

Intermodulationsmessung an HF-Sendern und HF-Endstufen (PA)

Inhalt	Seite
1. Theorie - Nichtlineare Verzerrungen	1
1.1 Zur Entstehung von Intermodulation	2
2. Intermodulationsmessung an einem KW-SSB-Transmitter	3
2.1 Niederfrequenz 2-Ton Generator	4
2.2 Messung der Intermodulation eines SSB-Transmitters	7
2.3 Ergebnis der Messung	8
2.4 Übersteuerung des SSB-Transmitters	8
3. Intermodulationsmessung an einer Leistungsstufe (PA)	9
3.1 Hochfrequenz 2-Ton Generator	9
3.2 Messung der Intermodulation einer Leistungsstufe (PA)	11
3.3 Ergebnis der Messung	12
3.4 Übersteuerung der PA	12
4. Zusammenfassung	12

Die Linearität ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal von SSB-Sendern und Leistungsstufen. Hierbei interessiert den Anwender insbesondere, wie groß der Pegelabstand zwischen den Nutzsignalen (der Sprachmodulation) und den entstehenden Störsignalen (IM, Oberwellen, Mischprodukte) des Senders bei seiner maximal zulässigen Aussteuerung (PEP) ist. Je höher der Abstand zwischen den Nutz- und Störprodukten ist, um so besser ist die Qualität des Senders. Nachfolgend soll die Intermodulationsmessung an einem SSB-Transmitter sowie an einer SSB-Leistungsstufe (PA) näher beschrieben werden.

1. Theorie - Nichtlineare Verzerrungen

Der nutzbare Dynamikbereich eines Übertragungsvierpols - z. B. eines Verstärkers oder Mischers - wird zu kleinen Pegeln hin durch das Eigenrauschen und in Richtung größerer Pegel durch das Auftauchen von Störsignalen begrenzt, die durch endliche Linearität des Übertragungsvierpols hervorgerufen werden. Diese Störsignale sind Intermodulationsprodukte (IM) und Klirrpunkte (Oberwellen), die bei Aussteuerung des Vierpols oberhalb seines spezifizierten bzw. max. zulässigen Eingangspegels entstehen können. Die durch nichtlineare Verzerrung (Kompression) entstehenden Oberwellen eines HF-Verstärkers können meist durch Tiefpaßfilterung auf ein Mindestmaß abgedämpft werden, so dass sie nicht mehr störend in Erscheinung treten. Intermodulationsstörungen (IM) hingegen treten in direkter Nachbarschaft der Nutzsignale auf und können durch Filterung nicht mehr beseitigt werden. Insbesondere die Übertragung amplitudenmodulierter Signale, wie z. B. AM-Rundfunk, Flugfunk und SSB, kann durch Intermodulation erheblich gestört werden, wobei die Störungen sowohl im Sender als auch im Empfänger entstehen können.

1.1 Zur Entstehung von Intermodulation

Allgemein gilt: Wird auf dem Eingang eines Übertragungsvierpols mit einer nichtlinearen Übertragungsfunktion mehr als ein Signal gegeben (Mehrton-Aussteuerung), dann treten am Ausgang durch Summen- und Differenzbildung der Nutzsignale zusätzliche Intermodulationsprodukte verschiedener Ordnungszahlen auf. Von diesen Störkomponenten interessieren in der Praxis hauptsächlich die Intermodulationsprodukte dritter und fünfter (ungerader) Ordnung, weil diese in den engeren Bereich um die Nutzsignale fallen.

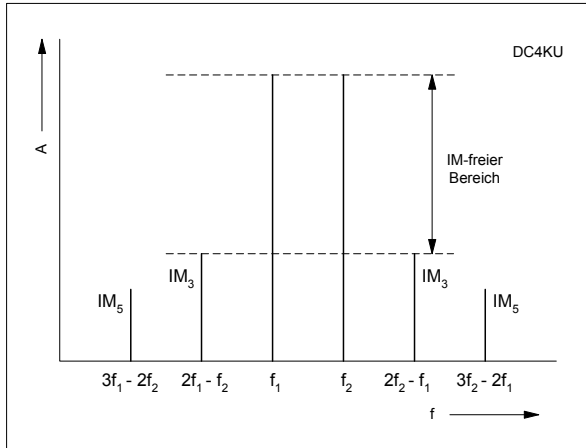


Bild 1: Definition der Intermodulation

Für zwei Signalfrequenzen f_1 und f_2 entstehen nach Abb. 1 IM-Störprodukte dritter Ordnung (IM_3) bei: $2f_1 - f_2$, $2f_2 - f_1$ und fünfter Ordnung (IM_5) bei: $3f_1 - 2f_2$, $3f_2 - 2f_1$.

Eine gekrümmte Mischer- oder Verstärkerkennlinie hat die allgemeine Form:

$$i = K_1(U - U_K) + K_2(U - U_K)^2 + K_3(U - U_K)^3 + \dots$$

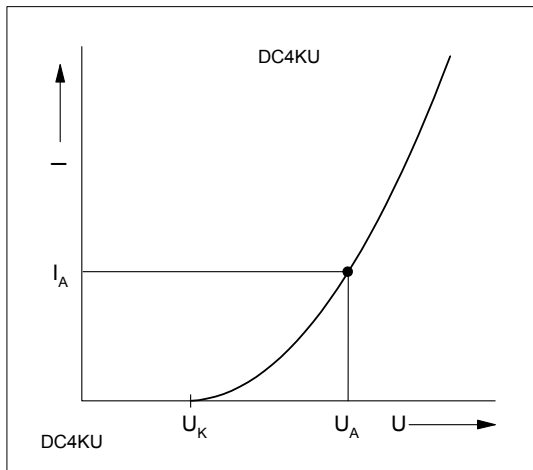


Bild 2: Dioden bzw. Transistorkennlinie: Intermodulation kann nur an einer Kennlinie mit kubischem Verlaufs-Anteil entstehen

Das Ergebnis einer mathematischen Auflösung (Additionstheoreme) der oben genannten Potenzreihe - die zur Vereinfachung nach dem dritten Glied abgebrochen wurde - zeigt, dass Intermodulation und Kreuzmodulation (Modulationsübernahme) nur an einer gekrümmten Kennlinie mit kubischem Anteil entstehen können. An dem quadratischen und linearen Teil der Kennlinie entstehen zu den Grundwellen nur Mischprodukte (Summen- und Differenzfrequenz) sowie die Oberwellen (Klirrfaktor) der Eingangssignale. Als ein praktisches Beispiel zeigt **Bild 3** die Entstehung typischer Störprodukte von nur zwei Nutzsignalen bei $f_1=6,5\text{MHz}$ und $f_2=8\text{MHz}$.

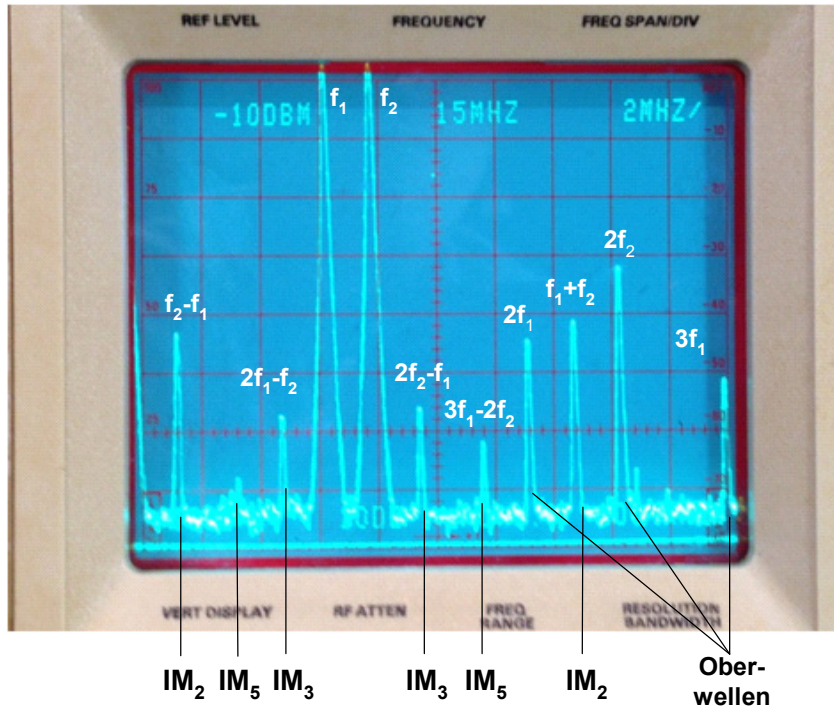


Bild 3: Entstehung von Intermodulation, Mischprodukten und Oberwellen bei Aussteuerung einer gekrümmten Übertragungskennlinie mit einem Zwei-Ton-Signal (f_1, f_2).

2. Intermodulationsmessung an einem KW-SSB-Transmitters

Nachfolgend sollen die IM-Verzerrungen eines KW-Senders ermittelt werden, dessen maximale Ausgangsleistung 10Watt PEP entspricht. Zur Messung der Linearität des Senders, werden zwei Niederfrequenz-Signale (f_1, f_2) unterschiedlicher Frequenz in den Mikrofoneingang des Senders eingespeist. Bei dieser Messung werden im Messergebnis alle Stufen des Transverters mit einbezogen, angefangen vom Mikrofonverstärker, über Mischer, ZF-Verstärker, ZF-Filter, usw. bis hin zur Endstufe, genau so, wie beim besprechen des Mikrofons. Die Resultate der Intermodulationsmessung entsprechen damit ziemlich genau den entstehenden Intermodulationsabständen im praktischen Betrieb.

Den Messaufbau der Intermodulationsmessung zeigt **Bild 4**. Im Beispiel arbeitet der Sender im 40m-Band bei 7MHz. Dem Ausgang des Senders folgt ein 40dB-Dämpfungsglied, damit der Analysator vor zu hohen Spannungen geschützt ist. Als Leistungsmessgerät kann zusätzlich ein SWR-Wattmeter zwischen geschaltet werden.

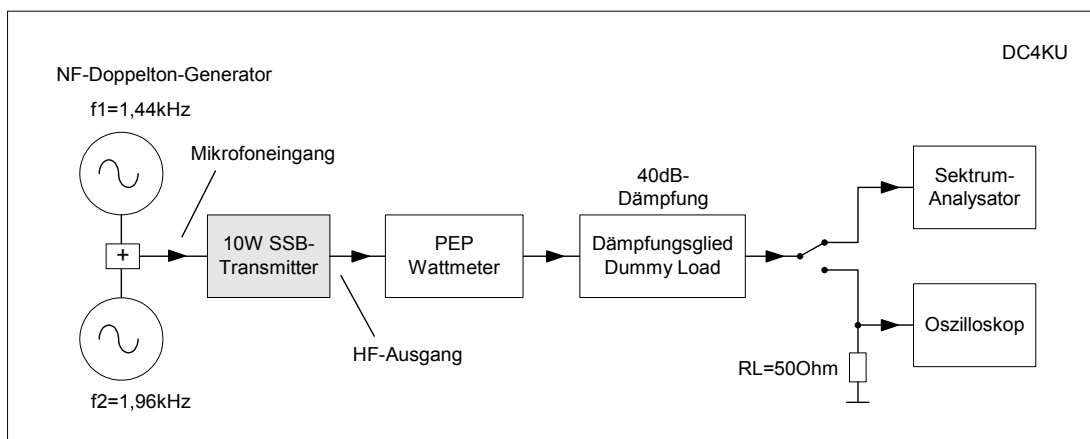


Bild 4: Messaufbau der Intermodulationsmessung an einem SSB-Transmitter

Bei der Wahl des NF-Doppeltons gibt etwas zu beachten. Zunächst könnte man meinen, egal mit welchen Tonfrequenzen gearbeitet wird, Hauptsache sie passen beide in die Übertragungsbandbreite (0,3..2,7kHz) des SSB-Filters. Für IM_3 -Messungen werden häufig weit auseinander liegende Tonfrequenzen benutzt, wie z.B. $f_1=500\text{Hz}$ und $f_2=2200\text{Hz}$ oder $f_1=700\text{Hz}$ und $f_2=1900\text{Hz}$, was jedoch ungünstig ist.

Die Problematik eines zu groß gewählten Doppeltonabstands zeigt **Bild 5**. Die Töne von 500Hz und 2200Hz passen zwar beide in den Durchlaßbereich des 1. ZF-Filters, die vor dem Filter entstehenden Intermodulationsprodukte werden jedoch durch die Filterflanken abgeschnitten, sie werden nicht weiter geleitet und kommen demnach auch nicht zu Anzeige.

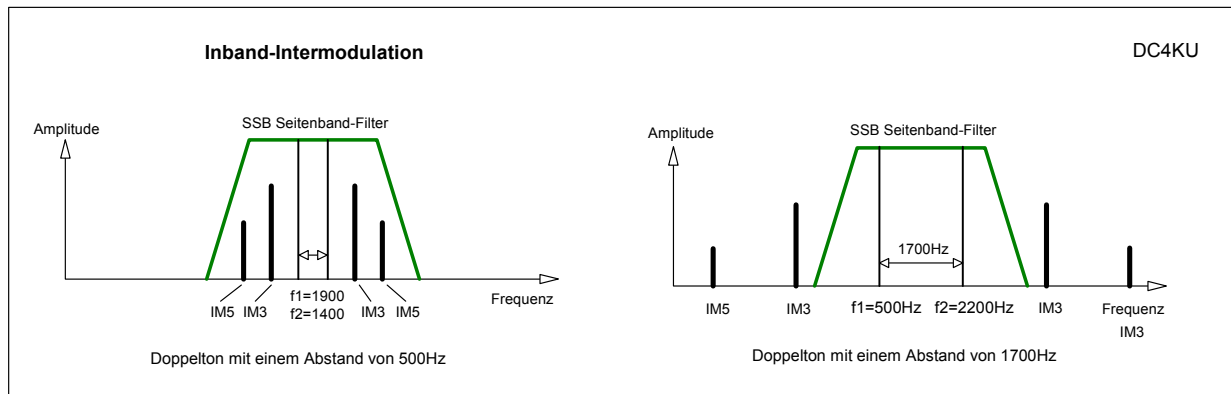


Bild 5: In-Band-Intermodulationsmessung

Bei einem ungünstig eingestellten oder defekten Mikrofonverstärker (Clipper, Compressor) können schon in den ersten Stufen des Senders IM-Verzerrungen entstehen, die bei falsch gewählten Tonabständen nicht zur Anzeige kommen würden. Um eine Fehlmessung zu verhindern, müssen die Doppeltöne demnach sehr dicht beieinander liegen und möglichst in der Filtermitte positioniert werden, so dass die benachbarten IM-Produkte noch mit übertragen werden. Im meinem Beispielen arbeitet der NF-Doppelton-Generator mit den Frequenzen $f_1=1440\text{Hz}$ und $f_2=1960\text{Hz}$, $\Delta f = 520\text{Hz}$.

Eine ähnliche Problematik zeigt sich bei Messungen der Großsignalfestigkeit von HF-Empfängern. Auch hier wird häufig mit zu großen Signalabständen gemessen und das Ergebnis der Intermodulationsfestigkeit (IP_3) auf diese Weise (meist unwissentlich) "geschönt". In (1) wurde darüber berichtet.

2.1 Niederfrequenz 2-Ton Generator

Die Schaltung eines geeigneten NF-Doppeltongenerators, aufgebaut mit zwei Funktionsgenerator IC's XR-2206, zeigt **Bild 6**. Die Frequenzen und Pegel beider Sinus-Generatoren sind zwischen 100Hz und 3kHz einstellbar und der Klirrfaktor beträgt in abgeglichenen Zustand nur 0,5% (46dBc). Der Abgleich auf geringsten Klirrfaktor erfolgt über die Trimmer 'Symmetry Adjust' und 'Sine Adjust'. **Bild 7 und 8** zeige die Wechselspannungen der NF-Ausgangssignale, die Einzelsignale und die die 2-Ton Signale.

Der Klirrfaktor beider NF-Signale sollte möglichst gering sein. Wenn die Tonfrequenz z.B. 800Hz beträgt, dann tauchen deren Oberwellen bei 1600Hz und 2400Hz im Display des Analysators ebenfalls auf und können bei der Analyse der Intermodulationsprodukte stören. Dies sollte beim Aufbau des verwendeten Doppelton-Generators (egal, welche Schaltung verwendet wird) beachtet werden.

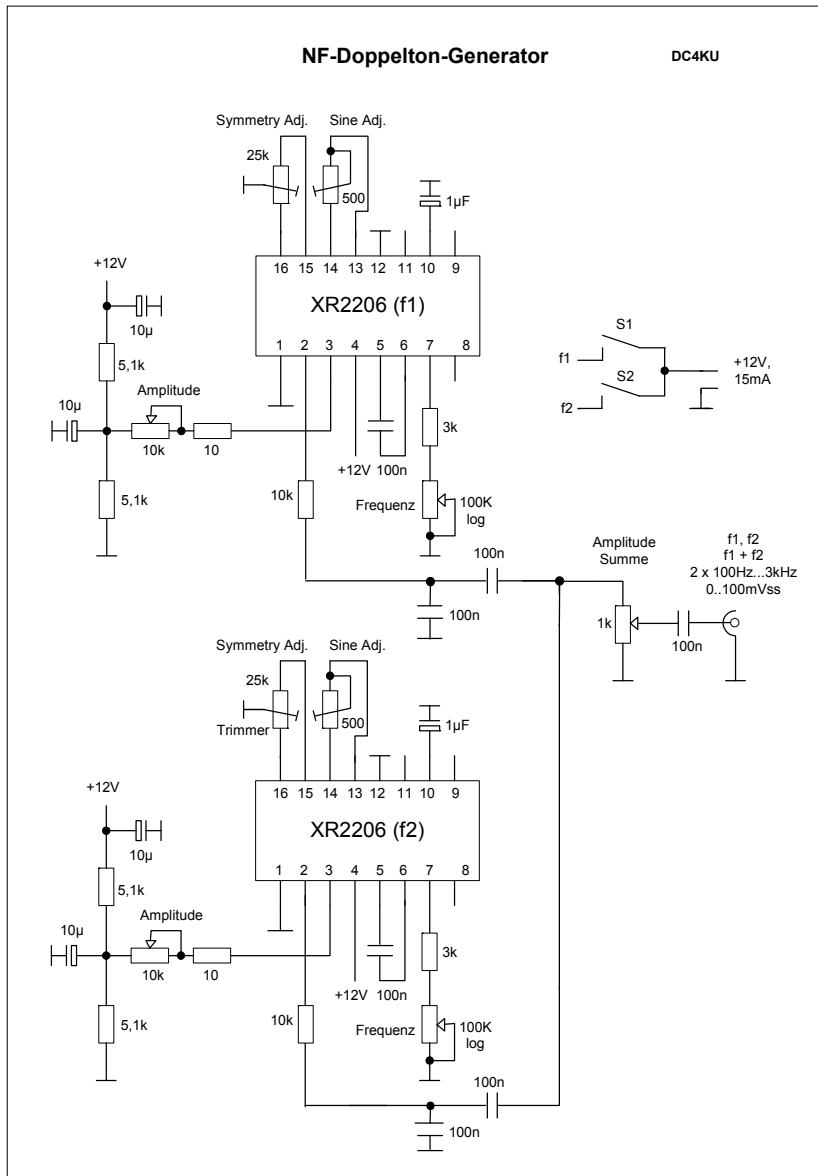


Bild 6: Schaltplan NF-Doppeltongenerator mit guter Oberwellenunterdrückung

Die einzelnen NF-Sinussignale des Doppeltongenerators und das Summensignal am Mikrofoneingang des Senders zeigt Bild 12 und 13.

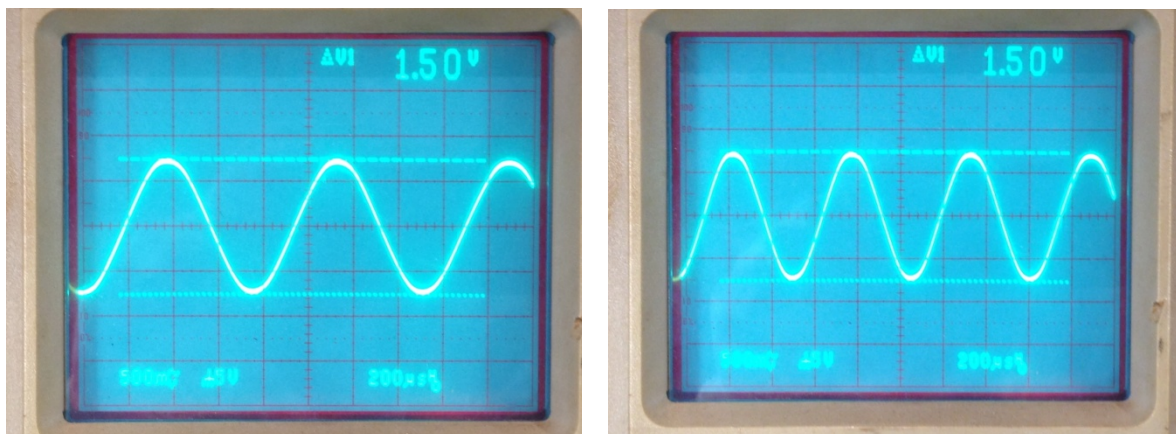


Bild 7: NF-Ausgangssignale Doppeltongenerator f1 (links) und f2 (rechts)

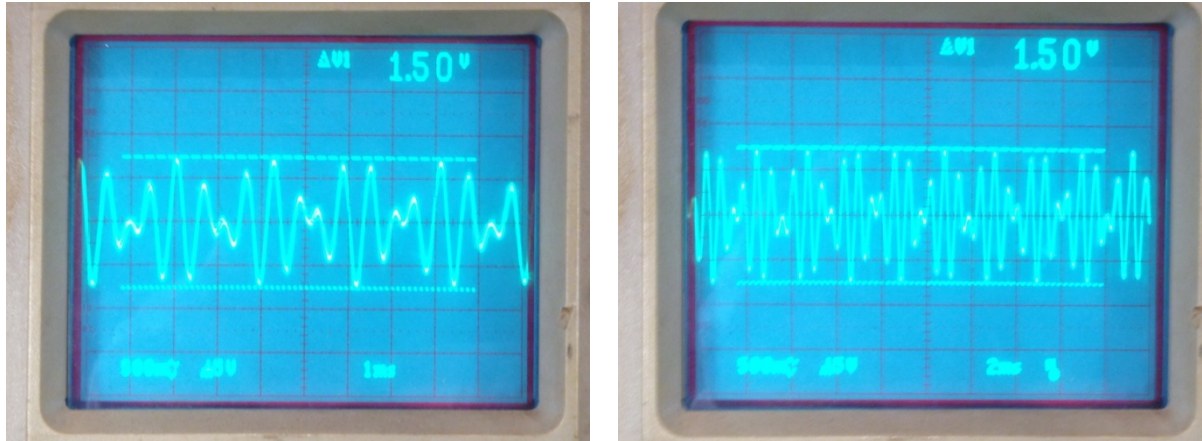


Bild 8: NF-Doppeltonsignal $f_1 + f_2$, Schwebungssignal am Mikrofoneingang

NF-Doppeltongenerator in unterschiedlichen Gehäusen, Mikrofon-Anschlußkabel zum Transceiver und PTT-Schalter, Rückseite mit Meßausgängen von f_1 und f_2 , MIC-Anschlusskabel und 12V-DC-Eingang.

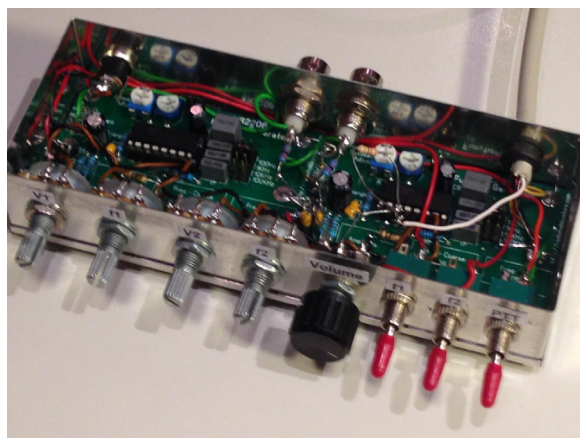
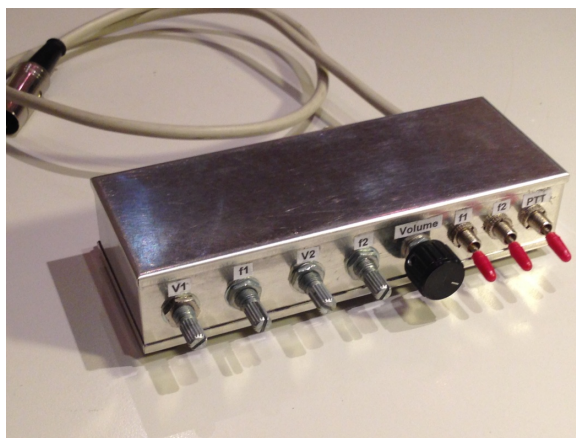
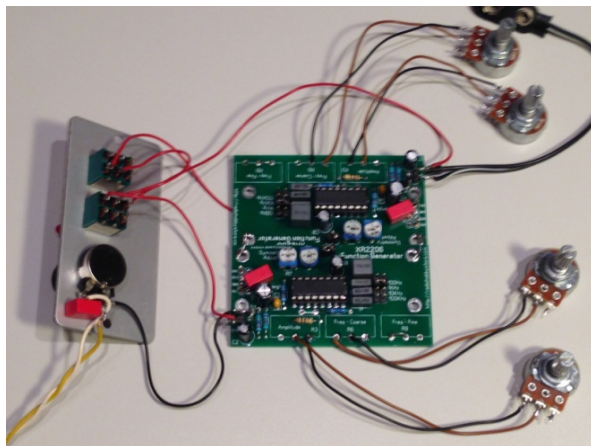


Bild 9: Aufbau NF-Doppelton-Generator

2.2 Messung der Intermodulation eines SSB-Transmitters

Zunächst stellen wir die Pegel beider Töne (f_1, f_2) nacheinander so ein, dass der Sender jeweils eine Leistung von 2,5Watt pro Signaltone abgibt. Bei 2,5Watt-Ausgangsleistung entsteht am Analysator eine Spektrallinie von

$$P_a = 36\text{dBm} (2,5\text{Watt}) - 40\text{dB} (\text{Dämpfung}) = -6\text{dBm}$$

Am Display erkennt man den unterdrückten Träger (unteres Seitenband, 42dBc), die HF-Nutzsignale f_1 und f_2 bei -6dBm (2,5 Watt) und die erste Oberwelle des NF-Grundsignals f_1 bei $2 \times f_1 = 2880\text{Hz}$ mit 44dBc.

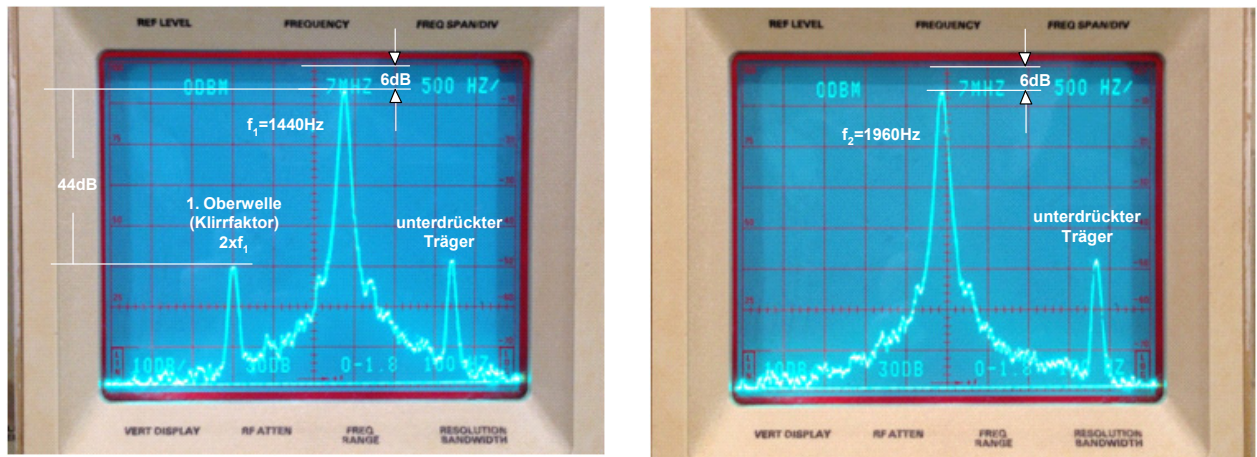


Bild 10: HF-Signale (CW-Signale) der Einzeltöne im 40m-Band, $f_1 = 7.001.440\text{Hz}$ (links), $f_2 = 7.001.960\text{Hz}$ (rechts) mit jeweils 2,5 Watt Ausgangsleistung

Anschließend erfolgt der eigentliche Intermodulationsmessung des SSB-Transmitters (**Bild 11**), indem beide Töne gleichzeitig in den Mikrofoneingang des Senders geleitet werden.

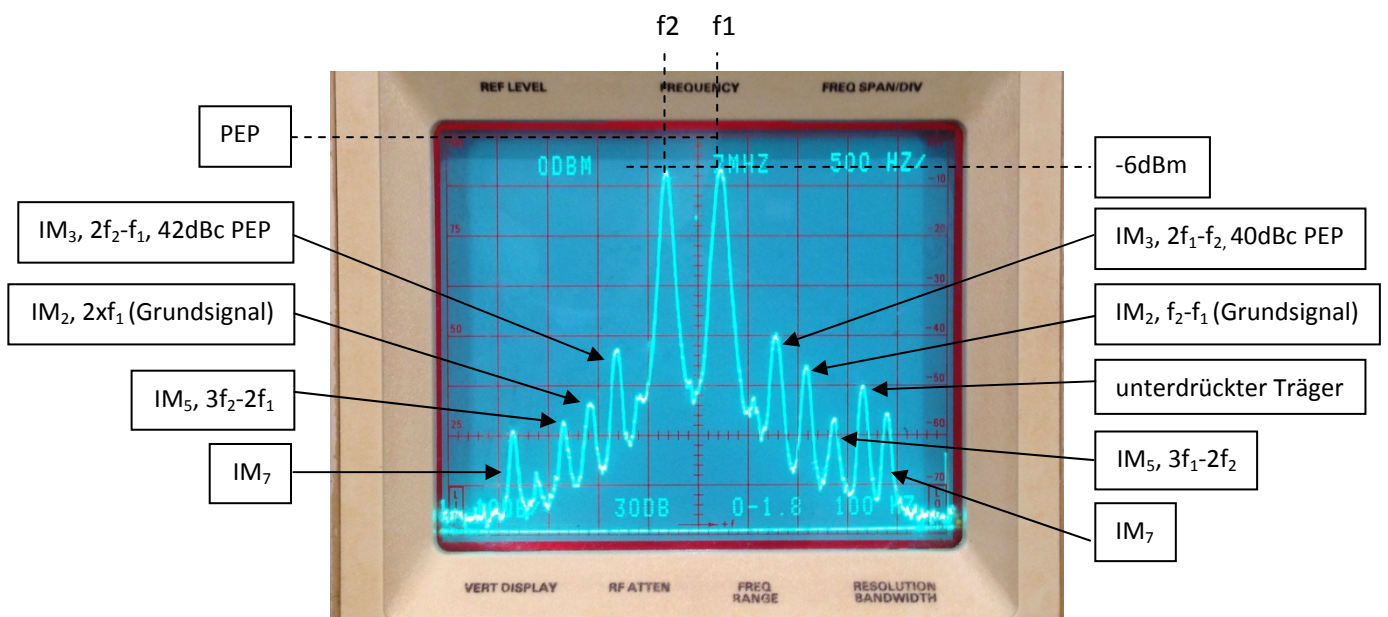


Bild 11: Ausgangsspektrum des SSB-Senders bei 2-Ton-Modulation im 40m-Band, LSB

2.3 Ergebnis der Messung

Das Schirmbild zeigt die beiden Nutzsignale (f_1 , f_2) und noch eine ganze Reihe weiterer, unerwünschter "Störprodukte", nämlich IM-Produkte ungerader Ordnung (IM_3 , IM_5 , IM_7, \dots) und grader Ordnung (IM_2 , Oberwellen, Harmonische der Grundwellen) sowie den um 40dB unterdrückten SSB-Restträger (LSB).

Der Abstand der Nutzsignale zu den stärksten IM-Produkten (hier IM_3) beträgt 34dBc bzw. 40dBc bezogen auf PEP. Vereinfacht ausgedrückt, der Verzerrungsgrad (Klirrfaktor) des Sendesignals beträgt bei 10Watt Ausgangsleistung (PEP) ca. 1% und die Qualität des Signals ist als gut zu bezeichnen.

Die Ausgangsleistung von f_1 und f_2 beträgt $2 \times 2,5$ Watt, ergibt zusammen 5Watt. Das PEP-Wattmeter zeigt jedoch 10Watt an, woran liegt das?

Die Antwort liefert uns das Oszilloskop, mit seiner Darstellung im Zeitbereich (**Bild 12**). Zwischen den um 520Hz verschobenen Hochfrequenzsignalen kommt es zu einer Schwebung, bei der sich die beiden gleich großen Signale im Abstand von ca. 2ms addieren bzw. auslöschen. Im Maximum der Schwebung entsteht die doppelte Spannung und somit die vierfache Leistung ($P = U^2/R$). Da die Leistung im Schwebungsmaximum 4 fach so hoch ist wie bei einem Einzelton, ist die Spitzenleistung nicht $2 \times 2,5$ Watt=5Watt (Average) sondern 10Watt (PEP).

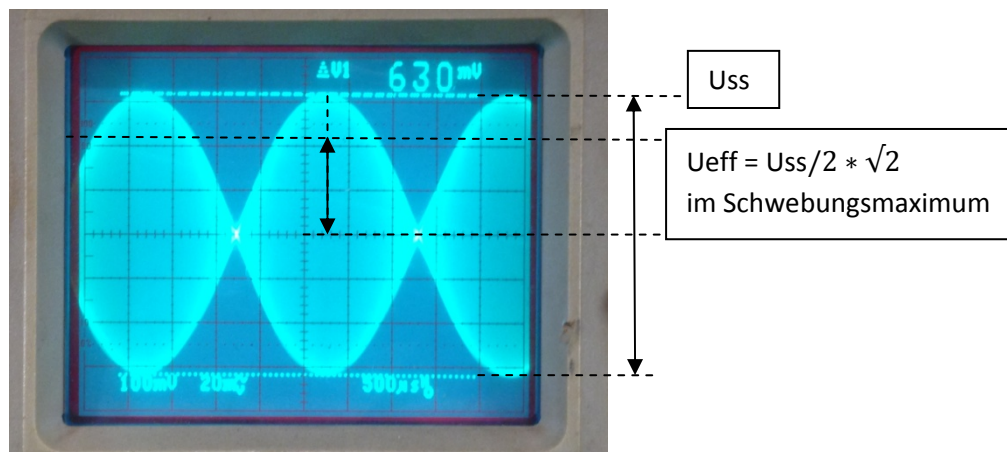


Bild 12: Hüllkurvensignal des SSB-Senders bei Modulation mit einem 2-Ton Signal, Schwebungssignal

Berechnung der Leistung im Schwebungsmaximum (PEP):

$$U_{ss} (\text{Sender}) = U_{ss} (\text{Scope}) * 100 \text{ (40dB Dämpfung)} = 630 \text{ mV} * 100 = 63 \text{ Volt}$$

$$U_{eff} = \frac{U_{ss}}{2 * \sqrt{2}} = \frac{63}{2 * 1,414} = 22,3 \text{ Volt}$$

$$P(\text{PEP}) = \frac{U_{eff}^2}{RL} = \frac{497,3}{50} = 9,95 \text{ Watt}$$

2.4 Übersteuerungen des SBB-Transmitters

Wird der Sender weiter angesteuert, als es die max. Leistung der Endstufe zulässt, steigen die IM-Produkte schnell an. **Bild 13** zeigt das Signal der stark übersteuerten Endstufe im Frequenz- und Zeitbereich, der IM_3 -Abstand beträgt nur noch 16dB. Verwendet man anstelle von f_1 und f_2 jetzt ein Mikrophon mit gleich hoher Ausgangsspannung, dann hört sich das Sprachsignal komprimiert und verzerrt an. Zusätzlich wird das Signal breit und splättert in die Nachbarkanäle.

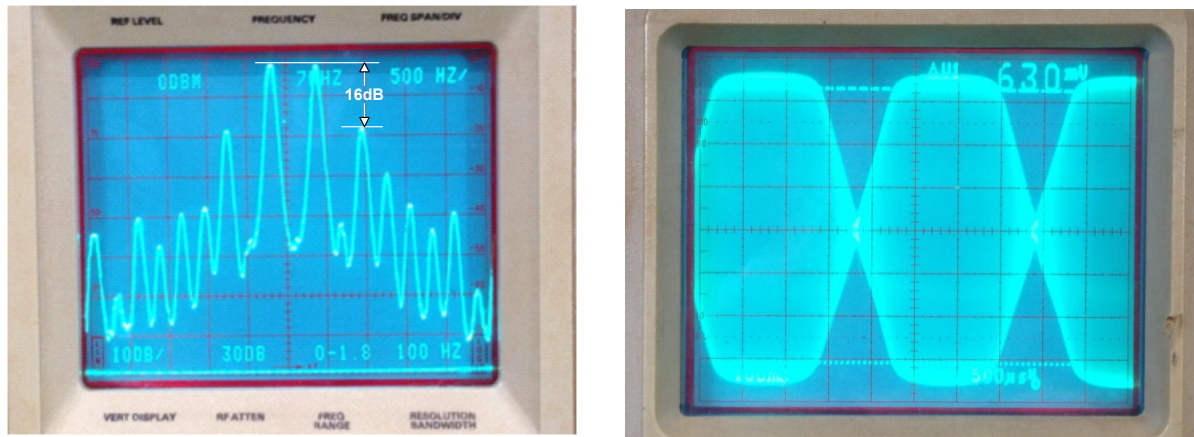


Bild 13: Übersteuerter SSB-Sender mit starker Intermodulation im Frequenzbereich (links) und deutlich erkennbarer Amplitudenbegrenzung im Zeitbereich (rechts)

3. Intermodulationsmessung an einer Leistungsendstufe (PA)

Ganz ähnlich erfolgt die Intermodulationsmessung an einer "Stand-Alone" Leistungsendstufe (PA). Zur Ansteuerung der PA werden an Stelle von zwei NF-Tönen jetzt zwei HF-Signale benötigt. Hierzu verwendet man entweder zwei HF-Messsender oder zwei quarzgesteuerte Signalgeneratoren. Die zu messende PA hat eine Verstärkung von $G=40\text{dB}$ und eine max. Ausgangsleistung von 10Watt PEP.

3.1 HF 2-Ton Generator

Den Aufbau eines geeigneten Doppelton-Generators zeigt **Bild 14**. Die Generatorfrequenzen erzeugen Quarze, welche auf ihrer Serienresonanz schwingen und im Bereich 1-30 MHz beliebig wählbar sind, im Beispiel $f_1=7.055\text{ MHz}$ und $f_2=7.060\text{ MHz}$. Die Pegeleinstellung erfolgt über C1, so dass -6dBm am Ausgang für f_1 und f_2

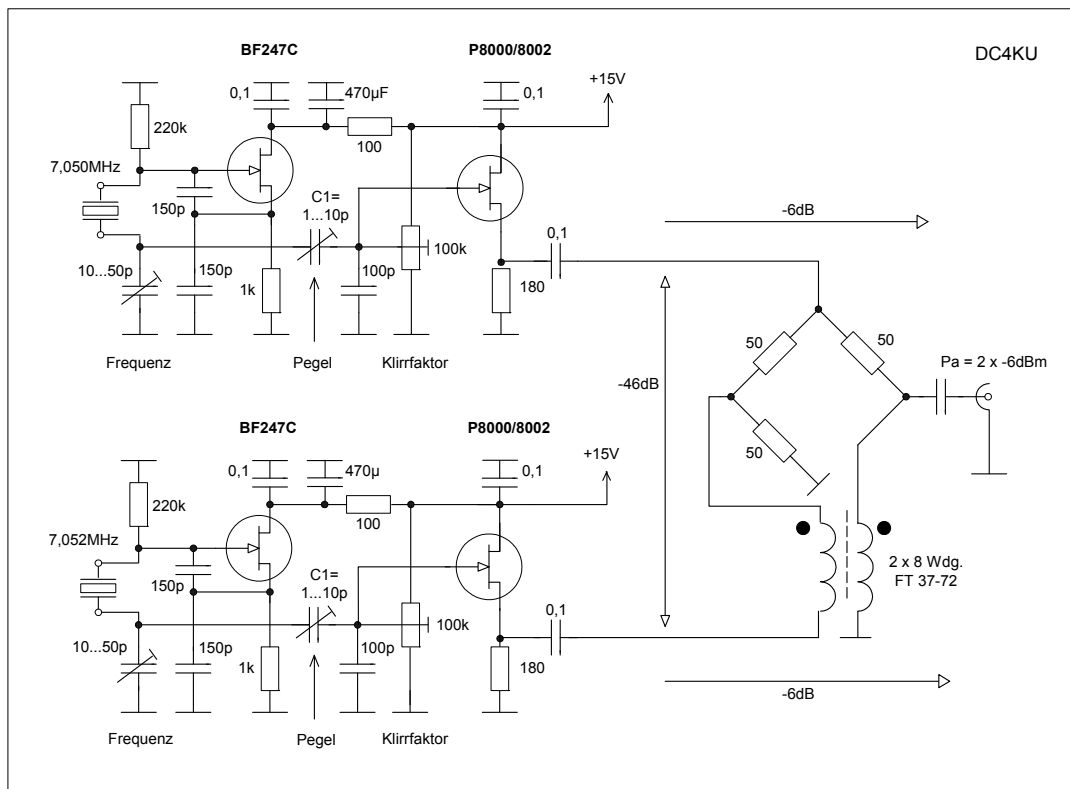


Bild 14: Schaltung eines HF-Doppeltongenerators, durch Austausch der Quarze nutzbar für 1-30 MHz

zur Verfügung stehen. Bei Zusammenführung der beiden HF-Signale ist unbedingt darauf zu achten, dass sich die beiden Signalquellen nicht gegenseitig modulieren und die Generatoren selbst IM-Produkte erzeugen (**Bild 16**). Dies lässt sich nur durch entsprechend hohe Dämpfung der Signalausgänge zueinander verhindern. Beide Signale werden deswegen in eine Wheatstone-Brücke eingespeist, die aufgrund ihres symmetrischen Aufbaus eine Entkopplung der Generatorausgänge von 46dB bewirkt und die Nutzsignale mit 6dB Durchgangsdämpfung passieren lässt. Die Unterdrückung Harmonischer beträgt in der aufgezeigten Schaltung 60dBc, entsprechend einem Klirrfaktor von nur 0,1%. Zusätzliche TP-Filter am Ausgang sind demnach nicht erforderlich.

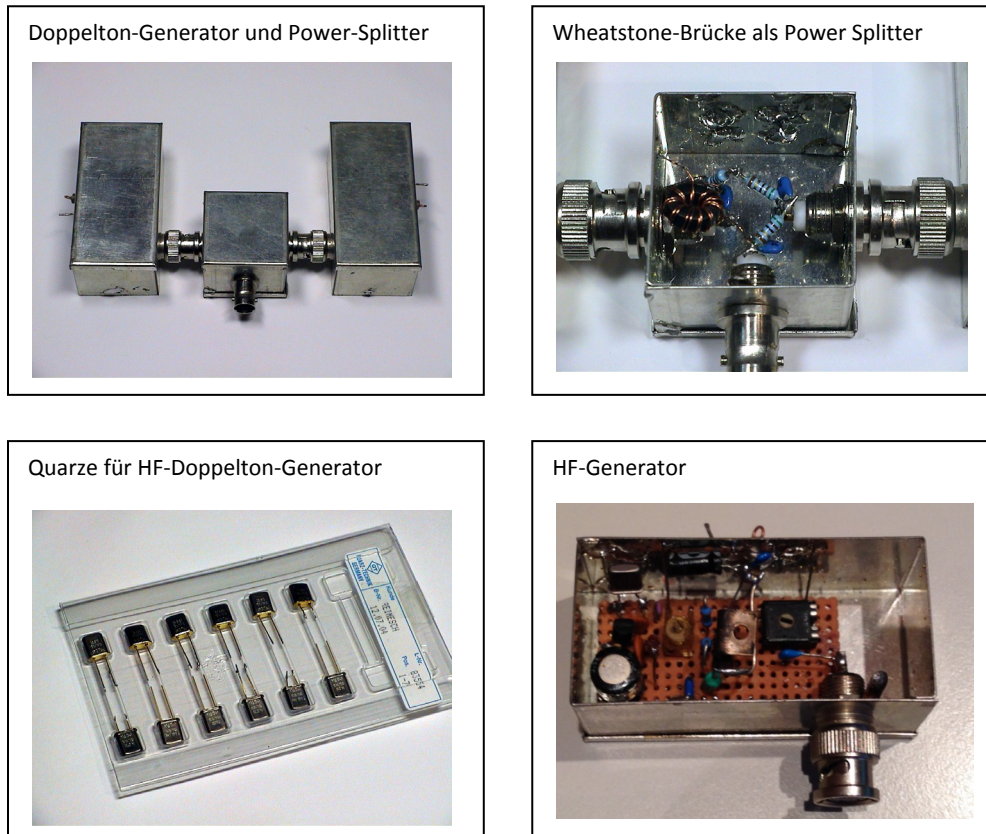


Bild 15: HF Doppelton-Generator mit Wheatstone-Brücke und Quarze für IM-Messungen im 10, 20, 30, 40 und 80m-Band

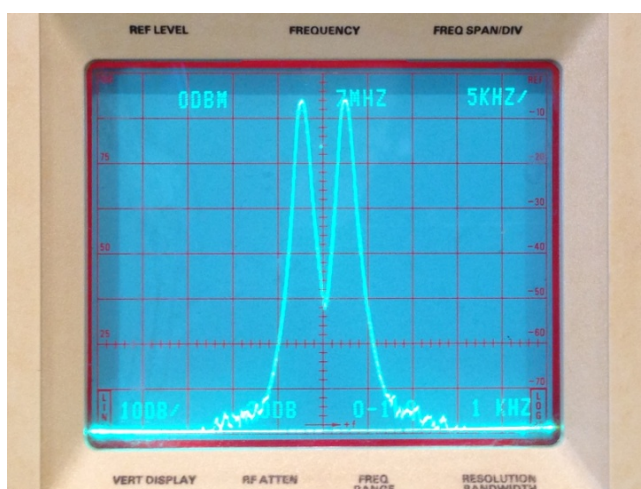


Bild 16: Ausgangssignal des HF-Doppelton-Generators: 2 x -6dBm, PEP=0dBm, 7.055MHz und 7.060MHz

3.2 Messung der Intermodulation ein SSB-Endstufe (PA)

Der HF-Doppeltongenerator aus **Bild 14** lässt sich für IM-Messungen an SSB-Endstufen verwenden. **Bild 17** zeigt dem typischen Messaufbau und **Bild 18** die Meßergebnisse am Spektrumanalysator. Im Beispiel wird eine KW-PA mit 10 Watt PEP Ausgangsleistung auf Linearität geprüft. Die erforderliche Eingangsleistung der PA beträgt 1mW (0dBm) für 10 Watt (+40dBm) Ausgangsleistung. Für einen Test im 40m-Band verwendete ich die Frequenzen $f_1=7,055$ MHz und $f_2=7,060$ MHz, der Abstand der Signal zueinander ist bei dieser Messung unkritisch, sollte jedoch nicht mehr als 10...20kHz betragen.

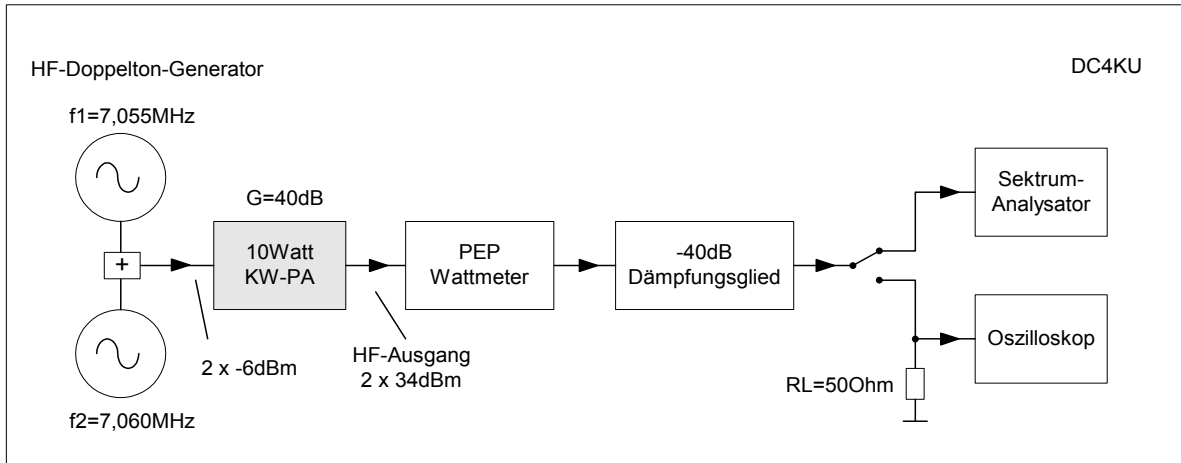


Bild 17: Messaufbau der Intermodulationsmessung an einer KW-Endstufe

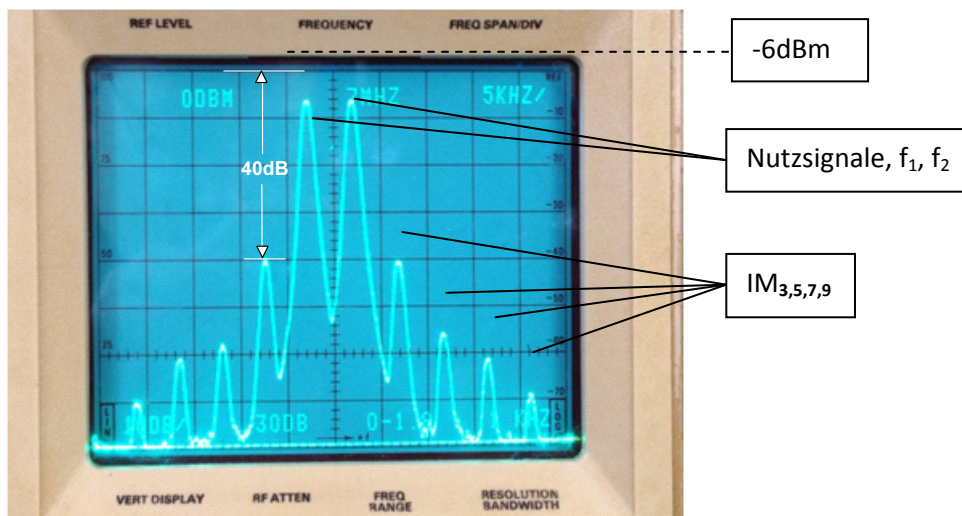


Bild 18: "Sauberes" Doppelton-Spektrum einer 10Watt-Endstufe, $f_1=7,000$ und $f_2=7,005$ MHz

Folgende Ergebnisse können vom Schirmbild des Analysators direkt abgelesen werden.

Nutzsignale: f_1, f_2 bei -6dBm -> 10Watt PEP

IM_3 : $2f_1-f_2, 2f_2-f_1$ bei -40dBm -> Differenz zu Nutzsignalen: 34dBc

IM_5 : $3f_1-2f_2, 3f_2-2f_1$ bei -56dBm

IM_7 : $4f_1-3f_2, 4f_2-3f_1$ bei -60dBm

IM_9 : $5f_1-4f_2, 5f_2-4f_1$ bei -70dBm

IM-Produkte gerader Ordnung ($f_1+f_2, f_1-f_2, 3f_1-f_2, 2f_1, 2f_2$..) tauchen nicht auf, da sie weit außerhalb des Frequenzbandes liegen und durch das Tiefpassfilter der Endstufe unterdrückt werden.

3.3 Ergebnis der Messung

Der geringste Abstand zwischen Nutzprodukten f_1 , f_2 und Intermodulationsprodukten (IM_3) beträgt 34dBc. Die Endstufe (PA) besitzt bei Vollaussteuerung von 10Watt PEP einen Intermodulationsabstand von 34dB bzw. 40dB bezogen auf PEP.

3.4 Übersteuerung der PA

Bei Pegelvergrößerung von f_1 und f_2 gerät die Endstufe in Kompression und die IM-Produkte steigen schnell an, genauso, wie bei der vorherigen Messung eines TX schon gezeigt.

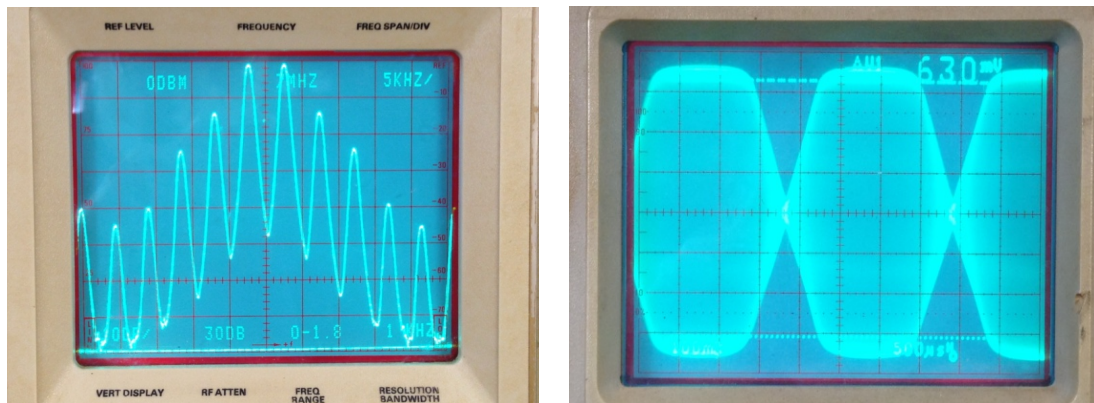


Bild 19: Leistungsendstufe in Kompression, IM_3 -Abstand nur noch 14dB

4. Zusammenfassung

Linearitätsmessungen an SSB-Transceivern und SSB-Endstufen mit Hilfe eines "2-Ton-Generators" laufen prinzipiell gleich ab. Allerdings entstehen am Ausgang eines Transmitters mehr Störsignale auf, als bei einer Endstufe allein, verursacht durch Oberwellen und Intermodulation der NF-Signale und der Signalaufbereitung. Bei der Analyse des Spektrums muß dies entsprechend berücksichtigt werden.

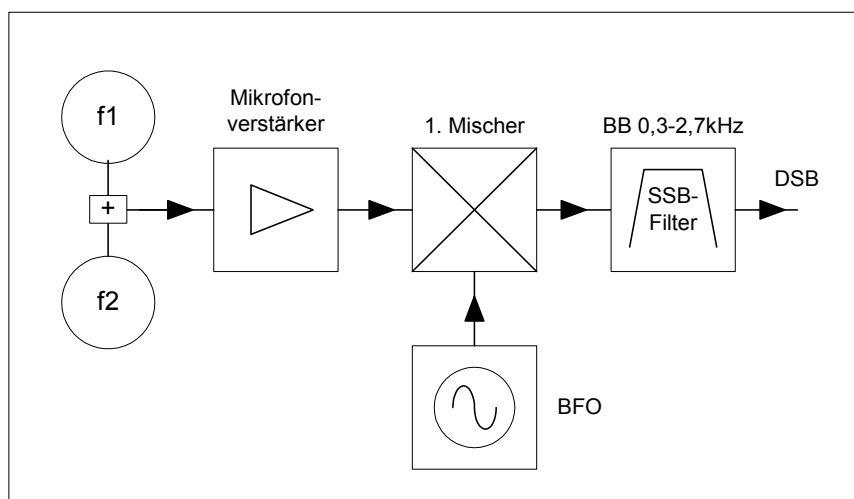


Bild 20: Messaufbau zur Darstellung von Intermodulation im Mikrofonverstärker und 1.Mischer

Leider werden bei SSB-Sender-Intermodulationsmessungen häufig zu große Signalabstände gewählt, was dann zu falschen Messergebnissen führen kann. Zur Verdeutlichung falsch gewählter Doppelton-Signalabstände, wird nachfolgend das Spektrum eines (absichtlich) übersteuerten Mikrofonverstärkers am Ausgang des SSB-Filters (**Bild 20**) gezeigt.

Eine korrekte "In-Band-Intermodulationsmessung" zeigt **Bild 21**. Die Doppeltöne liegen mit 350Hz so nah beieinander, dass alle Intermodulationsprodukte (IM_3 und IM_5) noch ungehindert das SSB-Filter passieren können und zur Anzeige kommen.

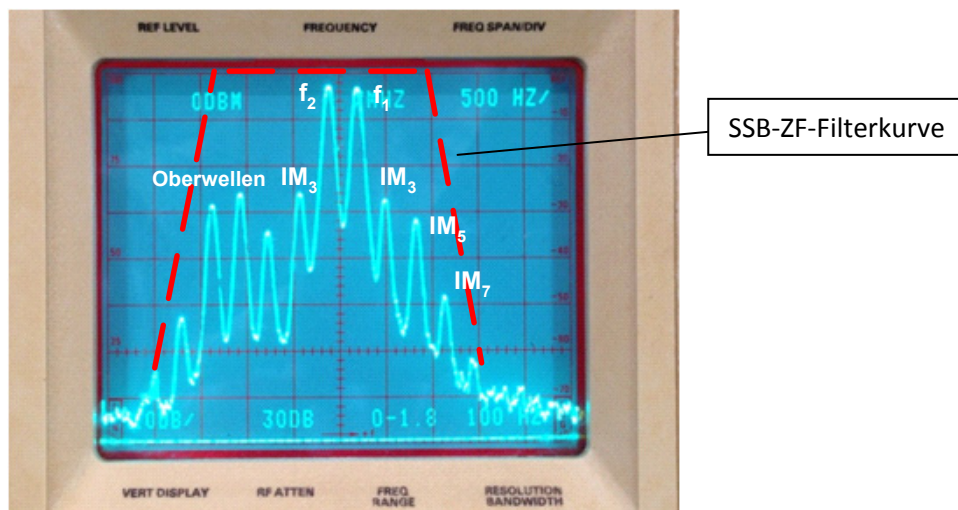


Bild 21: Messung mit geringem Doppeltonabstand von $\Delta f=350\text{Hz}$ ($f_1=1000\text{Hz}$, $f_2=1350\text{Hz}$), alle entstehenden IM-Produkte liegen noch innerhalb der Bandbreite des SSB-Filters und werden mit übertragen. Das IM_3 -Produkt ist nur um 22dB gedämpft und die Signalverzerrungen sind deutlich zu erkennen (NF-Signal ist stark verzerrt).

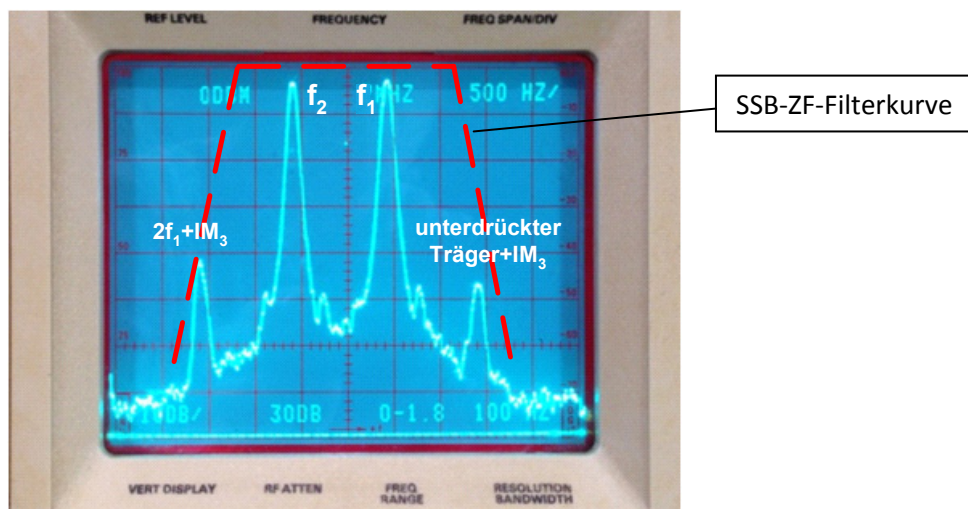


Bild 22: Gleiche Messung wie in Bild 14, aber mit großem Doppeltonabstand von $\Delta f=1000\text{Hz}$

Bild 22 zeigt die gleiche Messung, aber mit einem Doppeltonabstand von 1000Hz. Alle IM-Produkte und Oberwellen liegen außerhalb der Bandbreite des SSB-Filters, werden von den Flanken des SSB-Filters abgeschnitten und kommen nicht mehr bzw. mit falschem Pegel zur Anzeige. Die tatsächlich entstehenden Verzerrungen des SSB-Modulators sind nicht zu erkennen. In **Bild 22** wurde der Doppeltonabstand mit $f_1=1000\text{Hz}$, $f_2=2000\text{Hz}$ absichtlich harmonisch gewählt, damit nur die IM_3 -Produkte zu erkennen sind. Bei dieser (im Prinzip falschen) Einstellung tauchen keine Oberwellen auf, da sie deckungsgleich mit den IM-Produkten sind.

Resultat:

Wird mit zu großen Signalabständen wie in **Bild 22** gemessen, werden Nichtlinearitäten in den ersten Stufen des Transverters (Mikrofonverstärker, 1. Mischer, SSB-Filter) weder erkannt noch übertragen und die daraus resultierenden Meßergebnisse sind unvollständig.

Literatur**(1) In-Band IM3-Messungen am Beispiel des IC7800**

CQ-DL 8/2005, Seite 544-548

https://dc4ku.darc.de/Inband_Intermodulation.pdf

<http://www.ab4oj.com/test/imdtest/main.html>

(2) RF Power- Splitter & Combiner

Funkamateur 10/2003, Seite 1007-1009

Funkamateur 11/2003, Seite 1115-1116

https://dc4ku.darc.de/Power_Splitter.pdf

(3) Großsignalfestes und empfindliches HF-Eingangsteil von 0,1-500 MHz

QQ-DL 7/2000, Seite 482-485

CQ-DL 8/2000, Seite 578-579

https://dc4ku.darc.de/HF_Eingangsteil.pdf

Werner Schnorrenberg

DC4KU, dc4ku@darc.de

Jan. 2015

Rev. 07.02.2015, 08.09.2015, 11.11.2015, 26.11.2015, 22.12.2016, 29.07.2018