IC-7300 - Test

Der IC-7300 ist ein moderner, direkt abtastender KW/50/70MHz-Transceiver und zeichnet sich durch folgende Besonderheiten aus: HF-Direktabtastung, Echtzeit-Spektrumskop, RMDR 97dB in 1kHz Abstand, IP+ Funktion, Touch-Screen Farbdisplay, eingebauter Antennentuner und 100 Watt Sendeleistung. Die Eigenschaften und Funktionen des IC7300 wurden bereits in vielen Berichten beschrieben, nachfolgend sollen ausschließlich die wichtigsten HF-Eigenschaften getestet werden.

Empfänger (RX)

MDS

Das MDS (Minimum Discernible Signal) entspricht dem kleinsten detektierbarem Signal, das im Grundrauschen noch erfassbar ist. Legt man ein CW-Signal an den Empfängereingang, dessen Pegel das Grundrauschen des Empfängers am NF-Ausgang um +3dB anhebt, dann entspricht die Leistung des Signals nach (S+N)/N = 2 dem des Grundrauschens (Noise Floor). Die Messung kann unter CW (B=500Hz) durchführt 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 1)**.

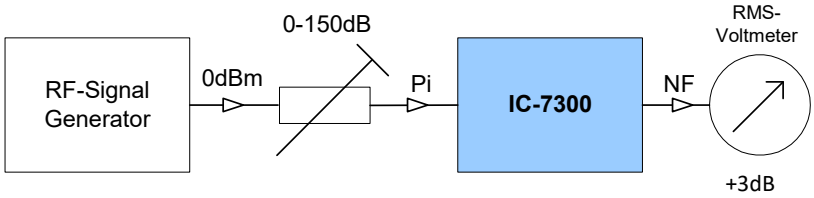

Bild 1: Messaufbau zur Ermittlung des MDS

Zunächst stellt man den NF-Ausgangspegel (Ueff) ohne Signal am Voltmeter auf relativ 0 dB ein. Mit angeschlossenem Signal vergrößert man anschließend die Dämpfung der Eichleitung soweit, bis die kumulierte NF-Ausgangsspannung am Voltmeter nur noch um den Faktor 1,414 (20logU2/U1= 3dB) ansteigt. Das MDS des Empfängers entspricht dann der eingestellten Dämpfung.

Settings am IC-7300: B=500Hz, CW, ATT off, NR off, NB off, Notch off, AGC-M, max. Gain

	3,6MHz	7,1MHz	14,1MHz	28,1MHz	50,1MHz	70,1MHz
P.AMP off	-132	-133	-134	-133	-132	-131
P.AMP 1 on	-141	-142	-142	-142	-141	-140
P.AMP 2 on	-142	-143	-143	-143	-142	-141
P.AMP off, IP+	-124	-125	-126	-125	-126	-127

Tabelle 1: MDS in dBm

Hinweise: Bei Aktivierung von IP+ reduziert sich die Empfindlichkeit um bis zu 8dB.

Reziprokes Mischen und Seitenbandrauschen (RMDR und SBN)

Reciprocal Mixing Dynamic Range (RMDR) und Sideband Noise (SBN) sind weitere, wichtige Kriterien zur qualitativen Beurteilung eines Receivers. Starkes SBN des Empfängers kann ein kleines Signal neben einem starken Signal "zudecken" und so einen empfindlichen Empfänger "taub" machen. Beim Abtastvorgang (A/D-Wandlung) mischt sich das Seitenbandrauschen des Taktgenerators auf das empfangene Signal mit auf (reziprokes Mischen) und kann damit zur Blockierung des Empfängers führen **(1).** Trotz ausreichender Selektion können dadurch kleine Signale in der Nähe starker Signale vom Phasenrauschen des Taktgenerators (Oszillators) zugedeckt werden. Das Seitenbandrauschen des Taktgenerators sollte deswegen sehr gering sein.

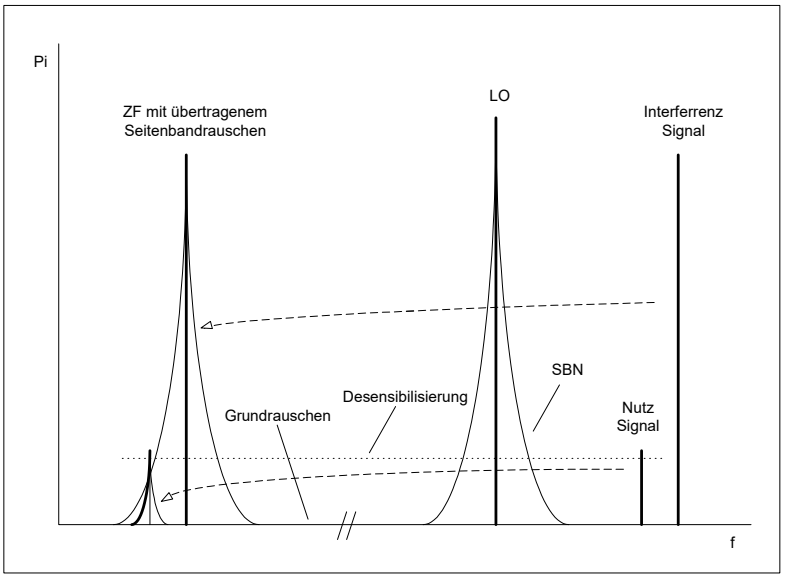

Bild 2: Dynamikreduktion durch reziprokes Mischen

Die Rauschamplituden auf beiden Seiten des Generators entstehen durch Phasenmodulation des Trägers mit stochastischen Rauschsignalen (Random Noise) wobei das Seitenbandrauschen nicht konstant über den Frequenzbereich verteilt ist, sondern vom Träger ausgehend mit ca. 9dB/Oktave abfällt. Aus diesem Grund muss definiert werden in welchem Abstand vom Träger das Seitenbandrauschen gemessen wird. SBN wird ebenso wie Grundrauschen in Leistung/Bandbreite (dBm/Hz) angegeben.

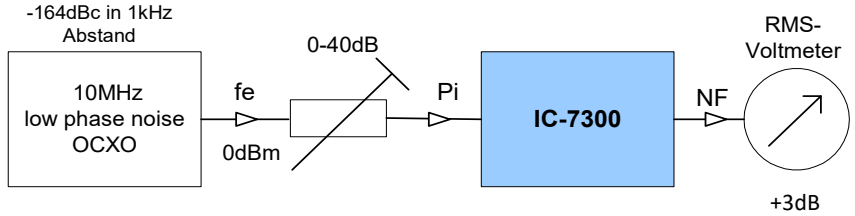

Bild 3: Aufbau für RMDR- und SBN-Messung

Zur Messung des SBN verwendet man den gleichen Messaufbau wie zur Empfindlichkeitsmessung und setzt wieder die "3dB-Methode" ein. Der einzige Unterschied zur Empfindlichkeitsmessung ist, dass jetzt ein extrem rauscharmes Testsignal verwendet werden muß. Das SBN des Testoszillators muß in allen Frequenzabständen um mindestens 10dB besser sein, als das des zu prüfenden Empfängers. Ansonsten misst man das SBN des Testoszillators und nicht das des Empfängers, denn reziprokes Mischen funktioniert (leider) in beide Richtungen. Als quasi rauschfreies Testsignal verwende ich einen 10MHz OCXO von KVG mit einem SBN von -164dBc/Hz in1kHz Abstand vom Träger.

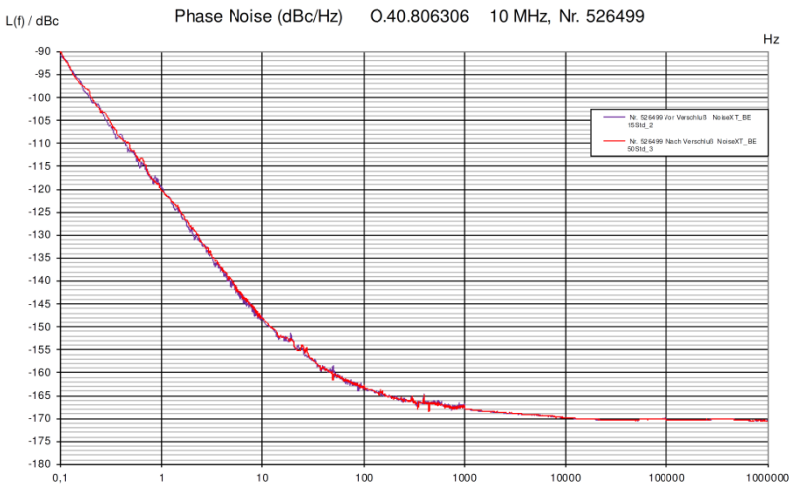

Bild 4: Verwendeter 10MHz-Testoszillator mit sehr geringem Phasenrauschen

Die Empfangsfrequenz wird zunächst auf fe = +/-1kHz eingestellt und der Signalpegel so weit erhöht, bis die NF-Ausgangsspannung um 3dB angestiegen ist. (Desensibilisierung). Im Beispiel erfolgt das bei Pe =-33dBm in Δf=1kHz. Der SBN-Pegel erreicht damit den Wert des Grundrauschens (MDS) von **-135dBm/500Hz**, d.h. ein rauschfreies -33dBm Eingangssignal desensibilisiert die Empfindlichkeit des Empfängers in **1kHz Trägerabstand** um **3dB**.

Daraus berechnet sich ein RMDR von

RMDR = Pi - MDS = -33dBm - (-135dBm) = 102dB *-> ICOM gibt hier 98dB an*

und ein SBN von

SBN (Phase Noise) = - (RMDR + 10logB) = - (102dB + 10log500Hz) = - 129dbc/Hz

Anschließend wird das SBN in größeren Entfernungen Δf zum Träger so Punkt für Punkt durchgemessen und graphisch aufgetragen **(Bild 5, Tabelle 2)**. Je größer der Frequenzabstand, umso größer wird auch der erforderliche Pegel des Testsignals, die Grenze der RMDR/SBN-Messung wird kurz vor Saturation (OVF) des ADC erreicht.

Es gilt: Je größer das RMDR bzw. je kleiner das SBN umso besser ist der Empfänger.

Settings IC-7300: CW, B=500 Filter, preamp off, Att. off, NR off, NB off, AGC-M, IP+ off, RF Gain max

Offset kHz	Pi dBm	RMDR dB	SBN dBc/Hz
1	-33	102	-129
2	-29	106	-133
3	-28	107	-134
5	-24	111	-138
10	-19	116	-143
20	-15	120	-147
30	-12	123	-150
40	ADC Clip!		

Tabelle 2: RMDR und SBN (Phase Noise) in Abhängigkeit von Delta f und Pi, MDS = -135dBm/500Hz

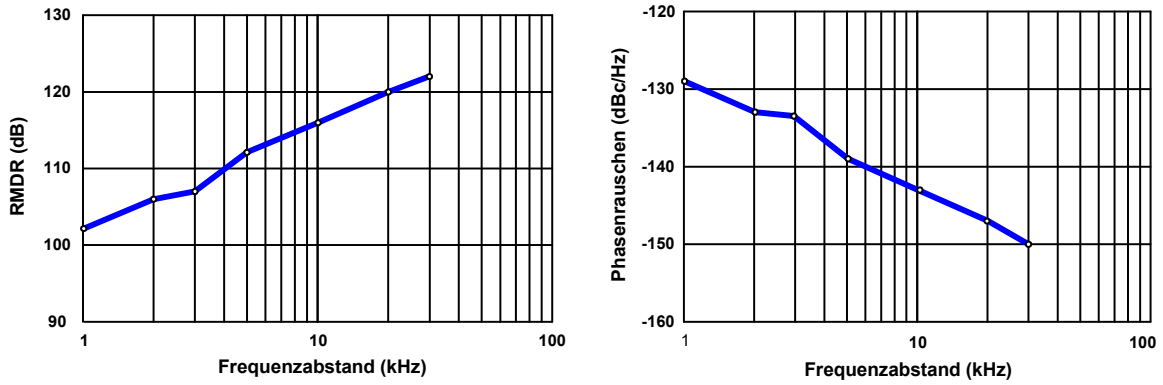

Bild 5: Verlauf von RMDR und Phasenrauschen

Bei guten Empfängern sollte die bis zur Desensibilisierung (Zustopfen) bearbeitbare Eingangsleistung (Pi) im Trägerabstand von Δf=1kHz mindestens den Wert der oberen Aussteuergrenze erreichen, bei dem die ersten Intermodulationsstörungen (IMD3) auftauchen, ansonsten bestimmt das SBN das Großsignalverhalten des Empfängers. Beim IC-7300 wird dies eingehalten, wie nachfolgend gezeigt wird.

IMD_3-Test, Intermodulation und Dynamik

Zur Bestimmung der IMD3-Festigkeit, verwendet man standardmäßig ein HF 2-Ton Signal **(Bild 6) (2)**. Zwei gleich große HF-Signale, die in geringem Frequenzabstand zueinander stehen (f1=14,100MHz, f2= 14,102MHz) werden auf den HF-Eingang des Empfängers gegeben und deren Pegel so weit erhöht, bis die unerwünschten IMD_3-Störungen bei 2 x f1-f2 und 2 x f2-f1 gleich groß ist wie das Grundrauschen, also um genau 3dB über dem Grundrauschen liegen. Die Differenz zwischen Eingangspegel (Pi) und Grundrauschen (MDS) ergibt dann den IMD-freien Dynamikumfang (DR_3) des Empfängers. Diesen Wert bezeichnet man auch als IFSS (Interference Free Signal Strength).

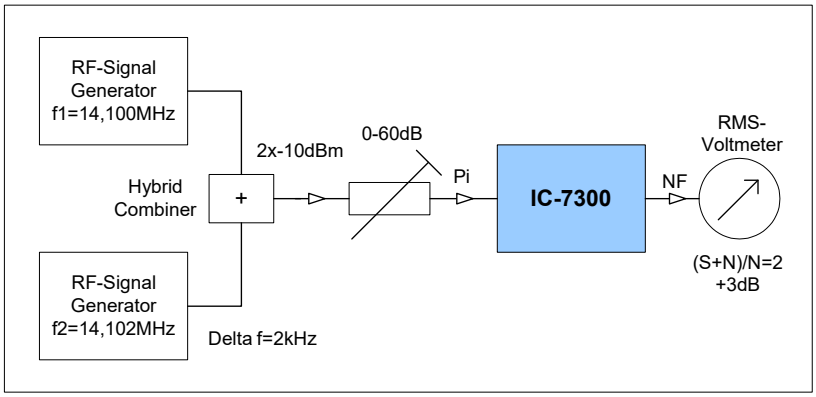

Bild 6: Testaufbau für IND3-Messung

Anders als bei analog aufgebauten Empfängern, wachsen die IMD_3-Produkte bei Pegelvergrößerung nicht mit 3-facher Geschwindigkeit, sondern verlaufen in einer Kurvenform. Das erste DR_3-Produkt mit +3dB über dem Rauschen entsteht bei

DR_3 = Pi - MDS = -57dBm - (-134dBm) = 77dB (blaue Kurve)

Anschließend wird das 2-Ton Signal in 1dB-Stufen bis hin zur Begrenzung (Clipping) des Empfängers vergrößert und die dabei jeweils entstehenden IMD_3-Pegel notiert, woraus die IMD_3-Kurve (blaue Kurve) in **Bild 7** resultiert.
Nach Aktivierung von "IP+", entsteht im ADC ein Dithering/Random, wodurch die IM-Produkte de-korrelieren und im Rauschen verschwinden und der Empfänger eine Dynamik bei +3dB über Rauschen erreicht von

$DR_{3\ IP+}$ = Pi - MDS = -35dBm - (-126dBm) = 91dB (grüne Kurve)

Nachteil: Das Grundrauschen des Empfängers vergrößert sich durch IP+ um 8dB (s. Tabelle 1). Die höchste IMD_3-Dynamik entsteht erst im sog. „Sweet Spot“, bei einem Pegel von Pi=2x-21dBm.

$DR_{3\ IP+}$ = Pi - IMD = -21dBm - (-120dBm) = 99dB (grüne Kurve, roter Punkt)

Settings IC-7300: CW, BW 500Hz, Notch off, NB off, NR off, AGC off, IP+ on/off

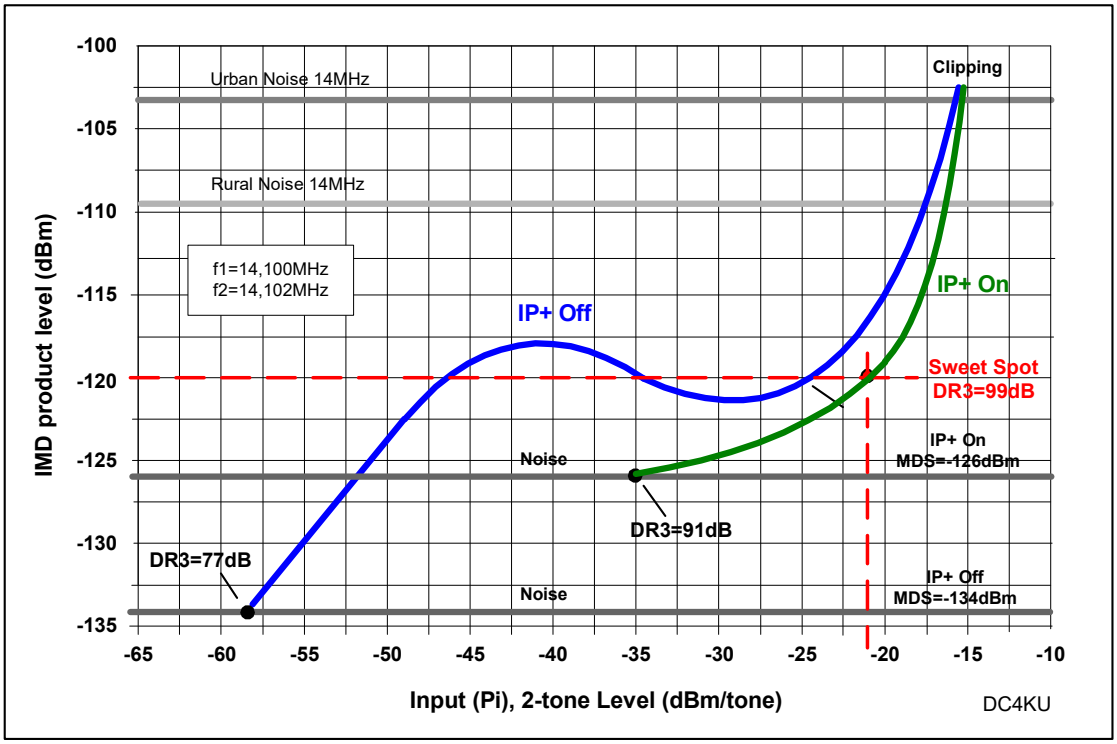

Bild 7: IMD3-Verlauf in Abhängigkeit zur Aussteuerung (Pi)

Mit angeschlossener Antenne, verlaufen alle Messkurven unterhalb der Rural- und Urban Noise-Linie **(3)**, d.h. die Verzerrungsprodukte liegen stets unterhalb des Empfänger-Grundrauschens. Ein IP3 (Intercept-Point 3. Order) kann aus den Kurven nicht ermittelt werden, weil bei A/D-Wandlern kein IP3 existiert. Im analogen Eingangsteil des IC-7300 befinden sich lediglich einige Bandpaßfilter, Relais und zwei zuschaltbare Vorverstärker. Hierbei ist es ICOM offensichtlich gelungen, die Bandpaßfilter so aufzubauen, dass sie keine zusätzliche Intermodulation erzeugen.

OVF (ACD-Clip)

Bei diesem Test wird der Empfänger 25kHz oberhalb oder unterhalb des Sendersignals eingestellt und der Pegel soweit vergrößert, bis die **OVF-Anzeige** (Overload) aufleuchtet **(Tabelle 3)**. Der Empfänger kann nur von Signalen übersteuert werden, die außerhalb der Empfangsfrequenz liegen, weil ansonsten die automatische Regelung (AGC) das Signal herunter dämpfen würde.

Settings am IC-7300: Abstimmung auf 14,200MHz, Testsignal bei 14,225MHz, CW 500Hz

	OVF Clip level
P.AMP off	**-8 dBm**
P.AMP off, IP+	**-8 dBm**
P.AMP 1 on	-24 dBm
P.AMP 2 on	-28 dBm
Attenuation on	+10 dBm

Tabelle 3: ADC Clip Level

Was tun, wenn OVF aufleuchtet?
Die Übersteuerung eines Empfängers entsteht im Regelfall nicht durch ein großes Einzelsignal, sondern durch die Summe aller empfangenen Signale, die durch Zufall den Clipping-Level, hier von -8dBm (0,16mW, 90mVeff), erreicht. Für einen kurzen Moment wird der ADC bis an seine Grenze ausgesteuert, was durch das Aufleuchten der OVF-LED angezeigt wird. Superheterodyn-Empfänger besitzen solche Anzeigen nicht, die Übersteuerung des 1. Mischers beginnt schon relativ früh und wird vom Anwender meist gar nicht bemerkt.
Eine kurzzeitige Übersteuerung des IC-7300 ist nicht so problematisch wie es zunächst erscheint und der Empfang wird dadurch auch nicht beeinflusst. Zunächst sollte man überprüfen, ob der Receiver mit einem Vorverstärker (P.AMP) arbeitet und falls ja, sollte man diesen abschalten. Auf den Bändern 160...20m sollte man überhaupt keinen Vorverstärker verwenden, weil das produzierte Rauschen der Antenne auf diesen Frequenzen noch erheblich über dem niedrigen Grundrauschen des IC-7300 liegt und eine Erhöhung der Empfindlichkeit überhaupt nichts bringt, außer den ADC mit überhöhten Signalen zu quälen **(3)**. Eine weitere Möglichkeit zur Verhinderung einer Übersteuerung, besteht in Reduzierung der RF-Gain, indem man das Poti "RF/SQL" ein paar Millimeter nach links dreht. Im Bildschirm erscheint dann der Hinweis "RFG" (Reduced RF-Gain).

Was bewirkt IP+?
Durch Aktivierung von IP+ im ADC, läßt sich die Linearität und IMD-Dynamik des Empfängers verbessern. Hierbei wird dem ADC ein Rauschsignal (Dither) zugeführt, so dass er seinen optimalen Arbeitsbereich schon früher erreicht. Allerdings verliert der Empfänger dadurch auch ca. 8dB an Empfindlichkeit. Ob man mit IP+ arbeitet oder nicht, hängt von den Bedingungen ab. Im praktischen Betrieb, habe ich bei Aktivierung von IP+ nur geringe Unterschiede bezüglich der IM-Festigkeit feststellen können. Der Grund wird wohl auch darin liegen, dass der Empfänger schon über die KW-Antenne genügend stark mit Rauschen versorgt wird und ein IP+ deswegen nicht mehr erforderlich ist. Bei einem Contest, mit sehr guten Bedingungen und Verwendung einer leistungsstarken KW-Antenne, kann die IP+ Funktion aber Vorteile bringen und sollte dann auch aktiviert werden. Die Linearität des IC-7300 am Beispiel einer 2-Ton-Messung zeigt das Spektrum in **Bild 8**. Die erzeugten Signale mit 2 x -15dBm übersteigen den Referenzpegel (oberste Linie im Spektrum) um 15dB und IMD3-Störprodukte sind im Rauschen noch nicht erkennbar. Daraus folgt eine verzerrungsfreie Dynamik von 80dB + 15dB = 95dB. Der Empfänger zeigt das gleiche Ergebnis mit und ohne IP+.

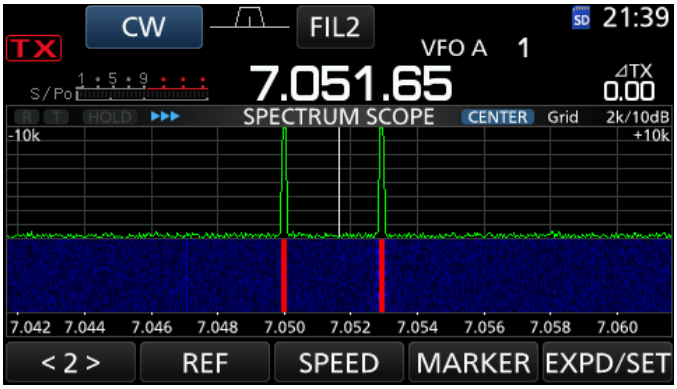

Bild 8: Linearität des IC-7300

Noise Power Ratio (NPR)

Bei der NPR-Messung, wird der Empfänger anstelle von zwei HF-Signalen mit weißem Rauschen über eine definierte Bandbreite von z.B. 5MHz belastet. Ein scharfes und schmalbandiges Notchfilter (Kerbfilter) filter an einer Stelle, im Beispiel bei 2,4MHz, das Rauschen vollständig aus, so dass der Empfänger an dieser Stelle kein Rauschsignal empfängt und mit seiner normalen Empfindlichkeit arbeitet. Anschließend wird das Rauschsignal soweit erhöht, bis sich im Sockel des Kerbfilters eine geringe Signalerhöhung über dem Grundrauschen zeigt, bei SDR-Empfängern mit einem ADC im

Eingang erfolgt dies kurz vor Saturation (OVL). Die Differenz von eingespeister Rauschleistung (P_{TOT}) zur Empfindlichkeit (MDS) des Empfängers entspricht dann dem Noise Power Ratio **(4)**.

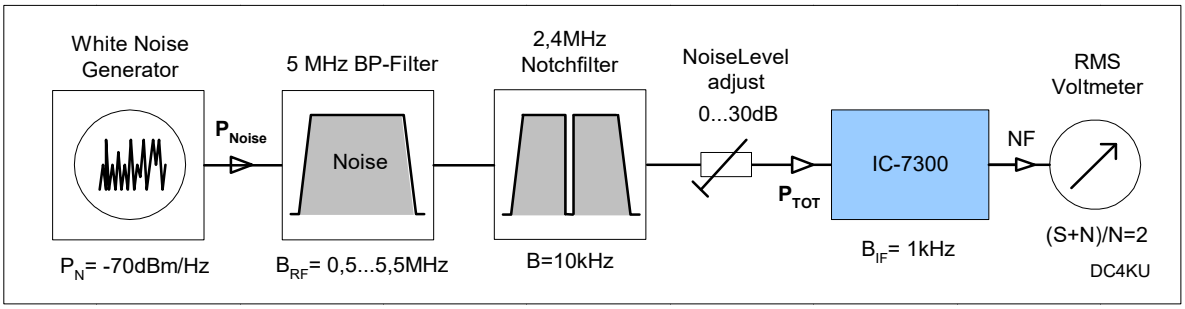

Bild 9: NPR-Messaufbau

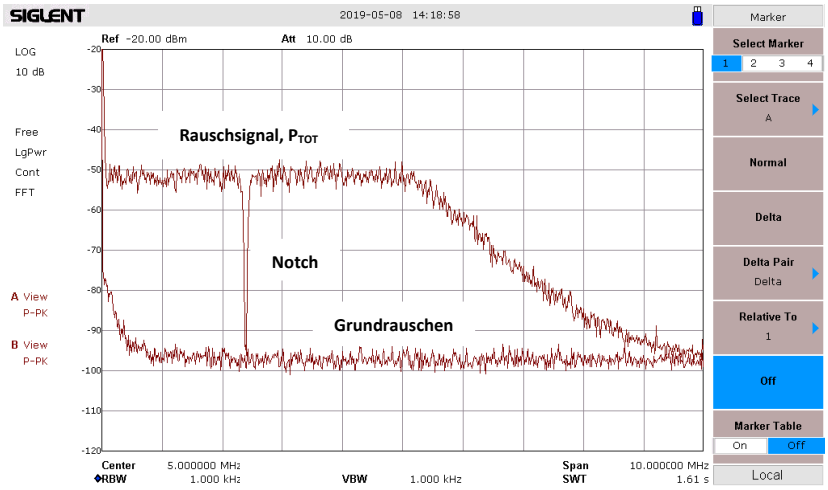

Bild 10: Signal am Ausgang des NPR-Messplatzes, gemessen mit einem Spektrumanalysator

Settings IC-7300: ATT off, RF Gain max, Peamp off, IP+ off, NB off, NR off, Notch off, CW, B=500Hz

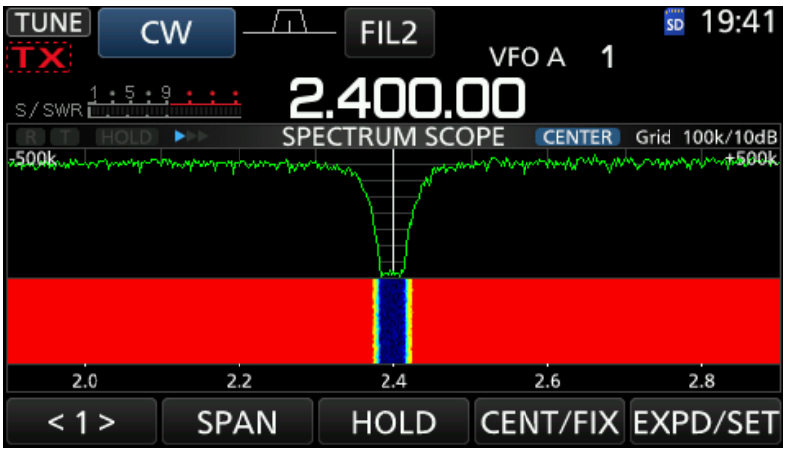

Bild 11: NPR-Spektrum mit Notchfilter im Display des IC-7300

Bei einem Rauschpegel (B_{RF}) von -15dBm/5MHz Rauschbandbreite = -55dBm/500Hz, befindet sich der Empfänger kurz vor OVF (Saturation) und erreicht seinen maximalen NPR. Mit einer Empfindlichkeit von -131dBm/500Hz ergibt sich daraus ein Noise Power Ratio von

NPR = P_{TOT} - MDS = -55dBm - (-131dBm) = 76dB

Der IC-7300 erreicht damit einen sehr guten NPR-Wert, vergleichbar mit den Ergebnissen sehr hochwertiger SDR-Receiver.

Sender (TX)

HF-Ausgangsleistung des Senders

Zur Bestimmung der HF-Ausgangsleistung, legen wir ein 1 kHz-Sinussignal (CW-Signal) an den Mikrofoneingang und messen die HF-Ausgangsleistung (Pa) über ein 40dB-Dummy-Load mit einem kalibrierten Spektrumanalysator (P_S).

$P_a = P_S + 40dB$ (Dummy Load)

Bild 12 zeigt die Leistungsmessung bei 14,2MHz.

P_a = 10,07dBm + 40dB = 50,07dBm = 101,6Watt

Settings IC-7300: SSB 2,4kHz, RF Power 100%, Mic Gain 20%, Comp 2, Versorgung 13,8VDC

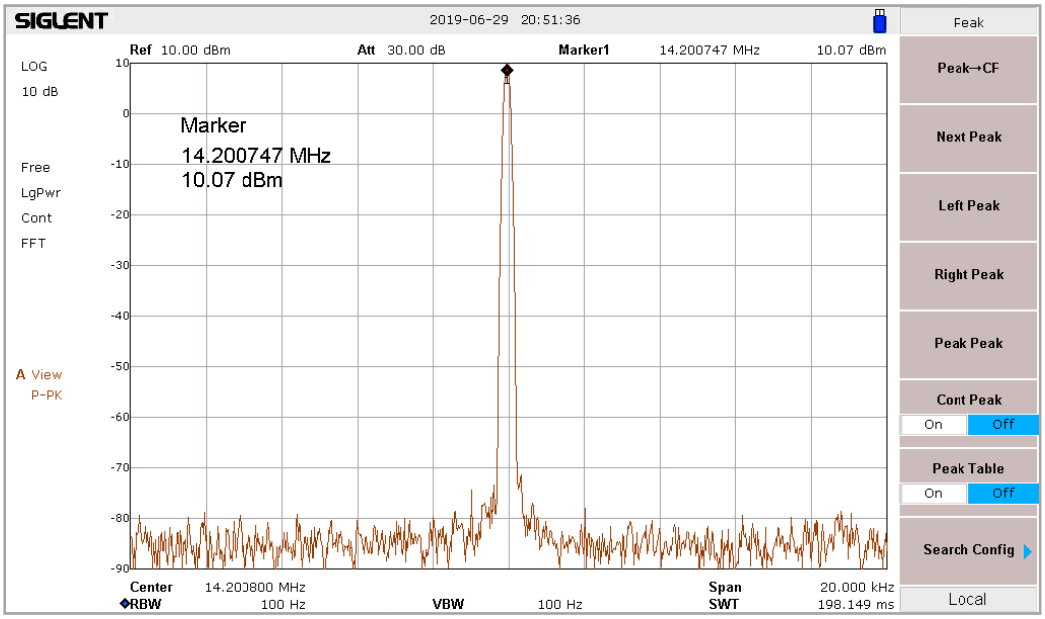

Bild 12: Maximale HF- Ausgangsleistung im 20m-Band

Frequenz	P_a, Watt
3,6 MHz	101,4
14,1 MHz	101,6
28,3 MHz	102,5
51 MHz	98,7

Tabelle 4: Maximale HF-Ausgangsleistung auf den verschiedenen Bändern

Intermodulation der Endstufe

Zur Messung der Intermodulation der MOSFET-Endstufe, verbinden wir den Mikrofoneingang mit einem NF 2-Ton-Generator (f1=700Hz, f2=1500Hz) und stellen die Mikrofonspannung so ein, dass der Sender eine PEP-Ausgangsleistung von 100 Watt erreicht **(Bild 13) (5).** Da der Sender jetzt mit zwei gleich großen, dicht benachbarten Sinus-Signalen ausgesteuert wird, kommt es zu einer Schwebung, bei der sich die Signale addieren oder auslöschen **(Bild 14)**. Die mittlere Leistung des Senders erreicht deswegen nicht 100Watt sondern nur 2 x 25Watt = 50Watt und die Pegel der HF-Signale liegen 6dB unterhalb der maximalen Leistung des Senders von 100Watt. Erst im Schwebungsmaximum entsteht die doppelte Spannung und damit die vierfache Leistung eines Einzeltons und erst jetzt erreicht der Sender seine maximale Leistung von 100Watt PEP. Verwendet man ein externes Wattmeter, sollte

man darauf achten, ob das Wattmeter in Average oder PEP kalibriert ist. Ist das Wattmeter auf Average eingestellt, zeigt es bei dieser Messung nicht den Spitzenwert von 100Watt an, sondern nur 50 Watt.

Settings am IC-7300: Modulation 700Hz +1500Hz, SSB, B= 2,4kHz, RF Power 100%, Mic Gain 20%, Comp 1, Versorgung 13,8VDC, Frequenz: 3,6MHz, 14.1MHz, 28,1MHz und 50,1MHz

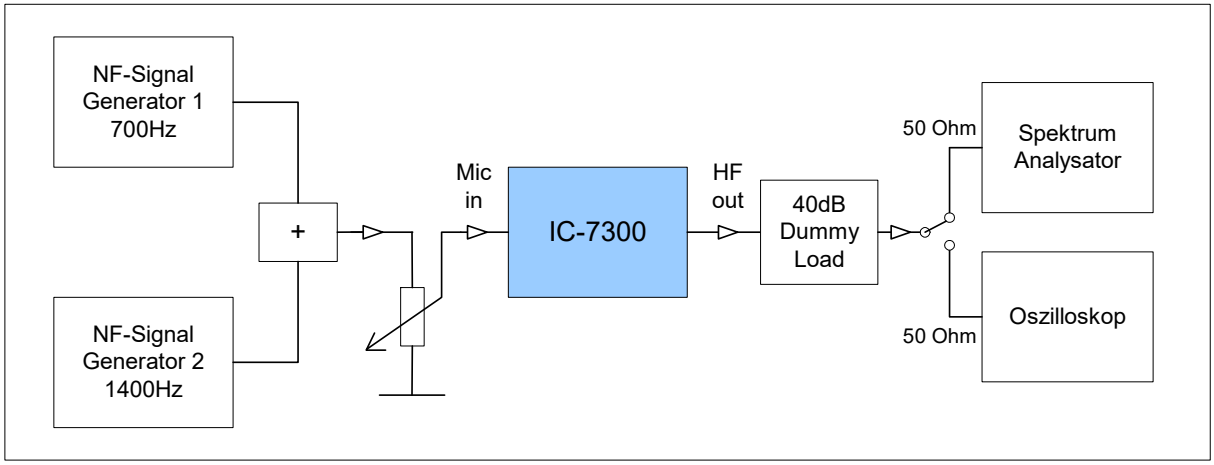

Bild 13: Messaufbau für Sender-Intermodulation

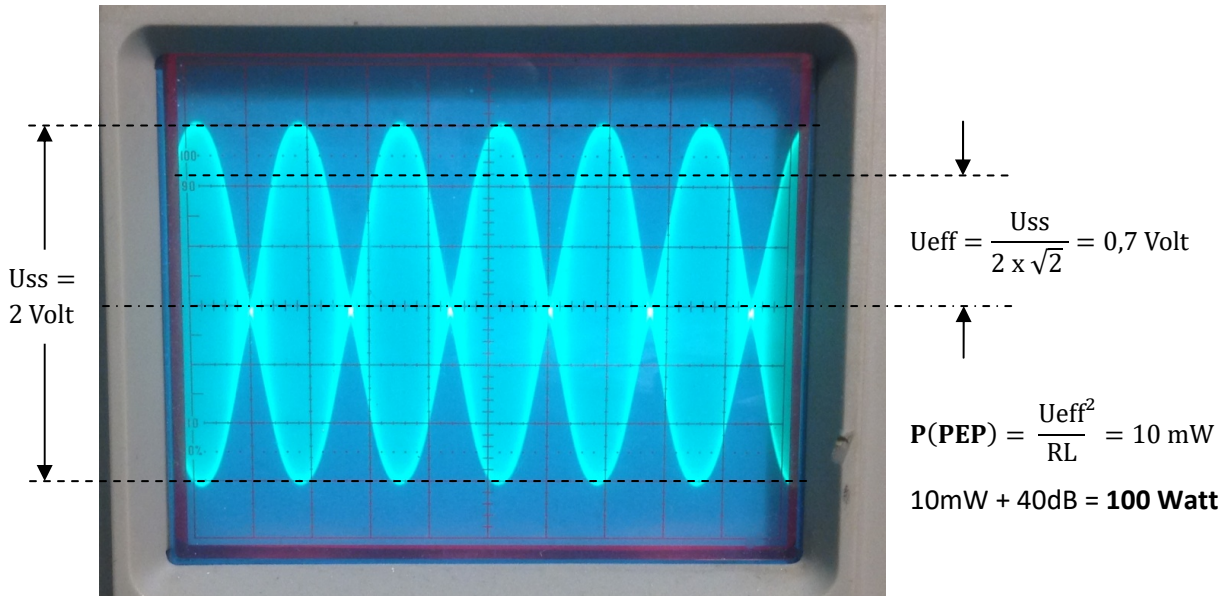

Bild 14: HF 2-Ton-Signal mit 100 Watt PEP am Scope im Zeitbereich, gemessen bei 14,1MHz

Bilder 15 bis 17 zeigen die entstehende Intermodulation des Senders auf 3.6, 14.1 und 28.1 MHz. Gute Transmitter unterdrücken die IMD3-Produkte bei Vollausteuerung um mehr als 25dBc und die IM-Produkte höherer Ordnung sollten relativ schnell abfallen, damit die Nachbarkanäle nicht gestört werden. Bei einem IMD3-Abstand von nur 20dBc, würde sich das demodulierte Signal schon relativ hart und verzerrt anhören, der Klirrfaktor eines SBS-Signals würde bereits 10% betragen. **Tabelle5** zeigt die ermittelten IMD3-Abstände bei 100W PEP auf den verschiedenen Frequenzen.

Frequenz	3,6 MHz	14,1 MHz	28,1 MHz	50,1MHz
IMD3-Abstand	43dBc	38dBc	30dBc	25dBc

Tabelle 5: IMD3-Messergebnisse auf unterschiedlichen Bändern

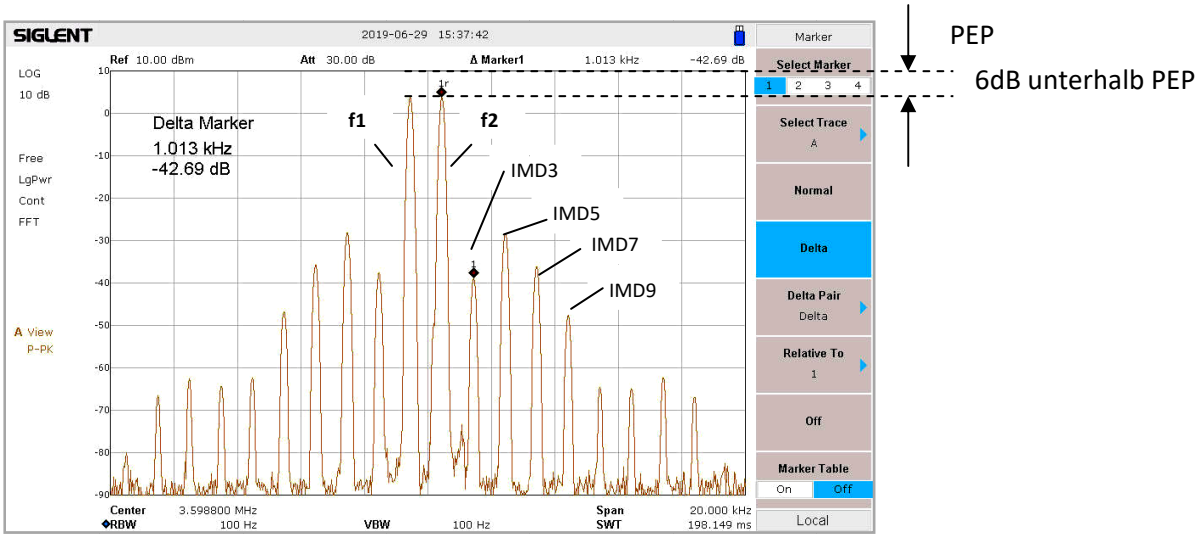

Bild: 15 IMD auf 3,6MHz: IMD3=42,6dBc, IMD5=32dBc, IMD7=40dBc, IMD9=50dBc

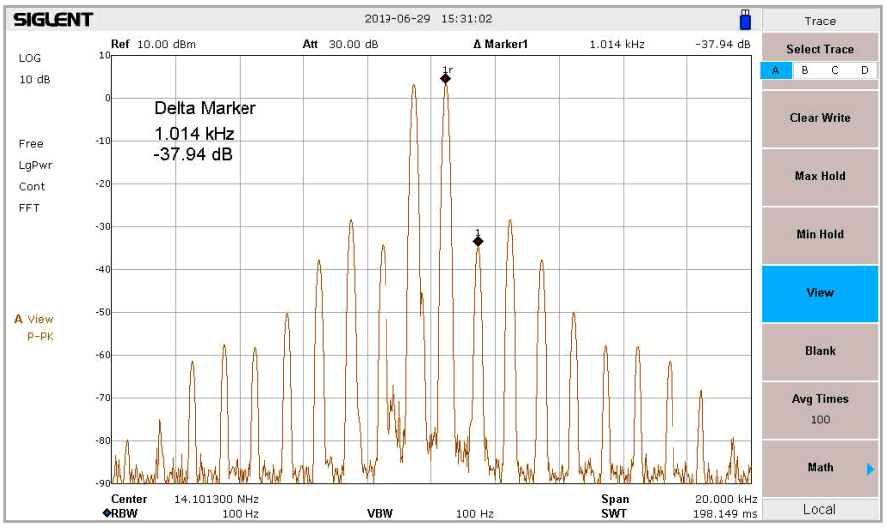

Bild 16: IMD auf 14.1MHz, IMD3 = 37,94dBc

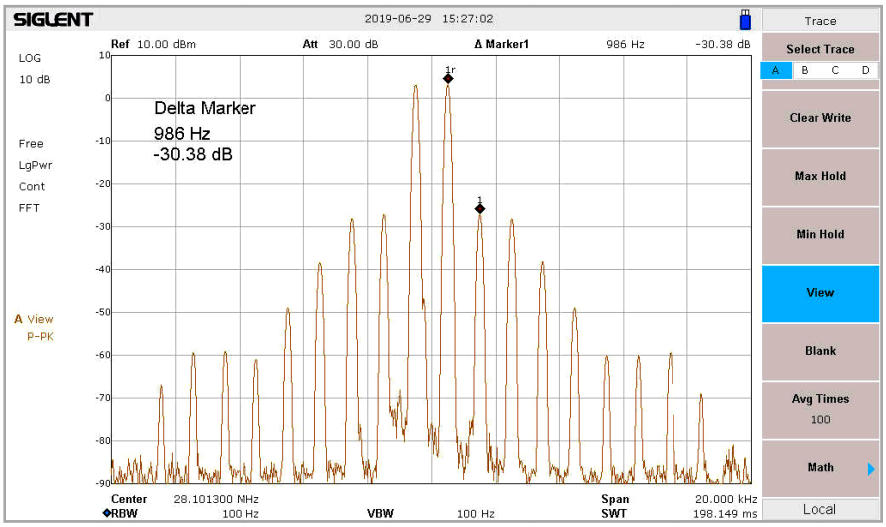

Bild 17: IMD auf 28.1MHz, IMD3 = 30,38dBc

Oberwellenunterdrückung des Senders

Den Sender mit einem NF-Signal (f1) auf maximale HF-Ausgangsleistung abstimmen und die Unterdrückung der 1. Oberwelle (2. Harmonische) (2xf1) mit einem Spektrumanalysator messen. Zwischen Senderausgang und Spektrumanalysator wird hierzu ein 60dB Dämpfungsglied geschaltet. Ein Meßpegel von -10dBm am Analysator **(Bild 18)** entspricht dann einer Ausgangsleistung von 100Watt. Bei Oberwellenmessungen muß man darauf achten, dass der Spektrumanalysator selbst keine Oberwellen erzeugt, die das Ergebnis verfälschen könnten. Der Oberwellenabstand des verwendeten Analysators muß bei diesen Messungen mindestens 80dBc betragen **(6)**.

Settings am IC-7300: NF Signal 1000Hz, SSB 2,4kHz, RF Power 100%, Mic Gain 20%, Versorgung 13,8VDC, HF-Ausgangsleistung 100Watt

Frequenz, f1	Unterdrückung 1. Oberwelle bei 2xf1
3,7 MHz	80 dBc
7,1MHz	77 dBc
14,1 MHz	81 dBc
28,3 MHz	68 dBc
50,1 MHz	78 dBc

Tabelle 6: Oberwellenunterdrückung auf den verschiedenen Bändern

Settings Analysator: Attenuation 25dB, Span 1,8 - 8MHz, Res 100Hz

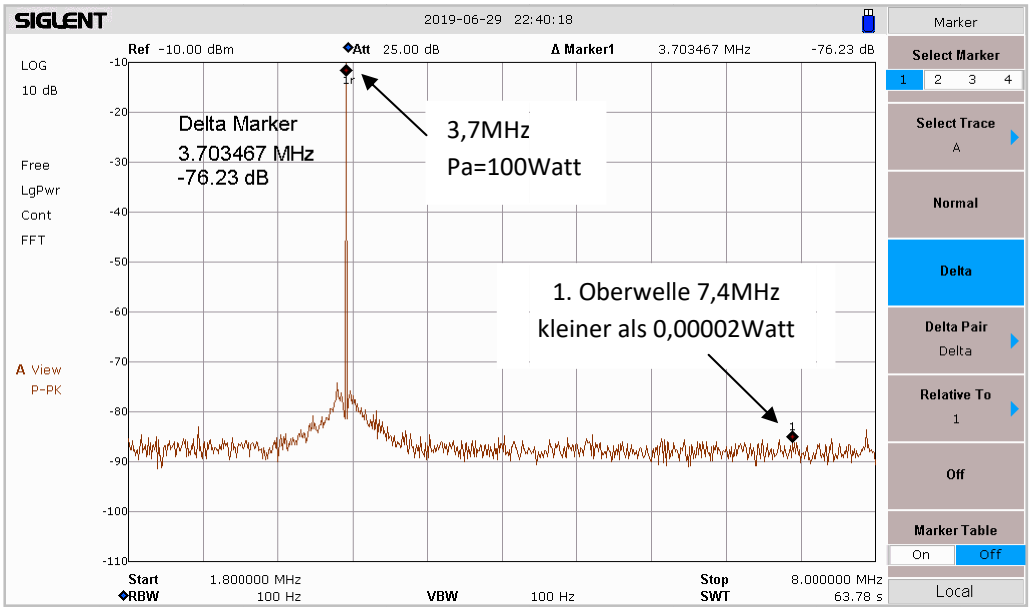

Bild 18: Die Oberwelle von 3,7MHz ist im Spektrum nicht mehr erkennbar, liegt unter 0,02 mW

Sender IMD2, Intermodulation 2. Ordnung

Neben der Intermodulation 3. Ordnung, bei der die Störsignale sehr dicht bei den Nutzsignalen liegen (bei 2f1-f2 und 2f2-f1), entstehen auch IMD2-Störsignale bei f1+f2, die den Empfang beeinträchtigen können. Im Beispiel verwende ich zwei gleich große Nutzsignale bei 6.1MHz und 8.1 MHz und messe das unerwünschte Summensignal (IMD2) im 20m-Band bei 14.2MHz. Bei dieser Messung wird der Pegel (Pi) beider Signale soweit erhöht, bis das IMD2-Signal mit +3dB aus dem Grundrauschen (CW, 500Hz) hörbar wird, d.h. die Grenzempfindlichkeit (MDS) erreicht. Die IMD2-freie Dynamik des Receivers beträgt dann

DR2 = Pi - MDS (DR2=Dynamic Range 2. Order)

woraus sich ein IP2 berechnet zu

IP2 = (2xDR2) - MDS

***Settings:* f1=6,1MHz, f2=8,1MHz, fe=14,2MHz, CW, B=500Hz, Preampl. Off**

	MDS, f=14.2MHz	Pi dBm	DR2 dB	IP2 dBm
IP+ Off	-134 dBm	-45 dBm	89 dB	+44 dBm
IP+ On	-126 dBm	-22 dBm	104 dB	+82 dBm

Tabelle 7: DR2-Messung bei fe = f1 + f2 = 14,2MHz

Sender-Seitenbandrauschen (TX-SBN)

Das TX-Seitenbandrauschen zeigt sich in Form von unerwünschten Rauschseitenbändern rechts und links im Sockel des Trägersignals. SBN besteht aus Phasen- und Amplitudenrauschen (FM- und AM-Rauschen) und sollte möglichst gering sein, damit die Nachbarkanäle dadurch nicht gestört werden. Im Beispiel erfolgt die Messung des SBN über ein schmalbandiges Quarz Notch-Filter (f_0 = 7,161750 MHz, Bandbreite 1kHz), welches das Trägersignal unterdrückt und nur das Seitenbandrauschen rechts und links vom Träger dämpfungsfrei passieren lässt **(Bild 19)**.

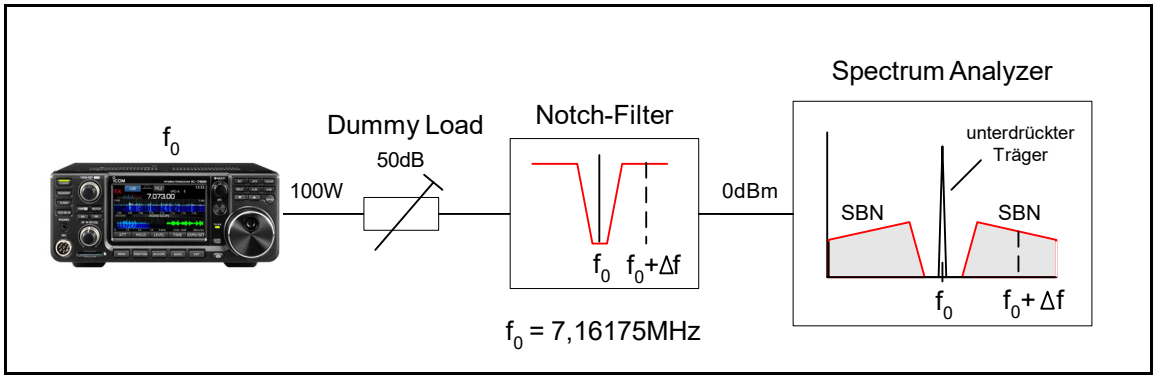

Bild 19: SBN-Messung mit Hilfe eines Quarz Notch-Filters

Zur Messung des Seitenbandrauschens, wird die Frequenz des Senders zunächst auf den Durchlass-bereich des Notchfilters eingestellt, auf z.B. f_0 + 5kHz und das 100W-Signal (RTTY) des Senders über einen Abschlusswiderstand soweit reduziert, bis am Eingang des Analysators ein Signal von 0dBm anliegt. Anschließend die Frequenz des Senders auf die Mittenfrequenz (f_0) des Notch-Filters abgleichen, wodurch das Sendesignal nochmals um ca. 70dB unterdrückt wird. Aufgrund der hohen Signalunterdrückung des Sendesignals wird der Analysator jetzt nicht mehr übersteuert und kann mit 0dB Dämpfung und +20dB-Preamplifier auf seine maximale Empfindlichkeit von -160dBm/Hz eingestellt werden. Alles, was jetzt rechts und links vom Sperrbereich des Notchfilters noch messbar ist, ist das Seitenbandrauschen des Senders.
Das resultierende TX-Seitenbandrauschen (Transmit Composite Noise) des IC-7300, in Abständen von 1 bis 100 KHz zum Träger, mit HF-Ausgangsleistungen von 100 und 30 Watt, zeigt die nachfolgende Tabelle:

Transmit Composite Noise

Offset (kHz)	1kHz	2kHz	5 kHz	10 kHz	20 kHz	50 kHz	70 kHz	100kHz
SBN (dBm/Hz), 100W	-122	-123	-125	-124	-123	-131	-132	-126
SBN (dBm/Hz), 30W	-114	-116	-118	-114	-114	-122	-125	-122

Den Kurvenverlauf des TX-Rauschens von 1kHz bis 100kHz mit 100 Watt und 30 Watt Leistung zeigt **Bild 20.**
Zum Vergleich wurde die SBN-Kurve des Empfängers (grün) mit eingezeichnet. Erst jetzt wird deutlich erkennbar, wie stark das AM-Rauschen des Senders ist. Das erzeugt TX-Rauschen liegt erheblich oberhalb des RX-Rauschens, wodurch die Empfindlichkeit benachbarter Empfängers bei Field Days und Contests im gleichen Band eventuell beeinflusst werden kann, indem nah benachbarte, kleine Signale vom Rauschen des Senders eventuell zugedeckt werden. Weitere Infos hierzu unter **(7)**.

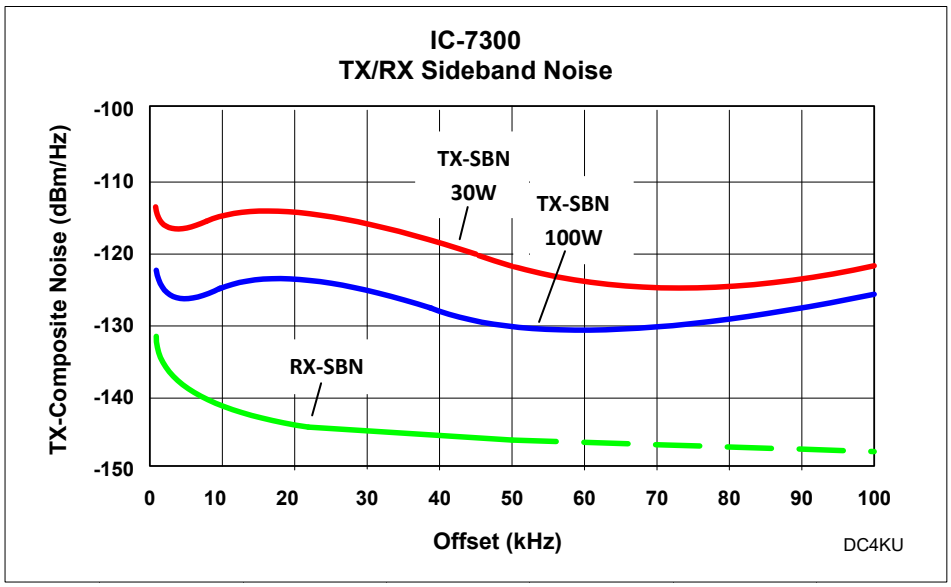

Bild 20: SBN-Verlauf des Senders (blau und rot) und des Empfängers (grün)

Bild 21 zeigt das TX-SBN mit 100W Leistung über einen Frequenzbereich von 1-100kHz, mit Markern in Offsets von 1kHz, 10kHz, 50kHz und 100kHz und **Bild 22** mit 30W Leistung.

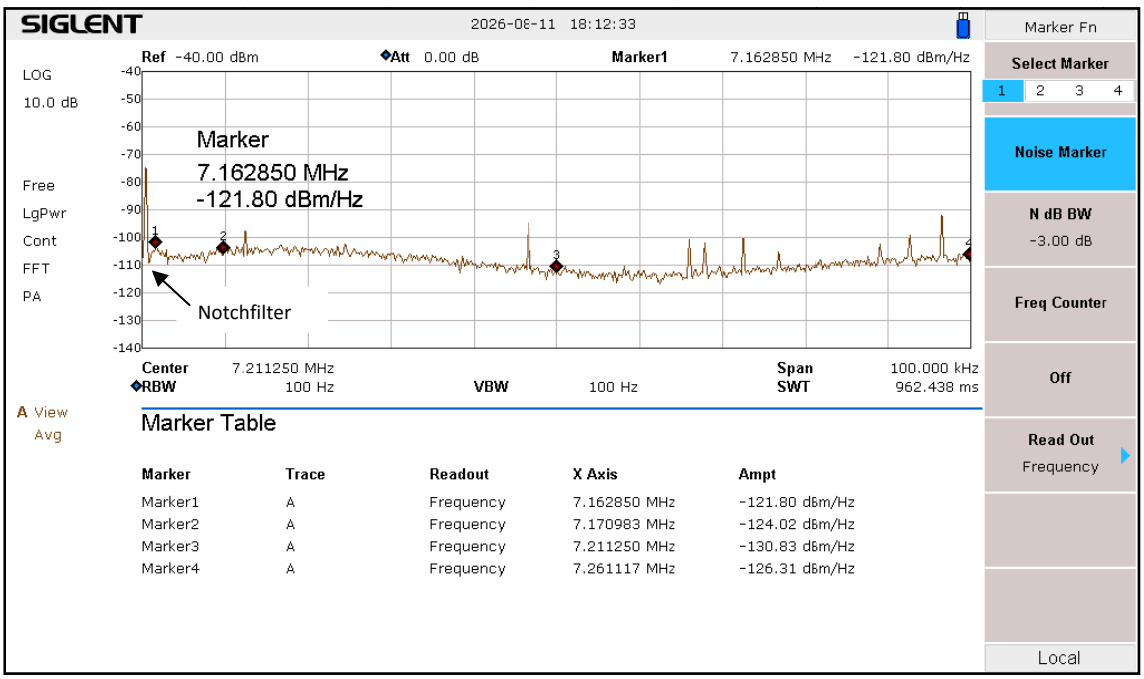

Bild 21: TX-Seitenbandrauschen des IC-7300, Leistung 100W, Messwert bei Delta f=1kHz (Marker 1)

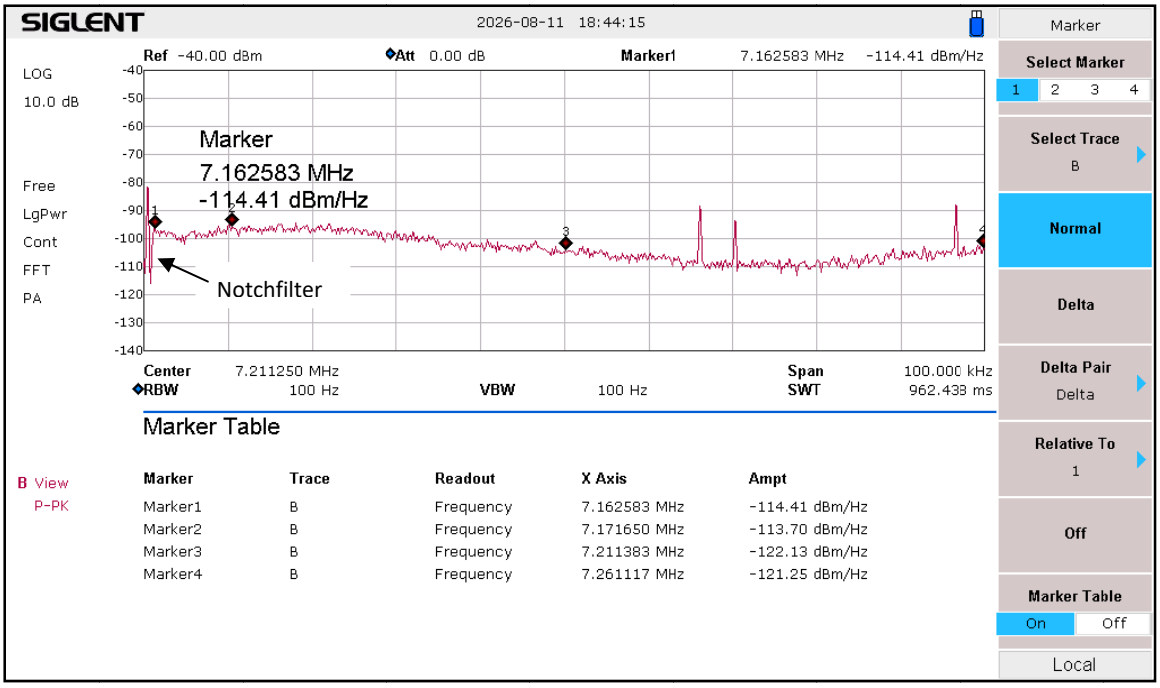

Bild 22: TX-Seitenbandrauschen des IC-7300, Leistung 30W, Messwert bei Delta f=1kHz (Marker 1)

Hinweis: Ein Spektrumanalysator zeigt nicht das „TX Phase Noise“ eines Senders an, sondern sein „kumulatives Seitenbandrauschen“ (Transmitter Composite Noise), bestehend aus AM- und FM-Rauschen, welches insgesamt meist höher ausfällt als das Phasenrauschen alleine. Hersteller geben in ihren Datenblättern jedoch nur das TX Phase Noise an. Um lediglich das TX Phase Noise eines Senders zu ermitteln, benötigt man einen Signal Source Analyzer oder einen Phasenrauschmesser wie z.B. ein FSUP von R&S.

Literatur

(1) Messung des Seitenbandrauschens von Empfängern und Oszillatoren
https://dc4ku.darc.de/Messung-Seitenbandrauschen.pdf

(2) HF 2-Ton-Generator für IM3-Messungen
https://dc4ku.darc.de/HF-Zweiton-Generator.pdf

(3) Antennenrauschen im KW-Bereich
https://dc4ku.darc.de/Antennenrauschen_im_Kurzwellenbereich.pdf

(4) NPR-Messung
https://dc4ku.darc.de/Noise-Power-Ratio.pdf

(5) NF 2-Ton-Generator mit Wien-Robinson-Brücke
https://dc4ku.darc.de/NF-Doppelton-Generator_mit_Wien-Robinson-Bruecke.pdf

(6) IM3-Festigkeit eines HF 2-Ton-Generators
https://dc4ku.darc.de/IM3-Festigkeit-eines-HF-2-Tongenerators.pdf

(7) Sender Seitenbandrauschen
https://dc4ku.darc.de/Transmitter-Sideband-Noise_DC4KU.pdf

Werner Schnorrenberg
DC4KU
17.07.2019, Rev. 8/2021, 10/2026