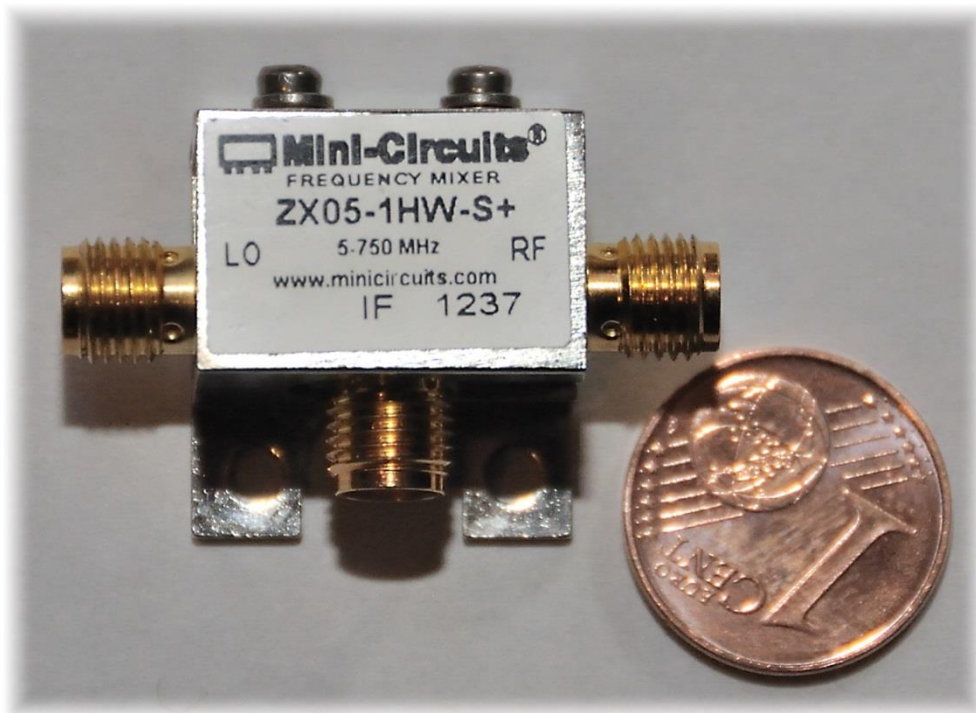


Untersuchung eines Hochfrequenzmischers



Adrian Rambousky (15)

Jan-Mathis Sabath (15)

Wettbewerb „Jugend Forscht“ 2016

Arbeitsgemeinschaft „Jugend Forscht“ des
Christian Gymnasium Hermannsburg
Betreuung: StD Thomas Biedermann

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Problemstellung	3
3. Grundlagen	4
3.1 Dezibel	4
3.2 Eigenrauschen	5
3.3 Peaks.....	5
4. Prinzip eines elektronischen Mischers	5
4.1 Mischer im niederfrequenten Bereich	5
4.2 Mischer im hochfrequenten Bereich.....	6
5. Messungen an dem Mischer	7
5.1 Technische Daten des Mischers ZX05-1HW-S+	7
5.2 Versuchsanordnung.....	7
5.3 Vorversuche.....	8
5.4 Mischversuche bei verschiedenen Frequenzen	8
5.4.1 Variation des lokalen Oszillators	8
5.4.2 Variation des Signaloszillators.....	8
5.5 Mischversuche bei variabler NWA-Leistung	9
6. Auswertung	9
7. Zusammenfassung.....	10
Danksagung	11
Quellen	11
Bibliographie.....	11
Glossar	11

Untersuchung eines Hochfrequenz- Mischers

1. Einleitung

Schon seit vielen Tausenden von Jahren interessierten sich die Menschen für den Sternenhimmel und waren von seiner Erscheinung fasziniert. Vor allem in der Antike schrieb man den Sternbildern einen Einfluss auf den Menschen zu und erzählte Geschichten über die Bedeutung der Sternbilder. Doch mit der Zeit lernte der Mensch die Sterne auch zu praktischen Dingen, wie beispielsweise der Navigation oder der Erforschung der Entstehung unseres Universums, zu nutzen.

Die Radioastronomie-AG unserer Schule hat sich das Ziel gesetzt ein Radioteleskop zu bauen. Unterstützt durch den Verein Sternwarte Südheide e.V. soll das Radioteleskop zusammen mit einem optischen Teleskop künftig in der Sternwarte Südheide betrieben werden. Die Teilnehmer der AG beschäftigen sich schon seit mehreren Jahren mit der Radioastronomie und den verschiedenen Komponenten und Techniken eines Radioteleskops. Mit dem aufzubauenden Radioteleskop soll schließlich die Hochfrequenzstrahlung von Objekten in unserer Galaxie außerhalb unseres Sonnensystems gemessen und analysiert werden. Die Messungen sollen später in Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn durchgeführt werden.

2. Problemstellung

Ein wesentlicher elektronischer Bestandteil unseres Radioteleskops ist die Empfangsanlage für Hochfrequenzstrahlung im unteren Gigahertz-Bereich. Diese Frequenz ist besonders interessant, da sich beispielsweise interstellarer Wasserstoff über 1,4 GHz (21 cm) Radiowellen nachweisen lässt. Die verwendete Empfangsanlage besteht neben der Empfangsantenne aus rauscharmen Verstärkern, einem Mischer mit nachgeschalteten Filtern und weiteren Verstärkern. Mit dem Hochfrequenz-Umschalter kann ausgewählt werden, welcher der beiden Dipole (Vert. / Hor.) verwendet werden soll. Darauf folgen zwei rauscharme Verstärker, welche das Signal verstärken. Danach folgen ein Bandpass-Filter und ein weiterer rauscharmer Verstärker. Jetzt wird das am Anfang empfangene Signal in den RF-Eingang des Mischers und das VCO-Signal in dessen LO-Eingang weitergeleitet. Nun werden die beiden Signale gemischt und alles bis auf das Differenzsignal mit einem Tiefpassfilter herausgefiltert. Nachdem das Signal nun nur noch die Differenzfrequenz enthält, kann es mit zwei rauscharmen Verstärkern noch weiter verstärkt werden. Über einen Koppler kann das Signal von anderen Messgeräten noch weiterverarbeitet werden, während das Powermeter die aktuelle Leistung des Signals anzeigt.

Hochfrequenzschaltungen in diesem Frequenzbereich sind sehr aufwändig zu realisieren und die Bauteile sind recht teuer. Daher ist es sinnvoll, Frequenzbänder hoher Frequenzen auf Frequenzbänder mit niedrigeren Frequenzen herunter zu mischen. Dies realisiert man schaltungstechnisch mit sogenannten Abwärtsmischern, den zu untersuchen wir uns zum Ziel gesetzt haben (siehe rot umrandeten Teil in Abb. 1). An einen Eingang des Mischers wird das zu messende Hochfrequenzsignal (RF-Signal), an den anderen Eingang das niederfrequenter Lokoszillatorsignal (LO-Signal) angelegt. An den Ausgang des Mischers wird zur Signalanalyse ein Spektrum Analysator angeschlossen.

Bei einem Frequenz-Sweep mit dem Spektrumanalysator sollten hinter dem Mischer vier Peaks entstehen, einmal die beiden Peaks der Eingangssignale und deren Summen- und Differenzpeaks. Bei unseren Messungen erhielten wir die vermuteten vier Peaks, aber zusätzlich auch noch ganz viele andere schwächere Peaks. Zuerst dachten wir, dass diese Peaks durch das Eigenrauschen des Mischers verursacht werden, aber später stellten wir fest, dass sich hinter den vielen kleineren Peaks

ein Muster bezüglich der Frequenzen verbirgt. In diesem Projekt soll nun das Muster der weiteren Peaks analysiert und herausgefunden werden, wie diese Peaks entstehen. Mit dieser Kenntnis soll weiterhin versucht werden, diese Peaks aus dem Ausgangssignal des Mischers herauszufiltern.

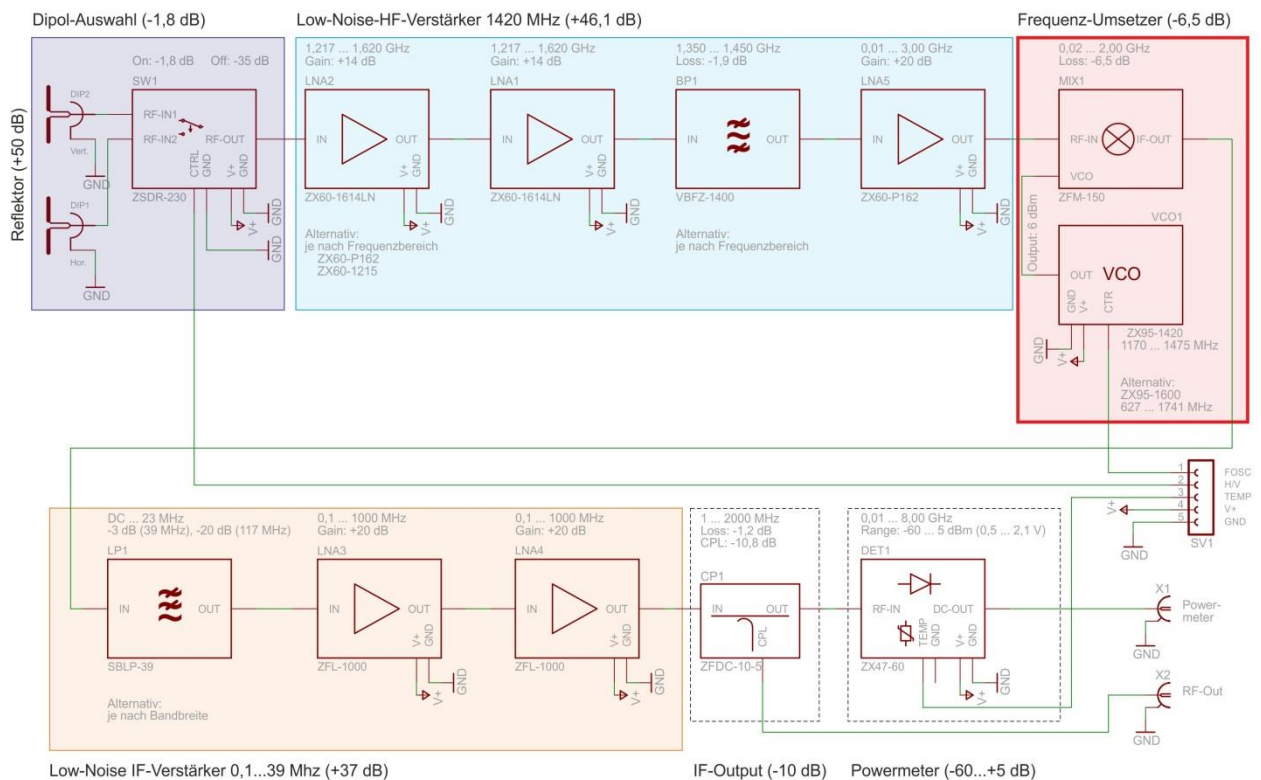


Abbildung 1: Aufbau der Empfangsanlage

3. Grundlagen

In der Radioastronomie benötigt man Verfahren und Messtechnik der Hochfrequenztechnik (HF-Technik). Diese ist ein fortgeschrittenes Teilgebiet der Elektrotechnik, welches sich – wie der Name vermuten lässt – mit hochfrequenten Signalen beschäftigt. Von Hochfrequenz spricht man üblicherweise ab etwa 3 MHz. Elektromagnetische Wellen lassen sich über Frequenz f bzw. die Wellenlänge λ charakterisieren. Diese beiden physikalischen Größen hängen über die Ausbreitungsgeschwindigkeit c der Welle im entsprechenden Medium (meist Vakuum) zusammen. Es gilt:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

3.1 Dezibel

In der niederfrequenten Elektronik werden fast ausschließlich lineare Einheiten verwendet, während in der HF-Technik meist ein logarithmisches Maß bevorzugt wird. So können Messwerte, die sich um Zehnerpotenzen unterscheiden, trotzdem übersichtlicher dargestellt werden. Das Dezibel (dB) ist eine nach Alexander Graham Bell benannte Hilfsmaßeinheit und beschreibt Leistungsverhältnisse $Q(P)$ über den dekadischen Logarithmus und ist wie folgt definiert.

$$Q_{(P)} = \left(10 * \lg \frac{P_1}{P_2} \right) \text{dB}$$

Die Leistungsgröße P_1 wird somit im Verhältnis zur Leistungsgröße P_2 im logarithmischen Maßstab angegeben. Hier ein Beispiel für $P_1 = 30.000 \text{ mW}$ und $P_2 = 30 \text{ mW}$, also für ein Leistungsverhältnis von 1.000, das einem Wert von 30 dB entspricht:

$$Q_{(P)} = \left(10 * \lg \frac{30.000}{30} \right) \text{dB} = (10 * \lg 1000) \text{dB} = (10 * 3) \text{dB} = 30 \text{dB}$$

3.2 Eigenrauschen

Temperaturbedingt produziert jede HF-Komponente durch sich unregelmäßig bewegende Elektronen ein Eigenrauschen, auch thermisches Rauschen genannt. Thermisches Rauschen erhöht sich bei steigender Temperatur. Normalerweise ist dieser Effekt im Vergleich zum Nutzsignal sehr schwach. Bei ebenfalls schwachen Nutzsignalen kann sich das Eigenrauschen allerdings als störend erweisen, vor allem wenn das Nutzsignal bei der weiteren Signalverarbeitung noch verstärkt wird. Neben dem Nutzsignal wird dann nämlich auch das Eigenrauschen verstärkt, was zu signifikanten Störungen des Gesamtsystems führen kann.

3.3 Peaks

Beim frequenzabhängigen Messen von schmalbandigen HF-Signalen, zum Beispiel im Spektrumanalysator, betrachtet man meist charakteristische Peaks. Peaks sind scharfe Maxima, die sich meist durch eine sehr schmale Gaußsche Glockenkurve darstellen lassen. Sie werden gewöhnlich über folgende drei Eigenschaften definiert: Die Frequenz des Maximalwertes des Peaks f_{max} , die Breite des Peaks auf halber Höhe (F_{WHM} = Full Width Half Maximum) und die Peak Amplitude A_{max} .

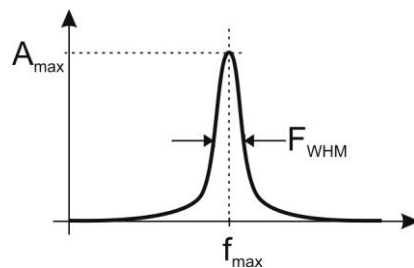


Abbildung 2: Peak mit den oben verwendeten Größen

4. Prinzip eines elektronischen Mischers

Mit Hilfe von Mixern kann ein bestimmtes Frequenzband mit definierter Bandbreite in ein höheres oder niedrigeres Frequenzband umgesetzt werden. Für diese Frequenzumsetzung ist neben der Mischstufe ein Lokaloszillator nötig, dessen Frequenz die Mittenfrequenz bei der Mischung bestimmt.

Ein Mischer verarbeitet zwei Eingangssignale:

- Das „Eingangssignal“ mit der Frequenz f_e . Dieses Signal ist der Informationsträger, es enthält die Nutzinformation in Form einer Modulation.
- Das Oszillatorsignal mit der Frequenz f_{LO} . Dieser Oszillator erzeugt je nach Anwendungsfall ein Sinus- oder Rechtecksignal.

4.1 Mischer im niederfrequenten Bereich

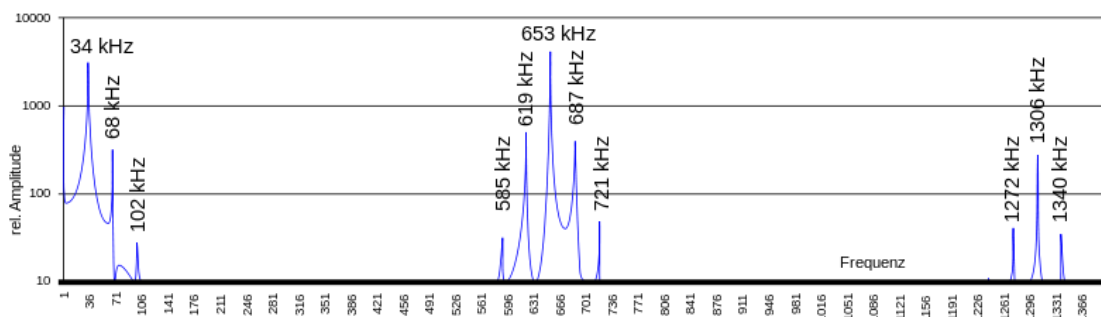


Abbildung 3: Ausgangsspektrum eines Röhrenmischers mit einer nichtlinearen Kennlinie und den Eingangsfrequenzen 34 kHz und 653 kHz [1]

Abbildung 3 zeigt das typische Spektrum eines elektronischen Mischers (hier eine Elektronenröhre) für die Eingangsfrequenzen von $f_e = 34 \text{ kHz}$ und $f_{LO} = 653 \text{ kHz}$. Aufgrund von Nichtlinearitäten im Mischer (gekrümmte Kennlinie) entstehen im Ausgangssignal weitere Peaks an unterschiedlichen Frequenzstellen. Man erkennt leicht die verschiedenen möglichen Summen- und Differenzpeaks, z.B.:

$f_{2e} = f_e + f_e$		$f_d = f_{LO} - f_e$		$f_s = f_{LO} + f_e$		$f_{2LO} = f_{LO} + f_{LO}$	
68 kHz		619 kHz		687 kHz		1306 kHz	
$f_{2e} - f_e$	$f_{2e} + f_e$	$f_d - f_e$	$f_d + f_e$	$f_s - f_e$	$f_s + f_e$	$f_{2LO} - f_e$	$f_{2LO} + f_e$
34 kHz	102 kHz	585 kHz	653 kHz	653 kHz	721 kHz	1272 kHz	1340 kHz

Der Mischer produziert also ein Ausgangssignal, das stets mehrere Frequenzen enthält. Zwei Anteile, die beiden „Seitenbänder“ $f_{LO} - f_e$ und $f_{LO} + f_e$, sind erwünscht. Sie enthalten die Modulation des umzusetzenden Signals, aber eben frequenzverschoben. Im Regelfall wird nur eines der Seitenbänder durch einen Bandpass zu den nachfolgenden Verstärkerstufen durchgelassen. Je nach Qualität erzeugt der Mischer aber auch andere Frequenzanteile unterschiedlicher Amplitude, die als unerwünschte Mischprodukte bezeichnet und ebenfalls unterdrückt werden müssen. Um diese Bänder sauber voneinander trennen zu können, muss f_{LO} geschickt gewählt werden, was im vorliegenden Beispiel nicht der Fall ist, weil die beiden Seitenbänder zu dicht beieinander liegen.

4.2 Mischer im hochfrequenten Bereich

Die Empfangsanlage unseres Radioteleskops verwendet einen sogenannten Abwärtsmischer. Das HF-Eingangssignal hat dabei eine kleinere Frequenz als der Lokaloszillator, d.h. $f_e = f_{HF} < f_{LO}$. Dadurch erhält man als gewünschtes Ausgangssignal ein sogenanntes Zwischenfrequenz-Signal (ZF-Signal) S_{ZF} in Kehrlage. Dies bedeutet, dass die Frequenzfolge und damit anschaulich die Form des ZF-Spektrums invertiert wird. Neben dem gewünschten herunter gemischten Signal mit der Frequenz $f_{ZF} = f_{HF} - f_{LO}$ entsteht noch das höhere Seitenband bei einer Frequenz von $f_{HF} + f_{LO}$. Dieses Seitenband wird beim Einsatz eines Abwärtsmischers nicht benötigt und muss durch Verwendung eines entsprechenden Filters aus dem Signal entfernt werden. Der Sachverhalt ist schematisch in Abbildung 4 dargestellt.

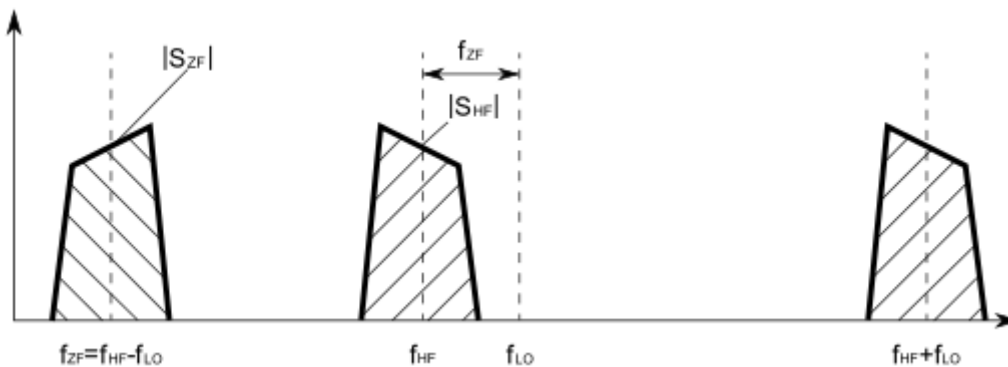


Abbildung 4: Funktionsprinzip eines Abwärtsmischers in Kehrlage, d.h. $f_{HF} < f_{LO}$ [1]

Wir untersuchen nun ein Beispiel für eine Abwärtsmischung mit der Frequenz $f_e = 1420 \text{ MHz}$ und der Frequenz $f_{LO} = 1600 \text{ MHz}$. Damit ergeben sich folgende Summen- und Differenzfrequenzen:

$f_{2e} = f_e + f_e$		$f_d = f_{LO} - f_e$		$f_s = f_{LO} + f_e$		$f_{2LO} = f_{LO} + f_{LO}$	
2840 MHz		180 MHz		3020 MHz		3200 MHz	
$f_{2e} - f_e$	$f_{2e} + f_e$	$f_d - f_e$	$f_d + f_e$	$f_s - f_e$	$f_s + f_e$	$f_{2LO} - f_e$	$f_{2LO} + f_e$
1420 MHz	4260 MHz	1240 MHz	1600 MHz	1600 MHz	4440 MHz	1780 MHz	4620 MHz

Im simulierten Spektrum nach Abbildung 4 kann man erkennen, dass hier die weiterzuverarbeitende Differenzfrequenz deutlich unter allen anderen entstehenden Frequenzen liegt und somit leicht durch ein Tiefpassfilter isoliert werden kann. Damit ist diese Art von Mischer für unsere Zwecke optimal geeignet.

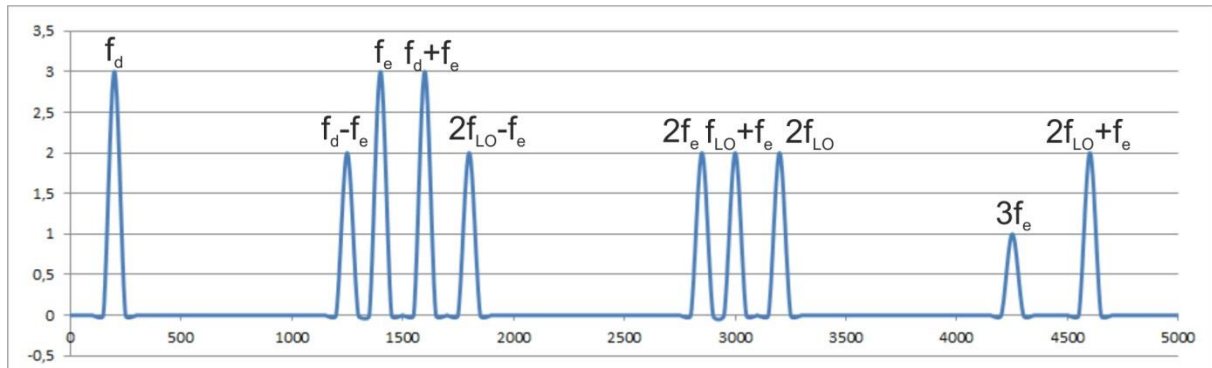


Abbildung 5: Simuliertes Spektrum mit den Eingangsfrequenzen 1420 MHz und 1600 MHz

5. Messungen an dem Mischer

Für unsere Messungen stehen uns zwei Hochfrequenzgeneratoren zur Verfügung. Der manuell zu bedienende HF-Generator Hewlett-Packard 3200B VHF stellt in einem Bereich von 10 MHz bis 500 MHz sinusförmige Signale mit einer Ausgangsleistung von bis zu 20 dBm zur Verfügung. Ein vor zwei Jahren in unserer AG selbst gebauter Netzwerkanalysator (NWA) stellt dagegen sinusförmige Signale im Bereich von 1 MHz bis 2250 MHz mit einer maximalen Ausgangsleistung von 0 dBm zur Verfügung, die um bis zu -31 dBm abgeschwächt werden können. Er enthält auch ein Leistungsmessgerät, das aber für unsere Zwecke nicht verwendet wird. Der NWA wird über ein entsprechendes Software-Interface bedient.

Zur Messung der Hochfrequenz-Signale verwenden wir den Aaronia Spektrum-Analysator HF-60105 V4X. Dieser hat eine Eingangsempfindlichkeit von +10 bis -160 dBm und erlaubt die Analyse von Spektren in einem Frequenzbereich von 1 MHz bis 10 GHz. Auch dieser wird über ein Software-Interface bedient.

5.1 Technische Daten des Mixers ZX05-1HW-S+

Wegen des eingeschränkten Frequenzbereiches des HF-Generators beschränken wir uns bei unseren Messungen auf einen Frequenzbereich von 0 bis 500 MHz. Der von uns verwendete Mischer hat einen Eingangsfrequenzbereich von 5 MHz bis 750 MHz und einen Ausgangsfrequenzbereich von 0 bis 750 MHz. Seine Übertragungsverluste sind mit ca. 6,0 dBm angegeben. Es handelt sich um einen Diodenmischer.

5.2 Versuchsanordnung

Der HF-Generator wird als lokaler Oszillator an den LO-Eingang des Mixers angeschlossen, während das Signal des NWA mit dem RF-Eingang verbunden wird. Der IF-Ausgang des Mixers wird mit dem Eingang des Spektrum-Analysators verbunden. Um den Signalpegel des HF-Generators abzusenken, wird zusätzlich ein in 10 dB-Schritten einstellbarer Attenuator (Abschwächer) eingefügt.

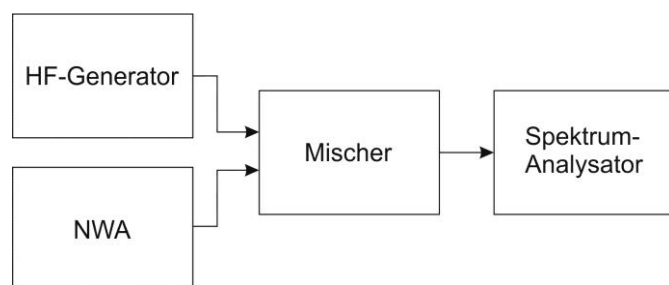


Abbildung 6: Prinzip-Skizze unserer Versuchsanordnung

5.3 Vorversuche

In unseren Vorversuchen haben wir Testmessungen am HF-Generator durchgeführt, damit wir seine Genauigkeit abschätzen können. Bei diesen Messungen wurde der Attenuator auf -40 dB eingestellt, um den Spektrum-Analysator nicht zu übersteuern. Wie man Tab. 1 entnehmen kann, lassen sich die Frequenzen trotz manueller Einstellung recht genau vorgeben. Zu beachten ist, dass die Ausgangsleistung mit zunehmender Frequenz deutlich abnimmt.

Eingestellt	Erzeugt	rel. Fehler	Pegel in dBm
26,00	25,45	2,12%	-18,1
50,00	49,60	0,80%	-17,6
96,00	96,70	-0,73%	-20,7
190,00	190,15	-0,08%	-21,3
360,00	360,25	-0,07%	-33,5

Tabelle 1: Genauigkeit des HF-Generators

5.4 Mischversuche bei verschiedenen Frequenzen

Das vom Mischer erzeugte Signal hängt von den jeweiligen Frequenzen der beiden Oszillatoren und der von ihnen eingespeisten Leistung ab. Deshalb wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt, bei der jeweils nur eine der beiden Größen variiert wurde.

5.4.1 Variation des lokalen Oszillators

Im ersten Versuchsteil wurde die Frequenz des Signaloszillators fest auf einen Wert von 197 MHz eingestellt und die Frequenz des lokalen Oszillators zwischen 190 und 220 MHz variiert. Beide Oszillatoren wurden mit einer Abschwächung von 10 dB betrieben. Die Messwerte sind in Abbildung 7 zusammengefasst. Man erkennt deutlich, dass sich die Signalpegel jeweils nur geringfügig unterscheiden. Besonders hervorzuheben ist die Tatsache, dass die Leistung der Differenzfrequenz jeweils signifikant größer ist als die aller anderen Frequenzanteile des Signals. In Abbildung 8 sind die Mittelwerte über diese vier Messungen zusammengefasst. Daraus kann man ablesen, dass die Leistung der Differenzfrequenz bei dieser Einstellung der Eingangsleistungen um mindestens 16 dB größer ist als bei allen anderen Frequenzanteilen.

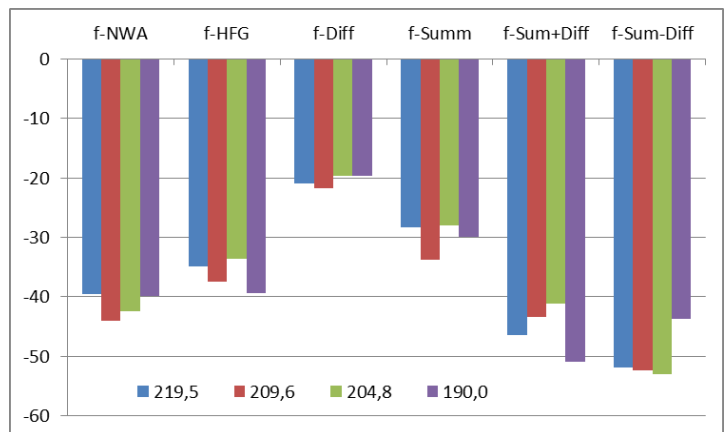


Abbildung 7: Leistungspegel bei verschiedenen Frequenzen

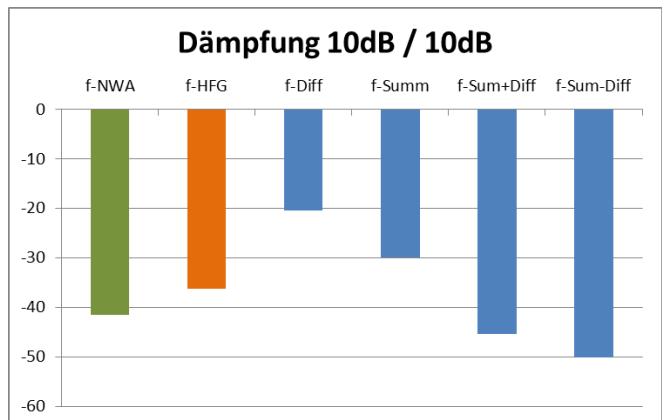


Abbildung 8: Mittelwerte der Leistungspegel

5.4.2 Variation des Signaloszillators

Im zweiten Versuch wurde die Ausgangsleistung des Signaloszillators um 20 dB reduziert, außerdem wurden nun die Frequenz des Signaloszillators variiert und die des lokalen Oszillators auf 220 MHz eingestellt. Man erkennt in Abbildung 8, dass die Leistung der Differenzfrequenz um ca. 9 dB abgenommen hat, während die Unterschiede zu den übrigen Mischfrequenzen etwa gleich geblieben sind.

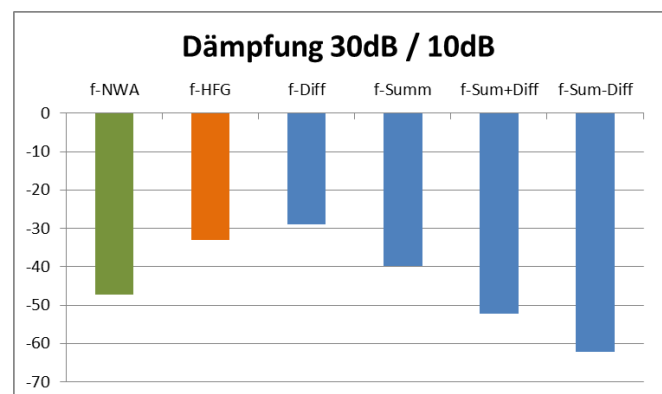


Abbildung 9: Mittelwerte bei Variation des Signaloszillators

5.5 Mischversuche bei variabler NWA-Leistung

In einer weiteren Versuchsreihe wurden die eingespeisten Frequenzen festgelegt und die Leistung des Signaloszillators variiert. Abbildung 10 zeigt wieder die Leistungen der einzelnen Frequenzanteile. Deutlich erkennt man den Unterschied von 20 dB zwischen dem ersten und dem zweiten Säulensystem. In beiden Fällen wurden die Angaben auf die Leistung der Differenzfrequenz normiert, deshalb ist deren Säule gleich Null. Bei der um 20 dB erhöhten Dämpfung beträgt der Abstand der Leistungen zwischen Differenz- und Generatorfrequenz (rot) nur noch 4 dB. Der Abstand zu den übrigen Frequenzen ist mit mindestens 10 dB nahezu unverändert geblieben.

Abbildung 11 zeigt, wie sich die Leistung der verschiedenen Frequenzanteile ändert, wenn die Leistung des NWA in Stufen von 5 dB verändert wird. Bei allen Frequenzen, bis auf die bei 276,5 MHz, wird die Leistung der jeweiligen Frequenzen ebenfalls um ca. 5 dB kleiner. Damit ist insbesondere die Leistung der Differenzfrequenz proportional zur eingespeisten Leistung.

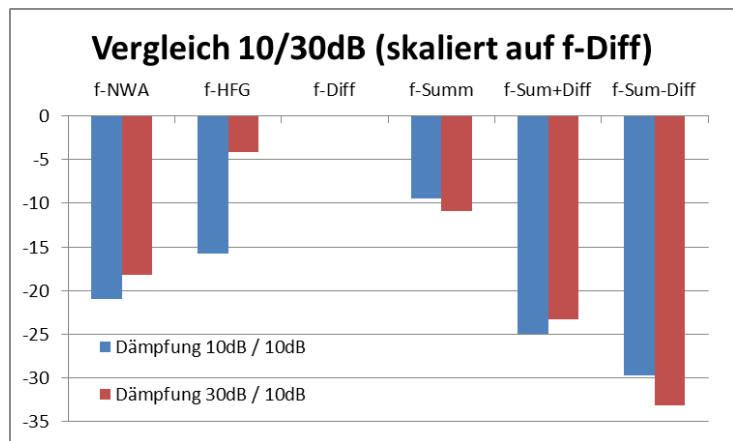


Abbildung 10: Variation der Leistung des Signaloszillators

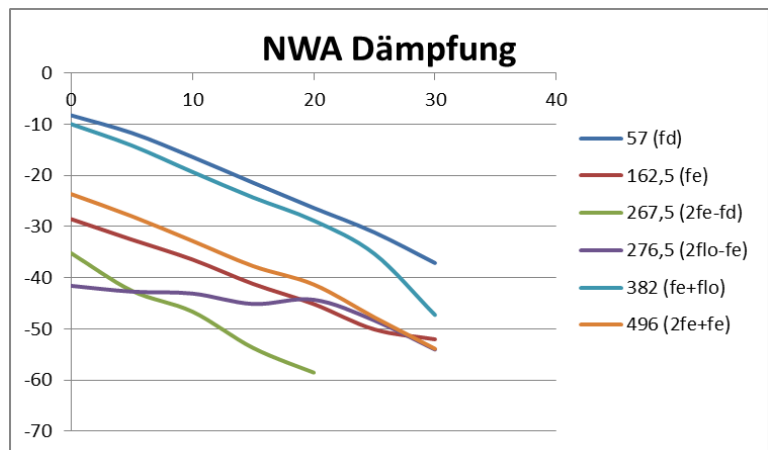


Abbildung 11: Einfluss der NWA-Leistung

6. Auswertung

Entsprechend der Tabelle aus 4.2 ergeben sich z.B. für die in den Mischer eingespeisten Frequenzen $f_e = 196,6 \text{ MHz}$ und $f_{LO} = 219,5 \text{ MHz}$ folgende zu erwartende Teilfrequenzen am Ausgang des Mixers:

$f_{2e} = f_e + f_e$		$f_d = f_{LO} - f_e$		$f_s = f_{LO} + f_e$		$f_{2LO} = f_{LO} + f_{LO}$	
393,2 MHz		22,9 MHz		416,1 MHz		439 MHz	
$f_{2e} - f_e$	$f_{2e} + f_e$	$f_d - f_e$	$f_d + f_e$	$f_s - f_e$	$f_s + f_e$	$f_{2LO} - f_e$	$f_{2LO} + f_e$
196,6 MHz	589,8 MHz	173,7 MHz	219,5 MHz	219,5 MHz	612,7 MHz	242,4 MHz	635,6 MHz

Abbildung 12 zeigt das Spektrum einer konkreten Messung mit diesen Frequenzen, die in der obigen Tabelle fettgedruckten Frequenzen sind dort markiert (nicht alle auftretenden Frequenzen wurden bei diesem Sweep erfasst).

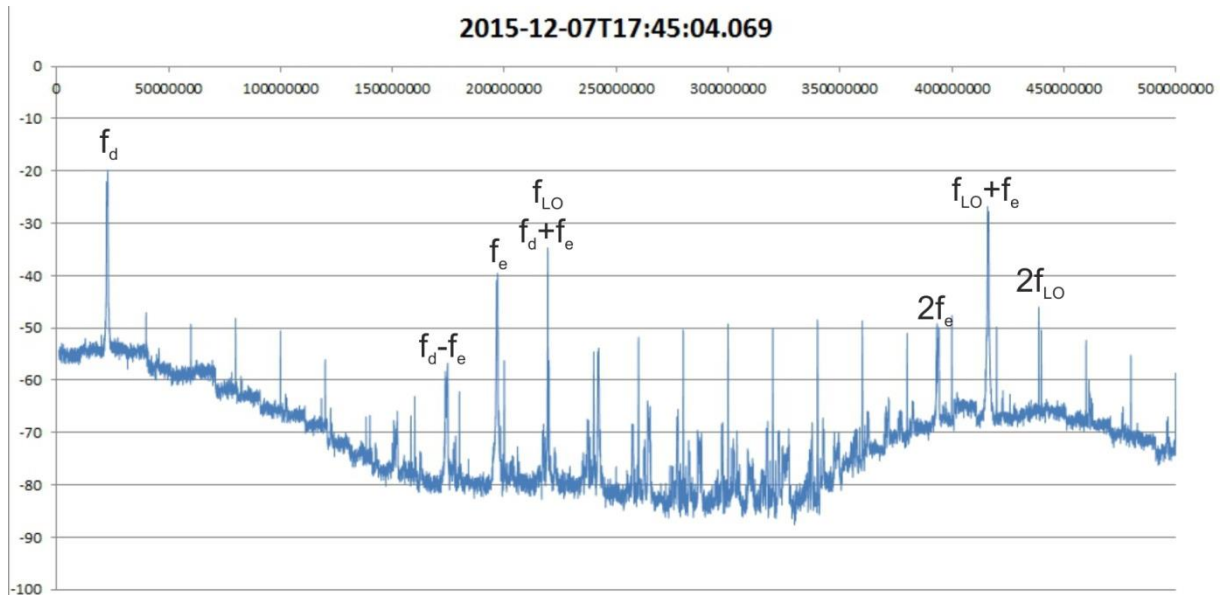


Abbildung 12: Messbeispiel für 196,6 MHz und 219,5 MHz mit eingetragenen Teilfrequenzen

Man erkennt, dass die aus der Theorie vorhergesagten Summen- und Differenzfrequenzen tatsächlich alle eindeutig zu identifizieren sind. Die meisten der übrigen Peaks sind auf einen Fehler in der Software des Spektrum-Analysators zurückzuführen, sie liegen genau auf den ganzzahligen Vielfachen von 20 MHz. Ebenfalls gut zu erkennen ist die Tatsache, dass der Peak bei der Differenzfrequenz die höchste Leistung aufweist.

Ebenfalls gut zu erkennen ist eine recht große Lücke zwischen dem Differenzpeak und dem nächsten Peak des eingespeisten Oszillatorsignals mit nennenswerter Leistung. Hiermit ist es möglich, diesen Differenzpeak durch ein Tiefpassfilter mit einer Grenzfrequenz von ca. 100 MHz von den anderen Frequenzanteilen zu isolieren und anschließend weiterzuverarbeiten.

7. Zusammenfassung

Mit unserem Projekt konnten wir zeigen, dass es bei einem hochfrequenten Eingangssignal sinnvoll ist, die Frequenz des Lokaloszillators ebenfalls auf eine ähnlich hohe Frequenz einzustellen, weil damit die unerwünschten Frequenzanteile leicht herausgefiltert werden können. Die Differenz sollte aber hinreichend groß gewählt werden, dass sie bei Frequenzschwankungen des Eingangssignals kein negatives Vorzeichen annehmen kann. Um z.B. die Wasserstofflinie bei 1420 MHz, die durch Dopplereffekte um 2 MHz nach oben oder unten abweichen kann, auf diese Weise zu verarbeiten, muss der Lokaloszillator auf eine Frequenz von mindestens 1422 MHz eingestellt werden. Damit können Schwankungen der Eingangsfrequenz zwischen 1418 ($f_{Diff} = 4$ MHz) und 1422 MHz ($f_{Diff} = 0$ MHz) eindeutig zugeordnet werden.

Aus den Überlegungen geht hervor, dass die Frequenz des Lokaloszillators sehr stabil sein muss, weil diese einen entscheidenden Einfluss auf die Differenzfrequenz hat, dies betrifft auch die von ihm eingespeiste Leistung.

Ebenfalls konnten wir zeigen, dass die Leistung des Differenzsignales von der Leistung des eingespeisten Hochfrequenzsignals proportional abhängt. Dies ist notwendig, damit bei einer weiteren Signalverarbeitung die darin enthaltene Information nicht verloren geht.

Danksagung

Ganz besonderen Dank gilt unserm AG-Leiter Thomas Biedermann, ohne den unser Projekt nie möglich gewesen wäre, da er uns allen immer mit Rat und Tat zur Seite steht. Auch bei seiner Frau möchten wir uns ganz herzlich bedanken, weil sie sich immer um uns gekümmert hat, sei es mit einem leckerem Kuchen, Trinken oder anderem Essen.

Quellen

[1] [https://de.wikipedia.org/wiki/Mischer_\(Elektronik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Mischer_(Elektronik)) (Letzter Aufruf 14.02.16)

Bibliographie

AG Jugend forscht: „HF-Technik – die Einheit Dezibel“, Materialzusammenstellung zur Radioastronomie, Dezember 2012

Holger Heumann: „Hochfrequenztechnik“, Verlag Vieweg+Teubner – Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2005, 1. Auflage.

AG Jugend forscht: „HF-Technik – die Einheit Dezibel“, Materialzusammenstellung zur Radioastronomie, Hermannsburg, Dezember 2012 (unveröffentlicht)

Simon Haase, Tim Rambousky: „Selbstgebaute skalare Netzwerkanalysator“, Wettbewerbsbeitrag Jugend forscht 2014 (<http://www.jufo-hermannsburg.de/pdfs/2014-nwa.pdf>)

Glossar

RF	Radio Frequency, bezeichnet die Eingangssignale, die von einem System verarbeitet werden sollen, sie liegen im Bereich zwischen 3 kHz und 300 GHz
LO	Local Oscillator, bezeichnet das von einem vor Ort vorhandenen Oszillator (VCO, HF-Generator) erzeugte Hochfrequenzsignal
IF	Intermediate Frequency (deutsch: Zwischenfrequenz), bezeichnet das durch einen Mischer erzeugte Signal mit einer anderen Frequenz als RF oder LO
HF	High Frequency: Hochfrequenz-Signal, in der Regel zur Unterscheidung von Niederfrequenzsignalen (NF) im hörbaren Bereich
VCO	Voltage Controlled Oscillator: spannungsgesteuerter Oszillator, erzeugt eine von der Steuerspannung abhängige Frequenz (z.B. als LO)
NWA	Netzwerk-Analysator: Messsystem zur Untersuchung der Hochfrequenzeigenschaften von HF-Komponenten