

Klirrfaktor-Einstellung des NF-Doppeltongenerators

Die im Bericht "NF-Doppeltongenerator für IM₃-Messungen an SSB-Sendern" (1) eingesetzten NF-Generatoren müssen beide auf sehr geringen Klirrfaktor (Oberwellengehalt) eingestellt werden. Sind die Signale des Doppeltongenerators verzerrt, dann gehen auch die Oberwellen in die zu messenden Intermodulationsprodukte des SSB-Senders mit ein und können die Meßergebnisse verfälschen. Der Klirrfaktor eines Sinus-Signals ist aber nicht so einfach zu ermitteln. Messungen im Zeitbereich, z.B. mit einem Oszilloskop, bringen keine brauchbaren Ergebnisse (Bild 2). Lediglich Messungen im Frequenzbereich - mit Hilfe eines HF-Spektrumanalysators oder NF-Audio-Testers - führen zum Erfolg. Leider sind HF-Spektrumanalysatoren sehr kostspielig, aber auch hier kann uns ein einfacher USB "SDR-Receiver" (für ca. € 30,-) in der Funktion als "Spektrumanalysator" weiter helfen.

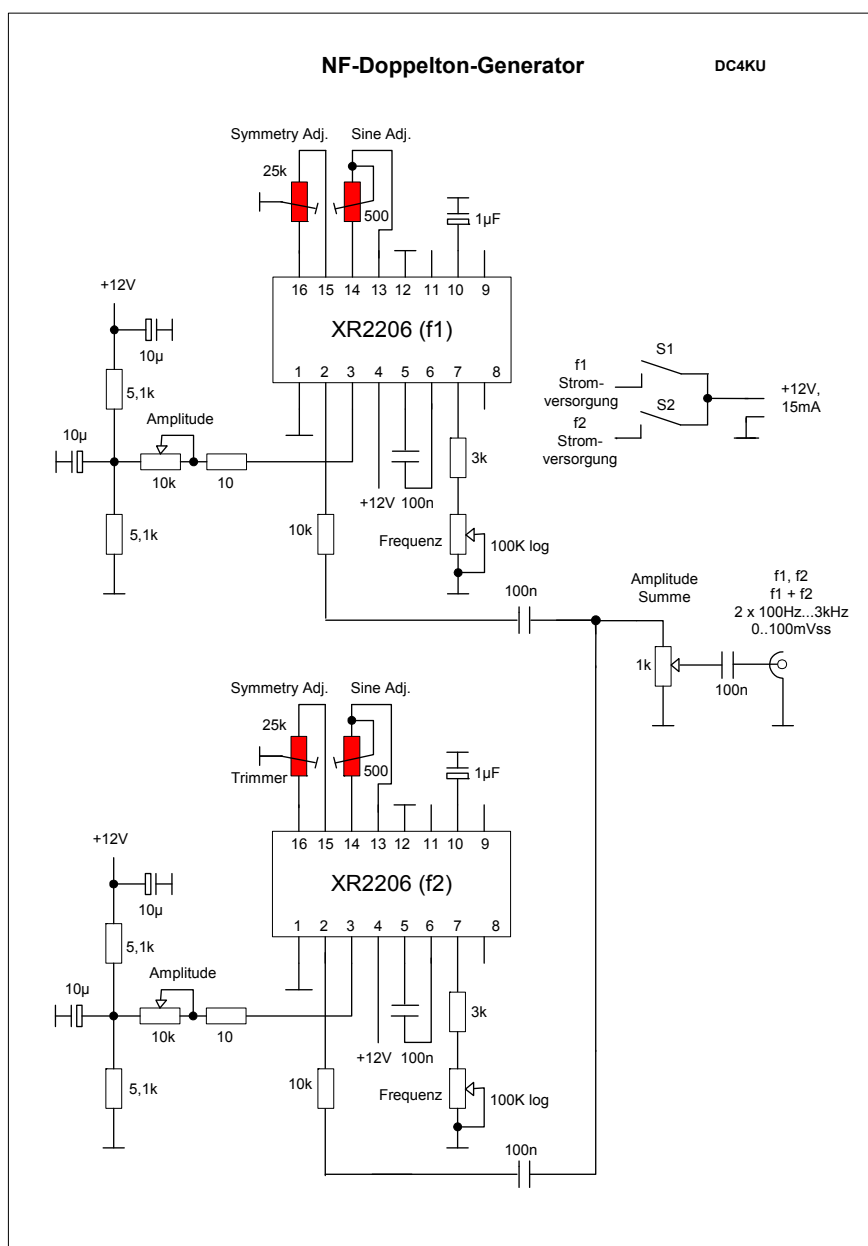


Bild 1: Schaltplan eines NF-Doppeltongenerators für IM₃-Messungen (in rot: Potis zur Klirrfaktor-Einstellung)

Bild 1 zeigt den verwendeten NF-Doppeltongenerator und **Bild 2** die beiden NF-Sinus-Ausgangssignale mit den Tonfrequenzen von z.B. 700Hz und 1200Hz. Die Schirmbildaufnahmen am Oszilloskop lassen nicht erkennen, ob der Klirrfaktor der NF-Generatoren z.B. 0,1%, 5% oder mehr beträgt.

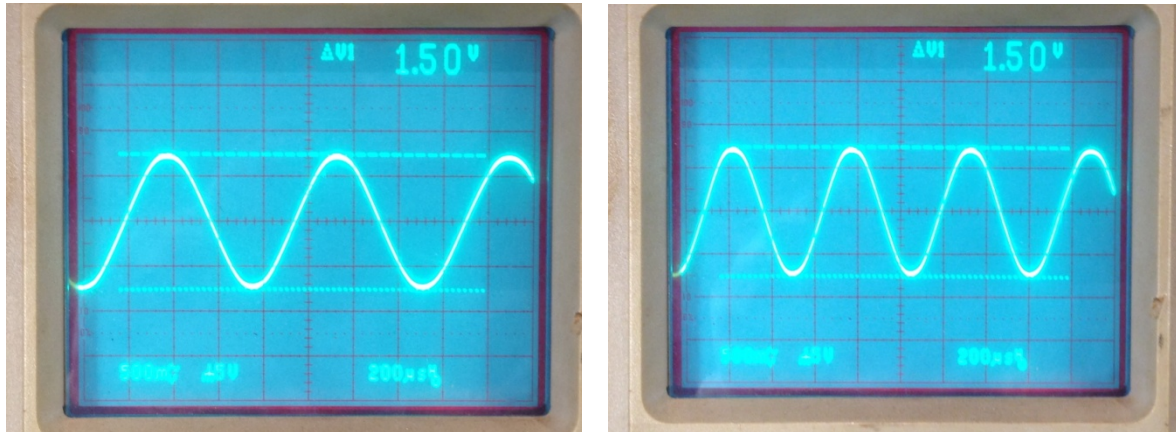


Bild 2: Ausgangssignale des Doppeltongenerators f1 (715Hz) und f2 (1050Hz) am Oszilloskop

1. Klirrfaktormessung im HF-Bereich

Zur Messung des NF-Klirrfaktors (**Bild 3**), verbinden wir einzeln die NF-Ausgangssignale (f1, f2) des Doppelton-Generators (über die Schalter S1, S2 in Bild 1) mit dem Mikrofoneingang unseres SSB-Transmitters und schauen uns das entstehende HF-Ausgangssignal (Spektrum) am SDR-Receiver an.

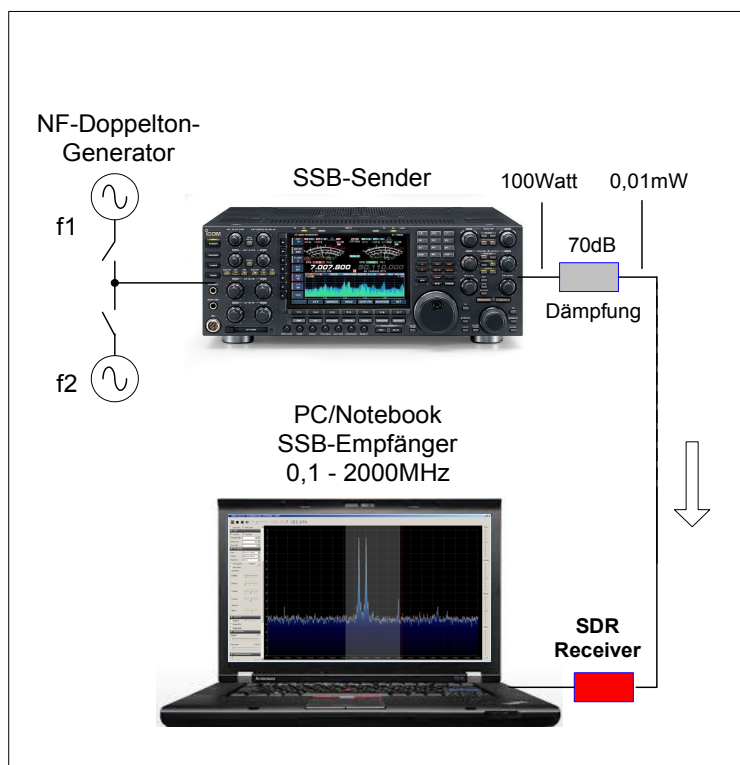


Bild 3: Messung der Tonfrequenzen mit Hilfe eines SDR-Receivers (als Spektrumanalysator)

Hierbei wird der Eingang des SDR-Receiver direkt mit dem HF-Ausgang des SSB-Senders verbunden. Aber Vorsicht! Der USB-Stick verträgt max. -20dBm (0,01mW) Eingangsleistung und sollte nicht übersteuert werden!

Bei 1 Watt HF-Ausgangsleistung benötigt man ein Dämpfungsglied von minimal 50dB, und bei 100 Watt minimal 70dB. Der Sender sollte bei dieser Messung grundsätzlich auf seine minimal mögliche Ausgangsleistung eingestellt werden. Nur so ist sichergestellt, dass er selbst keinen Klirrfaktor bzw. Intermodulation erzeugt.

Zu Beachten:

- Beide NF-Frequenzen müssen so gewählt werden, dass zumindest die erste und wenn möglich auch die zweite Harmonische noch in die Bandbreite des SSB-Filters (BB = 2,4kHz) fällt. Liegen die Oberwellen oberhalb der Auflösungsbandbreite des Filters, werden sie von der Filterflanke unterdrückt und das Messergebnis ist falsch.
- Die NF-Regelung/AGC des Mikrofonverstärkers sollte bei dieser Messung abgeschaltet werden.

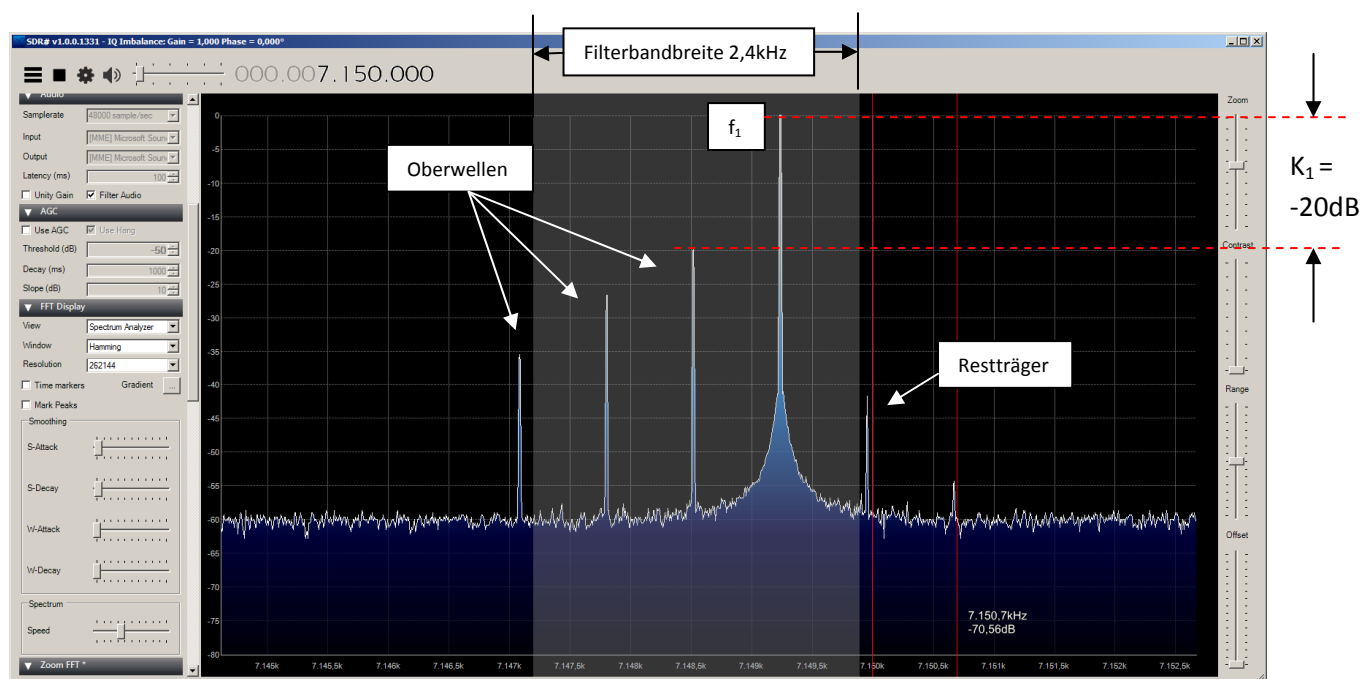


Bild 4: Tonfrequenz $f_1=715\text{Hz}$ und dessen Harmonische im 40m-Band, USB, Klirrfaktor 10%!

Im Schirmbild des Notebook/PC (**Bild 4**) ist das NF-Nutzsignal (hier bei $f_1=750\text{Hz}$), als auch die 1., 2. und 3. Oberwelle deutlich sichtbar. Der starke Klirrfaktor des Sinus-Generators ist im Frequenzbereich sofort erkennbar! Die erste Oberwelle ist nur um 20dB unterdrückt. Der daraus resultierende Klirrfaktor beträgt 10% und ist für IM_3 -Messungen viel zu hoch. Wenn das zweite NF-Signal des Generators ebenfalls diesen hohen Klirrfaktor (Verzerrung) besitzt und beide Signale würden für IM_3 -Messungen verwendet, dann würden sich die starken Oberwellen mit den Nutzprodukten intermodulieren und die Meßergebnisse negativ beeinflussen. Es gilt also, den Klirrfaktor zu verringern.

Dazu werden die beiden Poties "Symmetry Adjust" und "Sine Adjust" im Schaltbild des Doppelton-Generators (**s. Bild 1, rot markiert**) abwechselnd so eingestellt, bis sich ein minimaler Klirrfaktor (Oberwellengehalt) ergibt. Das Ergebnis nach erfolgreichem Abgleich zeigt **Bild 5 und Bild 6**.

Die 1. Oberwelle beider Ton-Signale ist um 45dB unterdrückt, und der Klirrfaktor beider Signale

beträgt somit nur noch 0,5%. Dieser geringe Klirrfaktor fällt bei IM_3 -Messungen nicht mehr störend ins Gewicht.

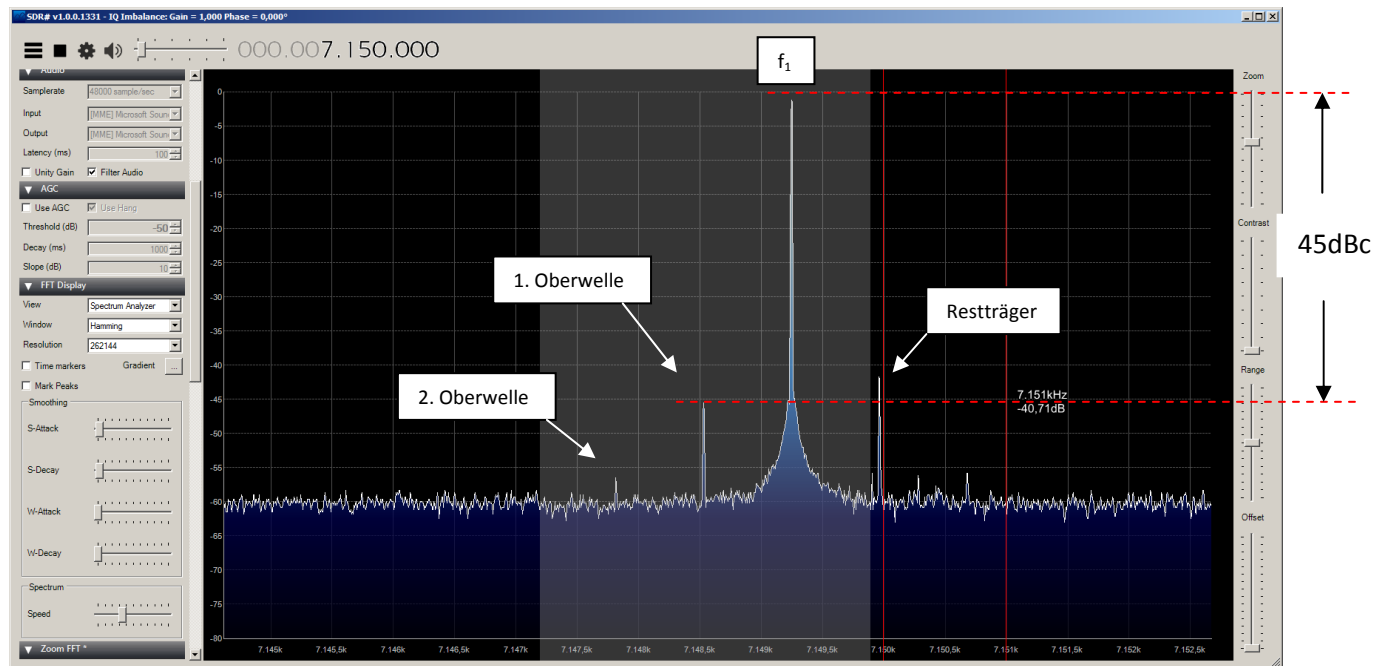


Bild 5: $f_1=715\text{Hz}$ nach Abgleich auf kleinsten Klirrfaktor

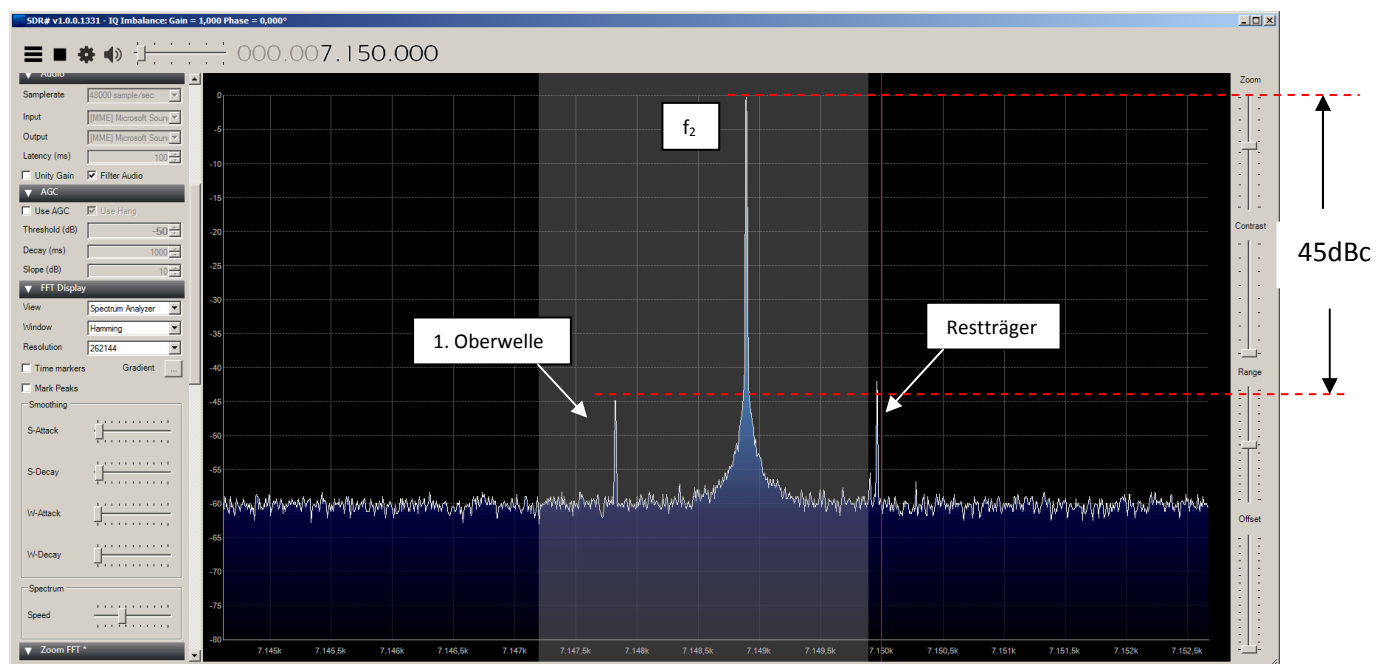


Bild 6: $f_2=1050\text{Hz}$ nach Abgleich auf kleinsten Klirrfaktor

Erst nachdem beide NF-Signaltöne auf geringsten Klirrfaktor eingestellt wurden, kann der NF-Doppelton-Generator für IM_3 -Messungen an HF-Sendern eingesetzt werden. **Bild 7** zeigt das Spektrum meines SSB-Senders bei Einspeisung des Doppeltonsignals. Die HF-Ausgangsleistung des Senders wurde auf einen kleinen Wert reduziert (<1Watt), so dass sicher gestellt ist, dass der Sender bei dieser Messung selbst keine nennenswerten Verzerrungen erzeugt.

Die gemessenen IM_3 -Störprodukte sind um 55dB unterdrückt und die Oberwellen um 50dB, demnach ist der NF-Doppeltongenerator für Intermodulationsmessungen (IM_3 und IP_3) bestens geeignet.

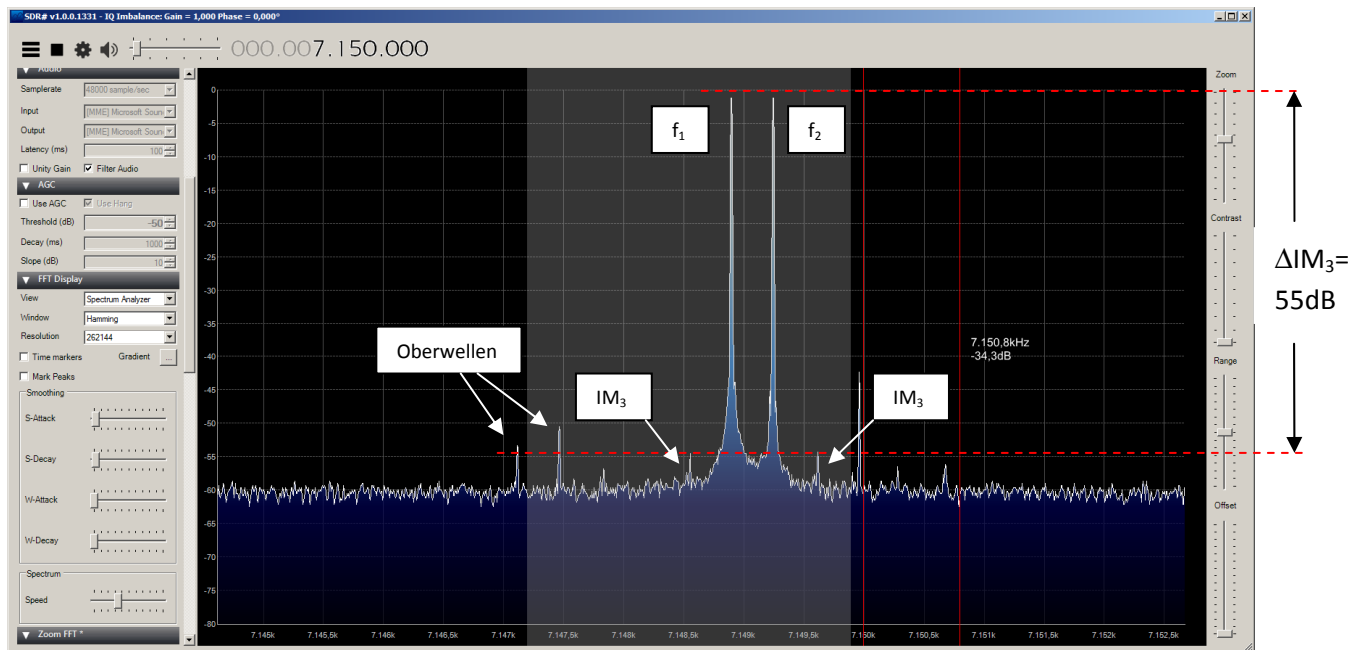


Bild 7: f_1+f_2 , Doppeltongsignal des SSB-Senders bei geringer HF-Ausgangsleistung, $\Delta IM_3 = 55dB$

Das Intermodulationsspektrum einer 10 Watt SSB-Endstufe zeigt **Bild 8**. Die Intermodulationsprodukte 3. Ordnung sind um 35dB unterdrückt, bezogen auf PEP 41dB. (Verzerrung <1%). Die Qualität des Sendesignals ist demnach gut und Signalverzerrungen sind im Empfänger nicht hörbar.

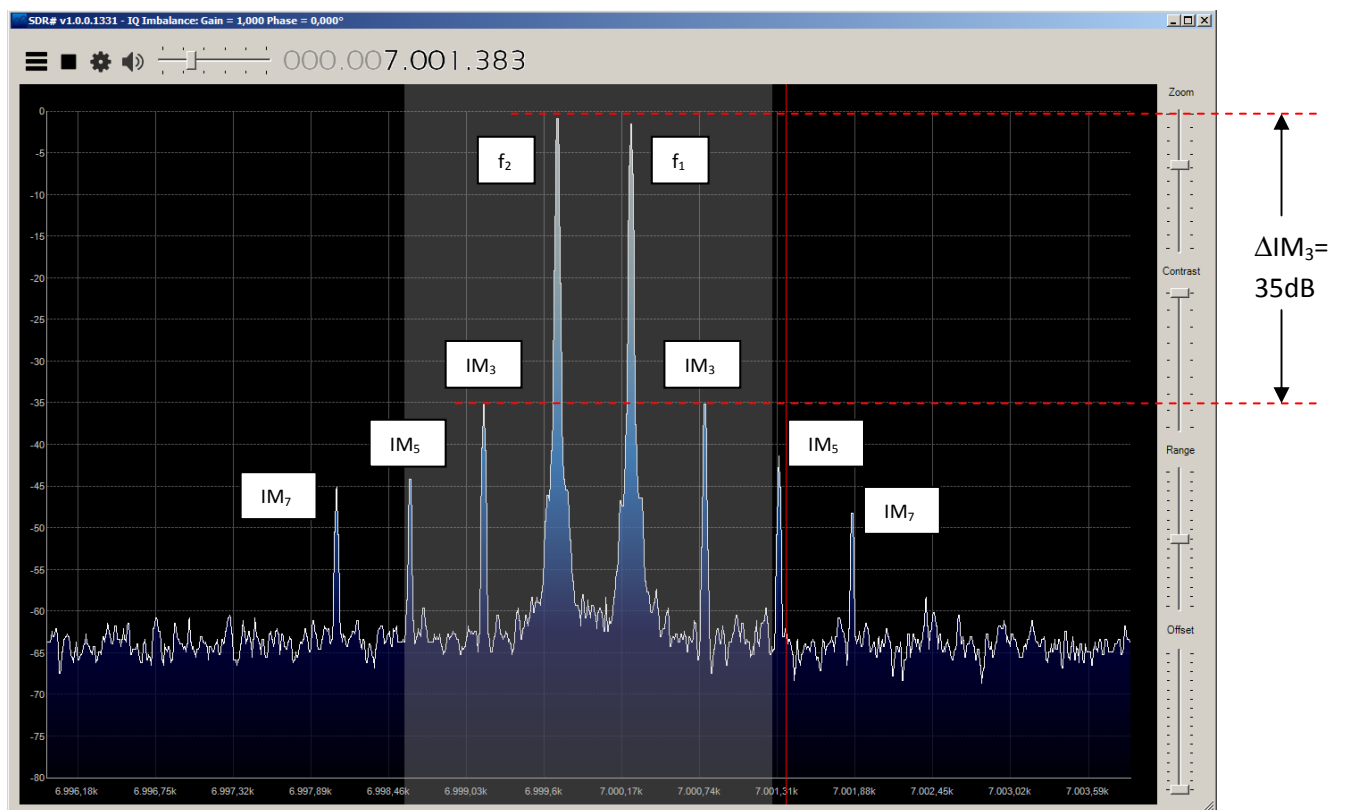


Bild 8: "Sauberes" Doppeltong-Spektrum einer 10 Watt-Endstufe bei "In-Band Intermodulation"

Folgende Meßergebnisse können vom Bildschirm direkt abgelesen werden:

IM₃: $2f_1-f_2$, $2f_2-f_1$ Differenz zu Nutzsignalen: 35dBc, bezogen auf PEP 41dBc

IM₅: $3f_1-2f_2$, $3f_2-2f_1$ bei -43dBc

IM₇: $4f_1-3f_2$, $4f_2-3f_1$ bei -45dBc

Wird die PA zu weit ausgesteuert, entsteht ein Spektrum nach **Bild 9**. Das Sendesignal kommt in Begrenzung, der IM₃-Abstand beträgt nur noch 15dB und die daraus resultierenden Signalverzerrungen sind im Empfänger schon deutlich hörbar. Das SSB-Signal hört sich hart und gepresst an. Außerdem wird das Signal breiter und splättert schon etwas in die Nachbarkanäle.

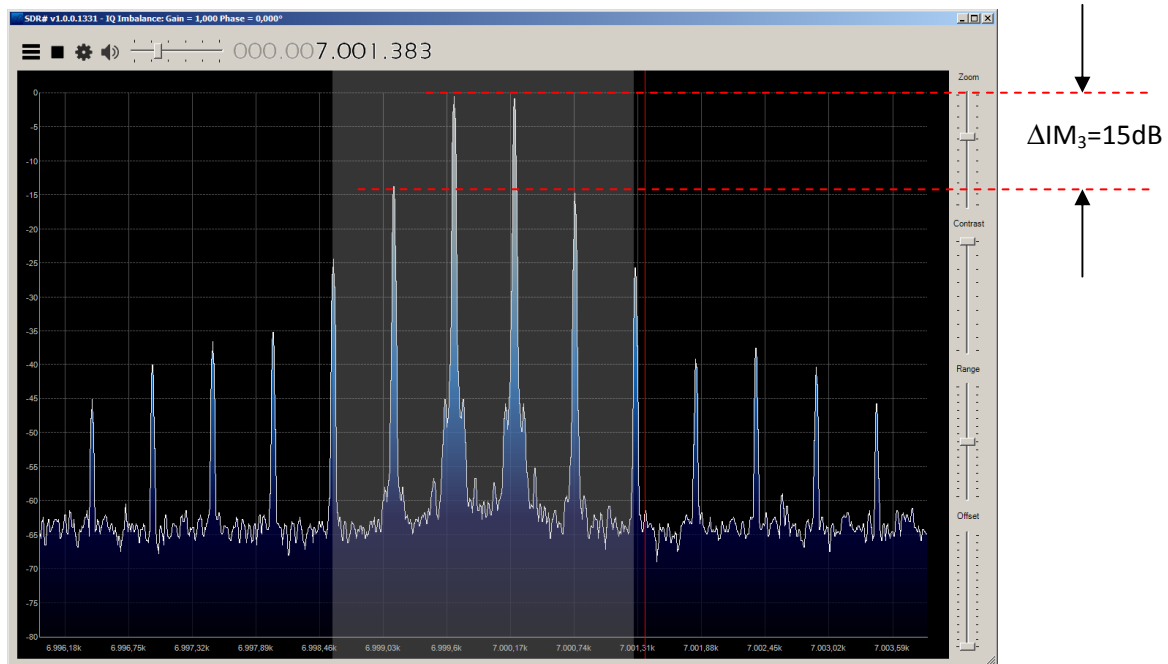


Bild 9: Übersteuerte PA bei 18 Watt, Endstufe in Kompression, der IM₃-Abstand beträgt nur noch 15dB

2. Klirrfaktormessung im NF-Bereich

Natürlich läßt sich der Klirrfaktor der Doppeltonsignale auch direkt im NF-Bereich messen. Hierzu verbindet man den 2-Ton Generator mit dem Mikrofoneingang eines PC's und analysiert das Signal im Frequenzbereich mit Hilfe einer FFT-Software (**Bild 10**). (z.B.: <http://www.audiotester.de>)

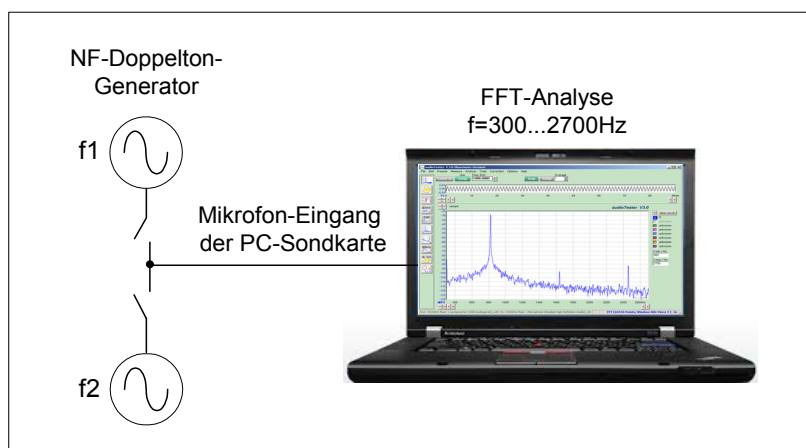


Bild 10: NF-Klirrfaktormessung über PC-Soundkarte

Das Spektrum eines auf geringen Klirrfaktor abgeglichenen 2-Ton Signals bei $f_1=1150\text{Hz}$ und $f_2=1600\text{Hz}$ ($\Delta f=450\text{Hz}$) zeigt **Bild 11** Der dargestellte Frequenzbereich betragt 0-5kHz, so dass noch die Oberwellen beider Signale bis zur dritten Harmonischen sichtbar sind. Nach Abgleich betragt der Nebenwellenabstand ca. 60dBc (THD=0,1%). Die gepunktete rote Linie zeigt die Bandbreite des SSB-Filters von 300-2700Hz (BB=2400Hz). Alle Frequenzen oberhalb 2,7kHz werden vom SSB-Filter abgeschnitten.

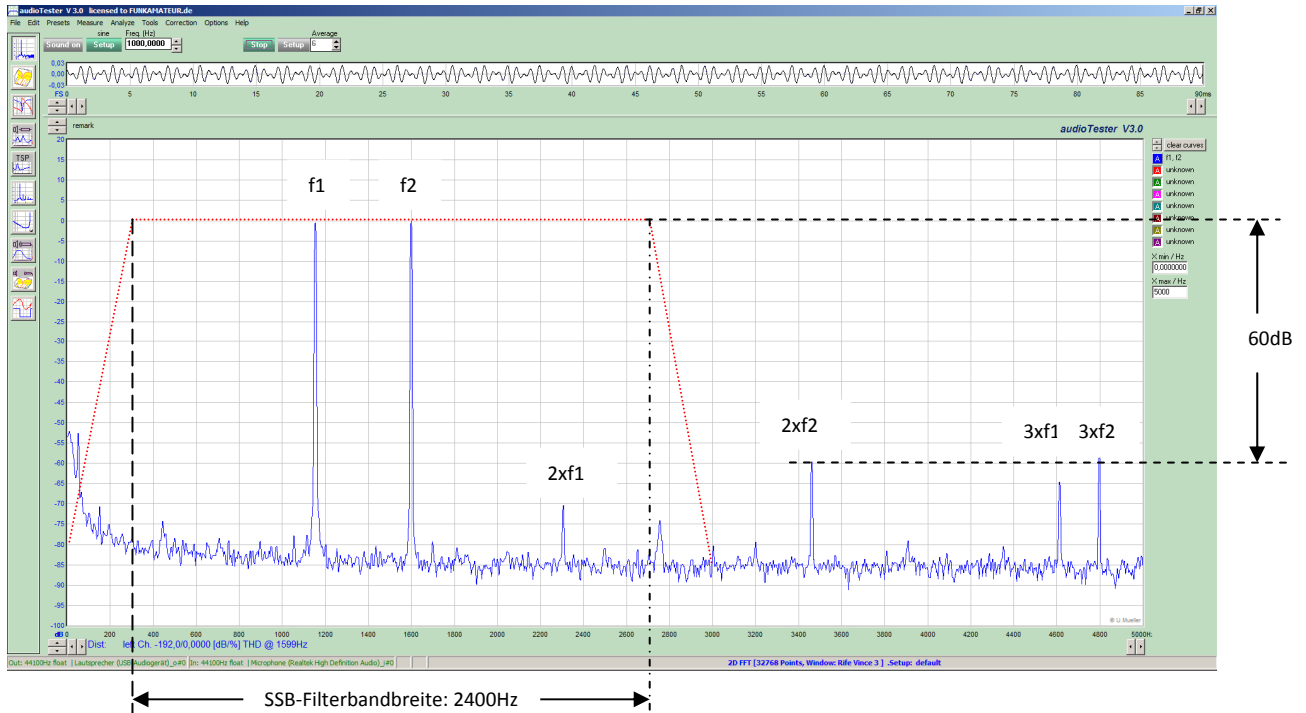


Bild 11: 2-Ton Signal mit geringem Klirrfaktor, THD=0,1%

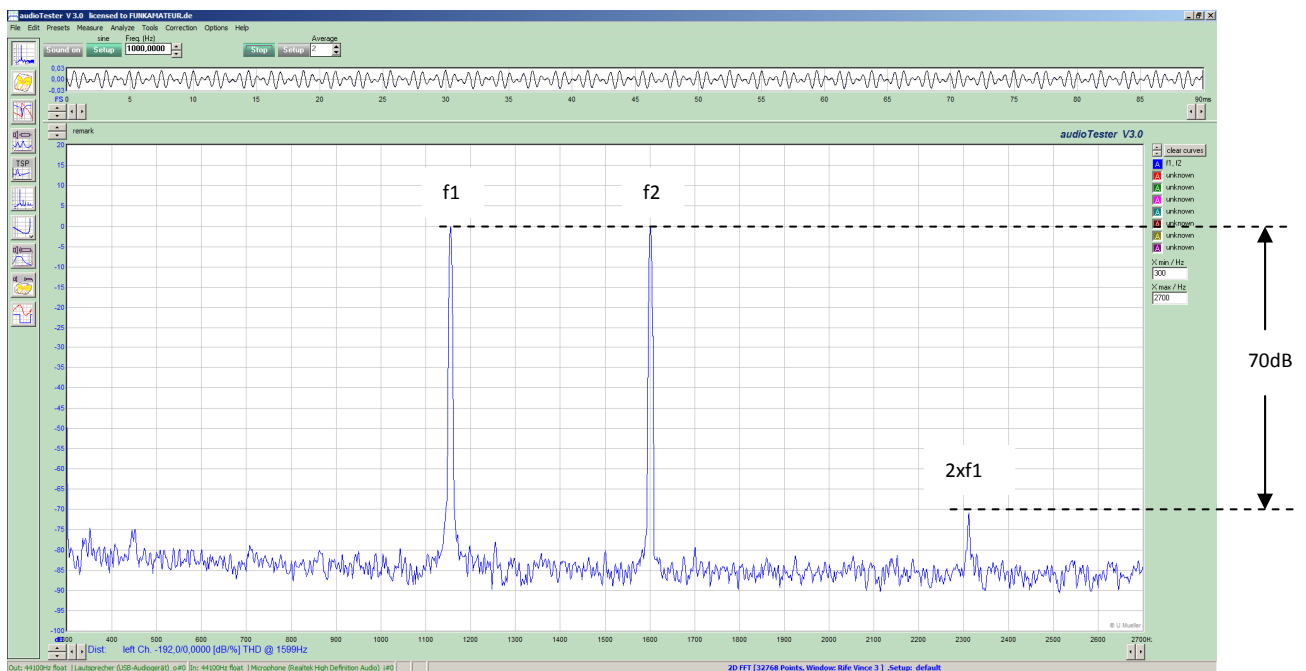


Bild 12: Spektrum innerhalb des SSB-Einseitenband-Filters (f=300-2700Hz)

Weiterhin ist erkennbar, dass das 2-Ton Modulationssignal selbst keine Intermodulation erzeugt.

Anmerkung:

Die direkte Messung des Klirrfaktors im NF-Bereich bringt im Regelfall einen etwas geringeren Klirrfaktor als die Messung im HF-Bereich, weil bei der Messung im HF-Bereich der gesamte SSB-Sender in die Klirrfaktormessung mit einbezogen wird und dadurch den Klirrfaktor etwas verschlechtert. Die Klirrfaktormessung im HF-Bereich entspricht demnach den tatsächlichen Gegebenheiten.

Literatur**(1) NF-Doppelton-Generator für IM3-Messungen an SSB-Sendern**

<https://dc4ku.darc.de/NF-Doppelton-Generator.pdf>

(2) Applikationen eines SDR-Receiver, SDR-Receiver als Spektrumanalysator

<https://dc4ku.darc.de/Applikationen eines SDR-Receiver.pdf>

Werner Schnorrenberg

DC4KU, dc4ku@darc.de

29.06.2015

Rev.: 10.08.2015