



Ralph Berres, DF6WU

Dualpfad-Messkopf für skalare Netzwerk-Analysatoren

Für den Wobbler SWOB5 von ROHDE & SCHWARZ suchte ich zu dem Abschlussmesskopf eine Alternative. Dieser erreicht nur eine Messdynamik von ca. 65 db, was mir zu gering war.

1. Anforderungen an den Messkopf

Der alternative Messkopf sollte folgende Eigenschaften aufweisen:

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

2. Recherche

Nach längerer Suche im Internet

fand ich auf der Webseite von ANALOG.COM [1] auf das IC vom Typ ADL5513. Dieses deckt laut Datenblatt den Frequenzbereich von 1 MHz bis 4 GHz ab.

Der Dynamikbereich erstreckt sich bei einer Abweichung von maximal 1 db von der idealen Kennlinie jedoch nur über 74 db. Zudem ist es nur in der Gehäuseform LFSCP mit einer Kantenlänge von 3 mm erhältlich. Dieses hat 16 Anschlüsse und zusätzlich einen Masseanschluss auf der Gehäuseunterseite, was nur mit einem professionellen Infrarotofen löten ist.

Der griechischen Funkamateurl SV1AFN bietet auf der Webseite ein fertig bestücktes Modul relativ preisgünstig an, welches als HF-Anschluss eine SMA-Buchse und auf der anderen Seite des Moduls eine Stiftleiste besitzt (**Bild 1**). Hier werden die 5 bis 12 V-Betriebsspannung zugeführt und das logarithmierte Signal abgenommen [2].

An den beiden bestellten Modulen wurden eigene Messungen durchgeführt,

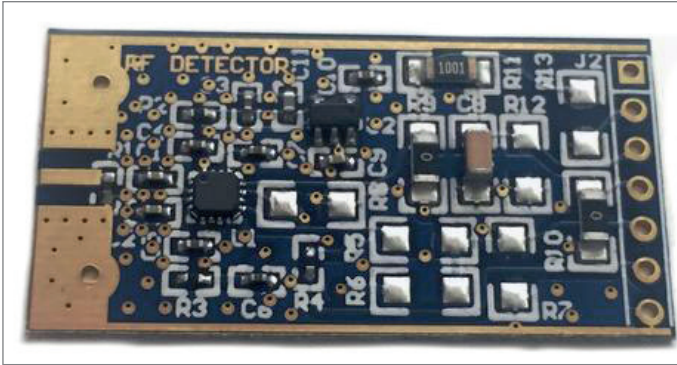


Bild 1:
Baugruppe-
ADL5513
von SV1AFN

die sich genau mit der von SV1AFN veröffentlichten Übertragungskurve (**Bild 2**) deckten.

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

3. Vorversuche

Zuerst wurde versucht, die Übertragungskurve möglichst gut in LT-Spice nachzubilden. Damit sollte eine Grundlage für die Simulation eines Entzerrungsnetzwerks geschaffen werden (**Bilder 3 und 4**).

Auf der X-Achse der LT-Spice-Kurve entspricht auf der X-Achse V dem dbm- Eingangspegel, Y-Achse ist der Ausgangspegel.

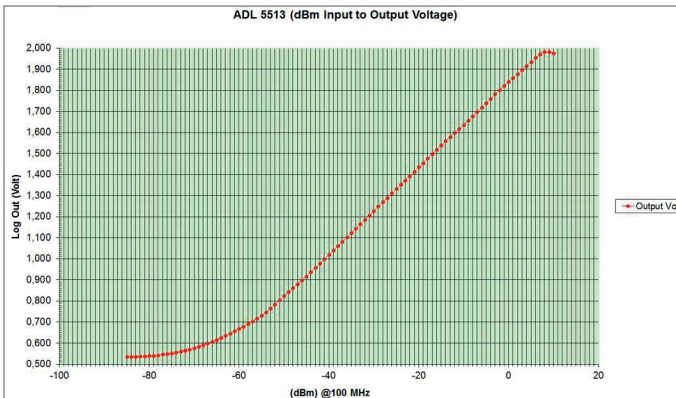


Bild 2:
Übertragungskurve
des ADL5513 von
SV1AFN

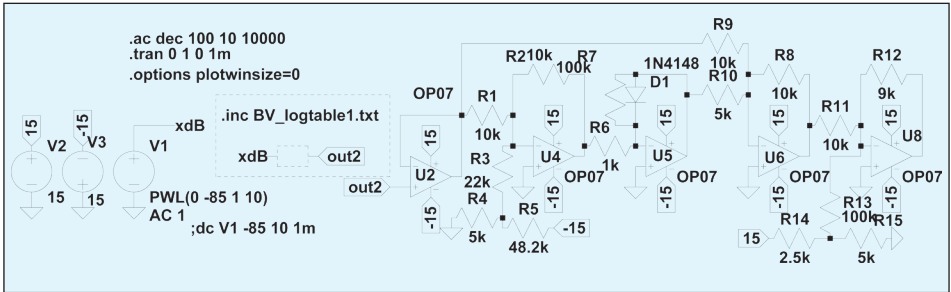


Bild 3: LT-Spice Sheet

gel des Entzerrers.

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

Um das obere Ende zu entzerren, wurde ein zweites Modul mit einem vorgeschalteten 20 dB-Dämpfungsglied vorgesehen. Über einen Komparator im Hochpegelzweig wird bei Erreichen eines Pegels von etwa -20 dbm der Messausgang auf

den Hochpegelzweig umgeschaltet.

Beide HF-Module werden über einen 6 db-Combiner, der aus drei 16,66 Ohm-Widerständen in Sternschaltung besteht, gekoppelt.

Im ersten Versuchsaufbau sah das noch so aus (**Bilder 7 und 8**).

Der Probeaufbau ergab folgende Messungen am lebenden Objekt (**Bilder 9 und 10**).

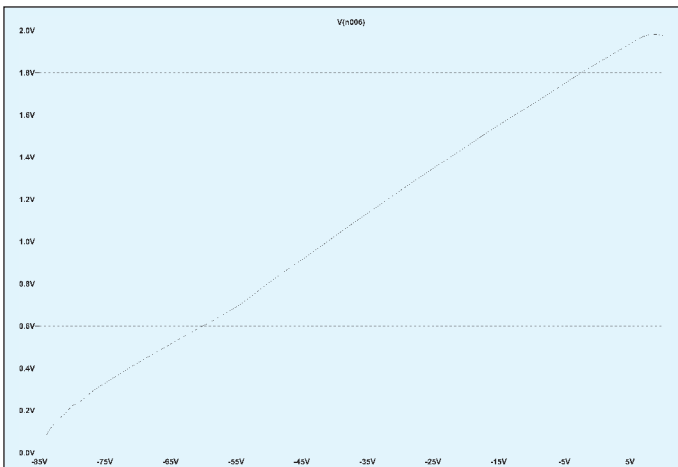


Bild 4: LT-Spice Kurve

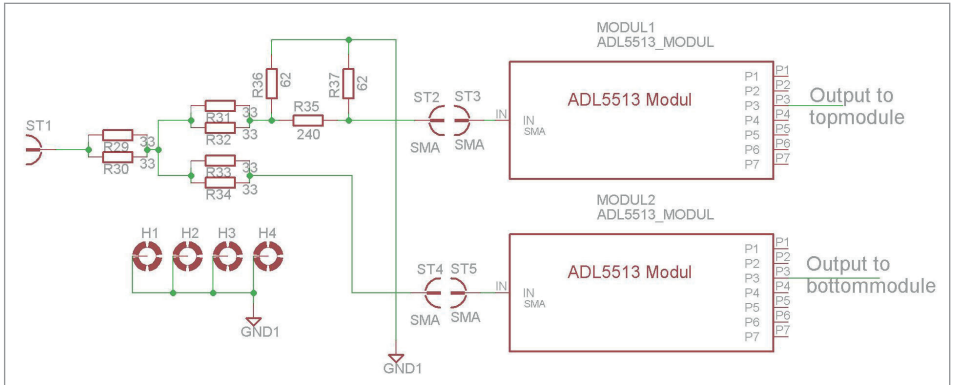


Bild 5: HF-Teil des Versuchsaufbaues.jpg

Man sieht deutlich gleich mehrere Dinge:
 1. Die untere Messgrenze liegt bei ca. -74 dbm. Mit der Dämpfung von 6 dB des

Combiners entspricht das auch der Simulation in LT-Spice mit ausreichender Linearität.

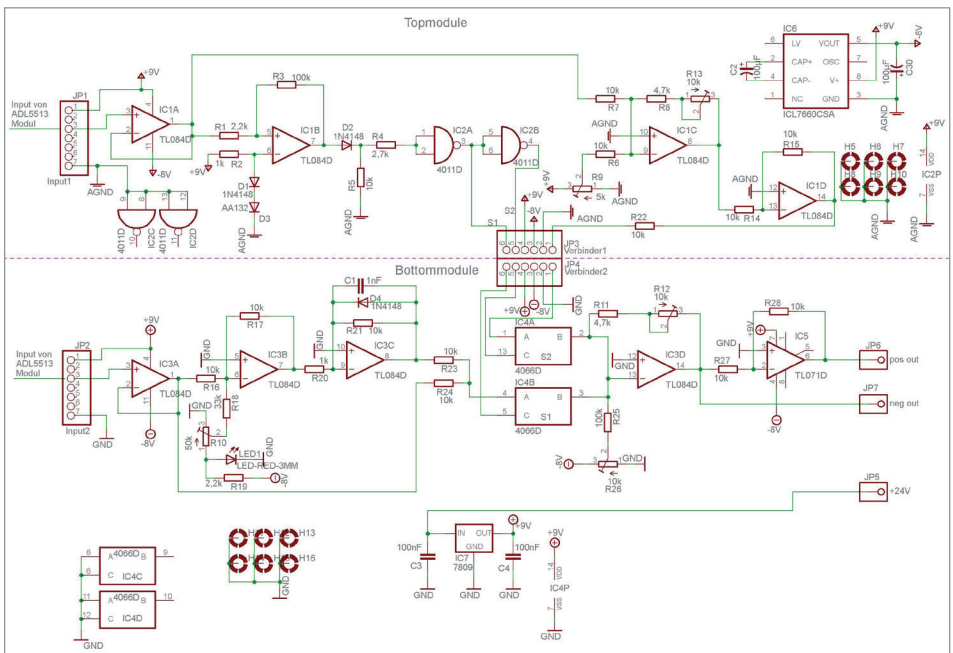


Bild 6: Gleichspannungsteil des Versuchsaufbaus

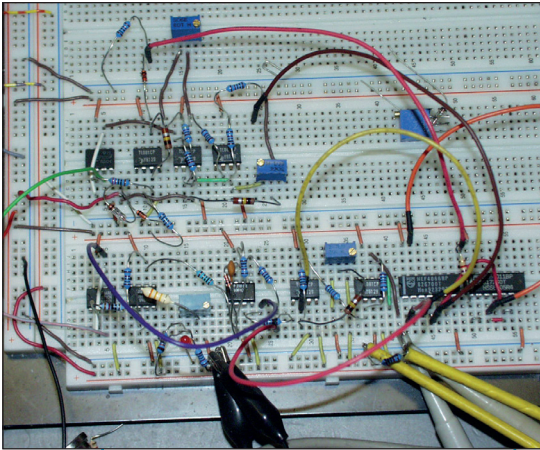


Bild 7: Dualpfad ADL5513-Steckbrett

2. Der Frequenzgang weicht insbesondere bei sehr niedrigen Pegeln merklich ab, was man wohl verschmerzen muss, da man sich ohnehin nur noch wenig über dem Eigenrauschen des Moduls bewegt. Interessant ist ja in erster Linie der Kurvenverlauf im Durchlassbereich einer Kurve und nicht im Sperrbereich.

Es hat sich hinterher herausgestellt, dass die Baugruppe problemlos Pegel bis $3,5 V_{eff}$ am Eingang linear umsetzt. So ge-

sehen erreicht die Baugruppe einen Dynamikbereich von mehr als 90 dB. Das reicht für kleine HF-Verstärker bis 250 mW Ausgangsleistung.

4. Umsetzung des Versuchsaufbaus in einen Messkopf

Nachdem die Messungen am Ver-

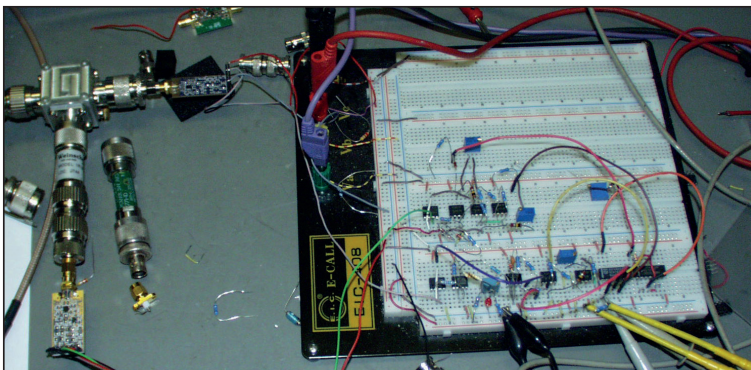


Bild 8: Dualpfad ADL5513-Steckbrett 2.JPG

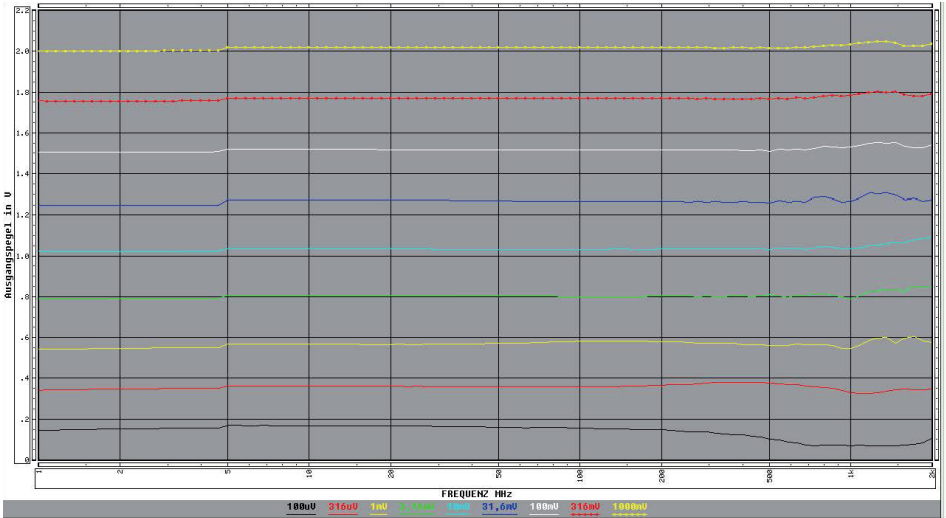


Bild 9: Dualpfad-ADL5513-Frequenzgang

suchsaufbau sehr erfolgreich verlaufen waren musste das Projekt jetzt in ein nutzbares Objekt umgesetzt werden.

Dazu ist von nöten:

1. Die HF-Verteilung am Eingang mit dem 20 db-Dämpfungsglied und N-Normste-

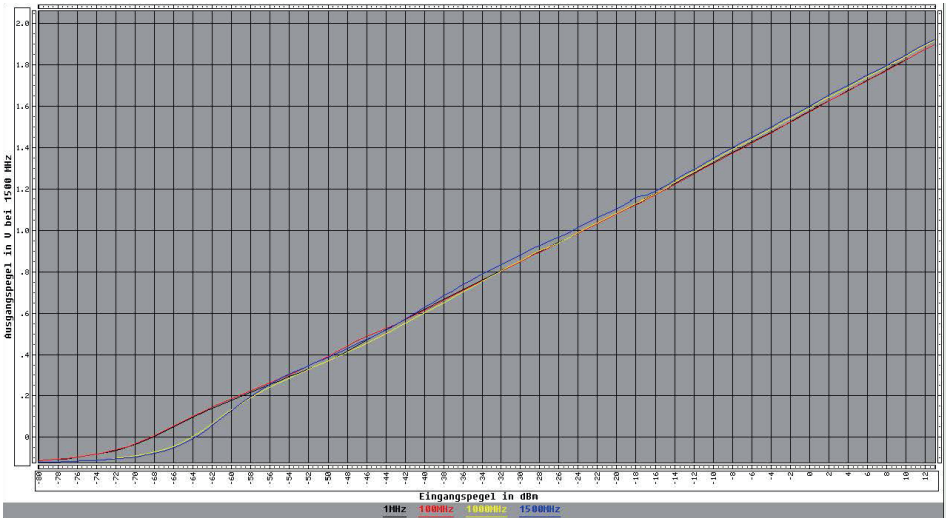


Bild 10: Dualpfad-ADL5513-Pegelgang

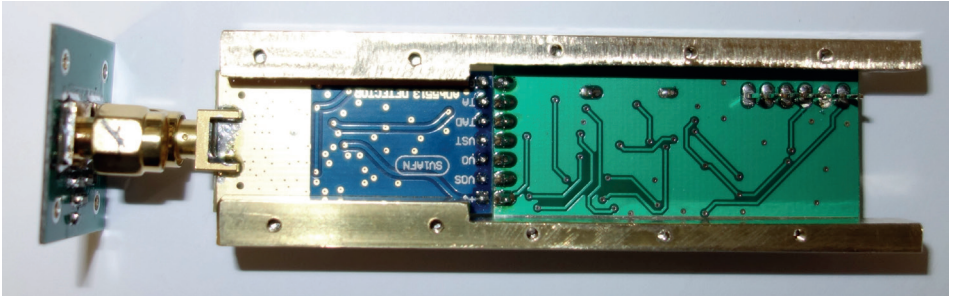


Bild 11: teilmontierte Baugruppe von unten

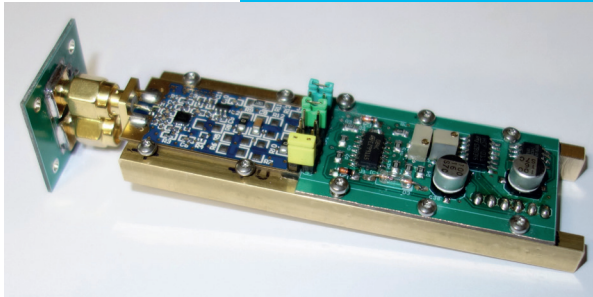


Bild 12: einbaufertige Baugruppe von oben

cker zu realisieren.

2. Die Baugruppe, welche die Signale der beiden logarithmischen Gleichrichter weiter verarbeitet.

3. Die Stromversorgung, die zwei symmetrische Versorgungsspannungen mit 9 Volt und -8 V zur Verfügung stellt.

4. Ein möglichst kompaktes Metallgehäuse das den kompletten Messkopf aufnimmt.

Ab hier hat mich mein Freund Dieter Barth unterstützt, der die Leiterplatten mit EAGLE entworfen und die komplette Mechanik übernommen hat. Es waren einige Messingteile und das Gehäuse zu fräsen.

Um die Abmessungen einigermaßen kompakt zu halten wurde der Aufbau in

zwei Ebenen aufgeteilt: Eine Ebene für den Hochpegelbereich und eine für den unteren Pegelbereich.

In EAGLE ist dann erst das Schaltbild entstanden (**Bilder 13 bis 16**).

5. Funktionsbeschreibung des Messkopfes

Hierzu betrachtet man am besten das Bild Gleichspannungsteil des Versuchsaufbaus.

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

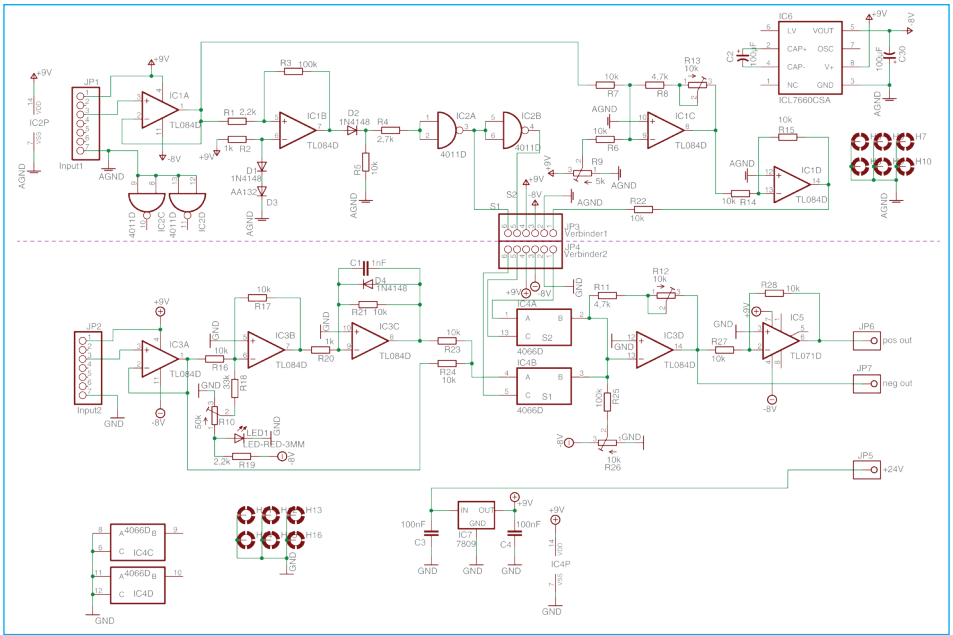


Bild 13: Eagle-Sheet-Hauptplatten-ADL5513

Der untere Zweig des Schaltbildes ist für den Pegelbereich -67 dbm bis ca. -20 dbm vorgesehen.

Das IC3-A TL084 dient als Impedanzwandler um die Ausgangsspannung des Modules nicht zu belasten.

Das nachfolgende IC3-B TL084 invertiert das Signal und addiert eine einstellbare Offsetspannung. Diese legt den Arbeitspunkt des nachfolgenden Logarithmierers fest. Hiermit wird auch die untere Anzeigegrenze festgelegt. Die Offsetspannung wird mit einer LED stabilisiert.

Es folgt der eigentliche Logarithmierer, bestehend aus IC3-C TL084 und der Diode D4 1N4148. Er soll den unteren Kennlinienknick entzerren.

Der zur Diode parallel geschaltete Widerstand R21 mit 10 kOhm verhindert, dass ohne anliegendes Signal die Ausgangsspannung unter die Nulllinie wandert, da

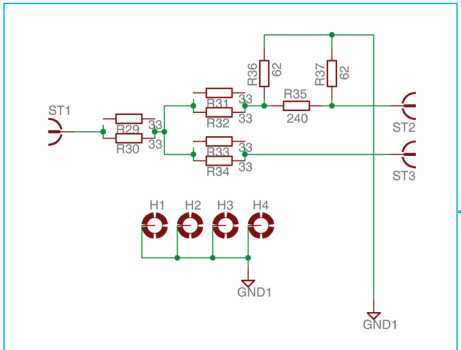


Bild 14: Eagle-Sheet-HF-Eingang-ADL5513

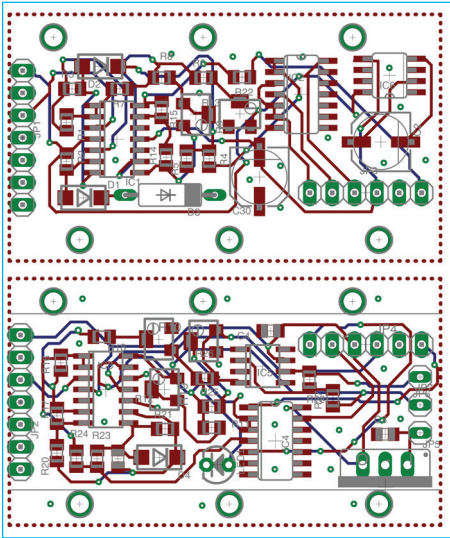


Bild 15: Eagle Hauptplatinen ADL5513-BRD.pdf sind die beiden Hauptleiterplatten

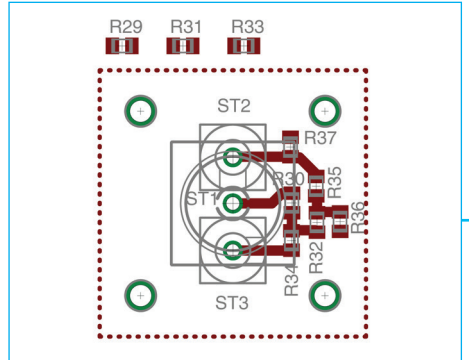


Bild 16: Eagle HF-Eingangspaltine ADL5513-BRD.pdf ist die HF Verteilungsleiterplatte

durch die nun sperrende Diode der Operationsverstärker eine nahezu unendliche Verstärkung haben würde. Diese wird durch R21 auf 10 begrenzt.

IC4-b CD4066 ist ein CMOS-Schalter, welcher in dem momentan anliegenden Pegelbereich durchgeschaltet ist.

Das IC3-D hinter dem CMOS-Schalter CD4066 addiert einmal das negative Signal aus dem Logarithmierer, das positive Original-Signal, und eine einstellbare Offsetspannung, welche den Nullpunkt am Ausgang ohne anliegendes Signal bestimmt.

Der Einsteller R12 bestimmt nachher bei +13 dbm-Eingangspiegel den maximalen Ausgangspiegel der Baugruppe.

Das IC3-d subtrahiert also das logarith-

mierte Signal vom Original-Signal, so dass letztendlich eine Korrektur des unteren Kennlinienteils entsteht.

Der ganze untere Zweig würde nur bis zu einem Pegel von +7 dbm funktionieren. Bei +13 dbm wären bereits zu große Abweichungen von der Idealkennlinie feststellbar. Deswegen wurde die Schaltung um den oberen Zweig im Schaltbild ergänzt. Hier befinden sich auch wieder IC1-A TL084 als Impedanzwandler.

Aus dessen Ausgangssignal wird mit Hilfe eines, als Komparator geschalteten IC1-B TL084 ein Schaltsignal gewonnen.

Ursprünglich sollte IC1B als Schmitt-Trig-ger arbeiten, was sich als nachteilig erwiesen hat, daher entfällt R3 ersatzlos.

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

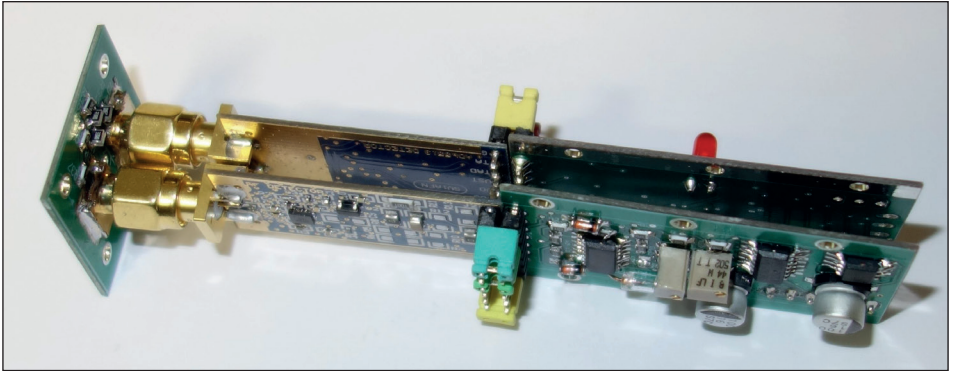


Bild 17: Kombi1

Die Diode D2 sorgt dafür, dass das 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. -20 dbm wird IC4-B hochohmig und stattdessen IC4-A niederohmig.

Das IC1-C TL084 summiert das obere Original-Signal mit einer einstellbaren Offsetspannung, die 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 IC1-D TL084 macht die Invertierung wieder rückgängig. Er liefert das Signal an den

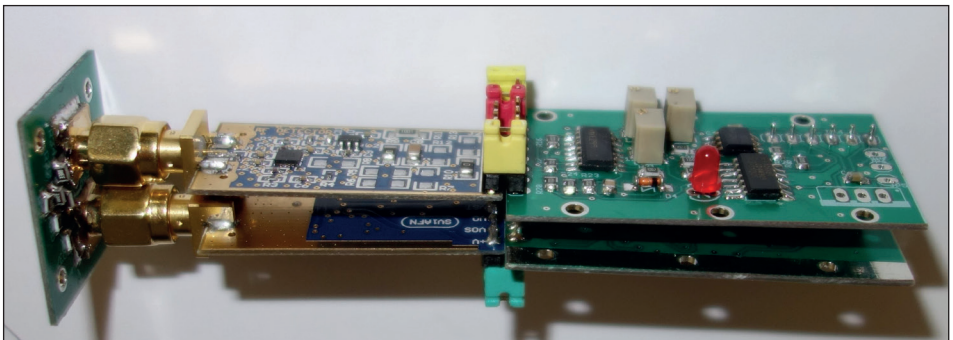


Bild 18: Kombi2

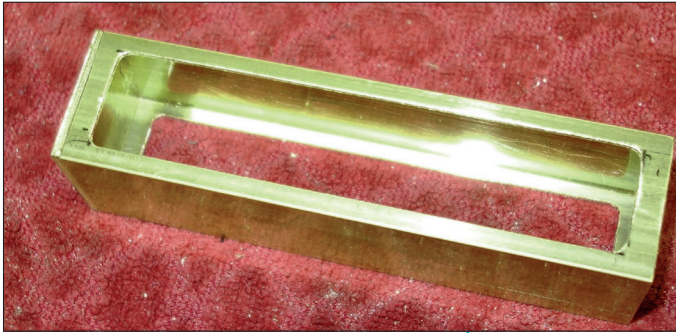


Bild 19:
Gehäuse gefräst
mit seitlichem Deckel

CMOS-Schalter IC4-A CD4066.

Das Ausgangssignal am IC3-D ist negativ und wird durch das IC5 wieder in ein positives Signal überführt.

Die Betriebsspannung von +9 V wird durch ein 7809 IC7, die negative Spannung von -8 V durch das IC6 ICL7660 bereitgestellt.

6. Aufbau des Messkopfes

Die ganze Schaltung wurde auf zwei Leiterplatten aufgeteilt, welche sich

mit den Leiterbahnseiten gegenüberstehen (**Bilder 17 und 18**).

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

Die mechanischen Arbeiten gestalteten sich recht umfangreich. Grundlage ist ein viereckiges Messingrohr (30 mm x 30 mm) in welches die Ausschnitte gefräst wurden, die mit einem Deckel verschlossen werden können (**Bild 19**).

Der fertige Messkopf sieht dann so aus (**Bilder 20 und 21**).

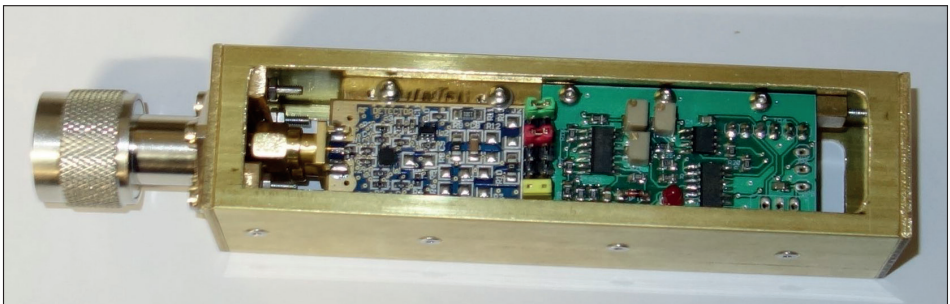


Bild 20: komplette Baugruppe offen-1

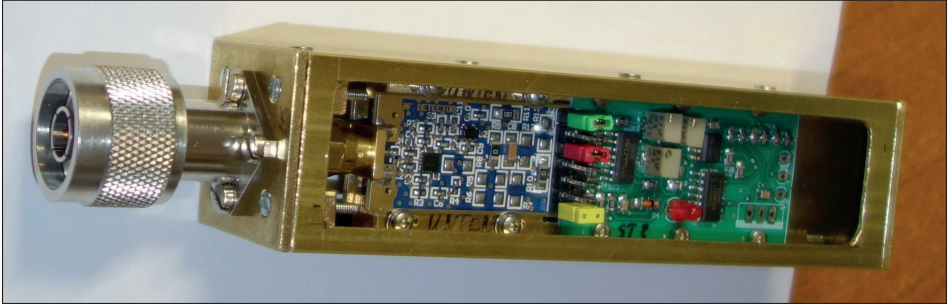


Bild 21: komplette Baugruppe offen-2

7. Abgleich des Messkopfes

Für den Abgleich sind fünf Einstellpotentiometer vorhanden.

Wenn der Messkopf für einen skalaren Netzwerkanalysator (Wobbler mit Sichtgerät) vorgesehen ist, sollte man sich an der eventuell auf dem Bildschirm vorhandene Y-Skalierung orientieren, die vermutlich im 10 db-Raster aufgetragen ist.

Hier war es ein SWOB5, welcher eine maximale Ausgangsspannung von $1 V_{eff}$ (das entspricht +13 dbm) liefert.

Benötigt wird eventuell ein Ausgangsabschwächer mit einem Einstellbereich von 0 bis 100 db, welcher sich in 10 db-Schritten schalten lässt. (Der SWOB5 Ausgangsabschwächer geht nur bis -70 db, so das ich zusätzliche Dämpfungsglieder benötigte).

Mit dem eigentlichen Abgleich beginnt man im mittleren Pegelbereich bei ca. -30 dbm (bei meinen Swob5 waren es -40 dbV also -27 dbm). Auf jeden Fall unterhalb der Umschaltsschwelle zum Hochpe-

gelbereich.

Mit dem Poti R12 wird, bei ständigem Wechsel des HF-Pegels zwischen -27 dbm und -37 dbm (es können auch -30 dbm und -40 dbm sein) ein Sprung auf der Y-Achse von möglichst genau 10 db 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 einem HF-Pegelsprung zwischen -70 dbm und -60 dbm ebenfalls möglichst genau auf dem Bildschirm 10 db eingestellt.

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

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

Der nächste Abgleich beginnt jetzt im Pegelbereich von +10 dbm zu 0 dbm. Dieser Pegelschritt ist mit dem Poti R13



einzustellen.

Nun benötigt man als Wobbelobjekt irgend ein Bandfilter, das man zwischen Generatorausgang und Messkopf schaltet.

Hierzu stellt man den HF-Ausgang auf vollen Pegel.

Man wird jetzt auf dem Bildschirm feststellen, dass an der Filterflanke, an dem Umschaltpunkt zwischen Hochpegel und Niederpegelzweig, irgendwo in der Gegend um -20 dbm ein Sprung entsteht, der da nicht hingehört.

Abhilfe schafft das Poti R9 mit dessen Hilfe man einen möglichst stetigen Verlauf der Kurve an der Filterflanke einstellen kann.

Als letztes wird mit dem Poti R26 bei voller Ausgangsspannung und ohne Messobjekt, also Messkopf direkt an den Ausgang des Wobblers, die Anzeige mit der zweitobersten 10 db-Linie in Deckung gebracht.

Der ganze Abgleich sollte mehrmals wiederholt werden. Nun ist der Dualpfad-Messkopf einsatzbereit.

8. Das Ergebnis

Es ist ein Messkopf entstanden, der eine HF-Spannung am Eingang mit ausreichender Linearität, in einem Pegelbereich von ca. -70 dbm bis +23 dbm, in eine logarithmierte Gleichspannung umsetzt. Die Abweichung von der idealen Kurve beträgt dabei etwa ± 1 db.

Mehr als 23 dbm sollte man ihm nicht zumuten, weil sonst wegen zu hohen Pegel

der ADL5513 im unteren Messzweig gefährdet ist.

Einschränkungen am unteren Pegeländerungen muss man oberhalb 100 MHz machen.

Hier wird unterhalb -55 dbm die Kurve sichtbar unlinear. In der Praxis wird beim Wobbeln einer Kurve eine große Genauigkeit nur im oberen Pegelbereich benötigt. In der Nähe des Grundrauschens interessiert allenfalls die Sperrdämpfung.

Der Frequenzgang ist bis ca 1,5 GHz auf ± 1 db linear.

Mehr wurde von mir nicht gefordert, und mehr ist mit vertretbarem Aufwand auch nicht Realisierbar.

9. Literatur

[1] <https://www.analog.com/media/en/technical.../ADL5513.pdf>

[2] <https://www.sv1afn.com/adl5513.html>





