

Zweitongeneratoren für Intermodulationstests

Vorbemerkungen

Das Thema SDR ist ein sehr aktuelles, wie zahlreiche Veröffentlichungen zeigen. Die bereits veröffentlichten Konzepte sind durch eine extrem hohe Linearität der Sender gekennzeichnet. Für den praktischen Funkbetrieb muss die meist vorhandene Leistung im Milliwattbereich entsprechend verstärkt werden. Bei der Beurteilung bzw. Optimierung von Empfängern und HF-Verstärkern leistet ein Zweitonsignal gute Dienste. Derartige Signale sind auch mit amateurmäßigen Mitteln leicht zu erzeugen. Moderne Schaltkreise ermöglichen dies auch im HF-Bereich.

Warum ist ein Zweitonsignal sinnvoll ?

Will man die Linearität eines HF-Verstärkers untersuchen, ist eine zyklische Ansteuerung zwischen Null und Vollaussteuerung eine sinnvolle Meßmethode. Allein aus dem Vergleich der Ansteuerung zu dem erzeugten Ausgangssignal ist die Linearität nicht oder sehr schwer erkennbar.

Gut geeignet hingegen ist ein Signal aus zwei Tönen unterschiedlicher Frequenz. Es entsteht eine Schwebung und das Signal schwankt, wie gewünscht, periodisch in der Amplitude. Durch Nichtlinearitäten in der Übertragungskennlinie eines Verstärkers entstehen die gefürchteten Intermodulationsprodukte. Bei Beschreibung der Kennlinie durch eine mathematische Reihe läßt sich zeigen, dass die Terme mit den ungradzahligen Exponenten die IM-Produkte dritter, fünfter, siebenter, usw. Ordnung beschreiben.

Diese ungradzahligen IM-Produkte lassen sich durch Filterung leider nicht beseitigen.

Zu beachten ist dabei, dass die Ansteuerung eines Senders oder Verstärkers mit Pegeln erfolgen muss, die spannungsmäßig betrachtet, der halben Vollaussteuerung entsprechen.

Die Überlagerung der Töne erzeugt maximal die doppelte Amplitude, was 6 dB in logarithmischer Darstellung entspricht. Daher kommen auch die Unterschiede in der Angabe von Intermodulationsabständen. Wird der Pegel des IMD3-Produktes auf den Pegel der Zweitonsignale bezogen, sollte die Angabe in dBc vorgenommen werden. Ist die Vollaussteuerung, auch PEP-Leistung des Verstärkers genannt, der Bezug, werden zur Pegeldifferenz 6 dB addiert, was natürlich im Werbeprospekt freundlicher wirkt.

Zweitongenerator aus Audiosignalen

Werden in einen Einseitenbandsender in den Audioeingang zwei Töne unterschiedlicher Frequenz und gleicher Amplitude eingespeist, ergibt sich die schon erwähnte Schwebung.

Bei Phasengleichheit der Töne entsteht die doppelte Spannung, das entspricht der vierfachen Ausgangsleistung, falls der Sender dazu in der Lage wäre. Ist die Phase gegensätzlich, ist die resultierende Spannung Null, es erfolgt keine Aussteuerung.

Damit wird, wie das für eine Linearitätsbetrachtung eines Senders sinnvoll ist, der Sender periodisch zwischen Null und Vollaussteuerung betrieben.

Zur Erzeugung oberwellenarmer Töne sind Sinusoszillatoren gut geeignet. Als aktives Element kommt ein Differenzverstärker zur Anwendung. Frequenzbestimmend ist ein LC-Kreis. Die Induktivitäten werden durch zwei aufeinander geschraubte Schalenkernhälften gebildet. Mit einem passenden Kondensator ergibt sich die gewünschte Tonfrequenz im Durchlassbereich des Sendefilters.

Die beiden Töne sollten derart im Durchlassbereich des Filters angeordnet werden, dass die Oberwellen nicht mehr im Durchlassbereich liegen. Das lässt sich dadurch erreichen, dass der höhere Ton dicht an der Filterflanke und der andere kurz über der Mittenfrequenz angeordnet wird.

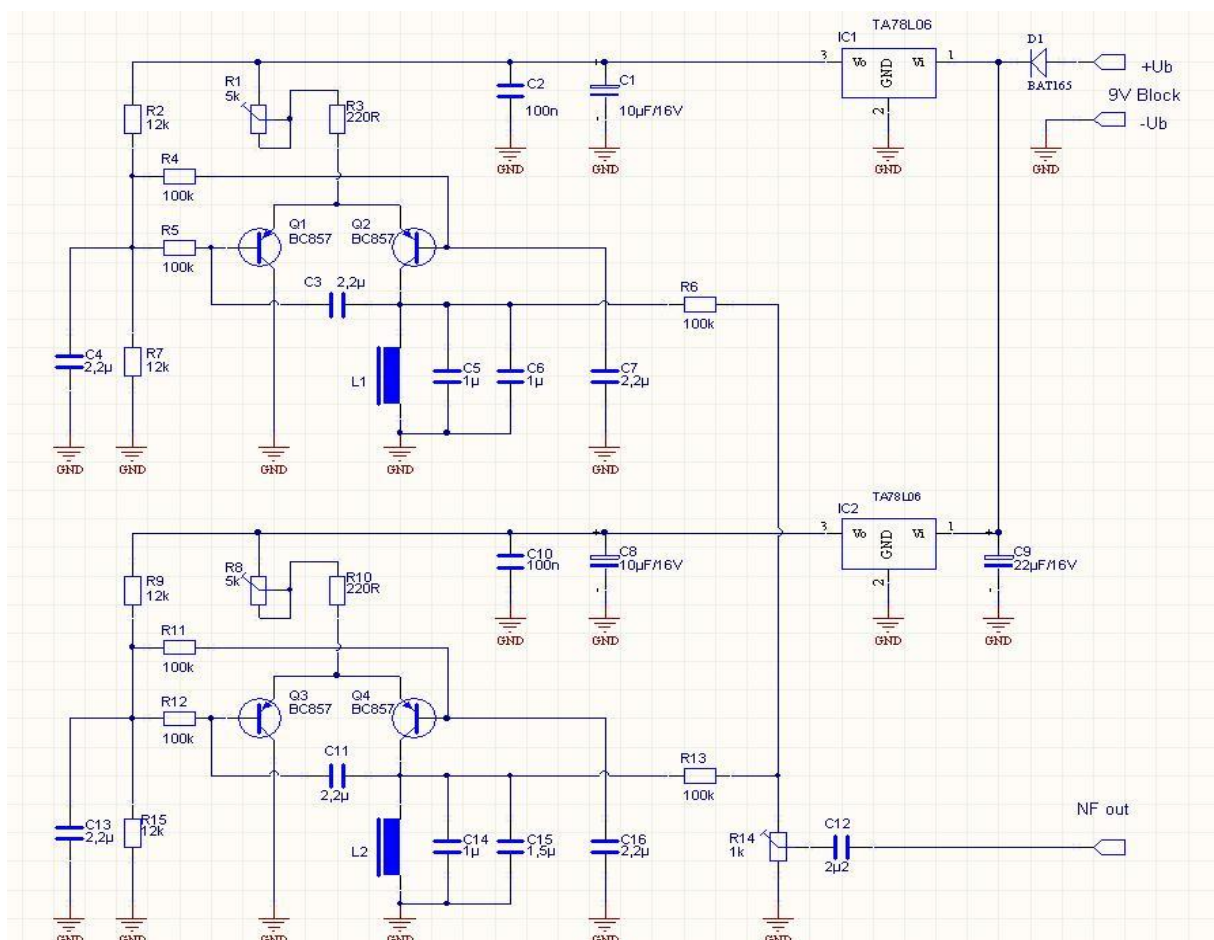
Die Verstärkung des Differenzverstärkers wird durch den Emitterstrom bestimmt. Mit einem Einstellregler lässt sich damit gleichzeitig die Schwingamplitude einstellen. Die beiden Basen der Transistoren erhalten hochohmig die geteilte Betriebsspannung als Ruhestromversorgung. Der Spannungsteiler ist abgeblockt.

C3 bewirkt in Verbindung mit den zusammenschalteten Emittoren die Rückkopplung des Oszillators.

Am Hochpunkt des Schwingkreises lässt sich eine klirrarmer Spannung auskoppeln. Die Amplitude ist ausreichend, um mit einem hohen Spannungsteilverhältnis einen Pegel im mV-Bereich zu erzeugen und gleichzeitig eine ausreichende Entkopplung der beiden Oszillatoren zu gewährleisten.

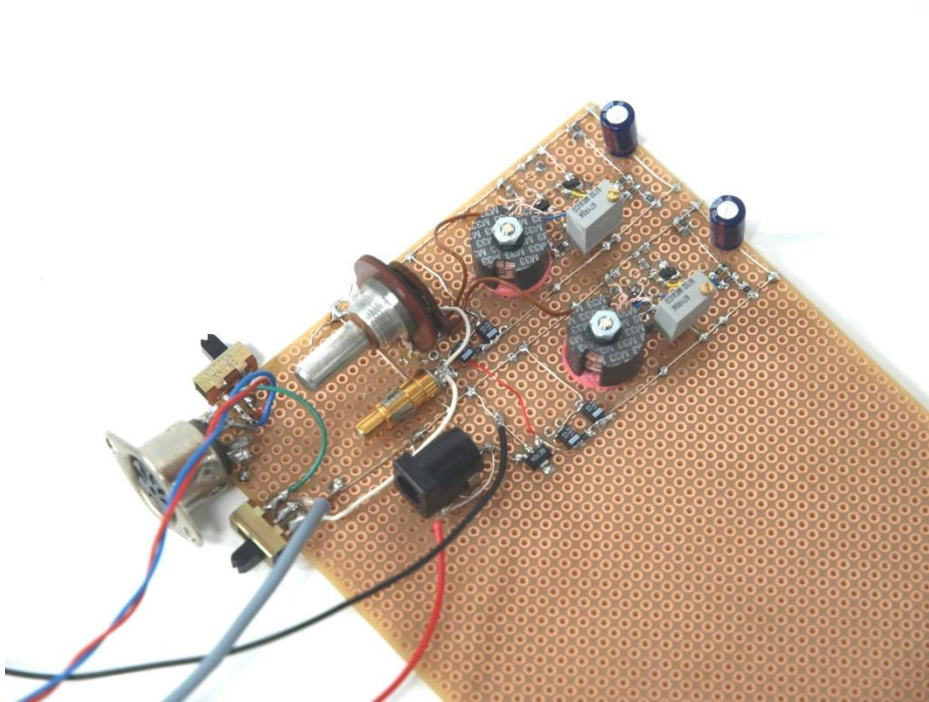
Die Speisung kann infolge der geringen Stromaufnahme aus einer Batterie erfolgen.

Zur Entkopplung bei kritischen Situationen zwischen Generator und Sender ist ggf. eine galvanische Trennung sinnvoll.



Es gibt für die Audiogeneratoren keinen fertigen Entwurf für eine Platine. Auf einer Rasterkarte ist die Schaltung schnell aufgebaut.

Anschlüsse für die Stromversorgung und den Audioausgang können individuell gestaltet werden. Eine Diode als Verpolschutz sollte bei jeglicher Schaltung aber nicht fehlen.



Für praktische Test ist der Versuchsaufbau mit einer Mikrofonbuchse sowie mit einer Umschaltung zwischen Mikrofon und Generator versehen. Auf diese Weise läßt sich im QSO rasch auf den Generator umschalten. Dabei übernimmt ein weiterer Schalter die PTT-Funktion.

Bei der Ansteuerung eines Senders sollte die ALC-Funktion außer Betrieb sein. Eine Übersteuerung des Senders muss unbedingt vermieden werden, weil sonst bereits im Nutzkanal zusätzliche Töne entstehen.

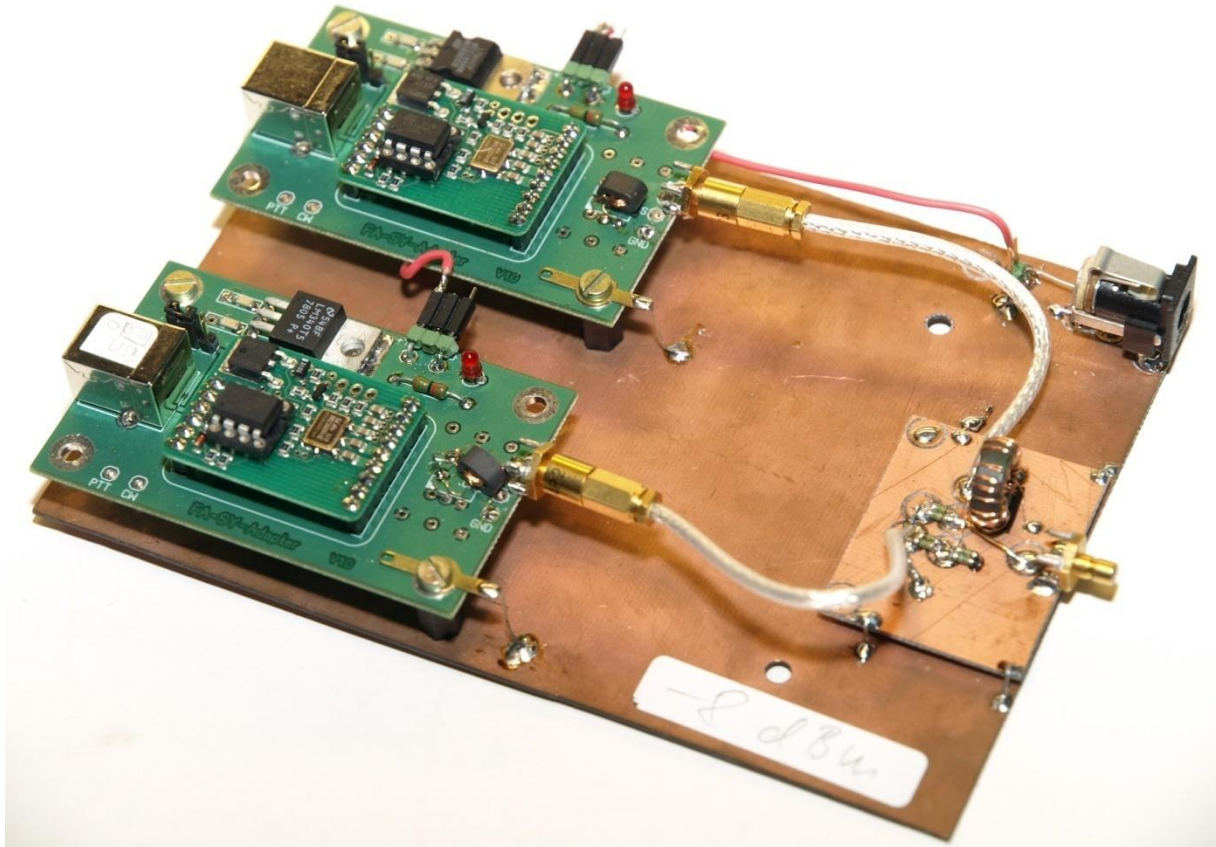
Zweiton-HF-Generator

Zur Untersuchung eines einzelnen Verstärkers ohne die Verwendung eines kompletten Senders oder Transceivers ist die Erzeugung eines Zweitonsignals direkt auf der benötigten Endfrequenz wünschenswert. Die Literatur bietet reichlich Beispiele für Zweitongeneratoren mit passenden Quarzen. Entscheidend für ein sauberes Zweitonsignal ist dabei immer ein strikt getrennter Aufbau der Oszillatoren und eine ausreichende Entkopplung der Spannungsversorgung. Als Nachteil sind die durch die Quarze festgelegten Frequenzen zu sehen.

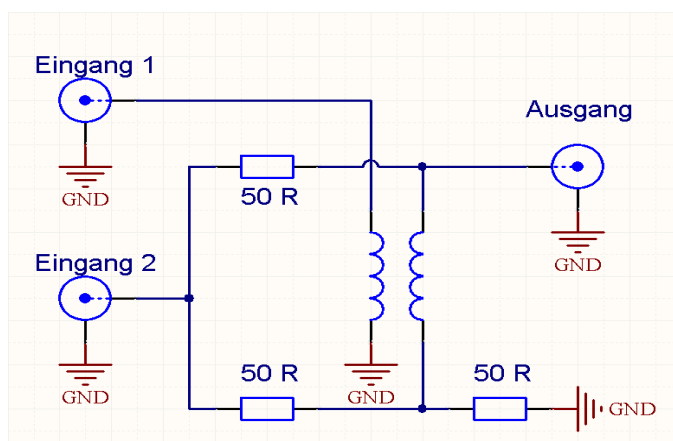
Der Schaltkreis SI570 von Silicon Labs und die von DG8SAQ veröffentlichte Software zusammen mit dem Bausatz des Leserservice ergeben einen, per USB frei programmierbaren, quasi quarzstabilen

Oszillator. Laut Datenblatt lassen sich die Si570 in der Ausführung bis 160 MHz nur bis minimal 10 MHz programmieren. Meine beiden Exemplare ließen sich aber auch noch im 80m Band einstellen.

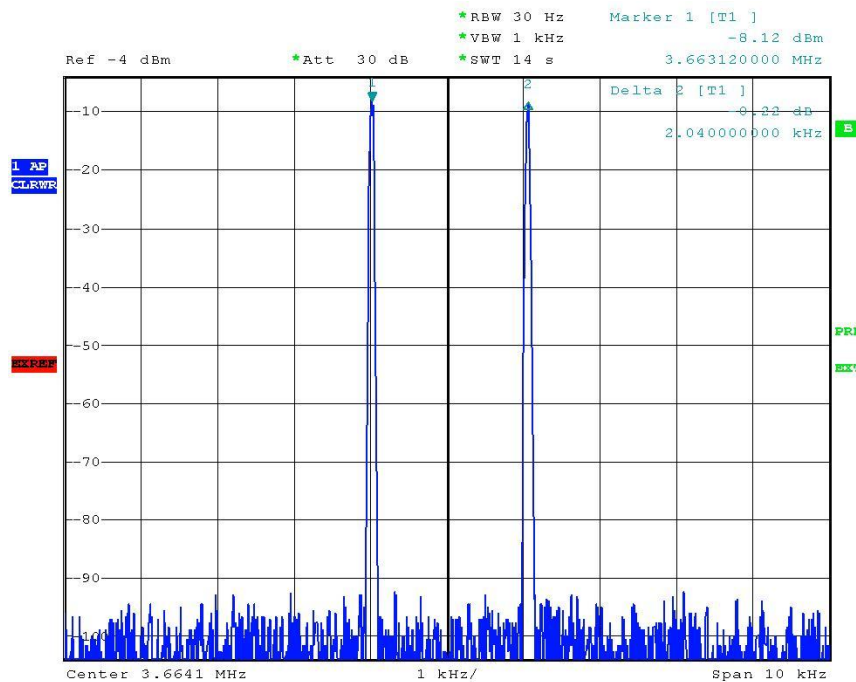
Zwei derartige Generatoren, deren Ausgangssignale über einen 6 dB Hybridkoppler addiert werden, liefern ein sehr sauberes HF-Zweitonsignal. Vor der Addition werden die Signale über Tiefpassfilter, beispielsweise PLP-5 von Minicircuits, ebenfalls beim Leserservice erhältlich, geleitet.



Eines der beiden Signale wird in den Diagonalzweig der Brücke eingespeist. Die Qualität des dazu nötigen Baluns im interessierenden Frequenzbereich ist maßgeblich an der Entkopplung der beiden Eingänge beteiligt. Im Milliwattbereich sind SMD-Widerstände der Bauform 1206 ausreichend.

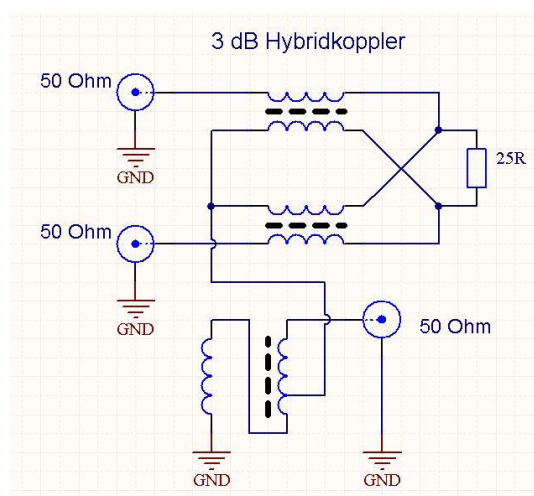


Das sich ergebende Spektrum verblüfft mit einem sehr hohen Intermodulationsabstand, wie nachfolgende Darstellung, abgenommen von einem R&S-Meßempfänger, zeigt.



Leider ist der aus den FASYS entnehmbare Pegel zu gering, um Leistungsverstärker zu testen. Für Intermodulationsversuche an Empfängern eignen sich die zweimal -8dBm-Signale aber bereits vorzüglich.

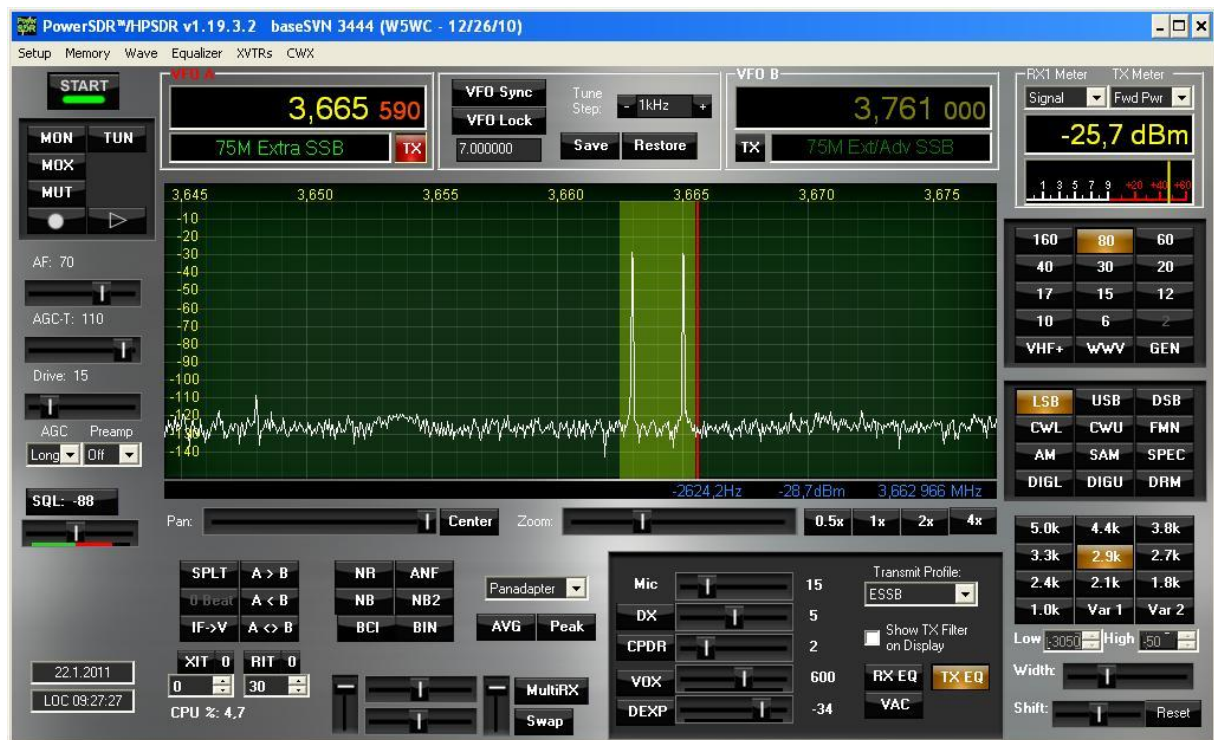
Das sehr lineare Signale nach der Addition läßt sich in dieser Qualität leider nicht so ohne Weiteres verstärken. Jeder Versuch würde IM-Produkte verursachen. Daher ist eine Möglichkeit, die Einzelträger zunächst getrennt zu verstärken und erst dann zu addieren. Resistive Brücken würden dann aber induktionsarme Widerstände ausreichender Belastbarkeit erfordern. Deshalb ist möglicherweise einem 3dB Hybridkoppler der Vorzug zu geben. Die notwendigen Übertrager bzw. Hinweise zu deren Herstellung sind beispielsweise bei DG0SA zu erhalten.



Eine ausführliche Darstellung des Themas findet sich in der Motorola Application AN749

Der nachfolgende Schnappschuss zeigt das mit einem MRF150 im A-Betrieb verstärkte Zweitonsignal, wenn es dem Empfänger meines HPSDR-Systems angeboten wird. Die Pegel liegen ca. 10 dB unter der Übersteuerungsgrenze des AD-Wandlers.

Beeindruckend ist dabei, dass die beiden Töne ca. 90 dB aus dem Rauschen herausragen, ohne dass Intermodulation zu erkennen ist.



Wie betrachtet man das Zweitonsignal des eigenen Senders ?

Neben der Erzeugung eines sauberen Signals steht natürlich die Frage nach der Diagnose an der eigenen Station.

Jedes SDR-Radio, egal ob zuerst in den Audio-Bereich einer Soundkarte gemischt wird oder direkt abgetastet, liefert je nach Software für die Signalverarbeitung ein Spektrum. Somit ist das Betrachten der eigenen Aussendung einfach möglich. Hier sei angemerkt, dass selbst dann, wenn keine Absicht besteht, mit einem SDR-Konzept Funkverkehr zu praktizieren, allein die Monitormöglichkeiten den geringen Aufwand für zwei Mischer und einen Oszillator hinreichend rechtfertigen.

Ein PC mit einer Soundkarte als AD-Wandler ist in den meisten Shacks vorhanden. Es braucht also keine teuren Spektralanalysatoren sondern etwas Improvisation. Kommerzielle Analysatoren haben oft auch keine schmalbandigen Filter. Ein Oszillator, beispielsweise wieder ein FA-SY, der frei programmierbar ist, zwei Flip-Flops für die Erzeugung der orthogonalen Signale, zwei Mischer, z.B. 4066 in einer schnellen Ausführung und zwei OPVs sind der gesamte Hardwareaufwand. Dabei

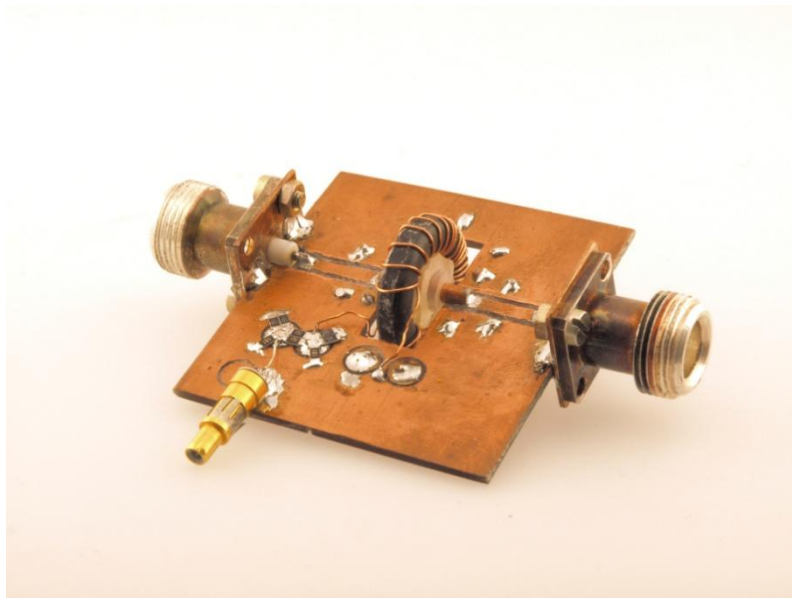
müssen keine Spitzenwerte des Empfängers angestrebt werden, es soll ja das eigene Signal angeschaut werden.

Einfügen Bild Versuchsaufbau Mixer

Der Spektralzusatz des FA-NWT ist natürlich genauso gut geeignet.

Für Meßzwecke ist eine Kunstantenne mit einem gedämpften Meßausgang praktisch, beispielsweise der beim Leserservice angebotene 100W-Lastwiderstand mit einem um 40 dB gedämpften Ausgang. In der Zuleitung zu einer bereits vorhandenen Kunstantenne läßt sich auch durch einen resistiven Teiler oder eine transformatorische Auskopplung ein Meßsignal entnehmen.

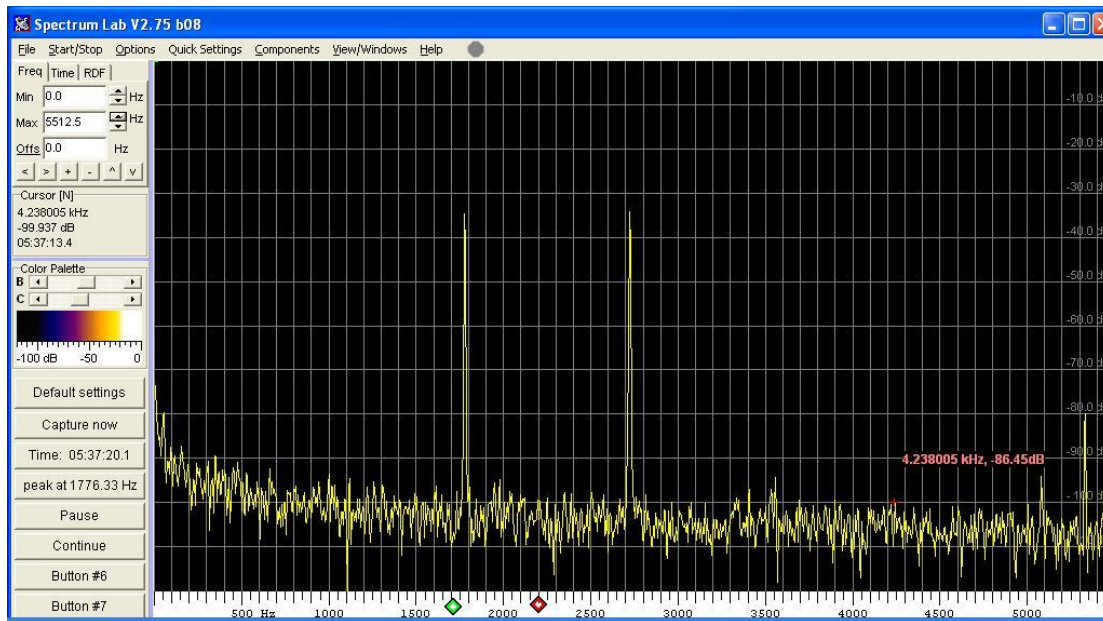
Nachstehendes Foto zeigt einen Versuch eines Stromwandlers mit 30 dB Auskoppeldämpfung, gefolgt von einem resistiven Dämpfungsglied mit 10 dB.



In Richtung Monitorempfänger ist dann eine weitere Dämpfung erforderlich. Vor den Empfänger schaltet man zusätzlich, sofern vorhanden, eine Eichleitung, um eine Übersteuerung zu vermeiden.

Als Monitor ist aber auch ein einfacher Mischer geeignet, der mit dem gedämpften Sendesignal und einem Oszillator mit einigen Kilohertz Versatz zur Sendefrequenz gespeist wird. Das entstehende NF-Spektrum läßt sich mit einem geeigneten Programm zur Spektraldarstellung im NF-Bereich gut anschauen.

Außerordentlich gut geeignet ist das Programm von DL4YHF.



Zusammenfassung

Bei der Betrachtung von Intermodulationsspektren, sowohl des eigenen als auch der der Funkpartner mit amateurmäßigen Mitteln geht es weniger um exakte Messungen sondern eher um die Erkennung qualitativer Unterschiede. Digital erzeugte Signale weisen einen hohen Intermodulationsabstand auf. Mehr Leistung bedeutet leider auch mehr Intermodulation. Moderne SDR-Konzepte erlauben eine spektrale Darstellung mit einfachen Mitteln, die an jeder Station vorhanden sein sollte.

DL5CN, März 2012