleich großen, dicht benachbarten NF-Signalen angesteuert wird, kommt es zu einer Schwebung, bei der sich die Signale addieren oder auslöschen. Bei einer PEP-Leistung von 109 W liegen die Pegel der beiden

Tabelle 7: HF-Ausgangsleistung und Unterdrückung der zweiten Harmonischen

	1,9 MHz	3,7 MHz	7,1 MHz	14,2 MHz	21,2 MHz	28,2 MHz	50 MHz
PEP	115,8 W	112,9 W	110,9 W	114,3 W	109,1 W	109,6 W	100,7 W
Unterdrückung 2. Harmonische	68 dB	67 dB	77 dB	76 dB	90 dB	78 dB	72 dB

Tabelle 8: Sender IMD_3 -Ergebnisse

	1,9 MHz	3,7 MHz	7,1 MHz	14,2 MHz	21,2 MHz	28,2 MHz	50 MHz
IMD_3 -Abstand	27,2 dB	28,1 dB	30,0 dB	29,2 dB	29,3 dB	28,3 dB	24,6 dB

Trägersignale deswegen 6 dB unterhalb der Spitzenleistung, bei 54,5 W.

Die ermittelten IMD_3 -Abstände des Senders in den einzelnen Bändern gehen aus der Tabelle 8 hervor.

Ebenso lässt sich die belegte Bandbreite und Intermodulation eines Senders über ein Rauschsignal ermitteln [5]. Hierbei werden ein niederfrequentes weißes Rauschband als Modulationssignal in den Mikrofoneingang eingespeist und der Sender auf maximale Leistung abgeglichen. Das Resultat der Messungen zeigt Bild 16. Der fast rechteckige Block (Hüllkurve) in der Mitte des Spektrums zeigt die Bandbreite des SSB-Filters, angesteuert vom weißen Rauschen. Theoretisch müssten beide Flanken steil nach unten bis zum Grundrauschen verlaufen, in der Praxis tun sie das nicht. Schon im Abstand von etwa 30 dBc entstehen die ersten IMD -Produkte, deren Pegel sich in Richtung höherer und tieferer Frequenzen nur langsam verkleinern. Die IMD -Abstände bei 100 W und 40 W sind identisch.

Aufgrund des eingespeisten Rauschens werden jetzt keine einzelnen Spektrallinien mehr angezeigt, sondern ein kumula-

tives Spektrum, bestehend aus vielen IMD -Produkten. Aus diesem Grund ist eine IMD -Messung mit Rauschen auch realistischer als mit lediglich zwei Signalen. Das Verfahren ist andererseits auch hart und streng, ähnlich der NPR-Messung an Empfängern. Wichtig ist, dass das die IMD -Produkte rechts und links zum Nutzkanal relativ schnell abfallen, sodass Nachbarkanäle nicht gestört werden.

Seitenbandrauschen des Senders

Das Seitenbandrauschen (*Composite Sideband Noise*) eines Senders sollte möglichst gering sein, damit benachbarte, kleine Signale davon nicht gestört werden [6]. Zur Messung des TX-SBN werden ein Quarzfilter (7,07 MHz, $BW = 2$ kHz) und ein Spektrumanalysator mit Abschlusswiderstand (-50 dB) verwendet, Bild 17. Der Analysator wird auf die Mittenfrequenz des Filters abgeglichen und das CW-Signal des Senders im Abstand von 5 kHz bis 100 kHz zur Filtermittenfrequenz eingestellt. In diesem Abstand wird das Sendesignal durch die Flanke des Filters stark unterdrückt und nur noch das Rauschen des Senders ab 7,070 MHz ± 2 kHz durchgelassen.

Bild 14: Intermodulation des Sender bei 21,2 MHz, 10 MHz Span und 30 Hz Auflösungsbandbreite: $\text{IMD}_3 = 29,3$ dB

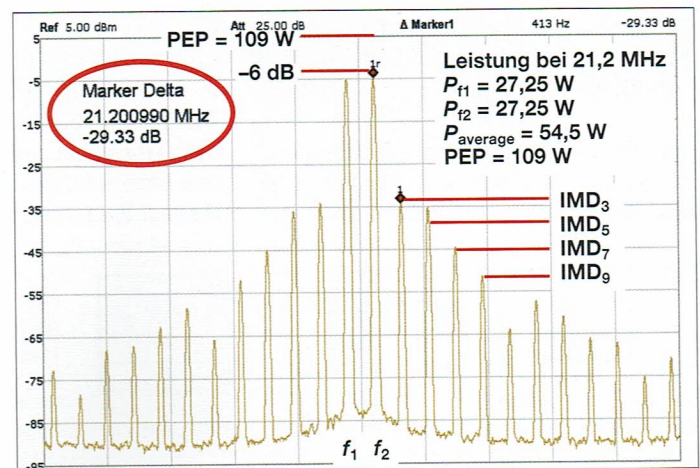
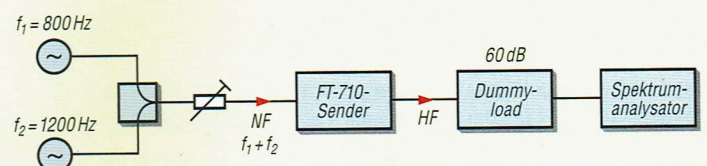
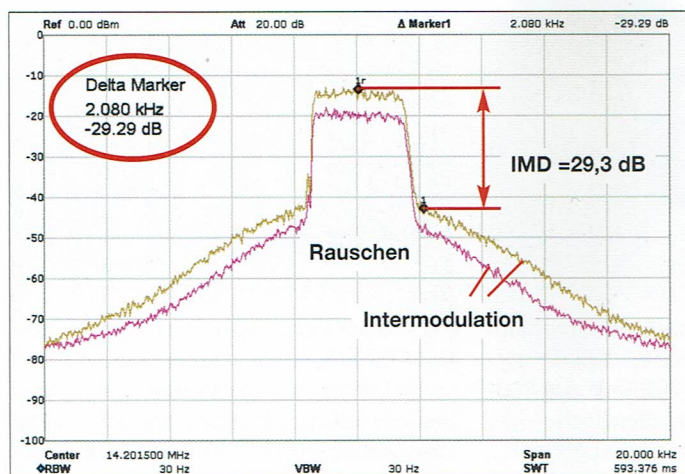


Bild 15: IMD -Messung am Sender





Weil das Sendesignal außerhalb des Filters um 90 dB gedämpft wird, kann der Analysator auf 0 dB Dämpfung und +20 dB Vorverstärkung eingestellt werden und erreicht somit eine Messgrenze von -160 dBm/Hz. Als Beispiel verdeutlicht Bild 18 die Messung des TX-Seitenbandrauschens im Abstand von 5 kHz zum Träger bei einer Ausgangsleistung von 100 W. Tabelle 9 zeigt das ermittelte SBN des Senders in Abständen von 2,5 kHz bis 100 kHz zum Träger und Bild 20 den SBN-Kurvenverlauf. Bei Leistungsreduktion auf 50 W vergrößert sich das SBN um etwa 5 dB.

Senderrauschen bei 100 W und 50 W
Das TX-SBN setzt sich zusammen aus Phasenrauschen und Amplitudenrauschen. Beim FT-710 liefert das AM-Rauschen den stärksten Anteil, es liegt etwa 15 dB oberhalb des Phasenrauschens, wodurch

Tabelle 9: Kumulatives TX-SBN

Δf [kHz]	SBN [dBc/Hz] 100 W	SBN [dBc/Hz] 50 W
2,5	-125	-120
5	-128	-122
10	-129	-124
20	-130	-125
50	-132	-128
100	-135	-130

Bild 18:
SBN-Messung in 5 kHz Offset zum Träger bei 7,07 MHz, 100 Hz Auflösungsbandbreite und 100 W Sendeleistung, SBN = -128,4 dBc/Hz

das kumulative Seitenbandrauschen des Senders um diesen Betrag angehoben wird.

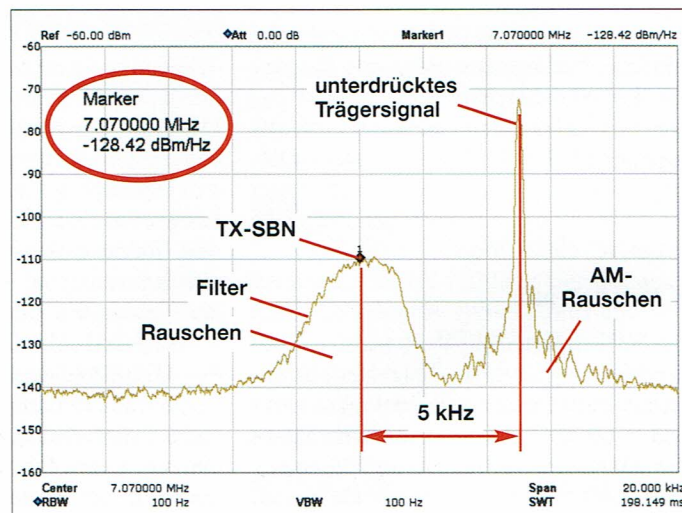
Yaesu gibt im Datenblatt ein Phasenrauschen des Senders von -143 dBc/Hz in 2 kHz Abstand an. Das ist zwar korrekt, betrifft aber nur das Phasenrauschen. Am Ausgang des Senders wirkt jedoch das kumulative Seitenbandrauschen (Phasenrauschen und Amplitudenrauschen). Demnach beträgt das SBN des Senders in 2,5 kHz Abstand nur -125 dBc/Hz bei 100 W und in 20 kHz Abstand nur -130 dBc/Hz. Beides sind aber immer noch gute Werte, Bild 19.

Kennwerte von Transceivern

Tabelle 10 zeigt die Kennwerte einiger KW-Transceiver. Beim Vergleich sollte beachtet werden, dass der FTdx10 ein Hybrid-Transceiver ist, während die Ver-

Bild 16:
Rauschsignal des Senders bei 100 W (braun) und 40 W (violett), 14,2 MHz (SSB), 30 Hz Auflösungsbandbreite

Screenshots:
DC4KU



gleichsgeräte Yaesu FT-710, Icom IC-705, IC-7300 und SunSDR 2DX jedoch direktabtastende SDRs sind.

Resümee

Der Yaesu FT-710 ist ein guter KW/50/70-MHz-Transceiver mit hervorragenden HF-Daten. Yaesu reiht sich mit dem FT-710

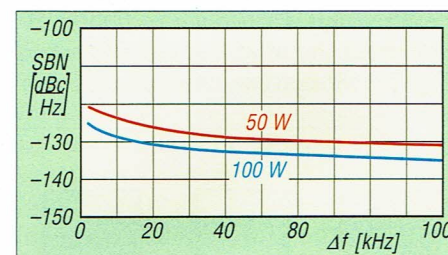


Bild 19: Verlauf des TX-Seitenbandrauschens bei 50 W und 100 W Sendeleistung

erstmalig in die Gruppe der direktabtastenden SDRs ein und braucht den Vergleich nicht zu scheuen – ein rundum gelungener Transceiver!

Ich bedanke mich bei der WiMo Antennen und Elektronik GmbH für die Leihstellung des FT-710. dc4ku@darc.de

Literatur

- [1] Schnorrenberg, W., DC4KU: Unterschiede zwischen analogen und digitalen Empfängern. FUNKAMATEUR 70 (2021) H. 4, S. 284–288
- [2] Schnorrenberg, W., DC4KU: Messung des Seitenbandrauschens von Empfängern und Oszillatoren. FUNKAMATEUR 67 (2018) H. 10, S. 935–937; H. 11, S. 1058–1060
- [3] Schnorrenberg, W., DC4KU: Antennenrauschen im Kurzwellenbereich. https://dc4ku.darc.de/Antennenrauschen_im_Kurzwellenbereich.pdf
- [4] Schnorrenberg, W., DC4KU: NPR und Rauschbandbreite. CQDL 91 (2020) H. 10, S. 4–6
- [5] Schnorrenberg, W., DC4KU: Sender-IMD-Test mittels Rauschen. FUNKAMATEUR 70 (2021) H. 10, S. S. 783
- [6] Schnorrenberg, W., DC4KU: Seitenbandrauschen von Sendern. FUNKAMATEUR 70 (2021) H. 9, S. 696–607
- [7] Schnorrenberg, W., DC4KU: Übertragungsmessung an hochwertigen Filtern. FUNKAMATEUR 71 (2022) H. 9, S. 720–721

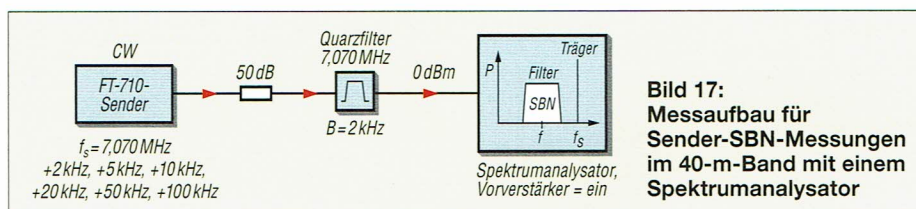


Bild 17:
Messaufbau für Sender-SBN-Messungen im 40-m-Band mit einem Spektrumanalysator

Tabelle 10: Kennwerte einiger Transceiver im 20-m-Band

	Empfänger-MDS BW = 500 Hz	RMDR Δf 2 kHz	IMD ₃ Δf 2 kHz	NPR	Sender-IMD ₃ 800/1200 Hz	TX-SBN Δf 20 kHz
FT-710	-126 dBm	116 dB	107 dBc	76 dB	29 dBc	-130 dBc/Hz
FTdx10	-134 dBm	116 dB	110 dBc	78 dB	27 dBc	-132 dBc/Hz
SunSDR2DX	-133 dBm	111 dB	105 dBc	76 dB	33 dBc	-142 dBc/Hz
IC-7300	-133 dBm	106 dB	100 dBc	76 dB	36 dBc	-127 dBc/Hz
IC-705	-124 dBm	109 dB	98 dBc	76 dB	36 dBc	-127 dBc/Hz