

Yaesu FT-710, Test Report



Der FT-710 ist ein moderner, direktabtastender KW/50/70MHz-Transceiver und zeichnet sich durch folgende Besonderheiten aus: HF-Direktabtastung mit Dual-Channel-ADC (14 Bit), 3DSS Echtzeit-Spectrum-Scope, RMDR 113dB in 2 kHz Abstand, Dithering-Signal, 4.3 Zoll Touch-Screen Farbdisplay, AESS (Acoustic Enhanced Speaker System), Anschluß für externen DVI-D-Monitor, Antennentuner und 100 Watt Sendeleistung.

FT-710 und FT-DX1/101 sind unterschiedlich aufgebaut (**Bild 1, 2**). Der FT-DX10 ist ein Hybrid-SDR mit analogem Mischer, LO, Roofing-Filter und A/D-Wandlung der ZF, der FT-710 ist ein Direct-Sampling SDR, welcher die HF-Signale direkt digitalisiert. Hierfür verwendet er den gleichen Twin-ADC wie im FT-DX10 und der nachfolgende FPGA kombiniert deren digitale Signale so, dass ein Overload erst spät auftritt. Zusätzlich erzeugt ein Dithering-Signal (Rauschen), eingespeist in die Eingänge der ADCs, für eine Reduktion der IMD3 -Störungen (**1**).

Die Yaesu-Spezifikationen des FT-710, wie RMDR, BDR, IMD3 und TX-Phase Noise, zeigt **Bild 3**. Nachfolgend werden die wichtigsten HF-Eigenschaften des Receivers und Transmitters getestet. Ein ausführlicher Bericht über Funktion und Handhabung des FT-710 erfolgt in FA 01/2023.

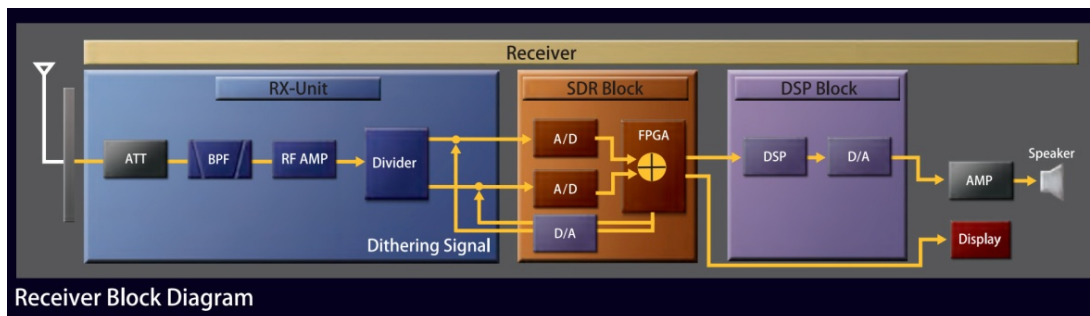


Bild 1: Yaesu Blockschaltbild des FT-710, direct-sampling SDR

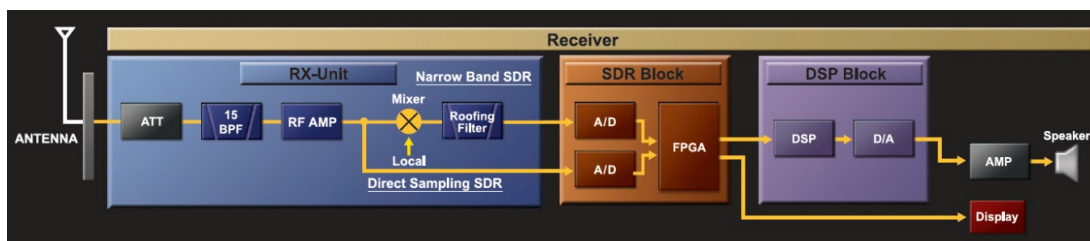


Bild 2: Yaesu Blockschaltbild des FT-DX10, Hybrid SDR

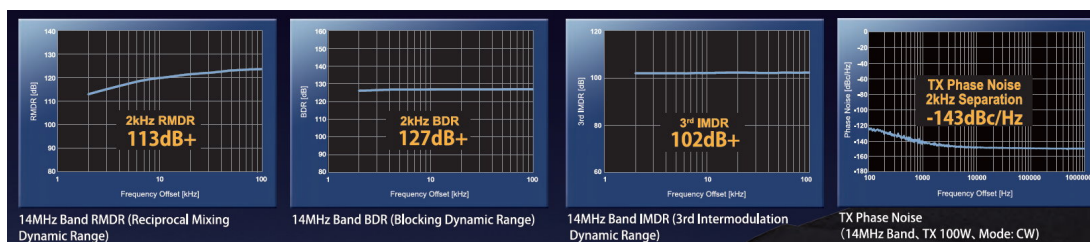


Bild 3: Yaesu Spezifikationen des FT-710

Receiver

MDS (Minimum Discernible Signal)

MDS entspricht dem kleinsten noch detektierbarem Signal, das im Grundrauschen noch hörbar ist. Legt man ein CW-Signal an den Empfängereingang, dessen Pegel das Grundrauschen des Empfängers am NF-Ausgang um +3dB anhebt (Spannungserhöhung am RMS-Voltmeter um Faktor 1,414), dann entspricht die Leistung des Signals nach $(S+N)/N = 2$ dem des Grundrauschens (Noise Floor). Die Messung kann auf SSB oder CW durchgeführt werden, wobei der Empfänger auf den Überlagerungston abgeglichen wird. Für diese Messung benötigt man einen kalibrierten HF-Generator, eine Eichleitung und ein RMS-Voltmeter (**Bild 4**).

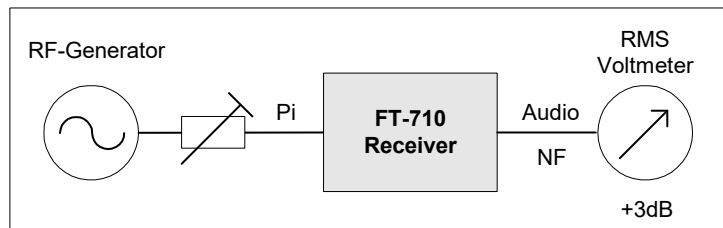


Bild 4: Messaufbau zur Ermittlung des MDS

Folgende MDS-Werte wurden in den Bändern 1,9 bis 50,1MHz ermittelt:

Settings: RBW=500Hz (CW)

	1,9MHz	3,7MHz	7,1MHz	14,2MHz	21,2MHz	28,2MHz	50,1MHz
IPO	-123dBm	-125dBm	-126 dBm	-126dBm	-127 dBm	-127 dBm	-128dBm
AMP1 (+10dB)	-132dBm	-135 dBm	-136 dBm	-136dBm	-136 dBm	-136 dBm	-138dBm
AMP2 (+20dB)	-141dBm	-142 dBm	-142 dBm	-142dBm	-142 dBm	-143 dBm	-141dBm

Tabelle 1: MDS bei CW, RBW = 500Hz

Settings: RBW=2.4kHz (SSB)

	1,9MHz	3,7MHz	7,1MHz	14,2MHz	21,2MHz	28,2MHz	50,1MHz
IPO	-117dBm	-119 dBm	-120 dBm	-120dBm	-121 dBm	-121 dBm	-122 dBm
AMP1 (+10dB)	-126 dBm	-129 dBm	-130 dBm	-130dBm	-130 dBm	-130 dBm	-132 dBm
AMP2 (+20dB)	-134 dBm	-136 dBm	-136 dBm	-136dBm	-136 dBm	-137 dBm	-135 dBm

Tabelle 2: MDS bei SSB, RBW = 2,4kHz

Noise Figure (NF), Rauschmaß

Mit einem Rauschgrenzwert von -174dBm/Hz, berechnet sich die Rauschzahl zu: Noise Figure = MDS - 10logRBW - (-174dBm/Hz). Bei RBW=2,4kHz (Rauschbandbreite) gilt: Noise Figure = MDS + 140dB

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

Tabelle 3: Rauschzahl (Noise Figure)

Ergebnis: Die Empfindlichkeit ist auf allen Bändern ausreichend. In den höheren Bändern kann bei Bedarf der Vorverstärker AMP1 zugeschaltet werden, wobei die verzerrungsfreie Dynamik dadurch nicht beeinflusst wird, wie später noch gezeigt wird.

Die Bezeichnung IPO steht für "Intercept Point Optimization". Hiermit ist die Optimierung des Intercept Points 3. Ordnung gemeint. Ein IP3 existiert bei direktabtastenden SDR's jedoch nicht. Vermutlich hat Yaesu diese Bezeichnung versehentlich von einem analogen, superheterodyn Empfänger übernommen.

RMDR und SBN

Reciprocal Mixing Dynamic Range (RMDR) und Sideband-Noise (SBN) zählen zu den wichtigsten Kriterien eines Empfängers. Starkes Seitenbandrauschen kann ein kleines Signal neben einem großen Signal zudecken und einen Empfänger "taub" machen. Größere Empfindlichkeit oder bessere Selektion helfen hier nicht mehr weiter. Beim Abtastvorgang mischt sich das SBN des Taktgenerators auf das Empfangssignal mit auf, so dass dieses vom Rauschen unter Umständen zugedeckt werden kann. Das Phasenrauschen des Taktgenerators sollte deswegen möglichst klein sein ($< -140\text{dBc/Hz}$) und der daraus resultierende RMDR möglichst groß ($> 110\text{dB}$). Zur Ermittlung des RMDR, wird ein quasi rauschfreies Trägersignal (10MHz-OCXO von KVG) in den Empfänger eingespeist und dessen Pegel (Pi) soweit vergrößert, bis sich im Abstand von 2kHz ein Signal/Rausch-Abstand (S+N)/N von +3dB über dem Grundrauschen (MDS) ergibt (2).

Daraus berechnen sich der RMDR zu $\text{RMDR} = \text{Pi} - \text{MDS}$ und das SBN zu $\text{SBN} = \text{RMDR} + 10\log B$.

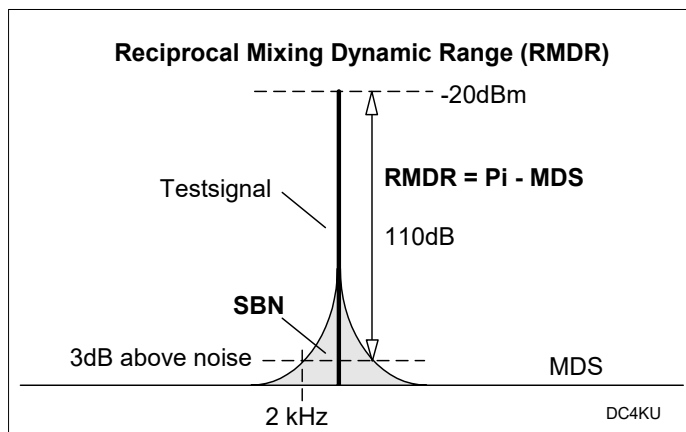


Bild 5: Ermittlung von SBN und RMDR mit einem rauscharmen Testsignal

Bei einem MDS von -136dBm bei $BW = 500\text{Hz}$ und einem Offset von 2kHz , ergibt sich beim FT-710 ein RMDR und SBN von

$$\text{RMDR} = \text{Pi} - \text{MDS} = -20\text{dBm} - (-136\text{dBm}) = 116\text{dB}$$

$$\text{SBN} = \text{RMDR} + 10\log B = 116\text{dB} + 10\log 500\text{Hz} = 116\text{dB} + 27\text{dB} = 143\text{dBc/Hz}$$

In gleicher Weise wird die Messung in Abständen bis 100kHz durchgeführt (Tabelle 4), woraus sich die Messkurven in Bild 6 ergeben.

Offset (kHz)	Pi (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 4: RMDR und SBN in Trägerabständen von 2 bis 100kHz

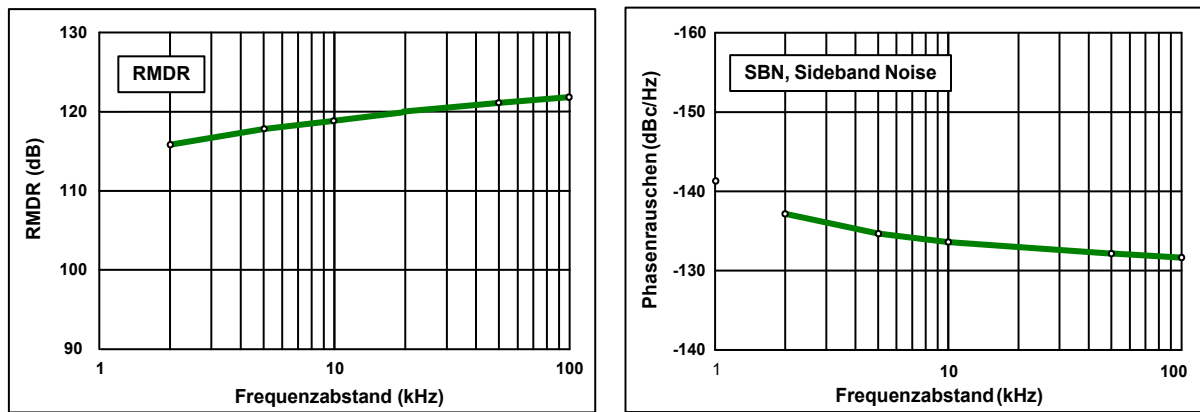


Bild 6: RMDR (links) und Phasenrauschen (rechts) im Abstand von 2kHz bis 100kHz zum Träger

Ergebnis: Das RMDR und SBN des FT-710 ist sehr gut. Kleine Signale in der Nähe großer Signale werden durch das Seitenbandrauschen (Phasenrauschen) des Empfängers nicht beeinflusst.

Intermodulation 3. Ordnung (IMD3, DR3)

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 $2f_1-f_2$ und $2f_2-f_1$ gemessen (**Bild 7**). Hierbei wird der Pegel des 2-Ton Signals schrittweise in 1dB Stufen bis hin zur Begrenzung des Empfängers vergrößert und der jeweils entstehende Intermodulationspegel 3. Ordnung notiert.

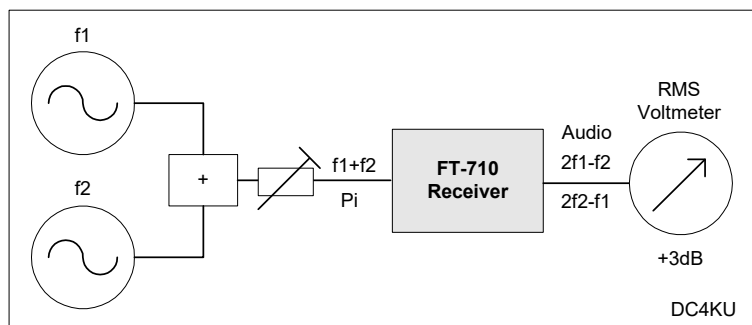


Bild 7: Messaufbau für IMD3-Messung

DR3 = Pi - MDS

Die maximal erreichbare Dynamik (DR3), mit und ohne Vorverstärker, zeigt **Tabelle 5**.

Settings: BW 500Hz; IPO, AMP1, AMP2: on/off

Amplifier	MDS	Pi	DR3
IPO	-126dBm	-19dBm	107dB
AMP1 (+10dB)	-136dBm	-29dBm	107dB
AMP2 (+20dB)	-142dBm	-39dBm	103dB

Tabelle 5: DR3 des FT-710 im 20m-Band, mit und ohne Vorverstärker, BW=500Hz

Den Verlauf der entstehenden Intermodulation zeigt **Bild 8**. Der FT-710 erreicht ohne Vorverstärkung eine maximale, verzerrungsfreie Dynamik von 107dB (grüne Kurve). Die Dynamik berechnet sich zu $P_i - MDS = -19dBm - (-126dBm) = 107dB$. Das ist ein ausgezeichneter Wert. Mit AMP1 (+10dB) erreicht der Receiver die gleiche Dynamik von 107dB, was die Großsignalfestigkeit des Verstärkers und der Bandfilter unter Beweis stellt. Erst bei Einschaltung beider Vorverstärker (AMP2, +20dB),

verkleinert sich die Dynamik um 4dB. 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 FT-710 nicht. Der Empfänger gerät auch nicht ins Clipping sondern bleibt durch eine gesonderte AGC stets unterhalb seiner Begrenzung von 0dBFS (Full Scale). Erst bei $P_i = +2\text{dBm}$ (1,6mW) erfolgt ein Blocking.

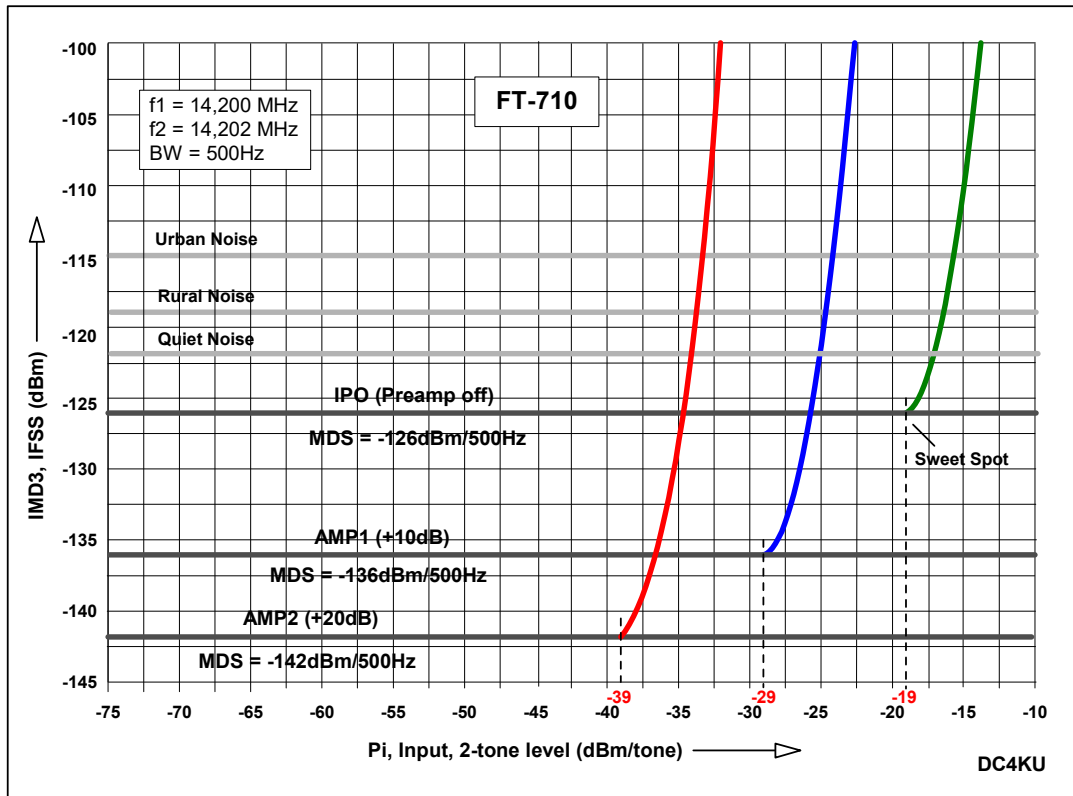


Bild 8: IMD3-Verlauf des FT-710

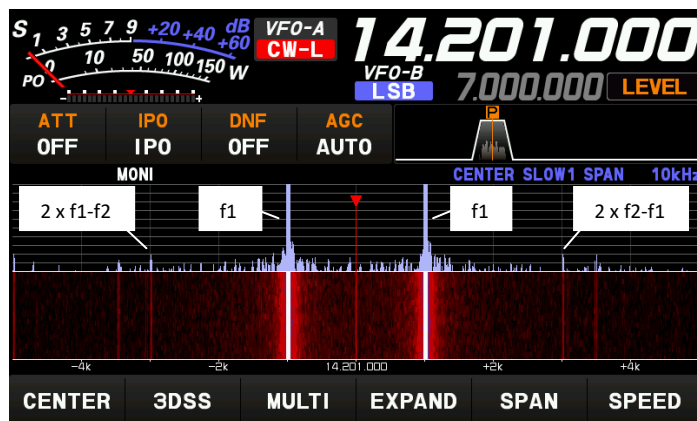


Bild 9: Entstehende IMD3-Störsignale bei $P_i = -19\text{dBm}$

Anmerkung zu Intermodulation: Theoretisch, dürfte ein A/D-Wandler bis hin zu seiner Begrenzung (Clipping) überhaupt keine Intermodulation erzeugen. Aufgrund von Quantisierungsfehlern erzeugt ein ADC aber IM, deren Größe aber 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 IP3 berechnen lässt, über den sich die Großsignalfestigkeit von Empfängern definieren und vergleichen lässt. Bei digitalen Empfängern gibt es aber kein IP3, weil der Verlauf der Intermodulation nicht kalkulierbar ist. Die meisten Hersteller

haben das Problem erkannt und geben bei direct-sampling SDRs lediglich die Empfindlichkeit (MDS) und das Phasenrauschen (SBN) an, jedoch keinen IMDR3.

Allein wichtig und entscheidend ist, dass sich alle IMD3-Kurven hin bis zur Begrenzung stets unterhalb der im Diagramm eingezeichneten Residential-Noise (städtisches Rauschen) bzw. Rural-Noise Linie (ländliches Rauschen) befinden (**Bild 10**). Wird das erreicht, sind die IMD3-Störprodukte bei Anschluß einer Antenne nicht mehr hörbar/detektierbar (**3**). Der FT-710 erfüllt diese Anforderung.

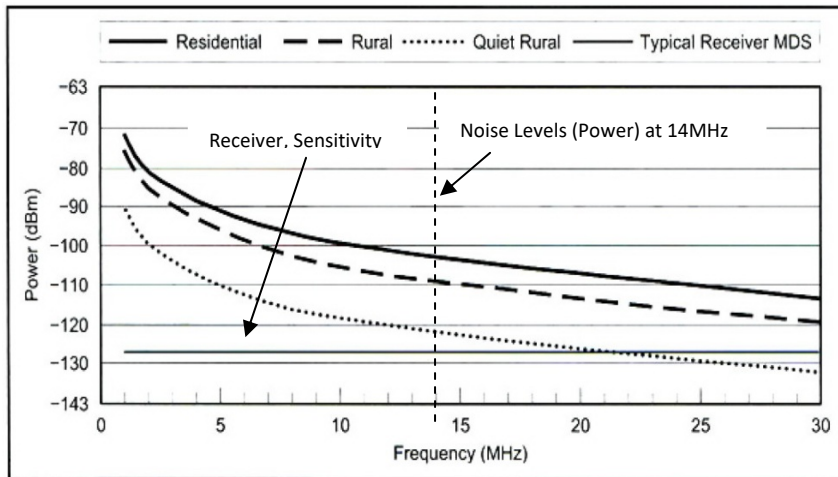


Bild 10: Typ. Externrauschen in städtischen Bereichen (Residential, Urban) und in ländlichen Wohngebieten (Rural), Rec. ITU-R P.372-7, Radio Noise, ARRL-Handbook

Intermodulation 2. Ordnung (IMD2, DR2)

Die Intermodulation 2. Ordnung sagt aus, wie hoch die Unterdrückung des Summensignals zweier CW-Signale ist. Im Beispiel verwende ich wieder ein 2-Ton Signal (Pi) bei f1=6.1MHz und f2=8.1 MHz und messe das unerwünschte Summensignal bei f1 + f2 = 14.2MHz (**Tabelle 6**). Bei dieser Messung wird der Pegel beider Signale soweit erhöht, bis das IMD2-Signal mit +3dB aus dem Grundrauschen erscheint, d.h. die Grenzempfindlichkeit (MDS) erreicht hat (DR2 = MDS). Die DR2-Dynamik (DR2, Dynamic Range 2nd Order) beträgt dann

DR2 = Pi - MDS.

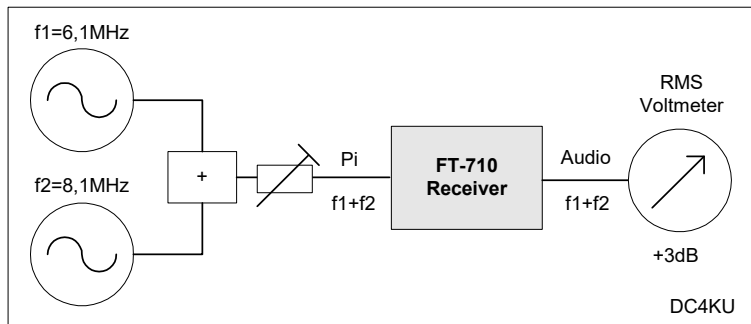


Bild 11: Messaufbau für IMD2-Messung

Der FT-710 besitzt mit und ohne Vorverstärker eine DR2-Dynamik von 104dB.

Amplifier	MDS dBm	Pi dBm	DR2 dB
IPO	-126dBm	-22dBm	104dB
AMP1	-136dBm	-32dBm	104dB

Tabelle 6: Dynamik 2. Ordnung (DR2)

Settings: $f_1=6,1\text{MHz}$, $f_2=8,1\text{MHz}$, $f_{1+2}=14,2\text{MHz}$, $BW=500\text{Hz}$

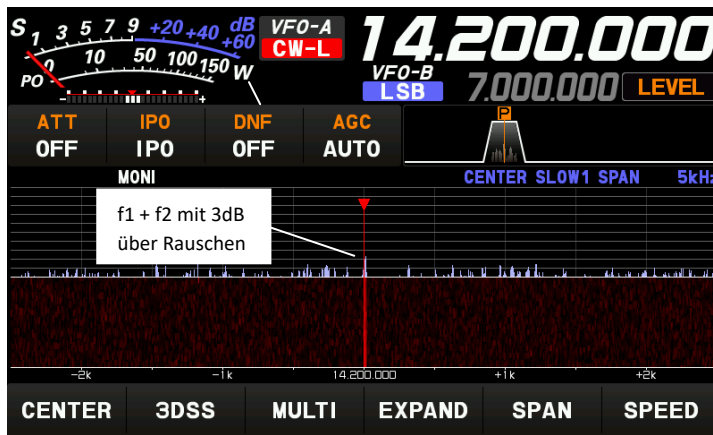


Bild 12: DR2-Störsignal bei $P_i = -22\text{dBm}$, IPO

Ergebnis: Die Dynamik 2. Ordnung eines guten Empfängers sollte $> 100\text{dB}$ sein, was vom FT-710 erreicht wird. Erst bei $P_i = -22\text{dBm}$ ($S9+\dots$) entsteht bei $14,2\text{ MHz}$ ein Störsignal von 3dB über dem Grundrauschen. Daraus berechnet sich ein DR2 von $-22\text{dBm} - (-125\text{dBm}) = 103\text{dB}$. Mit aktiviertem AMP1 ergibt sich ein DR2 von $-32\text{dBm} - (-135\text{dBm}) = 103\text{dB}$. Durch Zuschaltung von AMP1 ($+10\text{dB}$) wird die Großsignalfestigkeit des Empfängers nicht beeinflusst.

Blocking Dynamic Range (BDR)

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

BDR = Blocking Level - Grundrauschpegel (MDS)

Blocking (Desensibilisierung) entsteht im Prinzip nur bei analogen, superheterodyn Receivern, direct-sampling Radios kennen diesen Effekt nicht (Bild 13). Wird die maximale Aussteuerung eines ADC bei 0dBFS (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 direct sampling SDRs meist bei ca. -10dBm auf.

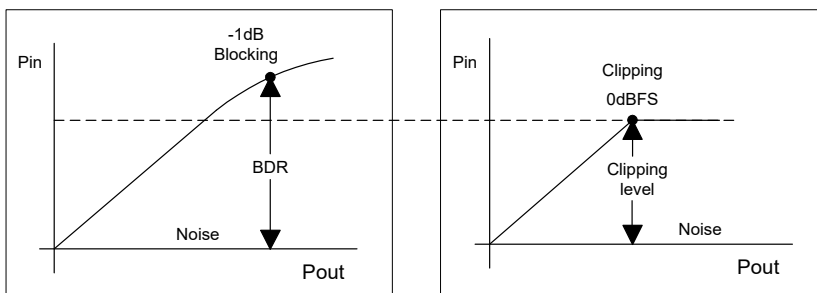


Bild 13: Analoges Blocking (links) und digitales Clipping (rechts)

Beim FT-710 verläuft die Blockierung aber anders. Er verfügt über eine spezielle AGC, die verhindert, dass der HF-Pegel am Eingang des ADC die Aussteuerungsgrenze von 0dBFS erreicht. Ein Clipping wird deswegen nicht erreicht und es erscheint auch keine Warnmeldung bei Übersteuerung des Empfängers, wie beim IC-7300 (OVF). Stattdessen reduziert der FT-710 bei hohen Signalen seine Dynamik, ähnlich einem analogen Empfänger. Yaesu definiert den BDR des FT-710 bei einem Dynamikverlust von 1dB . Dies erfolgt bei einem Pegel von $+2\text{dBm}$ (IPO, $BW=500\text{Hz}$, 14.2 MHz), woraus sich ein BDR berechnet von

BDR = 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 140dB.

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

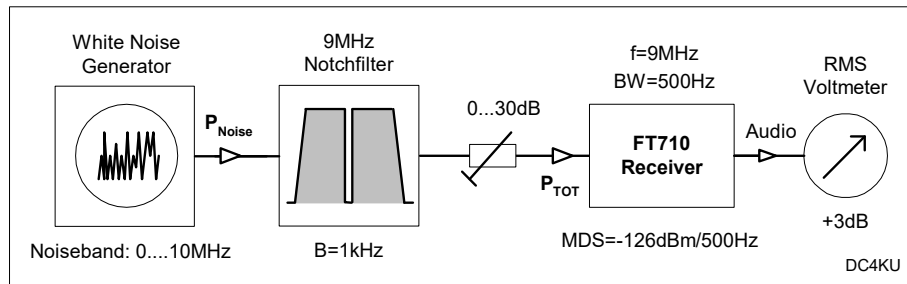


Bild 14: NPR-Messplatz

angesteuert, sondern mit weißem Rauschen konstanter Leistung. Der Testaufbau besteht aus einem Rauschgenerator (0-10MHz), 9MHz-Notchfilter (BW=1kHz) und einstellbarem Dämpfungsglied. Als Beispiel zeigt Bild 15 ein 0dBm Rauschspektrum mit unterschiedlichen Rauschbandbreiten.

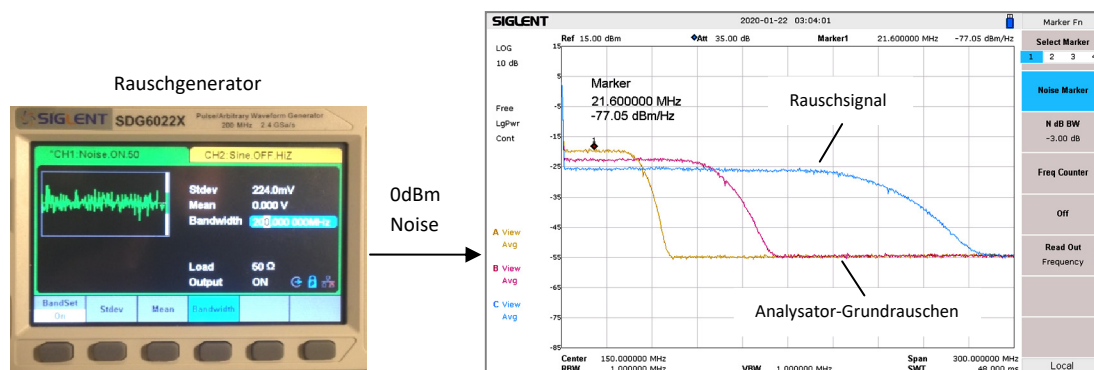


Bild 15: Rauschsignal mit 0dBm Leistung bei 50MHz, 100MHz und 200MHz Rauschbandbreite

Der Empfänger wird auf die Mitte des Notchfilters (8,999640MHz) 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 +3dB 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 -7dBm. Daraus berechnet sich sein NPR zu

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

mit:

P_{TOT} = Rauschleistung (bezogen auf 10MHz Rauschbandbreite)

BWR (Bandwidth Ratio) = $10\log B_{\text{RF}}/B_{\text{IF}} = 10\log 10\text{MHz}/500\text{Hz} = 43\text{dB}$

MDS = -126dBm

Anmerkung: Normalerweise lässt sich das NPR am erkennbaren Rauschanstieg im Sockel des Notch-Filters erkennen. Am 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 FT-DX10/101 hat das gleiche Problem. Weiterhin verfügt das Display nur über 50dB Dynamik. Den Unterschied einer NPR-Messung am FT-710 (ohne Average) und am IC-7300 (mit Average und 80dB Dynamik) zeigt **Bild 16**.

Settings: BW=500Hz, PIO

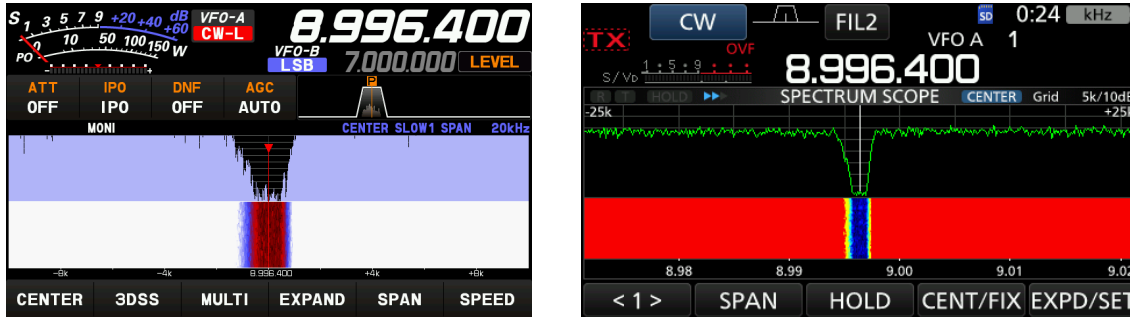


Bild 16: NPR- Messung am FT-710 (links) und am IC-7300 mit "Average" (rechts)

Ergebnis: Mit einem NPR von 76dB liegt der FT-710 im Bereich guter SDR Empfänger. Einfache SDRs erreichen hier nur 40 bis 50dB. Als Vergleich: FT-DX10: 78dB, IC-7300: 76dB

Transmitter

HF-Ausgangsleistung

Zur Messung der HF-Ausgangsleistung, wird der Sender über ein 100 Watt Dummy Load (-60dB Ausgang) mit einem Spektrum Analysator verbunden und die max. Leistung eines CW-Sendesignals darüber ermittelt (**Bild 17, 18**). Auf gleiche Weise wird auch der Oberwellenabstand der zweiten Harmonischen (2xf) gemessen. Die Stromversorgung erfolgte über ein 13.8V/32A-Netzgerät.

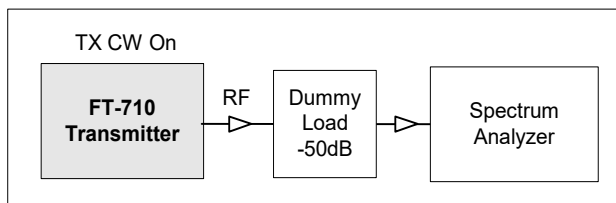
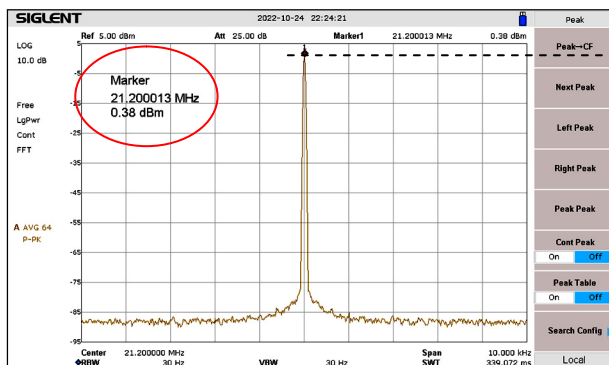


Bild 17: HF-Leistungsmessung über ein CW-Signal

Settings: CW 500Hz, RF Power 100%, Versorgung 13,8VDC, Dummy Load 60dB



0,38dBm

Leistungsberechnung:
 $0,38\text{dBm} + 50\text{dB} =$
 $50,38\text{dBm} = 109\text{Watt PEP}$

Bild 18: HF-Ausgangsleistung bei 21,2MHz

Nachfolgende Tabelle zeigt die maximale Sender HF-Ausgangsleistung in den einzelnen Bändern und die Unterdrückung der 2. Harmonischen.

Frequenz	1,9MHz	3,7MHz	7,1MHz	14,2MHz	21,2MHz	28,2MHz	50MHz
Leistung, 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 7: HF-Ausgangsleistung (W) und Unterdrückung der 2. Harmonischen (dB)

Intermodulation des Senders (TX-IMD)

Zur Messung der Intermodulation des Senders, verbindet man den Mikrofoneingang mit einem NF-Ton Generator ($f_1=800\text{Hz}$, $f_2=1200\text{Hz}$) (**Bild 19**) und stellt die Mikrofonspannung so ein, dass der Sender seine maximale Ausgangsleistung (PEP) erreicht. Die IMD3-Abstände können direkt aus dem Spektrum des Analysators ermittelt werden (**Bild 20**).

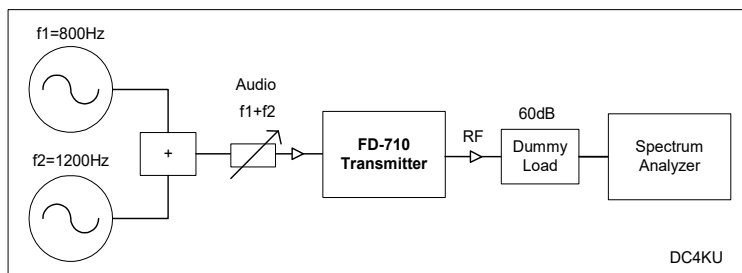


Bild 19: IMD-Messung am Sender

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 109Watt, liegen die Pegel der beiden Trägersignale deswegen 6dB unterhalb der Spitzenleistung, bei 54,5Watt.

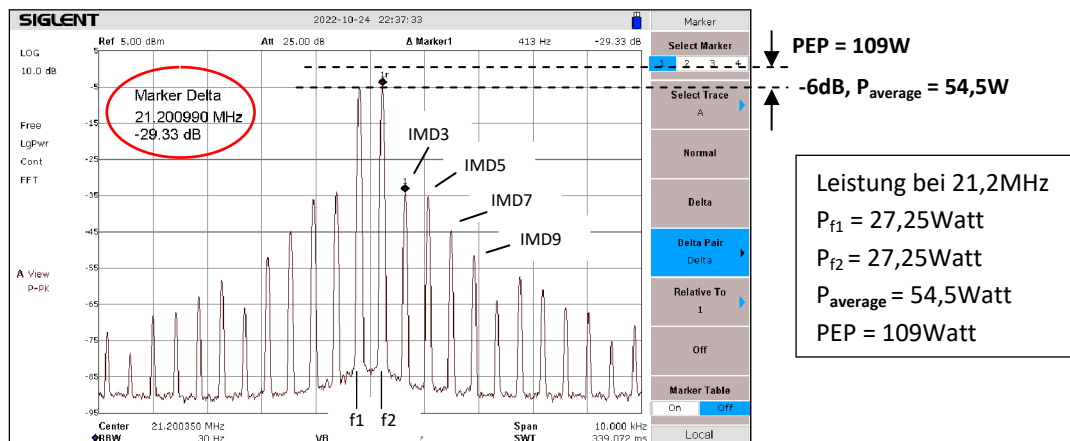


Bild 20: Intermodulation des Sender bei 21,2 MHz: IMD3 = 29,3dB

Ermittelte IMD3-Abstände des Senders in den einzelnen Bändern:

Frequenz	1,9MHz	3,7MHz	7,1MHz	14,2 MHz	21,2MHz	28,2 MHz	50 MHz
IMD3-Abstand	27,2 dBc	28,1 dBc	30,0 dBc	29,2 dBc	29,3 dBc	28,3 dBc	24,6 dBc

Tabelle 8: Sender IMD3-Ergebnisse

Ebenso lässt sich die belegte Bandbreiten und Intermodulation eines Senders über ein Rauschsignal ermitteln (**5**). Hierbei wird ein niederfrequentes, weißes Rauschband als Modulationssignal in den Mikrofoneingang eingespeistes und der Sender auf maximale Leistung abgeglichen. Das Resultat der Messungen zeigt **Bild 21**. 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 leider nicht. Schon im Abstand von etwa 30dBc entstehen die ersten IMD-Produkte, deren Pegel sich in Richtung höherer und tieferer Frequenzen nur langsam verkleinern. Der erreichte IMD-Abstand bei 100 W und 40 W ist identisch.

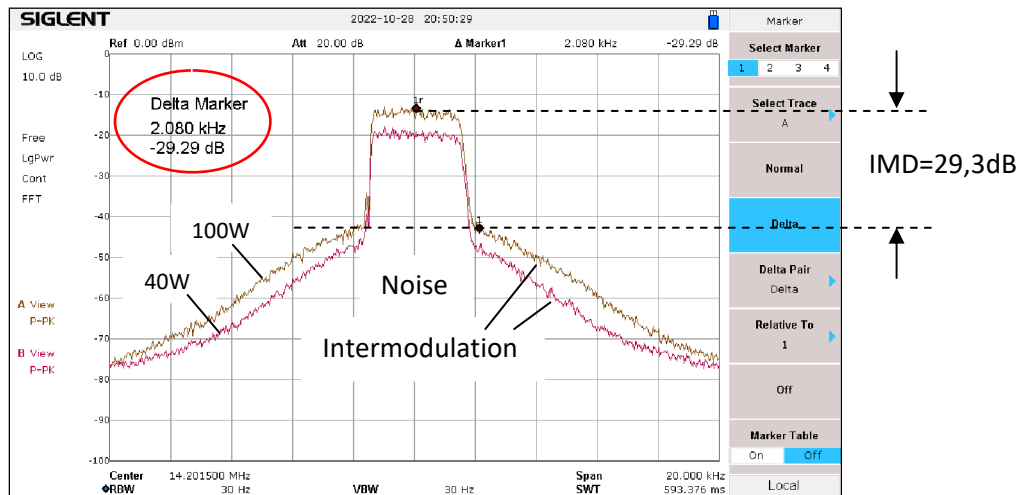


Bild 21: Rauschsignal des Sender bei 100 Watt (gelb) und 40 Watt (violett), 14.2MHz (SSB)

Aufgrund des eingespeisten Rauschens werden jetzt keine einzelnen Spektrallinien mehr angezeigt, sondern ein kumulatives Spektrum, bestehend aus vielen IMD-Produkten. Aus diesem Grund ist eine IMD-Messung mit Rauschen auch realistischer, als mit nur 2 Signalen. Das Verfahren ist andererseits auch hart und streng, ähnlich der NPR-Messung an Empfängern. Wichtig ist, dass die IMD-Produkte rechts und links zum Nutzkanal relativ schnell abfallen, so dass Nachbarkanäle nicht gestört werden.

Sender Seitenband-Rauschen (TX SBN, TX Phase Noise)

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 wird ein Quarzfilter (7,07 MHz, BW=2kHz), Spektrum Analysator und Abschlußwiderstand (-50dB) verwendet (Bild 22). Der Analysator wird auf die Mittenfrequenz des Filters abgeglichen und das CW-Signal des Senders im Abstand von 5 bis 100kHz zur Filtermittenfrequenz eingestellt. In diesem Abstand wird das Sendesignal durch die Flanke des Filter stark unterdrückt und nur noch das Rauschen des Senders ab 7.070 MHz > +/- 2kHz durchgelassen.

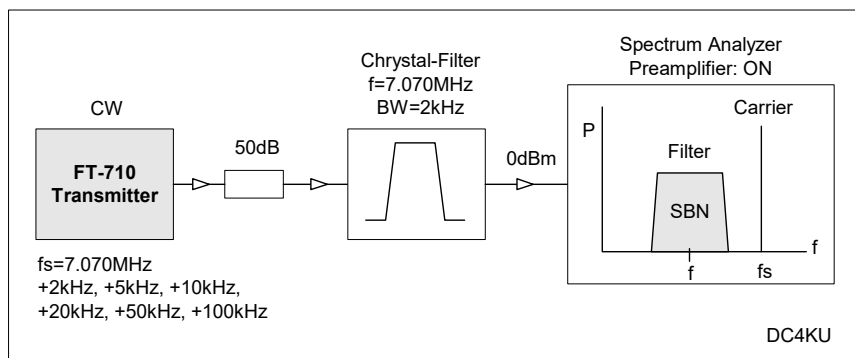


Bild 22: Messaufbau für Sender SBN-Messungen im 40m-Band mit einem Spektrum Analysator

Weil das Sendesignal außerhalb des Filters um 90dB gedämpft wird, kann der Analysator auf 0dB Dämpfung und +20dB Vorverstärkung eingestellt werden und erreicht somit eine Messgrenze von

-160dBm/Hz. Als Beispiel zeigt **Bild 23** die Messung des TX-Seitenbandrauschens im Abstand von 5 kHz zum Träger bei einer Ausgangsleistung von 100 Watt.

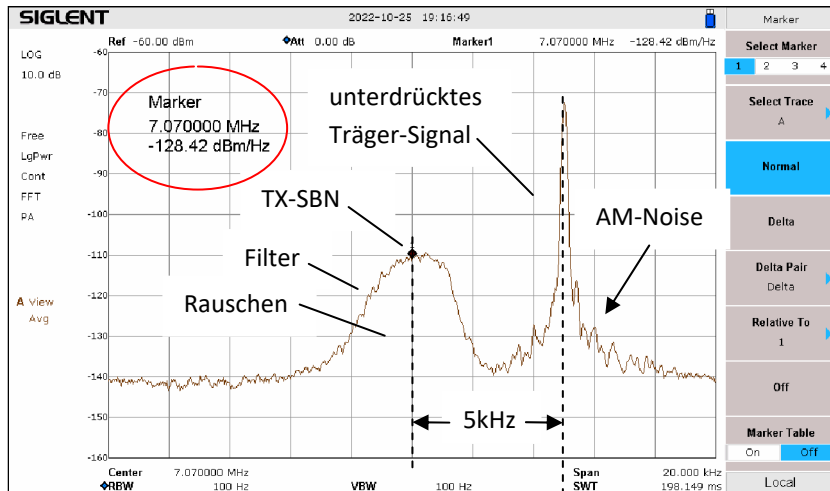


Bild 23: SBN-Messung in 5 kHz Offset zum Träger, SBN = -128.4dBc/Hz

Tabelle 9 zeigt das ermittelte SBN des Senders bei 100 und 50 Watt Leistung, in Abständen von 2,5 bis 100 KHz zum Träger und **Bild 24** den SBN-Kurvenverlauf. Bei Reduzierung der Leistung auf 50 W, vergrößert sich das SBN um etwa 5dB.

Transmitted Composite Noise bei 100W und 50W

Offset kHz	SBN in dBc/Hz 100 Watt	SBN in dBc/Hz 50 Watt
2,5	-125	-120
5	-128	-122
10	-129	-124
20	-130	-125
50	-132	-128
100	-135	-130

Tabelle 9: Kumulatives TX-SBN

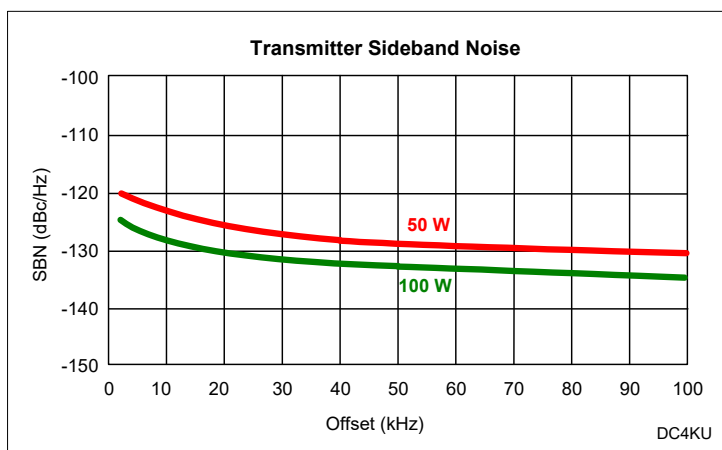


Bild 24: Verlauf des TX-SBN mit 50- und 100 Watt Leistung

Das TX-SBN setzt sich zusammen aus Phasenrauschen und Amplitudenrauschen. Beim FT-710 erzeugt das AM-Noise den stärksten Anteil, es liegt ca. 15dB oberhalb des Phasenrauschens, wodurch das kumulative Seitenbandrauschen des Senders um diesen Betrag angehoben wird.

Yaesu gibt im Datenblatt ein **TX-Phase Noise** von -143dBc/Hz in 2kHz Abstand an (s. **Bild 3**). Das ist

zwar korrekt, betrifft aber nur das Phasenrauschen. Am Ausgang des Senders wirkt aber das kumulative Seitenbandrauschen (Phase Noise + AM Noise). Demnach beträgt das SBN des Senders in 2,5kHz Abstand nur **-125dBc/Hz** (100 Watt) und in 20kHz Abstand nur **-130dBc/Hz**. Beides sind aber immer noch gute Werte.

Kennwerte von Transceivern

Die ermittelten Kennwerte einiger KW-Transceiver zeigt **Tabelle 10**. Beim Vergleich sollte beachtet werden, dass der FT-DX10 ein Hybrid-Transceiver ist, der FT-710, IC-705, IC-7300 und SunSDR2DX, jedoch direktabtastende SDRs sind.

	Receiver				Transmitter	
	MDS BW 500Hz	RMDR Offset 2kHz	IMD3 Delta f 2kHz	NPR	IMD3 800/1200Hz	TX-SBN Offset 20kHz
FT-710	-126 dBm	116 dB	107 dBc	76 dB	29 dBc	-130 dBc/Hz
FTDX-10	-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

Tabelle 10: Kennwerte verschiedener Transceiver im 20m-Band

Resümee

Der FT-710 ist ein guter KW/50/70 MHz-Transceiver mit hervorragenden HF-Daten. Yaesu reiht sich mit dem FT-710 erstmalig in Gruppe der direct-sampling SDRs ein und braucht den Vergleich nicht zu scheuen. Ein rundum gelungener Transceiver.

Ich bedanke mich bei "WiMo Antennen und Elektronik GmbH" für die Leihstellung des FT-710.

Werner Schnorrenberg
DC4KU
30.10.2022

Literatur

- (1) **Unterschiede zwischen analogen und digitalen Empfängern**
https://dc4ku.darc.de/Unterschiede_zwischen_analogen_und_digitalen_Empfaengern_DC4KU.pdf
- (2) **Messung SBN von Empfängern und Oszillatoren**
<https://dc4ku.darc.de/Messung-Seitenbandrauschen.pdf>
- (3) **Antennenrauschen im Kurzwellenbereich**
https://dc4ku.darc.de/Antennenrauschen_im_Kurzwellenbereich.pdf
- (4) **NPR- und Rauschbandbreite**
https://dc4ku.darc.de/NPR_und_Rauschbandbreite_DC4KU.pdf
- (5) **Sender IM-Test mittels Rauschen**
https://dc4ku.darc.de/Sender_IMD-Test_mit_Rauschen_DC4KU.pdf
- (6) **Seitenbandrauschen von Sendern**
https://dc4ku.darc.de/Transmitter-Sideband-Noise_DC4KU.pdf