

Modulationsmessung an SSB-Sendern

Wenn sich OMs auf den Bändern treffen, erfolgt im Regelfall eine gegenseitige Beurteilung des empfangenen Signals, ob sich das Sprachsignal des Partners klar und deutlich anhört oder irgendwelche "Verzerrungen" hat. Hört sich ein Sprachsignal undeutlich an, erfolgt oft der Ratschlag, die Leistung etwas zurück zu nehmen. Aber auch bei reduzierter Leistung hört sich manches Signal immer noch undeutlich an und was ist jetzt zu tun?

Das Problem bei der Beurteilung von SSB-Sprachsignalen besteht darin, dass die Signale meistens nur aus der akustischen Wahrnehmung heraus diagnostiziert werden und die eigentliche Ursache eines möglichen Fehlers im Sendesignal daraus nicht erkannt wird. In einer akustischen Signalbewertung steckt nur die Hälfte der Information, die andere Hälfte steckt in der Frequenzanalyse des Signals. Wird das empfangene Signal gleichzeitig einer FFT-Analyse unterzogen, ist die Beurteilung ganzheitlich und eventuelle Ungenauigkeit in der Modulation oder Linearität des Signals lassen sich besser erkennen. Mit Hilfe eines SDR-Receiver läßt sich heute jedes SSB-Signal Sendesignal sehr genau analysieren und eventuelle Modulationsfehler sicher erkennen und beheben.

Messaufbau

Zur Analyse des SSB-Sendesignals verwende ich anstelle eines Spektrumanalysators den SDR-Receiver ColibriNANO, der über die Software: ExpertSDR2 ColibriNANO, Expert SDR2 Player und SDRSharp gesteuert wird. Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau des Messplatzes. Der HF-Ausgang des SSB-Senders wird über einen Dummy-Load mit dem Eingang des SDR verbunden. Bei einer Ausgangsleistung von 100Watt muß die Dämpfung mindestens 100dB betragen, damit die S-Meter Anzeige des SDR-Receiver S9+20 nicht überschreitet. Zur Messung der Modulation reichen jedoch geringe Ausgangsleistungen von bis zu 1 Watt völlig aus.

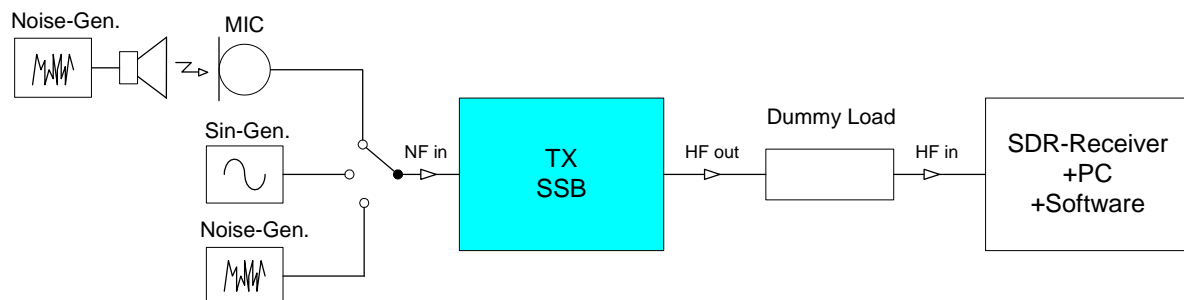


Bild1: Prüfung der Modulation eines SSB-Senders mit Hilfe eines SDR-Receiver

Abhören des eigenen Signals

Zunächst sollte man sein eigenes SSB-Sprachsignal abhören und kontrollieren. Dazu schaltet man den IQ-Recorder des verwendeten SDRs ein, bespricht das Mikrofon und nimmt sein eigenes SSB-Sprachsignal für etwa 10 Sekunden auf. Anschließend spielt man das abgespeicherte .mp3-File am PC ab und kann auf diese Weise zunächst akustisch kontrollieren, ob sich die eigene Modulation "natürlich" anhört nicht. Aus dem aufgenommenen Sprachspektrum (Bild 2) läßt sich nicht viel erkennen, weil sich die Spektrallinien ständig ändern und daraus ein möglicher Fehler im Modulator oder Mikrofon noch nicht erkennbar ist.

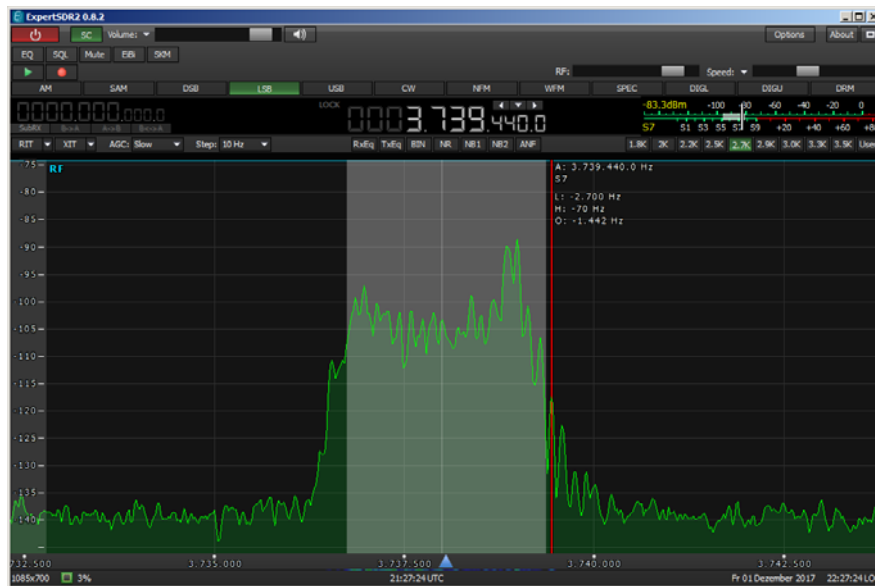


Bild 2: Momentaufnahme eines SSB-Sprachsignals

Frequenzgang des Mikrofonverstärkers und Modulators

Gemittelt über die Zeit, sollte das Sprachspektrum im Frequenzbereich von 300-2700Hz mit etwa gleicher Pegelgröße auftreten (Bild 3, Mitte). Dann hört sich das Signal klar, hell und natürlich an. Ist der Pegelverlauf jedoch nicht geradlinig, sondern zeigt bei tiefen oder hohen Frequenzen ein deutliches Maximum, dann hört sich das demodulierte Signal dumpf und blechern (Bild 3, links) oder hell und nasal (Bild 3, rechts) an. Die Gründe für diesen unerwünschten NF-Frequenzgang können am verwendeten Mikrofon oder am falsch eingestellten Mikrofonverstärker (Equalizer, Kompressor, Mischer) liegen.

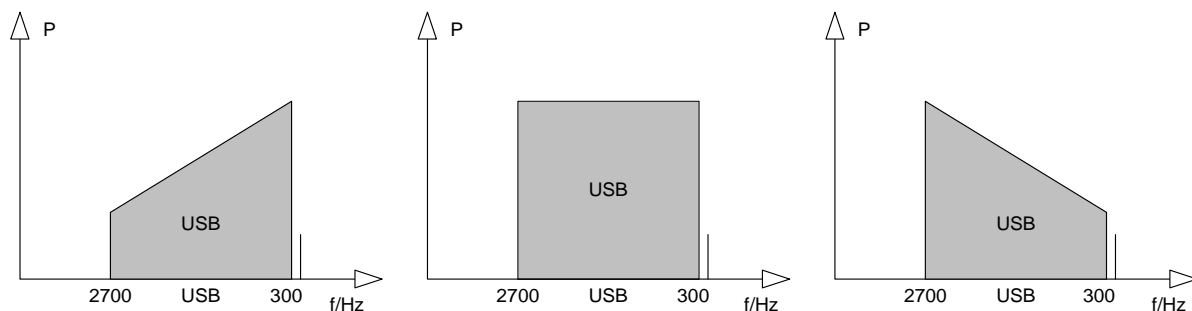


Bild 3: Hüllkurven von SSB-Sprachspektr. zu viele Tiefen (links), normal (Mitte), zu viele Höhen (rechts)

Zur Messung des Frequenzgangs von Mikrofonverstärker und Modulator, kann ein einstellbares NF-Sinussignal von 300Hz bis 2,7kHz verwendet werden. Dazu wird das Sinussignal in Stufen von z.B. 300Hz in den Mikrofoneingang des Senders gespeist und kontrolliert, ob sich die HF-Ausgangsleistung des Senders bei unterschiedlichen Modulationsfrequenzen ändert. Wenn der Mikrofonverstärker und Modulator keinen Frequenzgang haben, sollte die Ausgangsleistung bei allen Frequenzen von 300...2700Hz in etwa gleich groß sein.

Noch einfacher und schneller läßt sich der Frequenzgang mit Hilfe eines NF-Rauschgenerators testen, welcher ein konstantes, "weißes Rauschen" im gesamten NF-Band erzeugt (Bild 4). Als NF-Rauschgenerator verwende ich einen Vellmann-Bausatz, K4301 (Amazone, € 16,50).

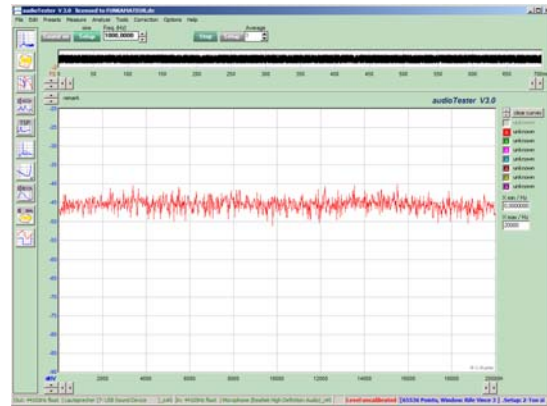
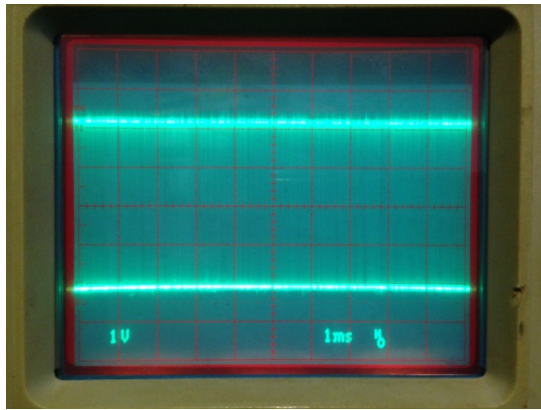


Bild 4: NF-Rauschgenerator, weißes Rauschen (links) im Zeit- und (rechts) im Frequenzbereich 0...20kHz

Leitet man das Rauschsignal in den Mikrofoneingang des Senders, zeigt das Spektrum am Ausgang des Senders den gesamten Frequenzverlauf der Modulation (Bild 5). Im Durchlaßbereich des SSB-Filters von 300 bis 2700Hz sollte die Linie flach verlaufen und die Welligkeit nicht größer als +/-1,5dB sein. Die belegte HF-Bandbreite und Flankensteilheit lassen sich ebenfalls kontrollieren. Hinweis: Equalizer dürfen bei dieser Messung nicht eingeschaltet sein.

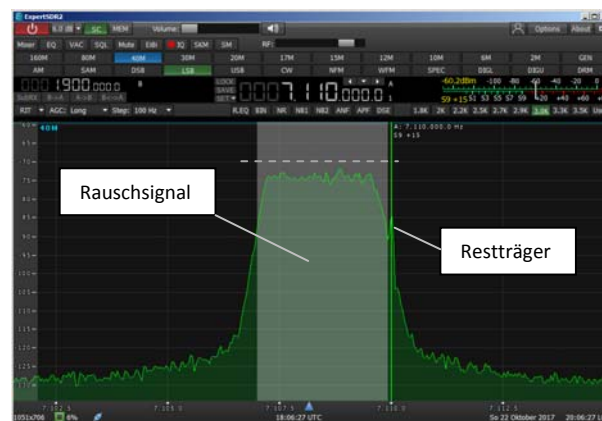
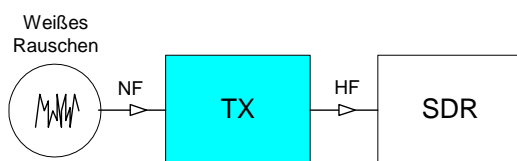


Bild 5: Frequenzgang der SSB-Modulation, gemessen mit weißem Rauschen

Frequenzgang des Mikrofons

Ein kompletter TX-Test, vom Mikrofon bis zum Senderausgang, ist ebenso möglich. Hierzu verbindet man den Rauschgenerator mit dem Eingang der PC-Soundkarte und macht das Rauschen über den Lautsprecher des PCs hörbar. Anschließend bringt man das Mikrofon in die Nähe des Lautsprechers und betätigt die PTT-Taste. Bild 6 zeigt das Ergebnis einer Messung. Das Spektrum zeigt eine deutliche Pegelerhöhung bei tiefen (450Hz) und hohen Frequenzen (2500Hz), dazwischen fällt das Signal um gut 10dB ab. Das Mikrofon hat demnach ein Frequenzgang. Über einen Equalizer könnte man diesen Frequenzgang korrigieren und die Linie im Durchlaßbereich wieder begradigen. Zur Übertragung eines SSB-Signals mit optimaler Sprachverständlichkeit gibt es unter OMs sehr unterschiedliche Meinungen und Auffassungen. Nach meiner Erfahrung ist die Verständlichkeit eines (männlichen) SSB-Sprachsignals optimal, wenn der Frequenzgang des Mikrofons bis 2kHz linear verläuft und von 2-3kHz linear um etwa 6dB...10dB angehoben wird.

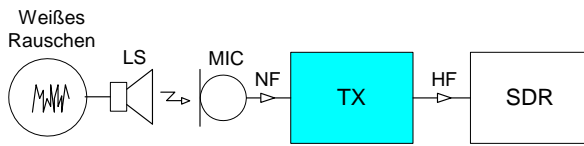


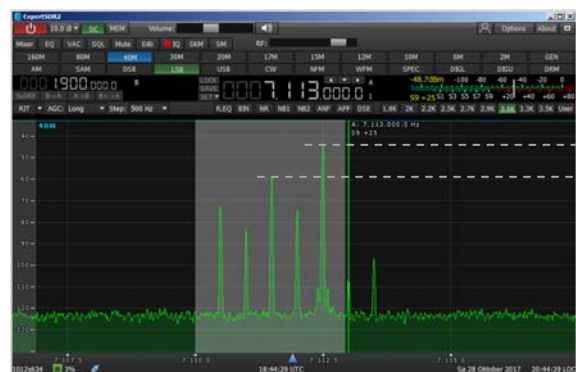
Bild 6: Frequenzgang des Mikrofons

Prüfung des NF-Klirrfaktors

Den NF-Klirrfaktor ermittelt man mit einem klirrfarmen NF-Sinussignal von z.B. 500Hz, so dass die entstehenden Oberwellen innerhalb der SSB-Bandbreite noch gut zu erkennen sind. Das Sinussignal wird am Mikrofoneingang des Senders angeschlossen und der Klirrfaktor kann direkt aus dem erzeugten Spektrum des TX abgelesen werden. Im Beispiel liegt die erste Harmonische um 40dB unterhalb des Nutzsignals und der resultierende Klirrfaktor beträgt demnach 1%. Wenn der Mikrofonverstärker falsch eingestellt ist oder die Regelung nicht funktioniert, kann ein Spektrum nach Bild 7, rechts entstehen. Der Klirrfaktor steigt im Beispiel auf fast 20% an und ein Sprachsignal würde sich jetzt stark verzerrt anhören. Bei beiden Messungen ist die Ausgangsleistung des Senders gleich groß und die PA wird nicht übersteuert! Dies erkennt man daran, dass sich alle Oberwellen noch innerhalb des Auflösungsfilters befinden und keine Signalverbreiterung auftritt. Eine Reduzierung der HF-Ausgangsleistung bringt hier keine Verbesserung, das Signal bleibt verzerrt.



Bild 7: NF-Klirrfaktor, 1%



Mikrofonverstärker oder Mischer übersteuert

Messung der "Inband-Intermodulation"

Die Messung der Inband-Intermodulation eines SSB-Senders erfolgt mit zwei NF-Tönen, deren Frequenzabstand zueinander so gering ist, dass die entstehenden Intermodulationsprodukte in die Übertragungsbandbreite des Auflösungsfilters passen. Für SSB-Sender ist dies ein ultimativer Linearitätstest, weil hierbei sämtliche Baugruppen des TX, vom Mikrofoneingang bis zur Endstufe, mit eingeschlossen sind. Nur so kann die tatsächliche Linearität eines SSB-Senders vom NF-Eingang bis hin zum HF-Ausgang durchgehend getestet werden.

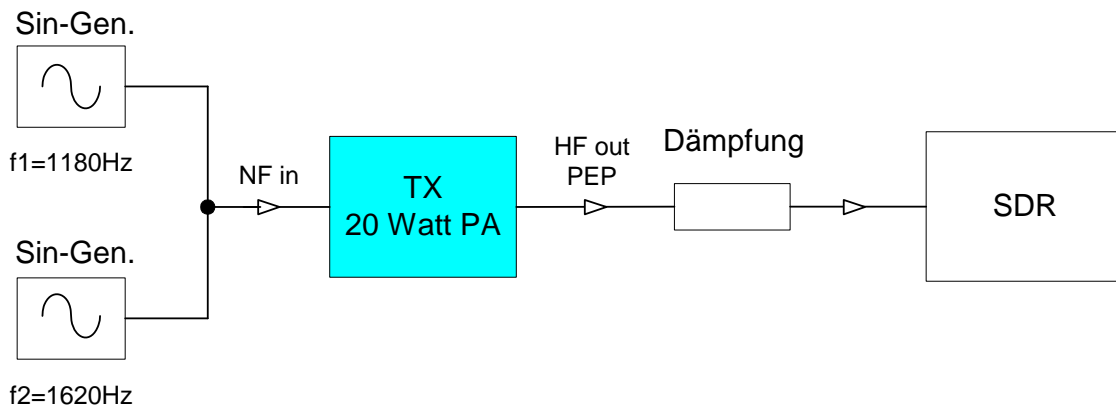


Bild 8: Messung der Inband-Intermodulation eines SSB-Senders

Das entstehende IM-Spektrum am Ausgang eines 20Watt SSB-Senders, moduliert mit NF-Signaltönen bei 1180Hz und 1620Hz (Delta $f = 440\text{Hz}$), zeigt Bild 8. Bis zu einer Leistung von 16 Watt PEP liegen die entstehenden IM3-Störprodukte 35dB unterhalb der Nutzsignale und die Linearität des KW-Senders ist damit noch akzeptabel (Bild 8, links). Alle IM-Produkte liegen innerhalb der Auflösungsbandbreite des SSB-Filters (300-2700Hz) und werden durch die Flanken des Filters an ihrer spektralen Ausbreitung in die Nachbarkanäle gehindert. Demnach entstehen die Verzerrungen ausschließlich im Modulator (Mikrofonverstärker und /oder erster Mischer), jedoch nicht in der Endstufe.

Bei einer Ausgangsleistung von 24 Watt PEP (Bild 8, rechts) steigen die IM-Produkte stark an und liegen nur noch 13dB unter den Nutzprodukten. Ein mit Sprache moduliertes Sendesignal wäre bei dieser Ausgangsleistung schon stark verzerrt. Die PA ist offensichtlich in Begrenzung und die IM-Störprodukte fallen ungehindert in die Nachbarkanäle. Diese Verzerrungen entstehen eindeutig in der PA und nicht im Mikrofonverstärker. Die PA bestimmt jetzt den IMD-Abstand.

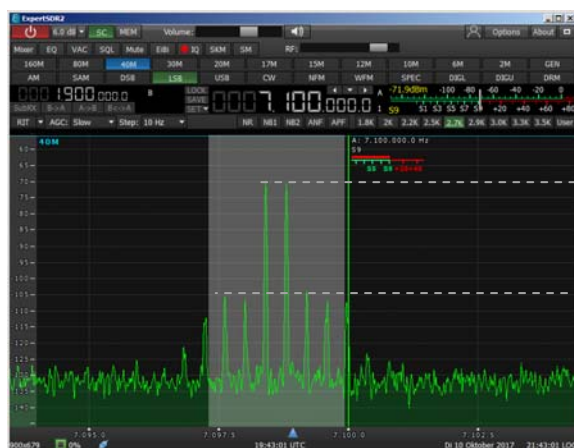
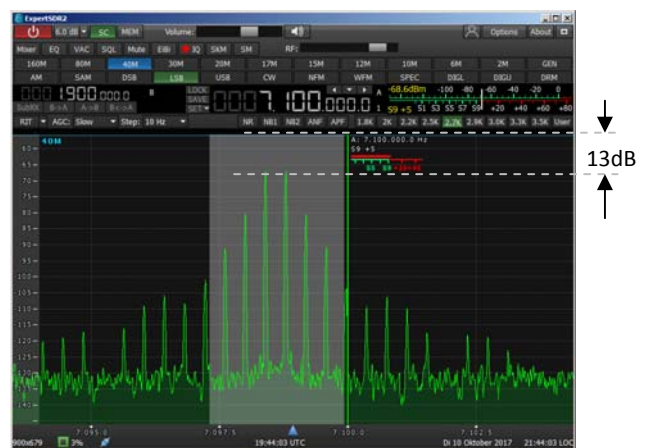


Bild 8: IMD verursacht durch die Signalaufbereitung



IMD verursacht durch Übersteuerung der PA

Zusammenfassung

Mit Hilfe von Rauschsignalen im NF- und HF-Bereich lassen sich viele Messungen an Sendern und Empfängern durchführen, so dass teure Signalgeneratoren gar nicht erforderlich sind. Mit einem HF-Rauschgenerator kann man z.B. die Grenzempfindlichkeit eines Empfängers ermitteln, die dann erreicht wird, wenn das das eingespeiste Rauschsignal 3dB über dem Grundrauschen liegt. Weiterhin läßt sich die Großsignalfestigkeit analoger- und digitaler Empfänger mit weißem Rauschen messen,

indem das maximale NPR = Noise Power Ratio (Rausch-Leistungsverhältnis) ermittelt wird. Bei digitalen Empfängern (SDR, ADC) ist dies gleichzeitig die einzige Möglichkeit, den IM-freien Empfangsbereich zu bestimmen, da eine standardmäßige 2-Ton IM3-Messungen (wie bei analogen Empfängern durchgeführt) keine Gültigkeit mehr besitzt (2).

Verwendete Messtechnik



Bild 9: SDR-ColibriNANO, NF-Rauschgenerator, stellbares Dämpfungsglied, 20W-Abschlußwiderstand

Literatur:

- (1) In-Band IM3-Messungen am Beispiel des IC7800**, W. Schnorrenberg, DC4KU
http://www.dc4ku.darc.de/Inband_Intermodulation.pdf
<http://www.ab4oj.com/test/imdtest/main.html>
- (2) Noise Power Ratio (NPR)**, W. Schnorrenberg, DC4KU
FUNKAMATEUR 12/2017, 01/2018