

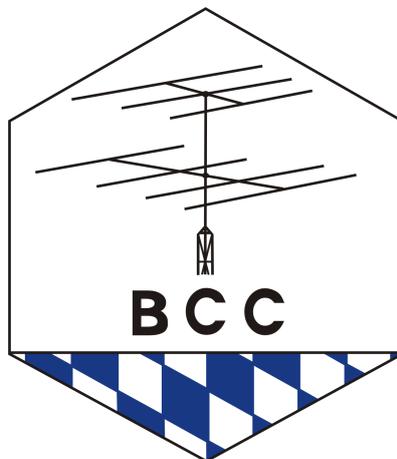
Close-In Dynamic Range

oder: Wie viel Roofing braucht der Contester?

Matthias Jelen, DK4YJ

26. März 2014

Bavarian Contest Club



In den letzten zehn Jahren tauchen bei allen Transceiver-Herstellern immer die Schlagworte „schaltbare schmale Roofing-Filter“ und „Close-In-IMD“ auf. Für ältere Radios werden schmale Roofing-Filter zum Nachrüsten angeboten. Zeit, sich mal etwas näher mit der Materie zu beschäftigen und den Nutzen kritisch zu hinterfragen.

1 Was sind überhaupt „Roofing Filter“?

Der erste Mischer eines RX ist die kritische Stelle - dieser muss sehr großsignalfest ausgelegt sein, da er das Summensignal des kompletten Bands auf einen Schlag abbekommt. Auf der ersten ZF wird jetzt zum ersten Mal schmalbandig gefiltert, um alle nachfolgenden Stufen zu entlasten. Dieses Filter wird „Roofing Filter“ genannt und muß zwangsläufig mindestens die Bandbreite der Filter auf den nachfolgenden ZFs haben. Klassisch wurde dieses Filter so breit gewählt, dass alle Betriebsarten und Bandbreiten „durchpassen“, also mindestens 15 kHz, um FM zu ermöglichen.

2 Was ist der „Intermodulationsfreie Dynamikbereich“ und wie wird er bestimmt?

Der „Intermodulationsfreie Dynamikbereich“ (IMDR) ist der Pegelbereich, in dem ein Signal hörbar ist, zwei oder mehr Signale dieser Stärke aber noch keinerlei hörbare Intermodulationsprodukte erzeugen.

Zur Bestimmung des intermodulationsfreien Dynamikbereichs dritter Ordnung (IMDR₃) geht man nun wie folgt vor:

Zuerst wird die Grenzepflichkeit des Empfängers bestimmt. Dazu wird die NF-Rauschleistung am Kopfhöreranschluß ohne Eingangssignal gemessen und anschließend der Signalpegel am Eingang so lange erhöht, bis die Rauschleistung um 3 dB angestiegen ist. Das beobachtete Signal und das Rauschen haben dann die gleiche Leistung. Diese Eingangsleistung wird „Minimum Discernible Signal“ (MDS) genannt, auch wenn der geübte CW-OP deutlich kleinere Signale schon aufnehmen kann (In der Grafik 1 das blaue Signal). Dieser Wert ist natürlich von der eingestellten Bandbreite abhängig - bei idealen Filtern sinkt das MDS um 3 dB, wenn die Filterbandbreite halbiert wird.

Anschließend werden zwei Signale neben der Empfangsfrequenz in den RX eingespeist, und zwar so, dass das erwartete Intermodulationsprodukt genau auf der Eingangsfrequenz liegt (In der Grafik 1 die beiden roten Signale). Der Abstand dieser beiden Signale ist frei wählbar. Jetzt wird die Leistung dieser beiden Signale so lange erhöht, bis das IM₃-Produkt hörbar wird und die gleiche NF-Leistung wie beim MDS erreicht wird. jetzt haben also IM₃-Produkt und Rauschen die gleiche Leistung.

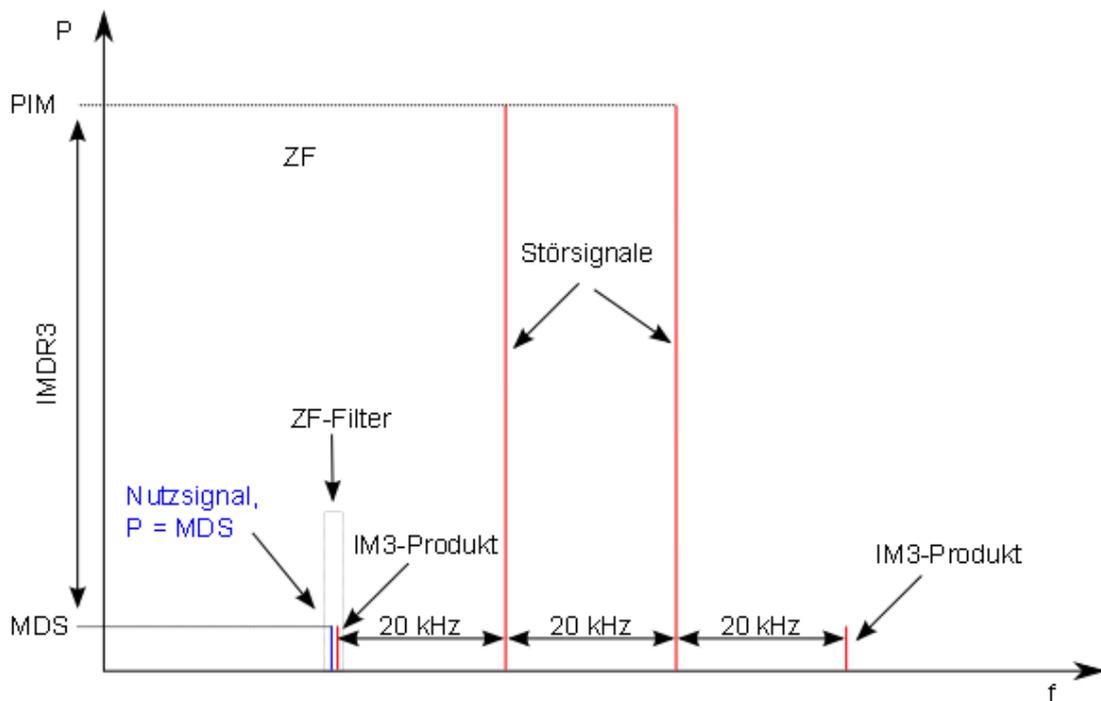


Abbildung 1: Begriffe

Der Abstand der Leistung, die hierfür nötig ist (P_{IM}) zum MDS ist jetzt der „intermodulationsfreie Dynamikbereich dritter Ordnung“. Ein Zahlenbeispiel mit typischen Werten eines AFU-Transceivers:

MDS bei 500 Hz Bandbreite: = -133 dBm

$P_{IM} = -34$ dBm

$IMDR_3 = P_{IM} - MDS = -34 - (-133) = 99$ dB

3 Was hat das jetzt mit „Roofing Filtern“ zu tun?

Jahrelang war es bei der ARRL Usus, für diese Messung einen Abstand von 20 kHz zu verwenden. Damit liegt man bei den meisten Transceivern außerhalb des Roofing Filters, es tragen also (fast) nur Schaltungsteile bis zu diesem Filter zu den Intermodulationsprodukten bei.

Verringert man jetzt den Abstand der beiden Signale, so kommt man irgendwann in den Bereich, in dem beide Signale innerhalb des Roofing Filters liegen. Hier wird man in der Regel feststellen, dass der $IMDR_3$ deutlich kleiner ist, da jetzt auch weiter hintenliegende

Schaltungsteile, die meist deutlich weniger Großsignalfest sind, zu den IM-Produkten beitragen.

Jetzt ist es auf einem voll belegten Band nicht direkt realistisch davon auszugehen, dass sich alle potenziell störenden Signale mindestens 10 kHz von der eigenen Frequenz entfernt befinden. In einem ordentlichen Contest werden in diesem Bereich 20 oder mehr CW-Signale sein. Spätestens, seitdem ON4UN in seinem Low-Band-DXing intensiv auf diese Tatsache hingewiesen hat, haben sich die Transceiverhersteller dieses Problems angenommen und machen die Bandbreite dieses ersten Filters wählbar bzw. bieten optionale schmale Filter an.

Um die Wirkung dieser Filter entsprechend nachzuweisen, wird jetzt also in den Labortests auch mit geringeren Abständen als 20 kHz gemessen, Messungen bis 2 kHz Abstand sind die Regel. Der Wert bei 2 kHz wird jetzt gerne als "Close-In-IMDR₃" bezeichnet und es wird uns souffliert, dass dieser Wert für den Contester extrem wichtig sei, da dieser sich ja gerne auf dichtbesetzten Bändern tummelt.

Versucht man jetzt, eine solche Messung mit Hausmitteln nachzuvollziehen, wird man vermutlich erstmal keinen Erfolg haben. Was passiert: Wenn man den Pegel der beiden Signale erhöht, wird die Rauschleistung viele dB ansteigen, bevor man überhaupt einen diskreten Ton hören kann. Schaltet man das weiter von der RX-Frequenz entfernte Signal ab, bleibt dieser Rauschanstieg bestehen. Was wir hier sehen, ist also keine Intermodulation, sondern ein anderer Effekt, der uns das Empfangsvergnügen trübt: Reziprokes Mischen.

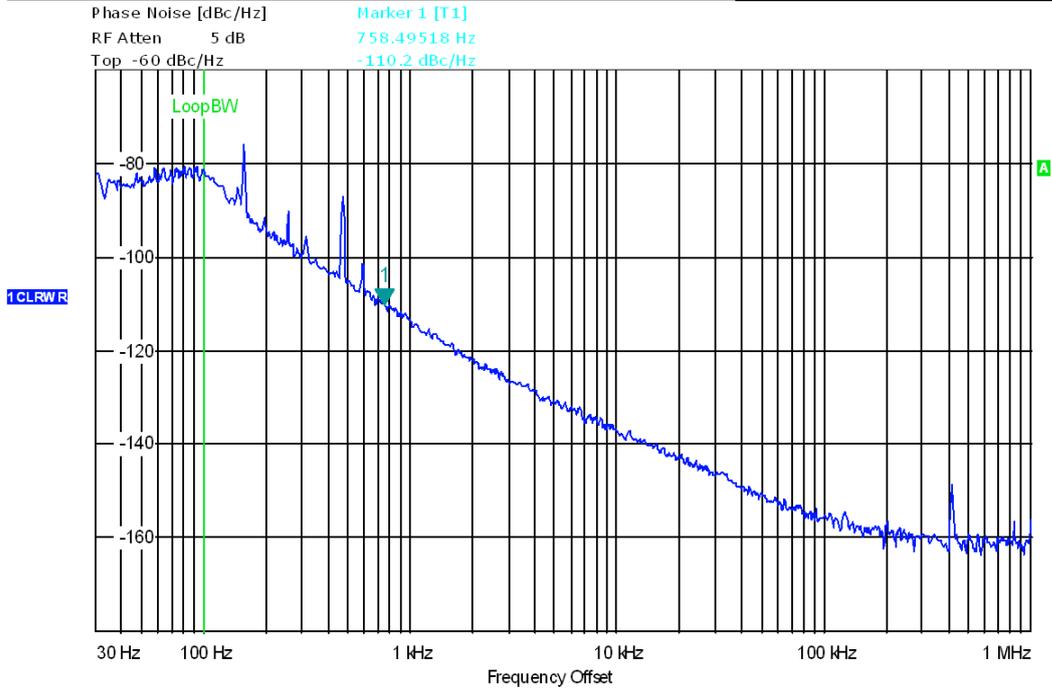
4 Reziprokes Mischen und Phasenrauschen

Leider ist das Signal unseres LOs nicht ideal - im Frequenzbereich ist es keine unendlich dünne Nadel, sondern hat einen deutlichen Rauschberg am Fuß, der mit steigendem Abstand von der Trägerfrequenz abklingt. Wie groß dieser Rauschberg ist und wie schnell er abklingt, hängt primär vom Design des Synthesizers und der Frequenz des LOs ab. Geräte mit niedriger erster ZF und damit niedriger LO1-Frequenz wie der K3 oder der TS-590 auf den unteren Bändern haben es da prinzipbedingt natürlich einfacher.

Gemessen wird diese Leistung in dBc/Hz, das bedeutet, die Leistung relativ zum Träger (dBc=dB Carrier) normiert auf 1 Hz Bandbreite. Die Angabe eines solchen Werts macht nur Sinn, wenn man dazu auch den Frequenzabstand vom Träger angibt. Bild 2 zeigt einen Phasenrauschplot eines K3 auf 20 m.

Wird dieser Rauschsockel mit einem Signal gemischt, welches neben der eingestellten Empfangsfrequenz liegt, dann führt das zu dem beobachteten Rauschanstieg auf der NF. Dieser Effekt wird reziprokes Mischen genannt. Bild 3 soll diesen Vorgang verdeutlichen: Der Bereich des Rauschsockels (in der Grafik grau) mit der Breite des ZF-Filters, der den gleichen Abstand vom Träger wie das Nutzsignal- vom Störsignal hat, wird „ausgestanzt“

R&S FSUP Signal Source Analyzer		LOCKED			
Settings		Residual Noise [T1]		Phase Detector +30 dB	
Signal Frequency:	22.483204 MHz	Evaluation from	30 Hz to 1 MHz		
Signal Level:	2.67 dBm	Residual PM	0.068 °		
Cross Corr. Mode	Harmonic 10	Residual FM	8.167 Hz		
Internal Ref Tuned	Internal Phase Det	RMS Jitter	8.4347 ps		



Running ...

Date: 29.JAN.2008 16:38:16

Abbildung 2: SSB-Phasenrauschen des K3-Synthesizers auf 20m

und in unser Passband gemischt. Dort überlagert es unter Umständen ein schwaches Nutzsignal.

Messen kann man diesen Effekt, indem man ein Signal neben der Empfangsfrequenz so lange erhöht, bis der Rauschanstieg mal wieder 3 dB beträgt. In den ARRL-Tests finden sich Werte für „Reciprocal Mixing“ bei 500 Hz Bandbreite für 2 kHz, 5 kHz und 20 kHz. Die Schwierigkeit dabei: Man braucht Signalgeneratoren, deren Phasenrauschen deutlich besser als das des vermessenen Transceivers ist, und das sprengt das Budget der meisten Hobby-Messtechniker deutlich.

Zurück zu unserem Close-In-IMD: Bevor also das IM_3 -Produkt aus dem Rauschen kommt, wird durch reziprokes Mischen erstmal das Rauschen kräftig ansteigen. Früher haben solche Messwerte bei der ARRL ein * bekommen, und im Kleingedruckten war dann zu

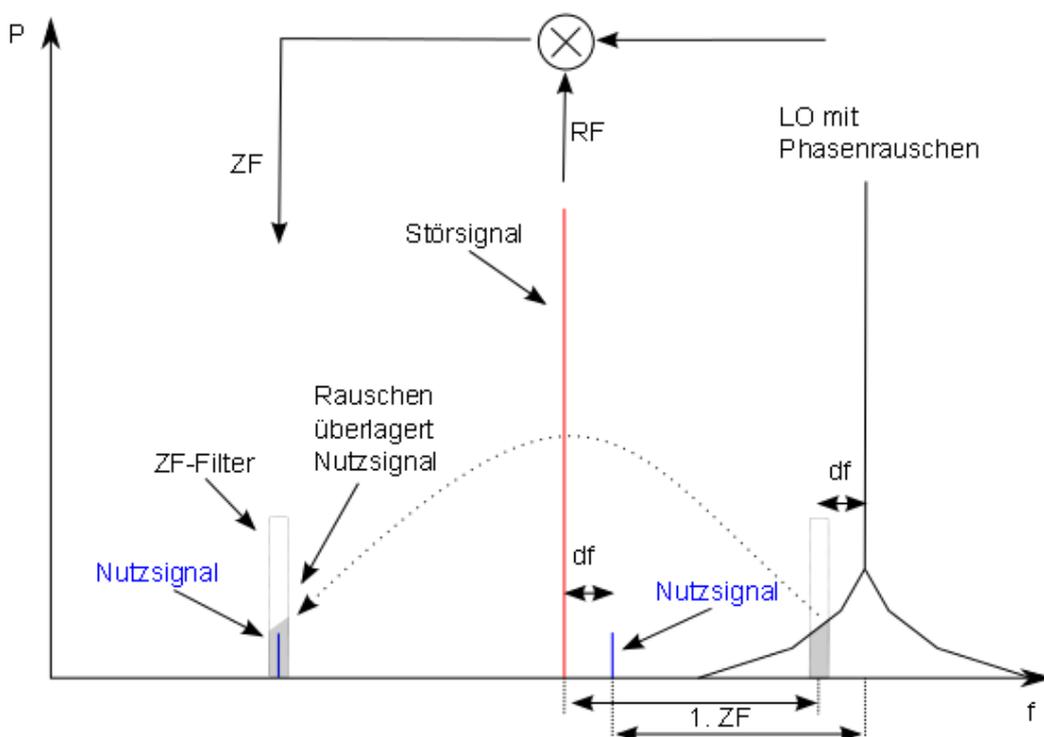


Abbildung 3: Reziprokes Mischen

lesen, der Wert sei „Noise Limited“ gewesen. Durch die verbesserten IMDR_3 der Empfänger trat dieser Fall immer öfter ein, so dass die ARRL nun einen FFT-Audio-Analyzer verwendet, mit dessen extrem schmalbandiger Analyse das Rauschen vom IM_3 -Produkt getrennt werden kann. Diese Messung ist technisch zwar völlig korrekt, für die Praxis allerdings nicht unbedingt relevant. Bevor man sich also bei der TRX-Wahl auf ein Modell mit gigantischem IMDR_3 einschiesst, sollte man auch mal einen Blick auf die Werte für „Reciprocal Mixing“ werfen, die meist an deutlich weniger prominenter Stelle aufgeführt sind.

Aus Interesse habe ich das mal an meinem neuen IC-7410 nachgemessen, den der Vorbesitzer dankenswerter Weise schon mit den optionalen Roofingfiltern (3 kHz und 6 kHz) nachgerüstet hat - siehe Bild 4.

Die blaue Kurve zeigt den Dynamikbereich an, den das reziproke Mischen übrig lässt. Die drei anderen Kurven zeigen den IMDR_3 mit den unterschiedlichen Roofing-Filtern. Erwartungsgemäß wirken die Roofing-Filter bei kleinen Abständen zum Träger, erfüllen also ihren Zweck gut. Allerdings ist der Dynamikbereich bei Abständen von < 20 kHz vom Träger nicht durch die IM-Produkte begrenzt! Der 7410 ist mit seinem relativ schlechten Synthesizer sicherlich ein extremes Beispiel, allerdings ist diese Tendenz bei fast allen Transceivern zu sehen, wenn man die ARRL Lab-Reports ansieht.

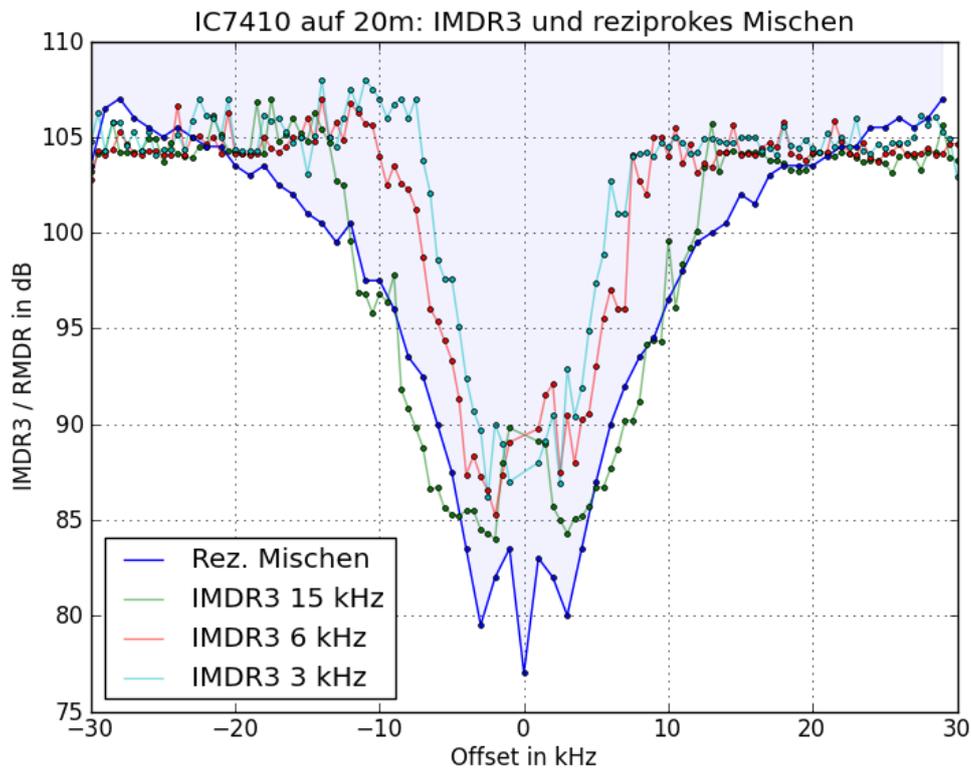


Abbildung 4: Messergebnisse

5 Die TX-Signale

Einen sehr wichtigen Aspekt habe ich bislang ganz bewusst ignoriert: Die Signale auf dem Band werden von Amateur-Transceivern generiert, nicht von High-End-Messgeräten. Selbst wenn ich mir nun einen Empfänger kaufe, der sowohl von der Großsignalfestigkeit als auch vom Phasenrauschen her keinerlei Probleme mit den S9+60 dB CW-Signalen 500 Hz neben meiner Frequenz hat, so wird mir das wenig helfen, da ich dann durch Tastelicks und das Phasenrauschen dieses Signals gestört werde - dagegen kann man nichts unternehmen. In SSB ist die Situation noch viel dramatischer: Die Sender-Intermodulation wird um Größenordnungen schlechter sein als die Störungen, die ich in meinem Empfänger erzeuge.

6 Fazit

Ich hoffe, mit dem Vorhergehendem gezeigt zu haben, dass die Qualität eines Empfängers nicht von einigen wenigen Eigenschaften abhängt und sich auch nicht auf eine handvoll Zahlen in einer Tabelle reduzieren lässt. Insbesondere ist das Streben um immer noch höheren IP_3 noch näher an der Empfangsfrequenz und die damit verbundene Roofing-Filter-Schlacht nicht zielführend. Durch die vermehrte Aufmerksamkeit, die in den letzten Jahren auf Großsignalfestigkeit gelegt wurde, sind eigentlich alle aktuellen Geräte der mittleren und oberen Preisklasse in dieser Hinsicht mehr als gut genug - meist so gut, dass diese Werte in der Praxis überhaupt nicht ausgenutzt werden können, da andere Störeffekte dominieren. Bei der Auswahl sollte man sich also eher von der Bedienung und den Features, die man persönlich benötigt, leiten lassen als von Zahlenwerten in den diversen Tabellenwerken.