Was ist **Intermodulation** oder genauer **Kreuzmodulation** diese entsteht durch unerwünschte Mischungen also eine sogenannte Störmischung oder auch Fehlmischungen genannt! *Übrigens im NF-Bereich trifft das genauso zu*. Dabei handelt es sich um eine sogenannte Modulations-übernahme die durchaus von den uns umgebenen Schichten genauso zutrifft. Andrerseits lassen diese unterschiedlichen Schichten einen Funkverkehr über groß Entfernungen zu. *Die Ionosphäre beeinflusst den Funkverkehr und führt auch zu Kreuzmodulation! U.a. früher als Luxemburgeffekt bezeichnet in der Funktechnik, diese Art von ionosphärische Kreuzmodulation zwischen zwei Sendern, an einem entfernten Empfangsstandort hörte man die Modulation des jeweils andern Senders im Hintergrund obwohl sie auf unterschiedlichen Frequenzen waren!*

Da nützt auch das beste AFU- Gerät nichts, wenn diese Effekte außerhalb von diesem entstehen. Beitragen können dazu sogar u.a. ungeeignete Antennenstecker, lose Schraubverbindungen usw. sein! In der Funktechnik führen Intermodulationen verschiedener Ordnungen zu Störungen, da sie neue Frequenzen erzeugen im Nutzbandbereich. Intermodulation bezeichnet die Entstehung unerwünschter Frequenzen, wenn zwei oder mehr unterschiedliche Signalfrequenzen durch ein System mit nichtlinearer Übertragungsfunktion verarbeitet werden. Diese Effekte treten in der Nachrichtentechnik z. B. bei Verstärkern, Mischern, Ringkernen, ungeeignete Teleskopantennen-masten hier speziell die Vierkantkonstruktion, schlechte Erdungsverhältnisse auf. Dazu fehlende Erdverbindungen, grün/gelb min 6mm² mit geeigneten Kabelschuhen, als dauerhafte Verbindung aller AFU Geräte untereinander mit denen die sich auf dem Funktisch befinden und die an irgendwelchen Antennen angeschlossen sind!

In der Ionosphäre können Mischungen entstehen, denn es gibt viele Funksignale auf der gleichen Frequenz oder nur in einem sehr kleinen Abstand zueinander. Das ist aber nicht das Thema dieser Dokumentation, sondern ich möchte klarmachen welche Ursachen u.U. bei der Entstehung von Intermodulation mitwirken können, die oftmals Bauteile bedingt auftreten können!

Kommen wir zur Messtechnik mit dem erforderlichen Zubehör:

In dieser Dokumentation möchte ich Euch, möglichst einfach, eine Intermodulationsmessung zum Messen der 3. Ordnung und dessen nicht so einfachen Aufbaus bezüglich dem geeignetem Messzubehör vorstellen und beschreiben! Genau dort werden die meisten Aufbaufehler gemacht und man misst eigentlich dann den unzureichenden Mesaufbau und die untereinander koppelnden Messsender! Das führt unweigerlich zu Fehlmessungen die dann leider auch noch in Veröffentlichungen dokumentiert werden!

Immer wieder findet man dort nicht korrekte Aufbaubeschreibungen die dann in verschiedenen Berichten vorgestellt werden! Auch in „AFU Funkzeitschriften“ wird ein solcher Messaufbau beschrieben, der nicht wirklich zielführend ist. Wir wollen das D.U.T. messen und nicht den fehlerhaften Messaufbau! IMA Messungen dazu ist eine Menge Erfahrung nötig die manchmal Jahre dauert speziell bei unterschiedlichen Frequenzbereichen von 0,5 MHz bis weit in den GHz Bereich!

Als Erstes muss der Messplatz selber intermodulationsfest sein und da ist, dass wichtigste erst einmal die beiden HF Generatoren. Diese dürfen sich nicht sehen (*die können sich optisch ansehen aber mehr nicht)* damit meine ich aber die gegenseitige Entkopplung der HF-Generatorausgänge. Dann sollte das spektrale Signal sauber sein wie man es häufig speziell auch bei älteren Messsendern durchaus vorfindet. Es ist keinesfalls richtig die beiden Sender (*HF-Generatoren*) nur einfach über einen sogenannten 3 dB Splitter zu betreiben! Was überhaupt nicht geht ist ein Widerstandskoppler damit geht schon mal Garnichts. Es muss schon ein sogenannter Trafo Splitter sein daher auch die >3 dB, wenn man ein „Signal teilt“! In dieser Messdokumentation sind keine speziellen Frequenzbereiche berücksichtigt worden, denn es geht um einen Messaufbau um Intermodulation zu messen.

Bild 1

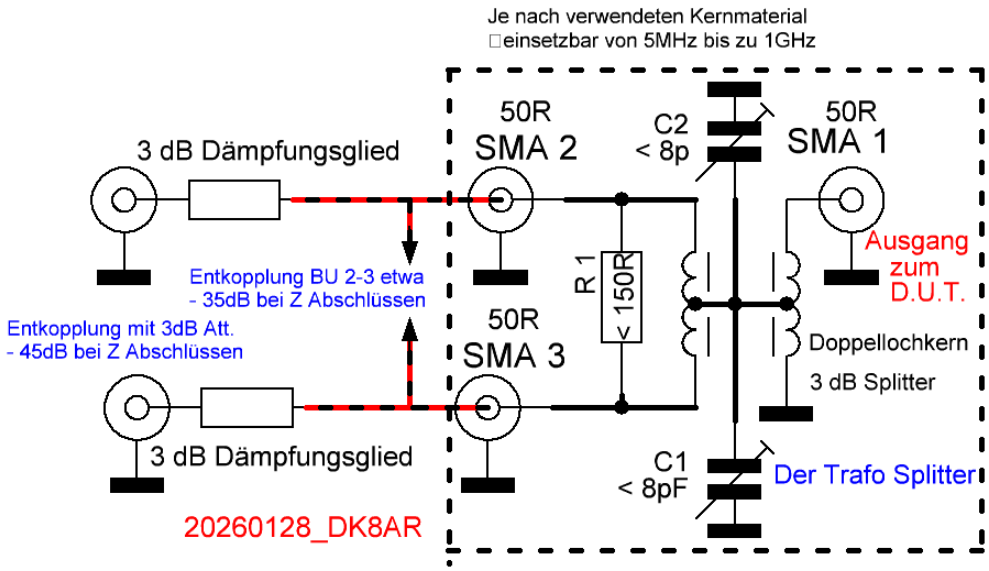


Bild 2

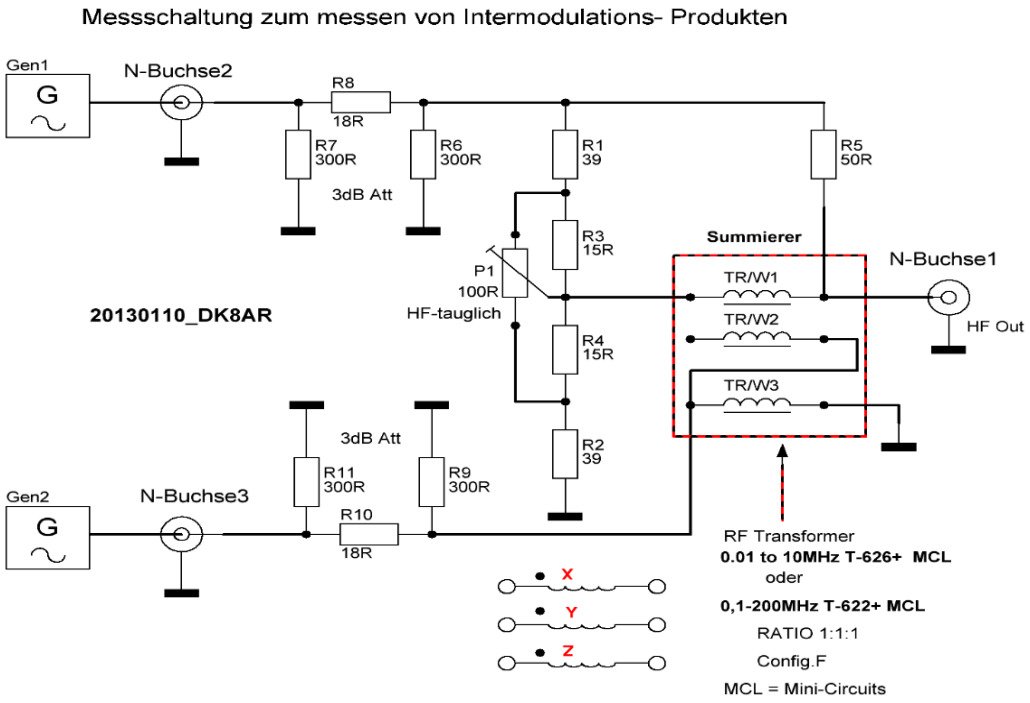
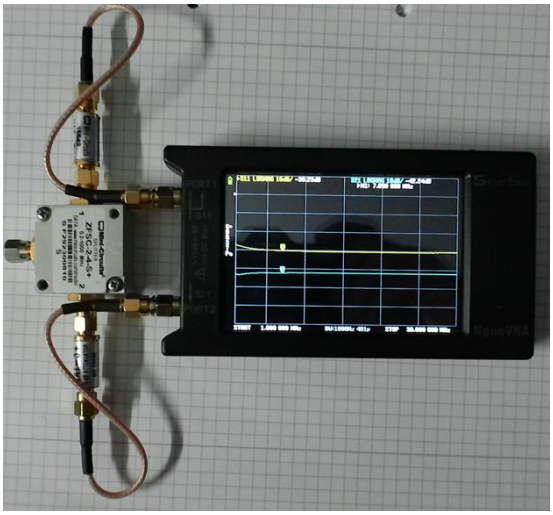


Bild 3 Das Messzubehör Splitter in unterschiedlichen Konstellationen



Bild 4



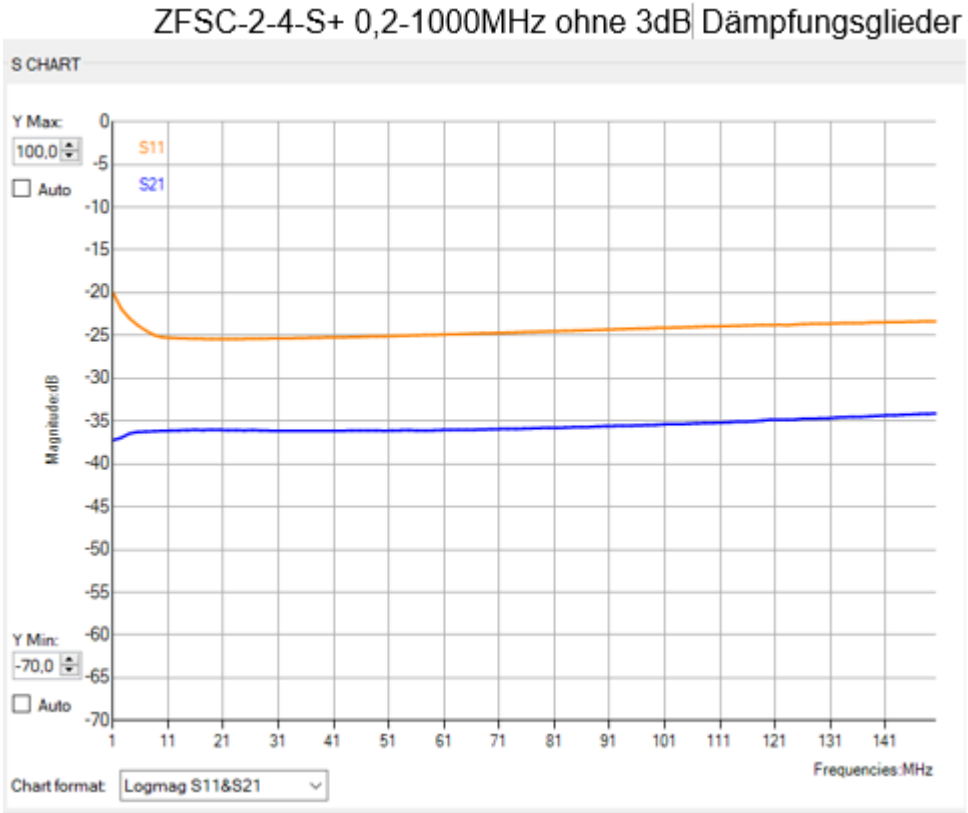
Messaufbau zum Ermitteln der gegenseitigen Entkopplung der HF Messender nach Bild 1 mit Nano VNA 4 HW Version: 4_3
Splitter ZFSC-2-4-S+, zwei VAT 3dB Attenuator und ein SMA Abschlusswiderstand in diesem Aufbau alles von Mini-Circuits: Z.B.
https://www.minicircuits.com/WebStore/dashboard.html?model=ZFSC-2-4B-S%2B

https://www.mouser.de/ProductDetail/Mini-Circuits/ZFSC-2-4+?qs=Imq1NPwxi74wGRUlVVvhfQ%3D%3D

Die Messergebnisse der Verwendeten passiven Splitter Konstruktionen zur Zusammenschaltung der HF-Messender (Generatoren)

Anmerkung: Ich habe diese Messungen nicht mit meinem HP 8753C durchgeführt, sondern mit einem VNA 4 HW, damit Ihr den Verlauf der Messparameter so auch annähernd Vergleichen könnt

Bild 5

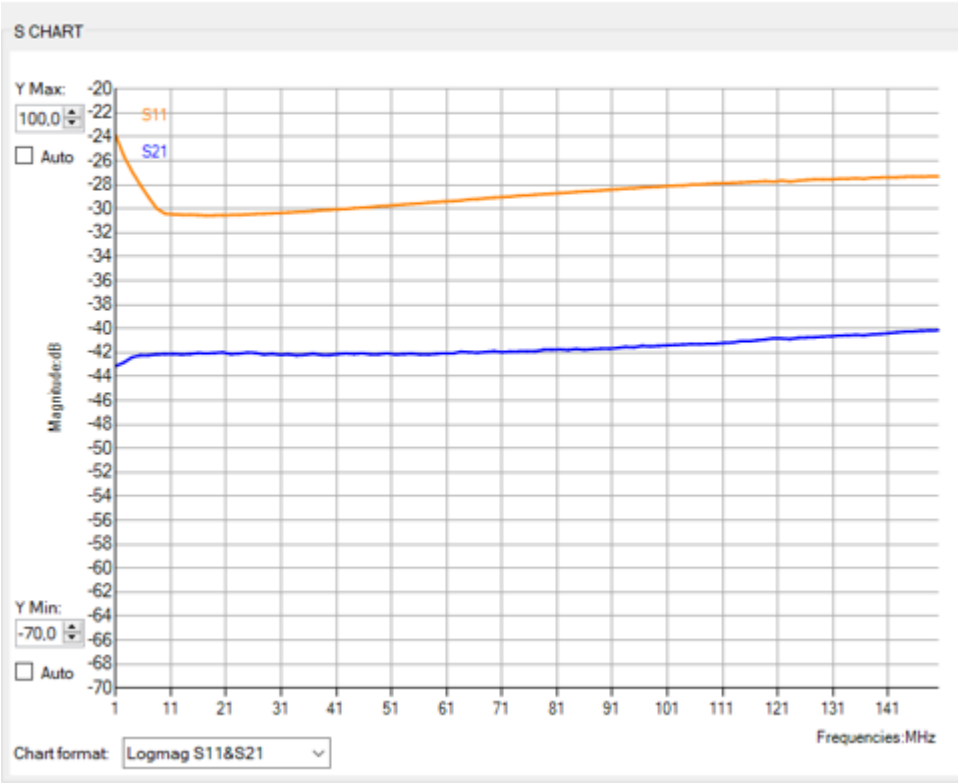


Der einzelne Splitter ohne 3dB Dämpfungsglieder

Entkopplung BU 2-3 etwa -35 bis - 37dB

Bild 6

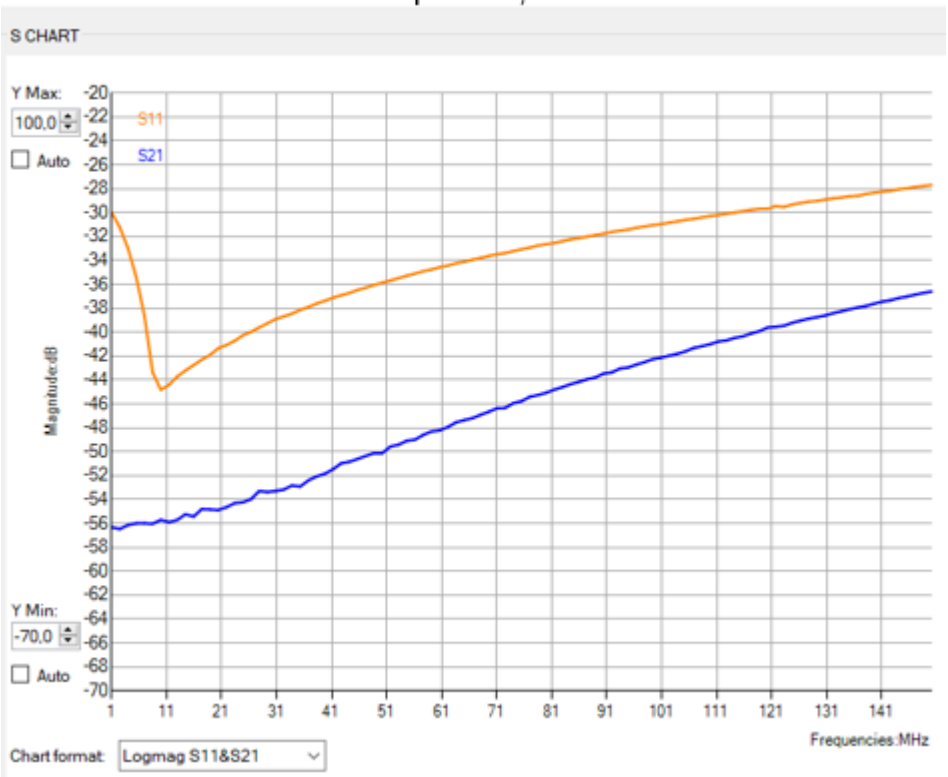
ZFSC-2-4-S+ 0,2-1000MHz an 1 und 2 jeweils
ein VAT-3+ 3dB Attenuator alles von Mini-Circuits



Entkopplung mit 3dB Att.
- 45dB bei Z Abschlüssen

Bild 5

Selbstbau IMA – Splitter 0,5 - 200MHz

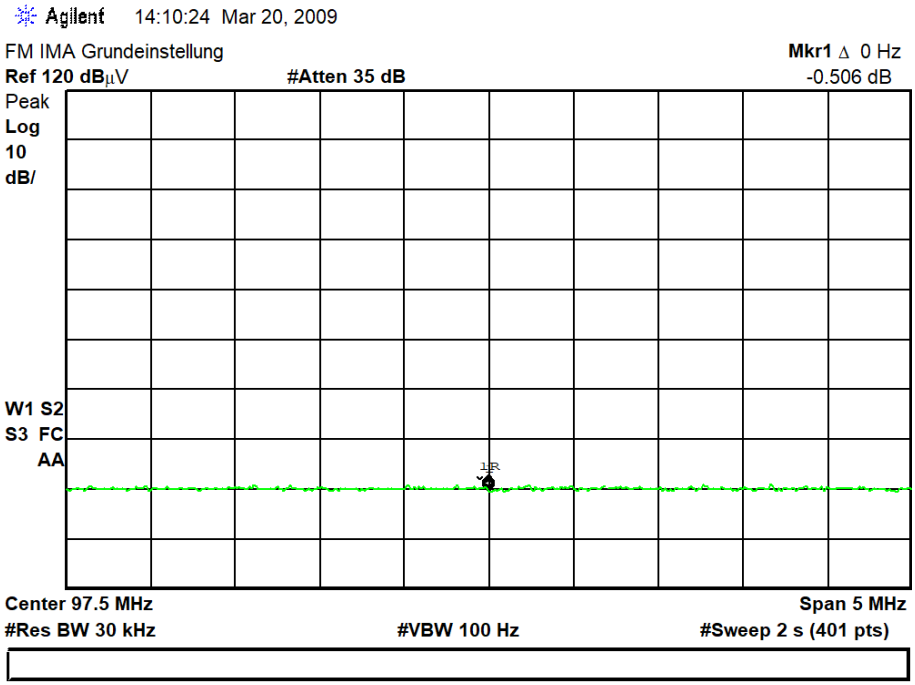


Selbstbau entsprechend der Schaltung auf Seite 2, nach Betrag und Phase abgleichbarer Brücken-Leistung - Summierer für Zweitonsignale.

Alle S11 Anpassungen sind bei Z-Abschlüssen > -25dB, es gibt annähern keine Reflexion!

Bild 6

Eine IMA 3 Einstellung von Messparametern: Beispiel FM IMA



Die VNA Einstellungen sind wichtig damit man nicht den Aufbau oder den Analyzer misst. Gegebenenfalls sind ein Dämpfungsschalter, ein Tiefpass speziell im Bereich unterhalb 30MHz oder Bandpassfilter zu implementieren. Nicht vergessen, das Messzubehör muss Intermodulationsfrei sein für die entsprechenden Messpegel, es darf kein Sättigungseffekt oder eigen IMA von Bauteilen endstehen!

Veränderbare Einstellungen am Analyzer: <u>Hier nur ein Beispiel</u>:

1. **Referenz 120dBµV** (Referenz Level so einstellen, das sich die beiden Nutzsignale im oberen Rasterfenster befinden.
2. **Attenuator ca. 35dB** oder größer abhängig von den jeweiligen Signalspannungen
3. **Skalierung 10dB/Div.**
4. Center Frequenz – je nach Frequenz, Einstellungen sind von KW bis in den GHz Bereich geeignet
5. **Mkr1 Peak Marker Delta** (Maximal Pegel <u>zum größten Intermodulation</u> Produkt das kann links oder rechts von den beiden Trägern auftreten)
6. **Display Line** (dient zum Ermitteln der Ausgangsspannung ungeregelte / geregelte Verstärker)

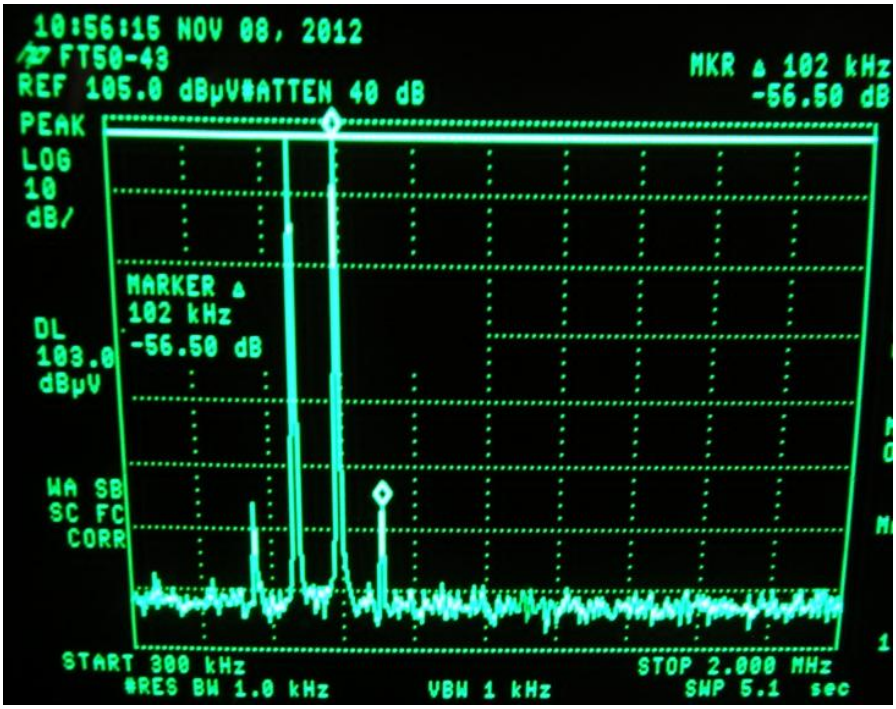
Diese Einstellungen vor der unmittelbaren Messung nicht mehr verändern

1. **Res Bw 30 kHz**
2. **VBW 100 Hz**
3. **Sweep 2 sec**
4. **Span 5 MHz**

Ein kleines Messbeispiel mit Ringkernen: gemessen mit Spektrum Analyzer 8581A HP

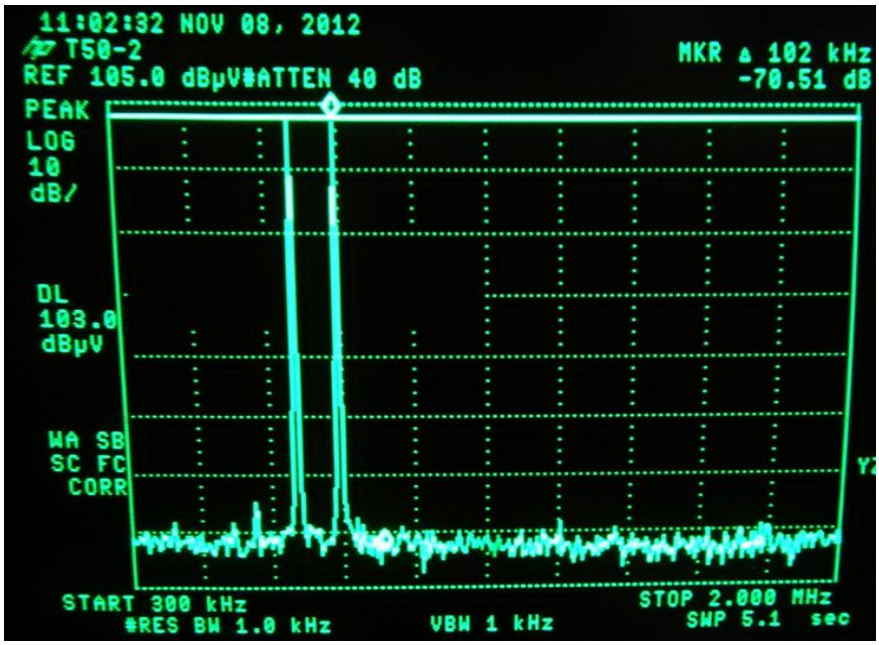
Im Folgenden 7.Bild ist eine passive Messung dargestellt: Es geht um einen kleinen HF-Balun-Aufbau in dem befindet sich ein Ferritkern FT50 – 43 von Amidon. Interessant sind dort die erzeugten IMA Produkte von nur -56,5dB – wir messen passiv, also ohne Verstärkungen in der Schaltung! Trotzdem entstehen dort schon Intermodulationsprodukte. Nun stellt euch vor, wenn ein solcher Kern in Mischschaltungen, Antennen oder in Selektionsfiltern verbaut sind! Der eine oder andere war schon auf sogenannten Field Days an dem viele Stationen oftmals auf Kurzwelle QRV sind mit z.T. beachtlichen Leistungen in der Nähe. In dem Bild sind nur Zwei Träger mit zwei Störprodukten aber am „Funk Tag“ sind viele Stationen aktiv, dann könnt ihr euch vorstellen wie viele neue Signale durch IMA - also durch Stör- oder Fehlmischungen eurem Empfänger zugeführt werden ich hoffe nicht, das im Frondend ähnliches Kernmaterial verbaut wurde - I don't know it

Bild 7



In **Bild 8** sind die gleichen Einstellungen und Messpegel wie im Bild 7 dargestellt und gewählt worden. Nun aber mit einem Eisenpulver Ring Kern vom Typ T 50-2! Wie unschwer zu erkennen ist nun ist der IMA Abstand bei weitem größer, jetzt sind es -70,5dB, wenn man darüber nachdenkt, ist unschwer zu erkennen das dieser Kern für die gewählte Funktion besser geeignet ist. Dadurch werden keine nennenswerten zusätzlichen Signale regeneriert, die dann als Kreuzmodulation den Empfang von Signalen beeinträchtigen die durch Mischsignale ohne Information sich z.B. im AFU Band befinden. Da nützt dann auch der beste RX nicht, wenn es vor seinem eigenen Fronend entsteht! PIM (**p**assive **I**nter**m**odulation) kann nicht beseitigt werden außer man vermeidet diese durch ausgewähltes Material dazu gehören auch Antennen, Ringkerne, konfuse Erdungen und Steckverbinder. Antennenträger da insbesondere sogenannter Vierkantteleskopmasten bei diesen gibt es von Segment zu Segment keine metallische Verbindung diese müssen erst durch Überbrückungskabel geschaffen werden. Niemals eloxiertes Rohr für den Aufbau von Antennen nutzen.

Bild 8



Nur zwei Beispiele zum Veranschaulichen wie ein IMA Spektrum in Zahlen aussieht!

Zwei Frequenz-Intermodulationsprodukte

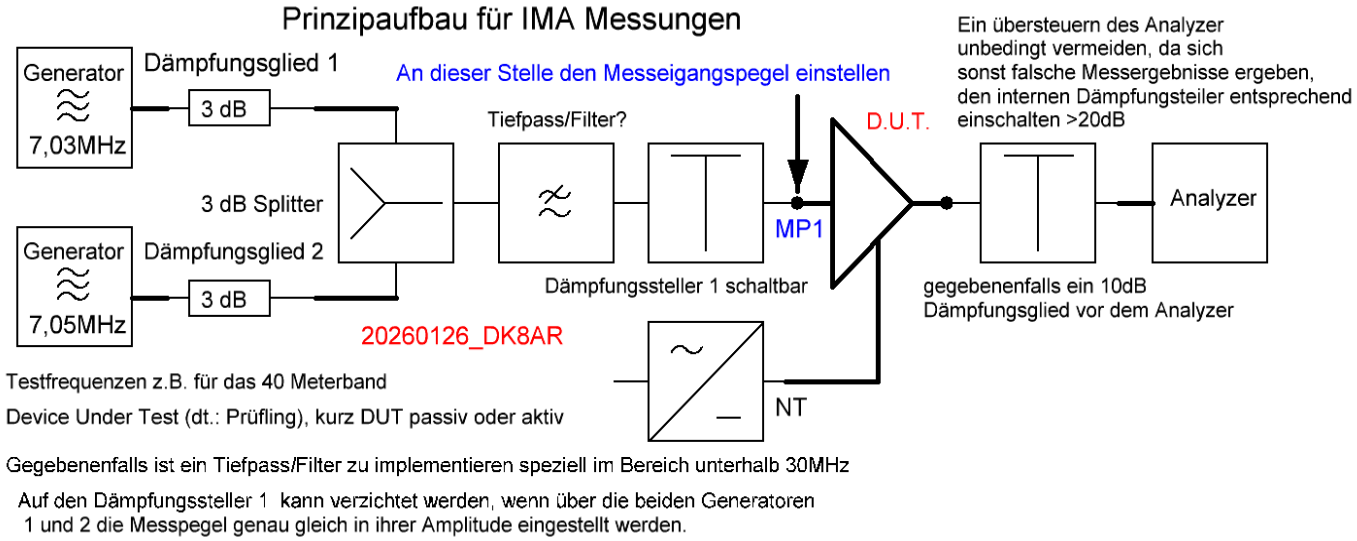
Frequenz 1:	7,080
Frequenz 2:	7,100

Intermodulationsprodukte:	
3. Ordnung	7,060
3. Ordnung	7,120
5. Ordnung	7,040
5. Ordnung	7,140
7. Ordnung	7,020
7. Ordnung	7,160
9. Ordnung	7,000
9. Ordnung	7,180

Two frequency intermodulation products

Frequency 1:	14,150
Frequency 2:	14,130

Intermodulation products:	
3rd order	14,170
3rd order	14,110
5th order	14,190
5th order	14,090
7th order	14,210
7th order	14,070
9th order	14,230
9th order	14,050



Einige Links zum Thema:
https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/889482
https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/798889

Links zu passiven Bauteile zwecks Aufbaus von einem IMA Messplatz
https://www.box73.de/product_info.php?products_id=3899 im Bild 2 verbaut
https://www.box73.de/product_info.php?products_id=4555 Splitter als Ersatztyp für ZFSC-2-4-S
https://www.box73.de/product_info.php?products_id=1336 Leider nur BNC Norm
https://www.box73.de/product_info.php?products_id=4508 In SMA leider ab 6dB

Es gibt IMA Messungen da reicht oftmals der Messender Pegel von meistens 13dBm ≙ 120dBµV nicht ganz aus! Auch solche die mit 23dBm ≙ 130dBµV durchgeführt werden müssen.

Durch zusätzliche sehr lineare Einzel Verstärker kann dieses Defizit ausgeglichen werden.
Da ist dann aber schon wieder das nächste Problem, ist Dein Messaufbau selbst intermodulationsfest genug um den höheren Pegel verarbeiten zu können? Wie oben bereits erwähnt, sind solche Messungen ohne entsprechende Erfahrung kaum durchführbar denn es ist eine komplexe Messung, in der viele Fehler entstehen können.

Also immer vor der Messung prüfen ob euer Platz IMA fest ist, **z.B. ist nur ein Anhaltspunkt** so sollte zumindest die Bildschirmanzeige aussehen Bild 8 links und rechts keine IMA Produkte 3. Ordnung außer die beiden Träger bei > 70dB Abstand, das ist schon ein sehr guter Wert!

Noch etwas zu den Messbedingungen, dort sollten die hier genannten Abstände **20kHz** der beiden Träger genutzt werden. 2kHz Abstände werden zum Messen z.B. der IM Produkte im Durchlassbereich eines Quarzfilters eigestellt. Das setzt voraus sehr gute HF Generatoren zu verwenden ohne Jitter und Phasenrauschen! Rauschen und Jitter führt zu Problemen durch Übersprechen, EMI (elektromagnetische Interferenz) und Zufallsrauschen. Die meist übliche Messung sind im Abstand von **20kHz** der beiden Träger vorzunehmen um dann Mischungen im Abstand von 20kHz messen zu können innerhalb eines AFU Bandes. Es gibt dann noch die Messung im Abstand von 200kHz, diese ist auch zur Beurteilung und Einfluss der Vorselektion des zu messen des Empfängers.

Zusammenfassung:

Daran denken: Jedes Störprodukt bzw. Mischprodukt ist ein hörbares, aber meist nicht verständliches HF-Signal und wird auch auf dem S-Meter angezeigt!

Ich hoffe diese Dokumentation hat etwas zum Begriff Intermodulation (3.Ordnung) beigetragen? Wir ihr lesen oder hören konntet, hat die Entstehung von Kreuzmodulation sehr viele Ursachen, die aus allen möglichen Gründen, die ich z.T. beschrieben habe, entstehen kann. Es nutzt der Beste Empfänger nichts, wenn dieser an sehr effektiven Antennen angeschlossen ist. Dieser dann aus der „Funkumwelt“ durch starke Signalpegel die nun mal an sehr große Antenne mit extrem starken Signalpegel sich irgendwo an den bekannten Schichten sich dann wieder selber mischen und dann empfängt! Den meisten Amateuren fällt das kaum auf, wenn dann Funksalat sich auf den Bändern bemerkbar machen. Diejenigen die sich noch an das 40 Meterband mit100kHz Bandbreite erinnern an dem die kommerziellen Rundfunksender im 5kHz AM Kurzwellenraster mit bis zu einem Megawatt tätig waren, da war kein abendlicher AFU Funkbetrieb mehr möglich! Viele Transceiver waren zu diesem Zeitpunkt oftmals vollkommen überfordert! Heute arbeiten selbst Großsender mit gigantischen Antennenanlagen mit reduzierten Leistungen u.a. aus Kostengründen. Wir haben den Nutzen daraus, weil wir Amateure jetzt mit deutlich weniger Rundfunkstation in den AFU Bändern zu tun haben!

Wie immer ist auch diese Dokumentation auf den entsprechenden Seiten zu finden!

Ich wünsche Euch IMA freie Verbindungen
Henri DK8AR