

## Dualpfadmesskopf für skalare Netzwerkanalyzer

Ich suchte eine Alternative für den Abschlußmesskopf für den Wobbler Swob5 von Rohde&Schwarz. Dieser erreicht nur eine Messdynamik von ca. 65db, welches mir zu gering war.

Der alternative Messkopf sollte folgende Eigenschaften aufweisen.

1. 50 Ohm Eingangswiderstand
2. Mindestens 80db Dynamikbereich ( 100uV bis 1V also -67dbm bis +13dbm )
3. Frequenzgang ca. 1MHz bis 1,5GHz +- 1db
4. Stromversorgung mit 24V DC
5. Linearität des log. Gleichrichters ca. 1db

Nach längere Suche bin ich auf der Webseite von Analog.com auf das IC ADL5513 gestoßen.

Laut Datenblatt deckt es den Frequenzbereich von 1MHz bis 4GHz ab. Das würde also passen. Siehe Link <https://www.analog.com/media/en/technical.../ADL5513.pdf>

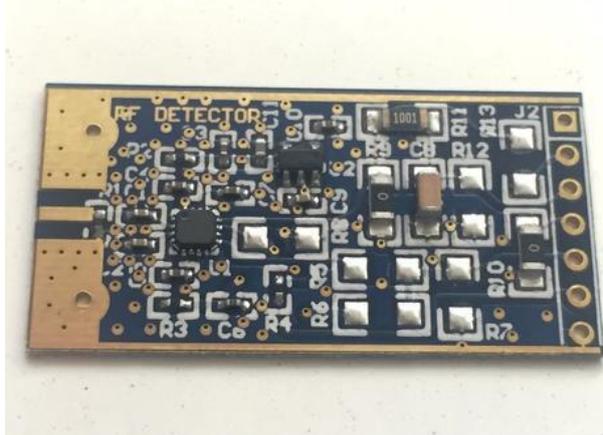
Der Dynamikbereich erstreckt sich aber bei eine Abweichung von maximal 1db von der idealen Kennlinie aber nur über 74db.

Zudem ist es nur in einem Gehäuse der Bauform LFSCP mit einer Kantenlänge von 3mm erhältlich. Da das IC mit 16 Anschlüssen zusätzlich unter dem Gehäuse noch ein Masseanschluss hat, ist es ohne einen professionellen Infrarotofen nicht zu löten.

Durch Zufall bin ich auf der Webseite von dem Griechischen Funkamateurl SV1AFN auf ein fertig bestücktes Modul gestoßen, welches als HF Anschluss eine SMA Buchse vorgesehen hat und auf der anderen Seite des Moduls eine Stiftleiste besitzt, an welche die 5-12V Betriebsspannung zugeführt wird und das logarithmierte Signal abgenommen wird.

Siehe Link <https://www.sv1afn.com/adl5513.html>

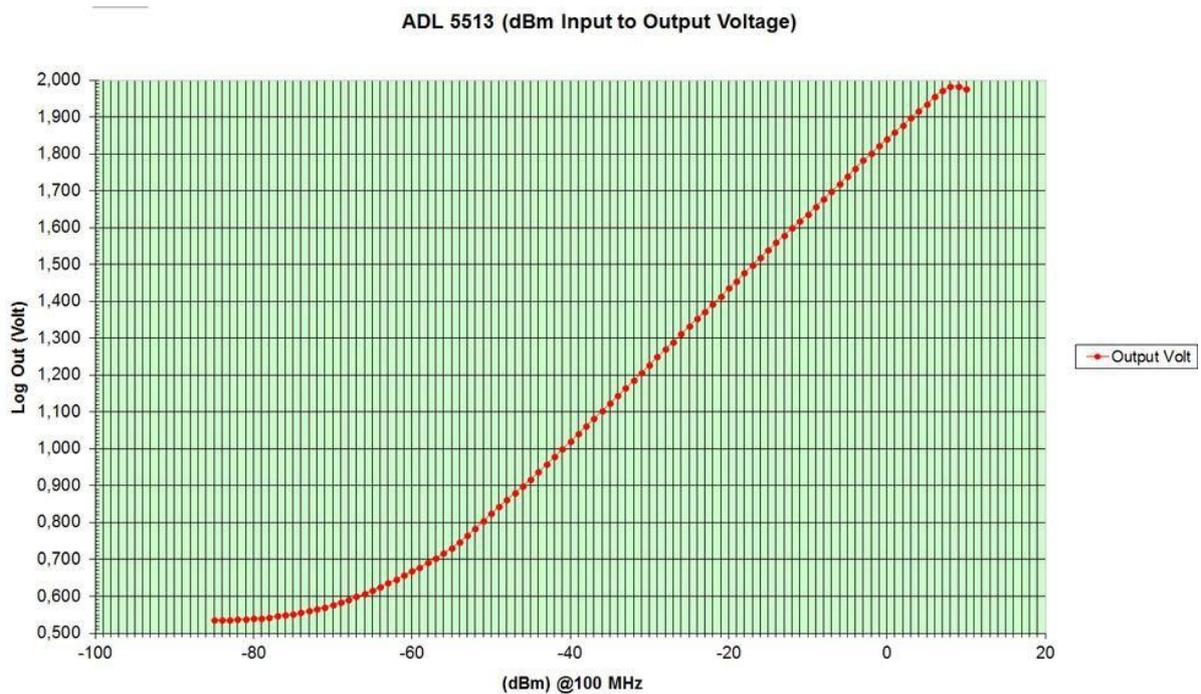
Siehe Bild Baugruppe-ADL5513-SV1AFN.jpg



Es ist relativ preisgünstig und vor allem hat man nicht mehr das Problem mit dem verlöten des ICs.

Ich hatte zwei Module geordert um Messungen daran vorzunehmen, in wie weit es den Anfangs beschriebenen Forderungen entspricht. Es deckte sich genau mit dem von SV1AFN veröffentlichte Übertragungskurve .

Siehe Bild Übertragungskurve ADL3313 SV1AFN.jpg

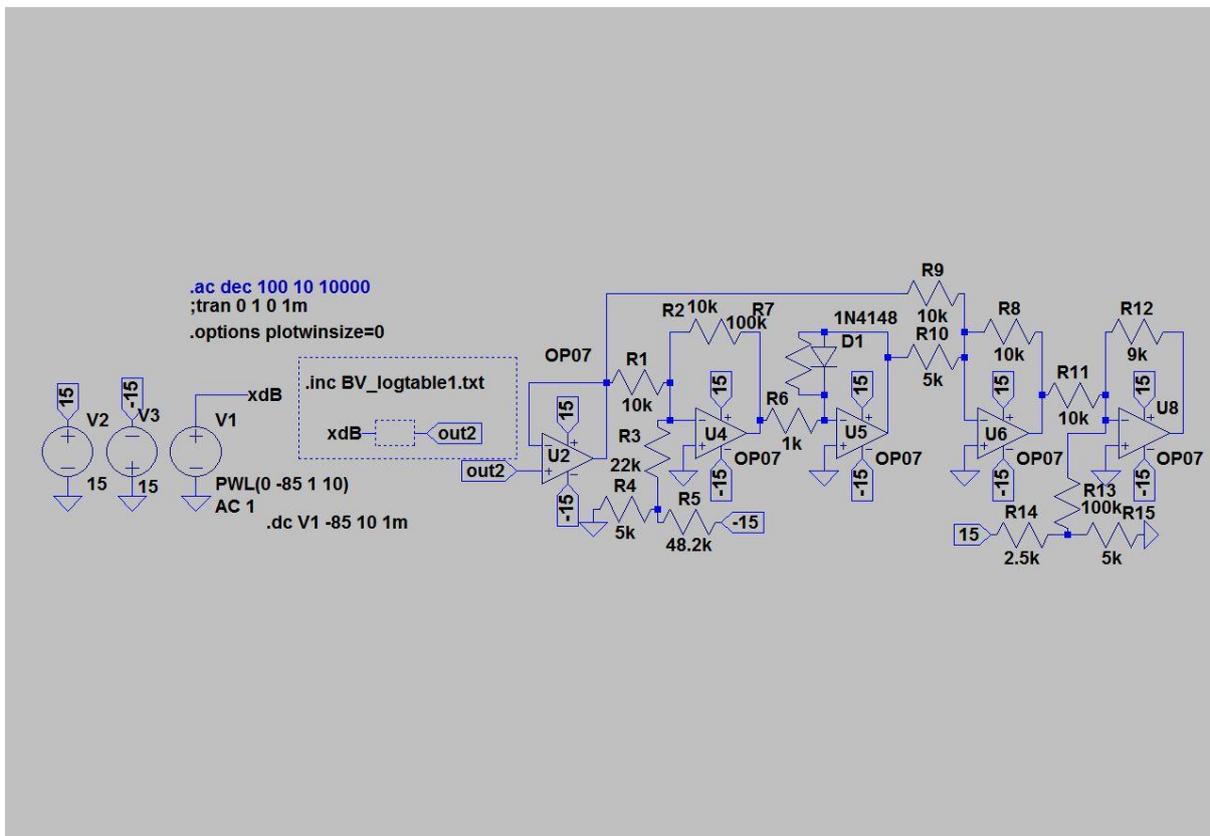


Leider sieht man aber das es meinen Forderungen noch nicht ganz entspricht.

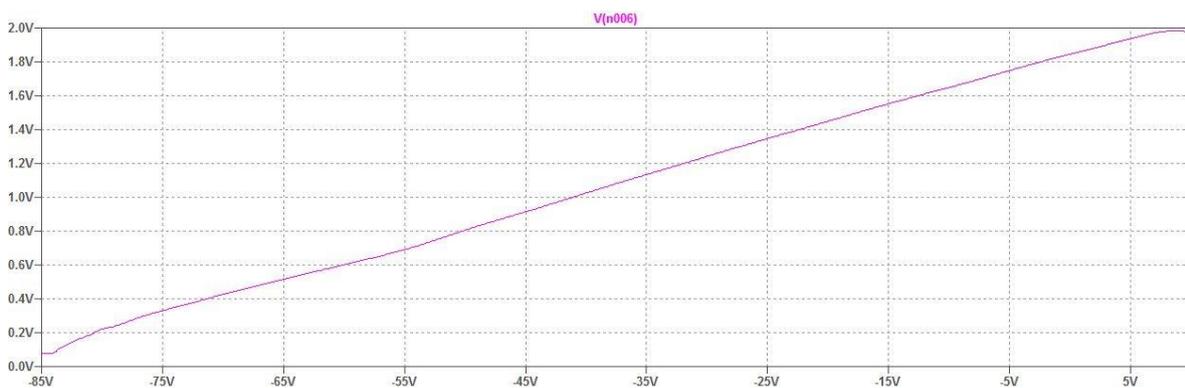
Die Übertragungskurve macht oberhalb 10dbm Eingangspegel einen Knick. Verwenden kann man das Modul bis maximal +7dbm Pegel. Gefordert sind aber +13dbm welches noch unverfälscht umgesetzt werden soll. Am unteren Ende wird es unterhalb -50dbm nichtlinear.

Als erstes habe ich versucht in LT-Spice die Übertragungskurve möglichst gut nachzubilden, um damit die Grundlage für die Simulation eines Entzerrungsnetzwerk zu haben.

Siehe adl5513-ltspice-sheet.jpg



und adl5513-ltspice-graf.jpg



Auf der X-Achse von Kurve.pdf V entspricht dbm Eingangspegel, Y-Achse ist der Ausgangspegel des Entzerrers.

Deutlich sieht man das die Kurve am unteren Ende in guter Annäherung bis -80dbm reicht, am oberen Ende aber bei +7dbm begrenzt wird.

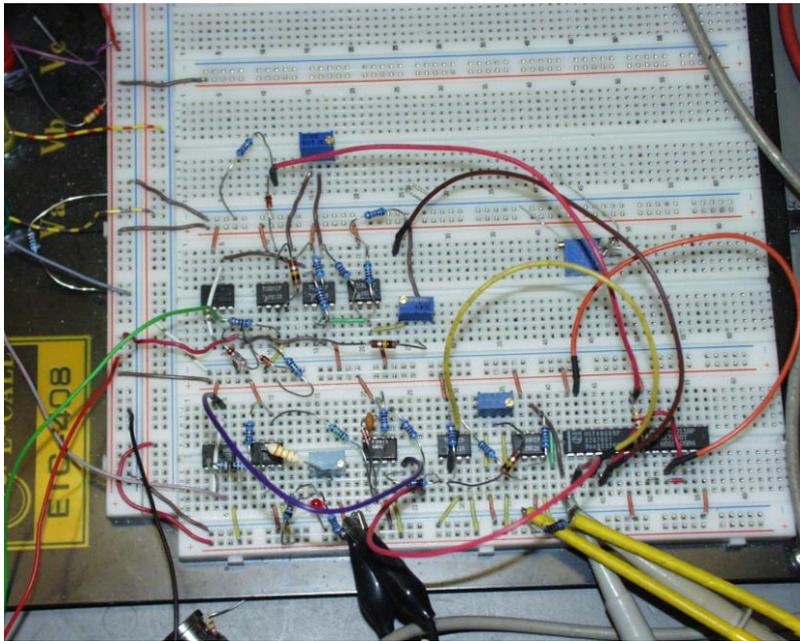
Für das obere Ende zu entzerren, habe ich dann ein zweites Modul genommen, welches mit einen um 20db reduzierten HF Pegel angesteuert wird. Über einen Komperator im

Hochpegelzweig wird dann bei Erreichen eines Pegels von etwa -20dBm der Messausgang auf den Hochpegelzweig umgeschaltet.

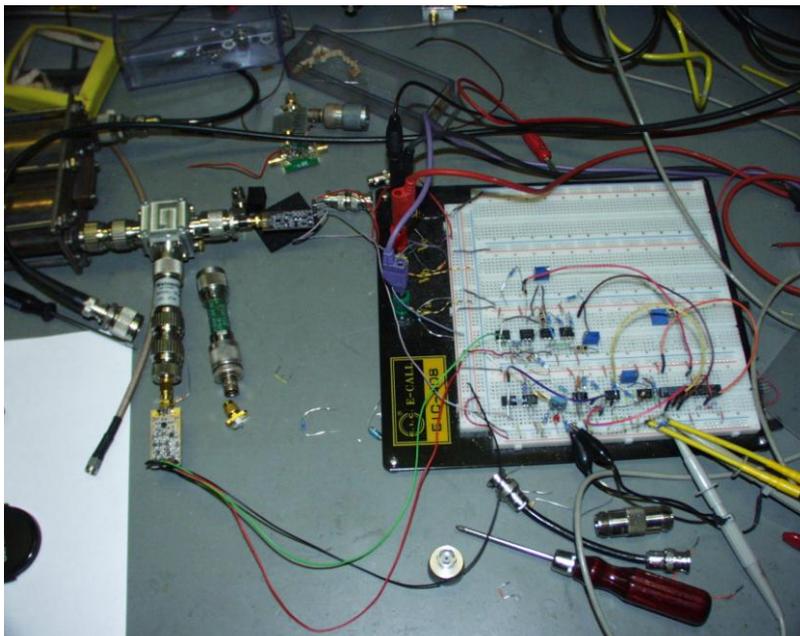
Beide HF Module werden über einen 6dB Combiner, welches aus 3 Stück 16,66 Ohm Widerstände in Stern besteht, zusammengeschaltet. Dem Hochpegelzweig ist noch ein 20dB Dämpfungsglied vorgeschaltet.

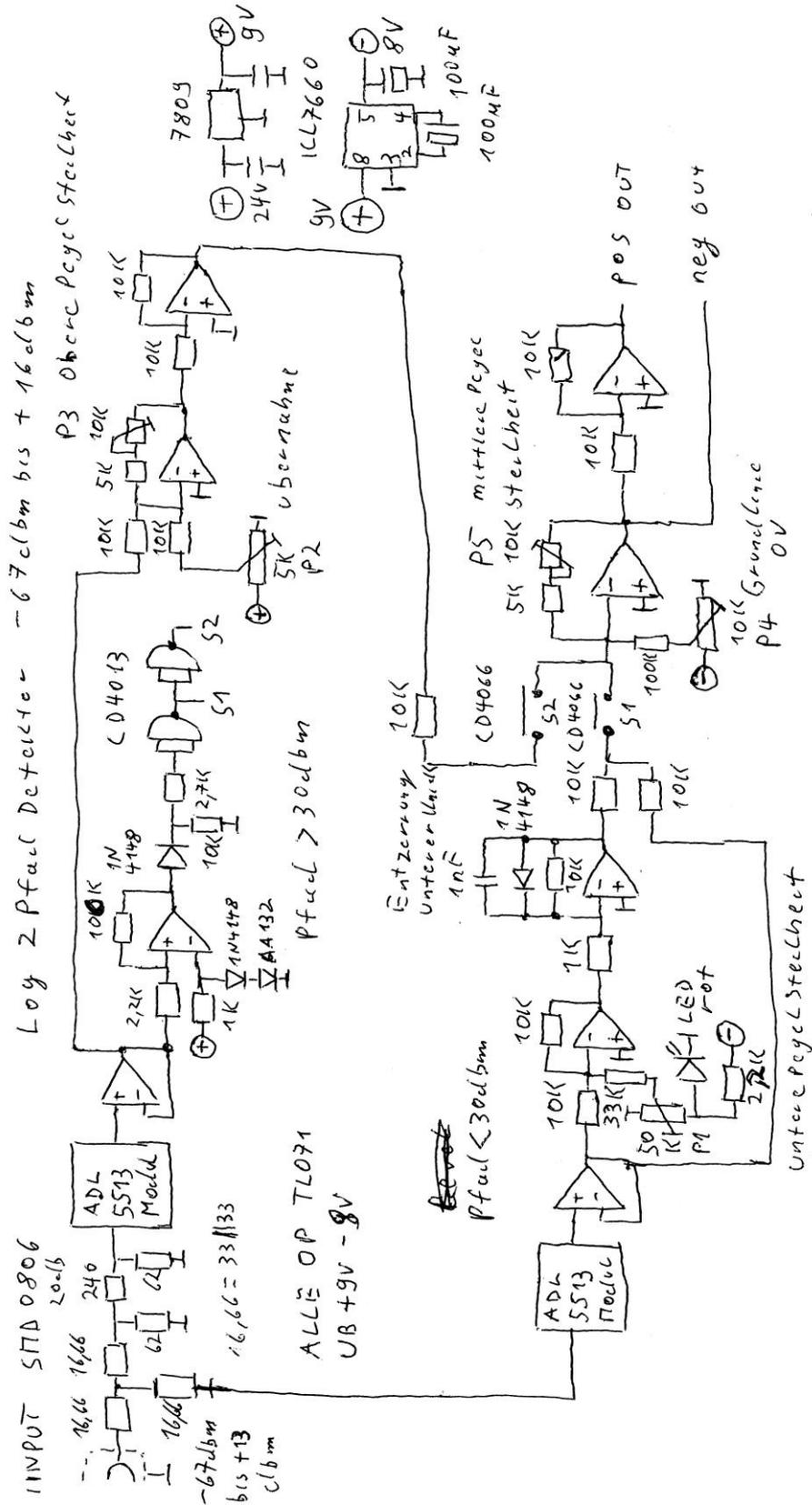
Im ersten Versuchsaufbau sah das noch so aus

Dualpfad ADL5513-Steckbrett 1.JPG ,



Dualpfad ADL5513-Steckbrett 2.JPG

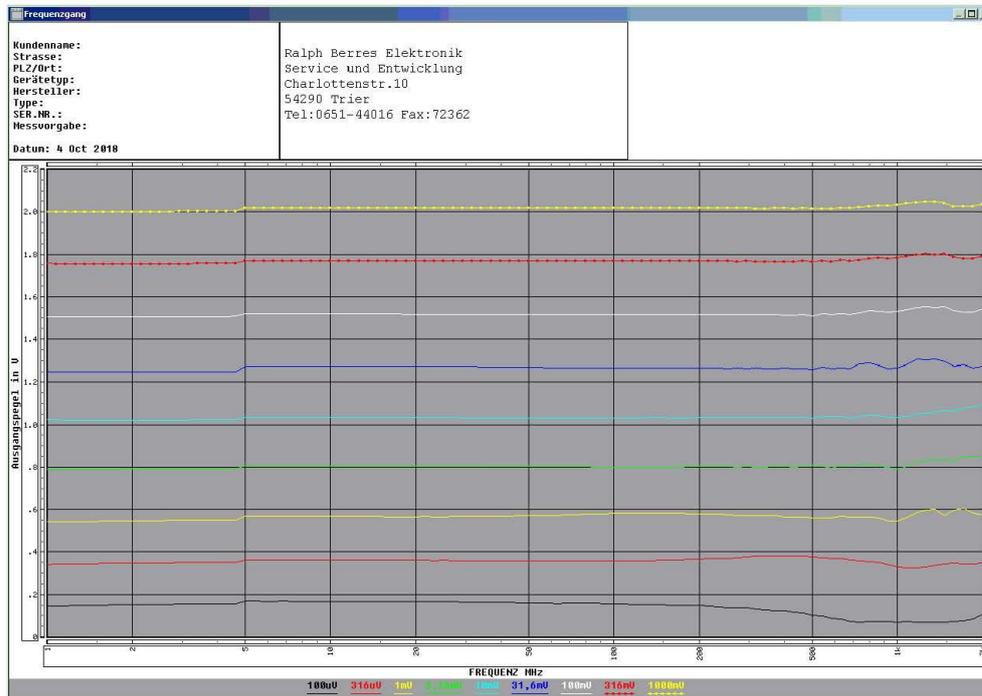




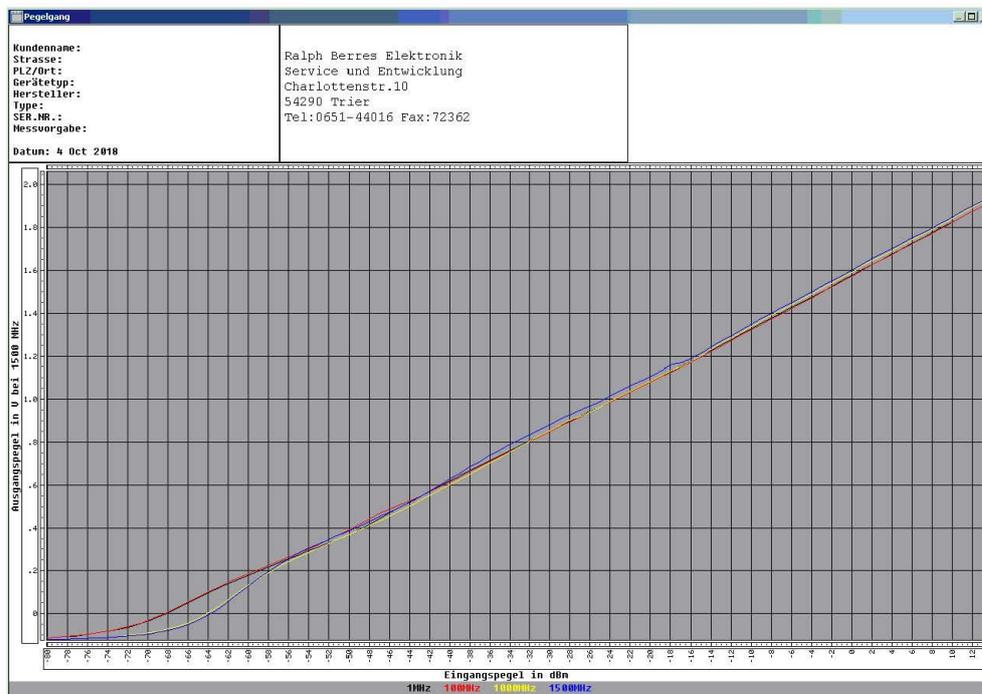
- Abgleicher
1. Pegel - 40dbm  
Toggeln - 50dbm  
P5 auf 200mV Delta
  2. Pegel + 10dbm  
Toggeln 0dbm  
P3 auf 200mV Delta  
P4 ohne Signal
  3. Pegel - 67dbm  
Toggeln - 57dbm  
P1 auf 200mV Delta
  4. Durchlasskurve Bandfilter wobbeln  
falsch mit P2  
aufstetige Flanke  
falsch abgleichen

Der Probeaufbau ergab dann folgende Messungen am lebenden Objekt

Dualpfad-ADL5513-Frequenzgang.jpg



Dualpfad-ADL5513-Pegelgang.jpg



Man sieht deutlich gleich mehrere Dinge.

1. Die untere Messgrenze liegt bei ca -74dbm. Mit den 6db Dämpfung des Combiners entspricht das auch der Simulation in LT-Spice. Mit ausreichender Linearität.
2. Der Frequenzgang weicht insbesondere bei sehr niedrigen Pegel merklich ab.

3

Das wird man wohl verschmerzen müssen. Wir bewegen uns ohnehin nur noch wenig über dem Eigenrauschen des Modules. Interessant ist ja in erster Linie der Kurvenverlauf im Durchlassbereich einer Kurve und nicht im Sperrbereich.

Es hat sich hinterher herausgestellt, das die Baugruppe problemlos Pegel bis 3,5Veff am Eingang linear umsetzt. So gesehen erreicht die Baugruppe einen Dynamibereich von mehr als 90db. Das reicht für kleine HF Verstärker bis 250mW Ausgangsleistung.

Nachdem die Messungen am Versuchsaufbau sehr erfolgreich verlaufen waren musste das Projekt jetzt umgesetzt werden.

Dazu ist vonnöten,

1. Die HF-Verteilung am Eingang mit dem 20db Dämpfungsglied und N-Normstecker zu realisieren.
2. Die Baugruppe, welches die Signale der beiden Logarithmischen Gleichrichter weiter verarbeitet.
3. Die Stromversorgung, welches zwei symmetrische Versorgungsspannungen mit ca. 9Volt zur Verfügung stellt.
4. Ein möglichst kompaktes Metallgehäuse welche die Mechanik für den kompletten Messkopf bildet.

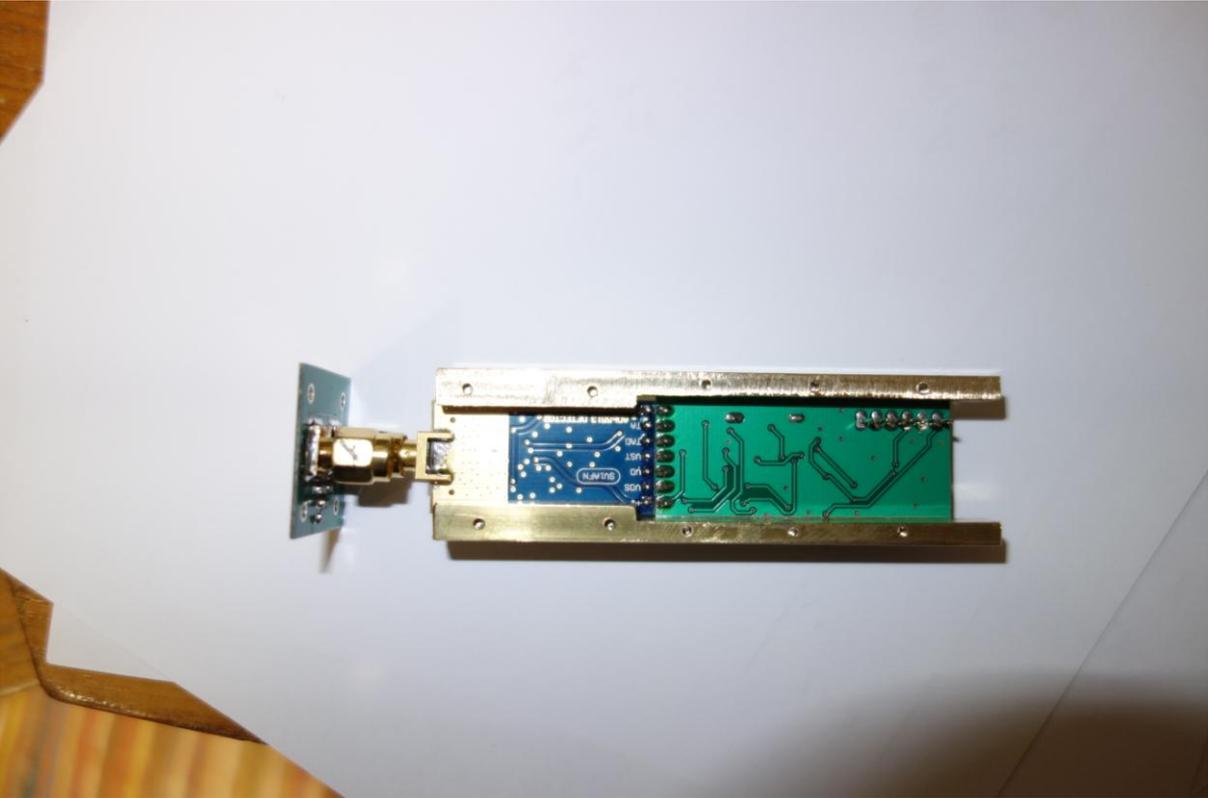
Ab hier ist mich mein Freund Dieter Barth wieder unterstützt.

Er hatte die Leiterplatten mit dem Programm Eagle entworfen und die komplette Mechanik übernommen. Es waren einige Messingteile und das Gehäuse zu fräsen.

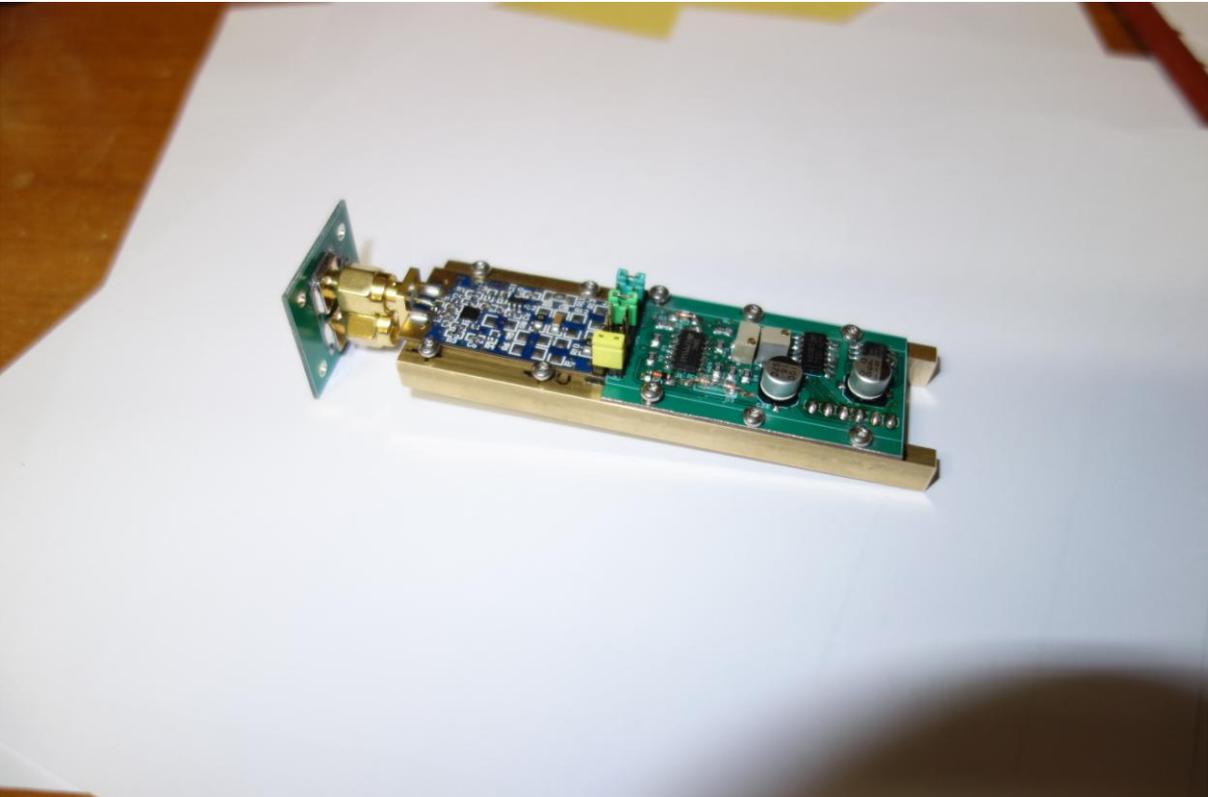
Um die Abmessungen einigermaßen Kompakt zu halten wurde der Aufbau in zwei Ebenen, aufgeteilt. Es entstand also eine Ebene für den Hochpegelbereich und eine für den unteren Pegelbereich, welche sich mit der Leiterplattenunterseite gegenübersteht.

8

teilmontierte Baugruppe von unten.JPG

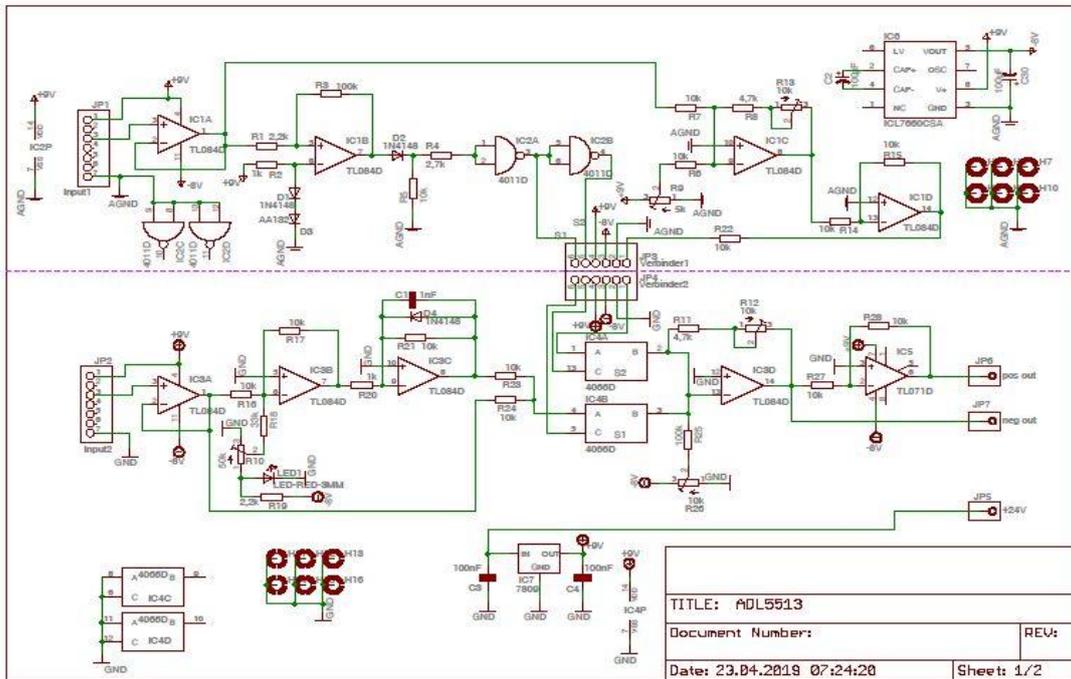


einbaufertige Baugruppe von oben.JPG

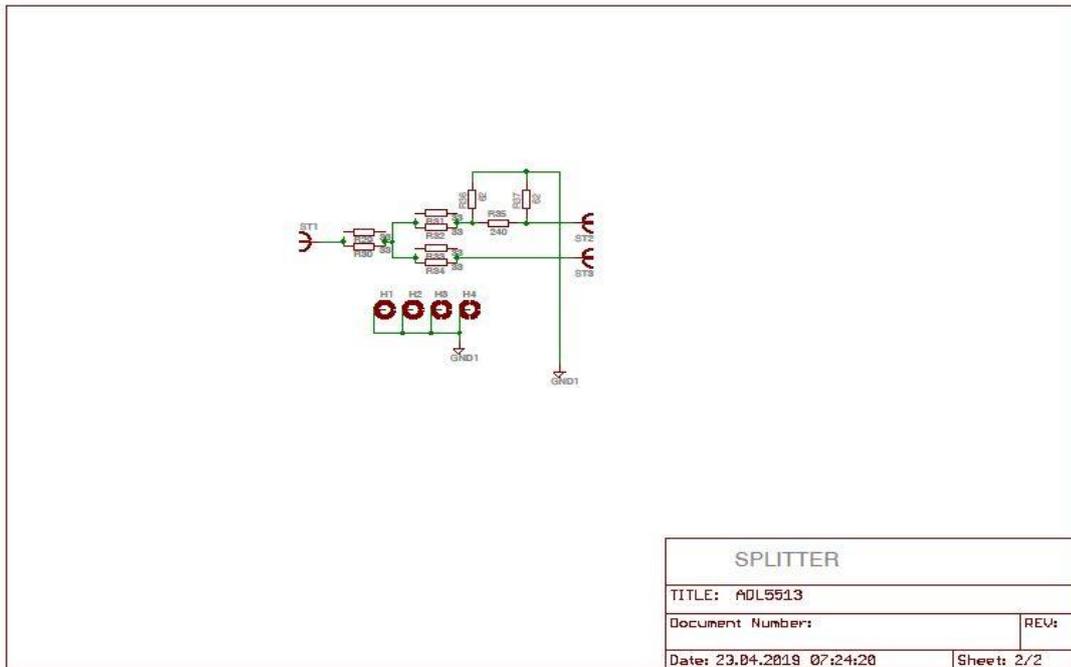


In Eagle ist dann erst das Schaltbild entstanden

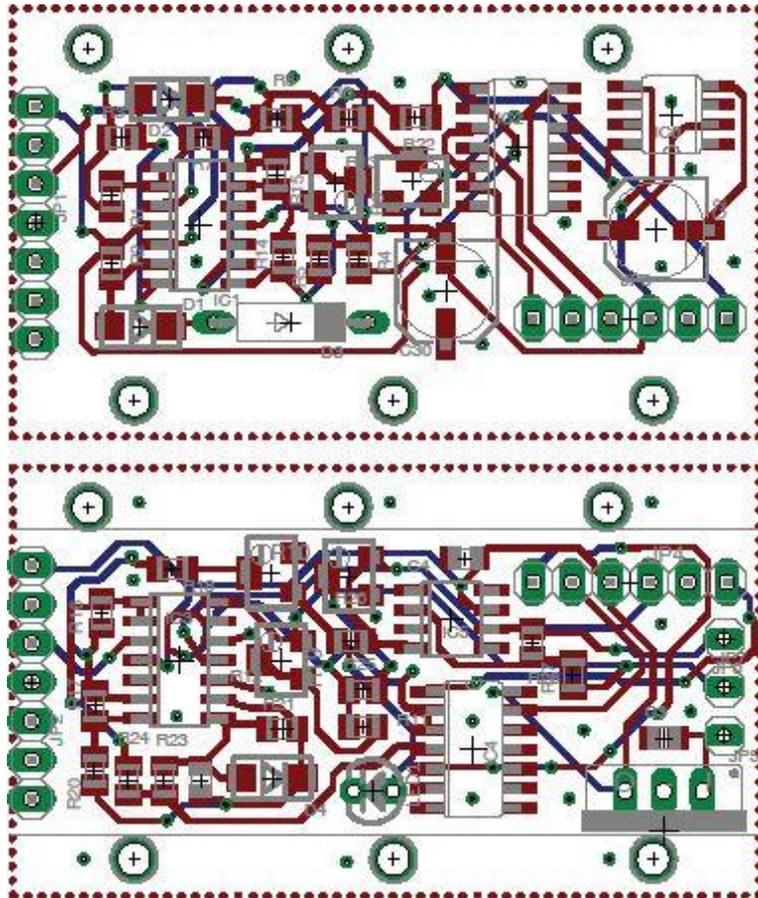
ADL5513 Eagle-Hauptplatinen.jpg



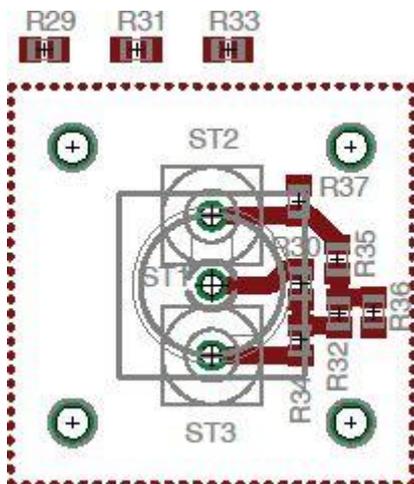
HFEingangsschaltung Eagle-sheet.jpg



ADL5513-Eagle Hauptplatten Board.jpg



ADL5513-HF-Eingangsplatine Eagle.brd.jpg



Die Module ADL5513 liefern eine Gleichspannung , welche sich abhängig vom HF Pegel zwischen ca. 0,5V und 2V bewegt.

Unterer Zweig des Schaltbildes, für den Pegelbereich -67dbm bis ca -20dbm

Das IC3A TL084 dient als Impedanzwandler um die Ausgangsspannung des Modules nicht zu belasten.

Das nachfolgende IC3B TL084 invertiert das Signal und addiert eine einstellbare Offsetspannung hinzu, welche den Arbeitspunkt des nachfolgenden Logarithmierer festlegt.

Hiermit wird die untere Anzeigegrenze festgelegt. Die Offsetspannung wird mit einer LED Stabil gehalten.

Hierauf folgt der eigentliche Logarithmierer bestehend aus IC3C TL084 und der Diode D4 1N4148. Er soll den unteren Kennlinienknick entzerren.

Der zur Diode parallel geschaltete Widerstand R21 10K verhindert das ohne anliegenden Signal die Ausgangsspannung unter die Nulllinie wandert, da durch die nun sperrende Diode der Operationsverstärker eine nahezu unendliche Verstärkung haben würde.

Die Verstärkung wird durch den Widerstand auf 10 begrenzt.

IC4b CD4066 ist ein Cmos-Schalter, welches in dem momentan anliegenden Pegelbereich durchgeschaltet ist.

IC3D hinter dem Cmos-Schalter CD4066 addiert einmal das negative Signal aus dem Logarithmierer, das positive originale Signal , und eine einstellbare Offsetspannung, welche den Nullpunkt am Ausgang ohne anliegendes Signal bestimmt.

Der Einsteller R12 bestimmt nachher bei +13dbm Eingangspegel den maximalen Ausgangspegel der Baugruppe.

Das IC3d subtrahiert also das logarithmierte Signal von dem Original Signal so das letztendlich eine Korrektur des unteren Kennlinienteils entsteht.

Das ganze würde bis zu einen Pegel von +7dbm funktionieren. Bei +13dbm sind bereits zu große Abweichungen von der Idealkennlinie feststellbar.

Deswegen wurde die Schaltung um den obere Zweig im Schaltbild ergänzt.

Im oberen Hochpegelzweig befindet sich auch wieder IC1A TL084 als Impedanzwandler.

Aus dem Ausgangssignal des IC1A wird nun mit Hilfe eines als Komperator geschalteten

IC1B TL084 ein Schaltsignal gewonnen. Der Widerstand R3 entfällt ersatzlos. Ursprünglich sollte der IC1B als Schmitt-Trigger arbeiten, was sich im nachhinein als nachteilig erwiesen hat.

Mit dem Widerstand R2 1Kohm und den beiden in Reihe geschalteten Dioden 1N4148 und AA132 wird die Schaltschwelle des Komparators festgelegt. Sie wird bei etwa -20dbm Eingangspegel erreicht.

Die Diode D2 sorgt dafür, dass der nachfolgende Cmos-Gatter CD4011 nur ein positives Signal bekommt. Die beiden Cmos-Gatter stellen die Schaltsignale für die beiden Cmos-Schalter CD4066 im unteren Zweig bereit. Ab einem Eingangspegel von ca. -20dbm wird IC4B hochohmig und stattdessen IC4A niederohmig.

Das IC1C TL084 summiert das obere Originale Signal mit einer einstellbaren Offsetspannung, welche mit R9 eingestellt wird, R10 stellt die Verstärkung des oberen Zweiges ein.

Damit das Summieren der beiden Größen ( Offset und Originalsignal ) sowie das Einstellen der Verstärkung ohne gegenseitige Beeinflussung durchführbar ist, muss der Summierer als invertierender Verstärker ausgeführt werden.

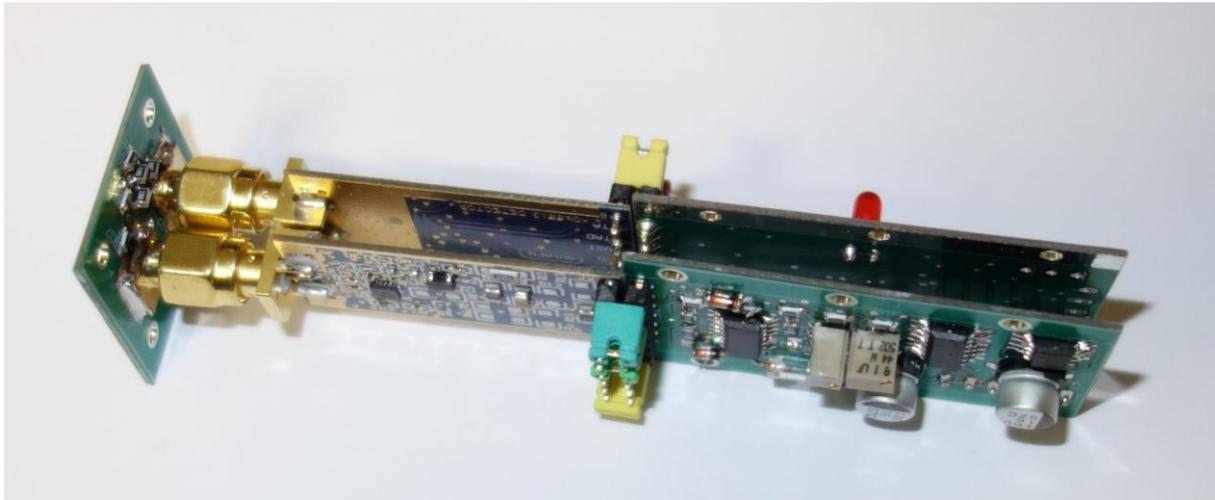
Der nachfolgende Verstärker IC1D TL084 macht die Invertierung wieder rückgängig. Er liefert das Signal an den Cmos-Schalter IC4A CD4066.

Das Ausgangssignal am IC3D ist negativ, und wird durch das IC5 wieder in ein positives Signal überführt.

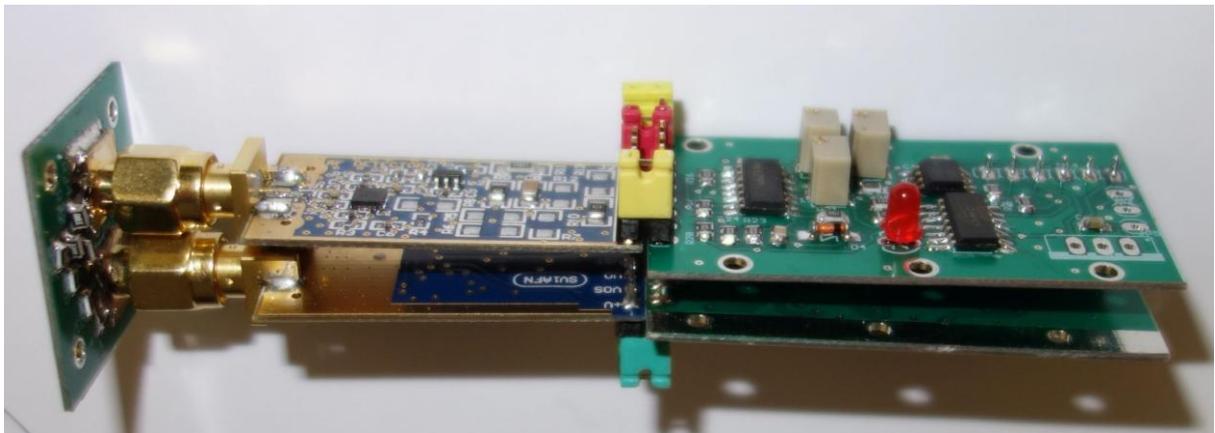
Die Betriebsspannung von +9V wird durch ein 7809 IC7 bereitgestellt. Die negative Spannung von -8V wird durch das IC6 ICL7660 bereitgestellt. Es ist eine Ladungspumpe.

Die ganze Schaltung wurde auf zwei Leiterplatten aufgeteilt, welche sich mit der Leiterbahnseite gegenüberstehen.

Kombi1.jpg



Kombi2.jpg



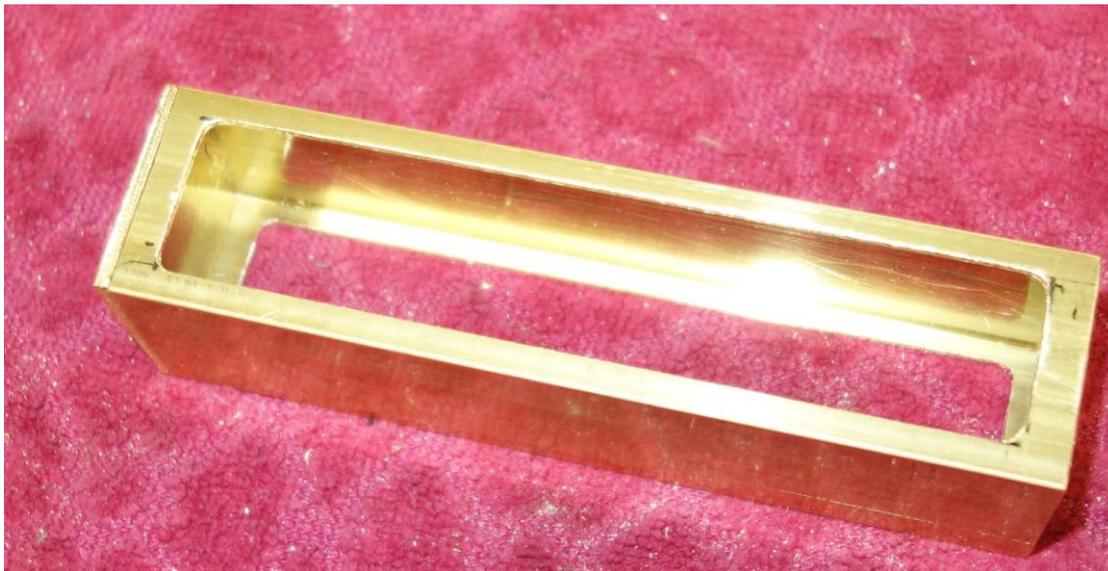
Man sieht hier auch die HF-Verteiler-Leiterplatte noch ohne N-Buchse.

Die beiden ADL5513 sind zugekauft. Der Lieferant ist der griechische Funkamateurl SV1AFN.

Die mechanischen Arbeiten gestalteten sich recht umfangreich.

Grundlage ist ein viereckiges Messingrohr mit den Abmessungen 30mm\*30mm in welche die Ausschnitte gefräst wurden, welche mit einem Deckel verschlossen werden können.

Gehäuse gefräst mit seitlichen Deckel.JPG

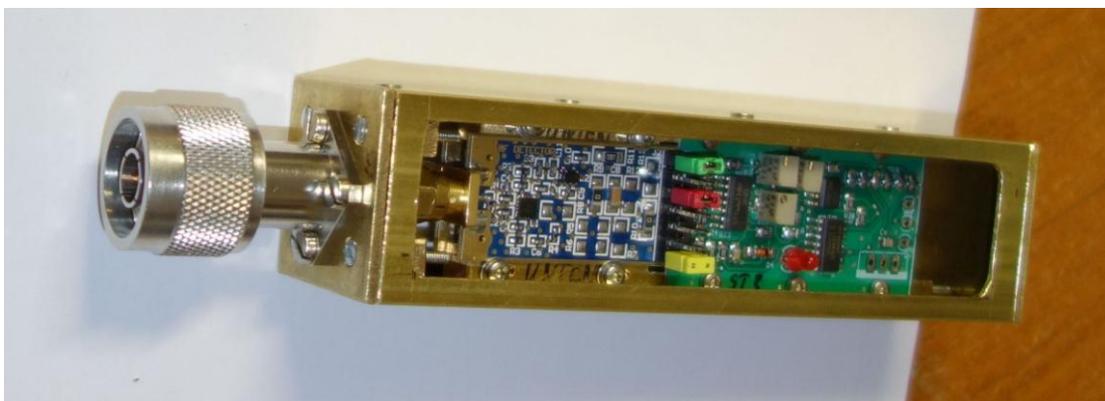


Der fertige Messkopf sieht dann so aus.

komplette Baugruppe offen.JPG



komplette Baugruppe offen2.JPG



Abgleich des Messkopfes.

Für den Abgleich sind 5 Einstellpotentiometer vorhanden.

Wenn der Messkopf für einen skalaren Netzwerkanalyzer ( Wobbler mit Sichtgerät ) vorgesehen ist sollte man sich an der eventuell auf dem Bildschirm vorhandene

Y-Skalierung orientieren, welche vermutlich im 10db Raster aufgetragen ist.

In meinen Falle war es ein Swob5 welche eine maximale Ausgangsspannung von 1Veff ( das entspricht +13dbm ) liefert.

Benötigt wird eventuell einen Ausgangsabschwächer mit einen Einstellbereich von 0 bis 100db, welches sich in 10db Schritten schalten lässt. ( Der Swob5 geht nur bis -70db , so das ich zusätzliche Dämpfungsglieder benötigte ).

Begonnen wird im mittleren Pegelbereich bei ca -30dbm ( bei meinen Swob5 waren es -40dbV also -27dbm. Auf jeden Fall unterhalb der Umschaltschwelle zum Hochpegelbereich.

Mit dem Poti R12 wird bei dauernden Umschalten des HF-Pegels zwischen -27dbm und -37dbm ( es können auch -30dbm und -40dbm sein ) ein Sprung auf der Y Achse von möglichst genau 10db eingestellt.

Mit dem Poti R26 kann man immer wieder eine glatte Linie auf der Y-Achse zur Deckung bringen.

Als nächstes wird mit dem Poti R10 bei einen HF-Pegelsprung zwischen -70dbm und -60dbm ebenfalls ein möglichst genau auf dem Bildschirm 10db eingestellt.

Ein 10db Sprung sollte dann auf dem Bildschirm auch bei einer Änderung zwischen -60dbm und -50dbm sichtbar sein.

Sollte es hier unlinear sein muss man entweder dem Sprung -50dbm -60dbm den Vorzug geben, ( hier verliert man etwas an Empfindlichkeit, oder einen Kompromiss bezüglich Linearität suchen.

Der nächste Abgleich beginnt jetzt im Pegelbereich von +10dbm zu 0dbm

Dieser Pegelschritt ist mit dem Poti R13 einzustellen.

Im nächsten Schritt benötigt man irgend ein Bandfilter als Wobbelobjekt, welches man jetzt zwischen Generatorausgang und Messkopf schaltet.

Hier schaltet man den HF Ausgang auf vollen Pegel. Man wird jetzt feststellen das an der

Filterflanke an dem Umschaltpunkt zwischen Hochpegel und Niederpegelzweig irgendwo in der Gegend bei -20dbm ein Sprung entsteht der da nicht hingehört.

Mit dem Poti R9 kann man einen möglichst stetigen Verlauf der Kurve an der Flanke einstellen.

Als letztes wird mit dem Poti R26 bei voller Ausgangsspannung und ohne Messobjekt

Die Anzeige mit der zweitobersten 10db Linie in Deckung gebracht.

Der ganze Abgleich sollte mehrmals wiederholt werden.

Der Messkopf hat nach oben noch Luft bis ca +23dbm. Das sind 200mW. Dies zeigt er immer noch linear an. Mehr sollte man ihm aber nicht zumuten, weil darüber sowohl der Eingang des ADL5513 Chips im unteren Modul gefährdet wird ( hier liegen ja jetzt +17dbm an ) als auch die Widerstände im Combiner.

Die Linearität der Kurve ist bis etwa -70dbm sehr linear. Das gilt bis 100MHz, Bei 1GHz und höher ist die Linearität immerhin noch bis -55dbm brauchbar.