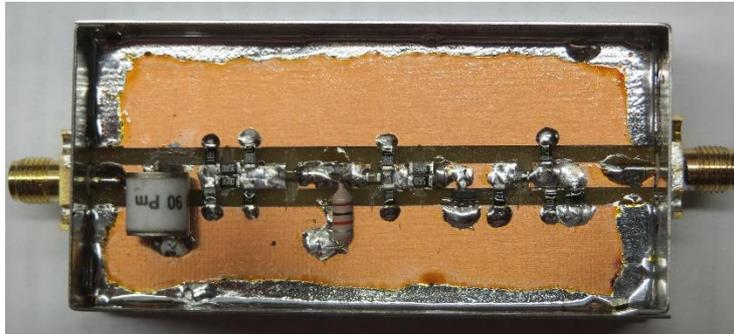


Bericht über den Aufbau eines Dioden Limiters

Wilhelm, DL6DCA, 23.03.2022 V1.1



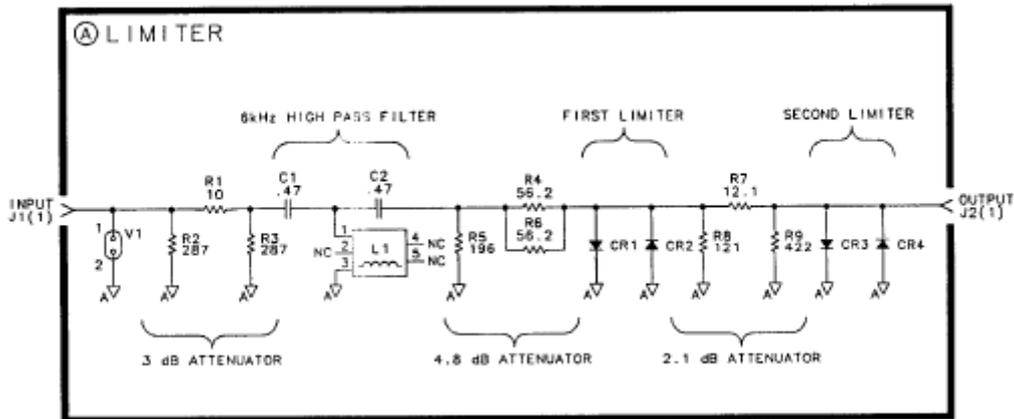
Ansicht Dioden Limiter Platine im Gehäuse

Was ist ein Limiter und wofür wird er benötigt? Vereinfacht gesagt handelt es sich um eine Messhilfe die verhindert, dass impulsartige Spannungsspitzen oder zu hohe Pegel empfindliche Messgeräte schädigen können. Sie limitieren das zu messende Signal auf einen für das Messgerät / Empfänger verträglichen Pegel.

So kann u.a. bei Messungen mit dem von mir in einem anderen Bericht beschriebenen Artificial Mains Network nicht ausgeschlossen werden, dass bei Schaltvorgängen am zu messenden Objekt (DUT = **D**evice **U**nder **T**est) aufgrund der Transformatoren recht hohe kurze Impulsspitzen, sg. Spannungs-Transienten, auftreten. Jeder, der einmal ein kleines 12 V Relais beim Schaltvorgang in der Hand gehalten und dabei die Spannungszuführung berührt hat weis, wie hoch diese Spannungsspitzen sein können. Empfindliche Messgeräte wie Spektrumanalysatoren oder Messempfänger können durch solche impulsartigen Spannungsspitzen in der Eingangsstufe zerstört oder zumindest geschädigt werden. Leider habe ich keinen Speicheroszilloskopfen, um einmal diese Transienten zeigen zu können.

In der Amateurfunkliteratur wird häufig der Vorschlag gemacht, am RX-Eingang einfach antiparallel geschaltete Dioden anzubringen, die dann diese Spannungsspitzen auf 0,3 bzw. 0,7 V (je nach Diodentype Ge oder Si) kappen. Das ist durchaus ein probates Mittel, hat aber den Nachteil, dass bei größeren Nutzsignalen die Dioden wie Mischer wirken und zu Intermodulationen führen können.

Die Messgerätehersteller haben für solche Fälle natürlich entsprechende Abhilfemaßnahmen im Programm, die aber preislich den Rahmen der Hobbykasse sprengen. Bei der Suche im Internet nach Schaltungsunterlagen bin ich auf einen Nachbau des Dioden-Limiter von Hewlett-Packard HP 11947A gestoßen [1], der mir vorher auch von DL2KHP, Hans-Peter, benannt worden ist. Auch er hat die Schaltung erfolgreich nachgebaut [2] und mir freundlicherweise über seine homepage hinausgehende Unterlagen zur Verfügung gestellt. Herzlichen Dank dafür lieber Hans-Peter. Sie entsprechen weitestgehend meinem Aufbau.



Schaltbild aus Manual zu hp 11947A [3]

Table 1-1. Specifications and Characteristics

SPECIFICATIONS:	
Frequency Range	9 kHz to 200 MHz
Insertion Loss	
> 30 dB	below 2 KHz
10 dB \pm 0.5 dB	9 kHz to 50 MHz
10 dB +2.2 dB-0.5 dB	50 MHz to 200 MHz
Calibration Accuracy	\pm 0.2 dB at 25 °C
Maximum Input Level	
Continuous	2.5 W average (+34 dBm)
Pulse	10 kW for 10 μ s
DC Voltage	\pm 12 V
Connectors	
Input	BNC (female)
Output	Type N (male)

CHARACTERISTICS:	
Insertion Loss	
13 dB	<6 kHz, >400 MHz
Impedance	50 Ω
Reflection Coefficient	
Input	
<0.13 (1.3 SWR)	9 kHz to 50 MHz
<0.26 (1.7 SWR)	50 MHz to 200 MHz
Output	
<0.09 (1.2 SWR)	9 kHz to 50 MHz
<0.29(1.8 SWR)	50 MHz to 200 MHz
Limiting Threshold	50 mW (+17 dBm)
Overall Length	138 mm (5.4 inches)

Auszug aus Manual hp 11947A [3]

Die Schaltung besteht aus mehreren Stufen und beginnt am Eingang mit einer recht groben Stufe in Form eines Gasentladungsableiters, der bei hohen Spannungsspitzen dafür sorgt, dass diese auf ca. 10 Vss reduziert werden. Es folgt ein 3 dB Dämpfungsglied und nachfolgend ein 6 kHz Hochpassfilter. Das Dämpfungsglied sorgt für eine Impedanzanpassung auf 50 Ω und gleichzeitig für eine weitere Dämpfung der Transienten, aber auch des Nutzsignals.

Das folgende Hochpassfilter dient dazu, die im nicht interessierenden Frequenzbereich liegenden Transienten erst gar nicht durchzulassen.

Als nächstes folgt ein 4,8 dB Dämpfungsglied zur Anpassung und weiteren Dämpfung sowohl der Transienten als auch des Nutzsignals.

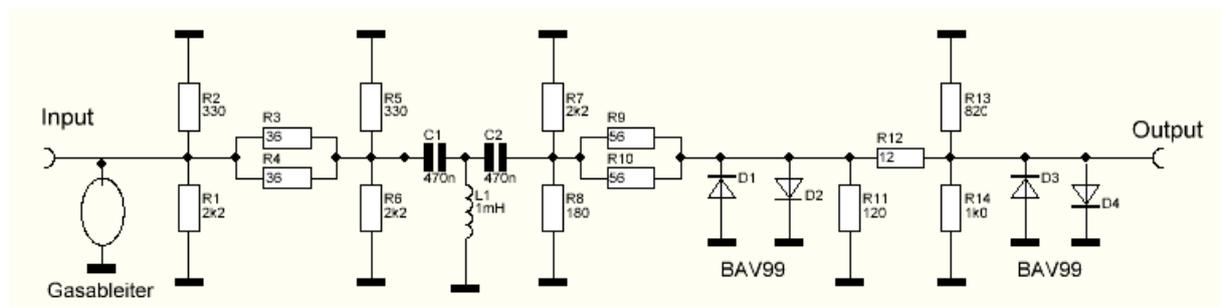
Die beiden folgenden antiparallel geschalteten Dioden, als „first limiter“ bezeichnet, kappen jetzt Transienten und evtl. zu hohe Nutzsignale auf ca. \pm 0,7 V herab.

Es folgt ein weiteres Dämpfungsglied mit 2,1 dB Dämpfung, gefolgt von dem „second limiter“ welcher abermals aus zwei antiparallel geschalteten Dioden besteht und final alle Signale auf $\pm 0,7$ V begrenzt.

Durch die Reihenfolge des Grobschutzes, der Dämpfungsglieder und der zwei Diodenschutzelemente erfolgt eine gestaffelte Leistungsverteilung auf die einzelnen Schutzelemente. Die Leiterbahnführung und auch die Auslegung der einzelnen Stufen erfolgt impedanzgerecht in 50Ω .

Insgesamt werden also Eingangssignale (Transienten und Nutzsignale) um insgesamt 9,9 dB gedämpft und auf $\pm 0,7$ V limitiert am Ausgang zur Verfügung gestellt.

Mein Aufbau erfolgte auf der Basis einer 50Ω coplanar waveguide Leiterplatte aus 1,6 mm FP4 Material, beidseitig beschichtet. Die Berechnung der Abmessungen erfolgte mit dem Programm AppCAD von der Firma AvagoTechnologies, welches kostenfrei im Internet heruntergeladen werden kann [4].



Realisierte Schaltung

Bei den Widerständen für die Dämpfungsglieder wurden Widerstandskombinationen genommen, um möglichst dicht an die berechneten Werte heranzukommen, da diese außerhalb der E-Reihen liegen. Die Berechnung erfolgte mit den online Programmen von M0UKD [5] und der Firma Digikey [6].

Der Eingangsschutz besteht aus einer Gasentladungspille von Siemens, die bei 90 V zündet und dann bei ca. 10 V erlischt. Dank an DD1US, Matthias, der mir dieses Bauteil zur Verfügung gestellt hat. Versuche anstelle dieses „Groschutzes“ eine Varistordiode (EPC B72520T0300 SMD-Varistor, 1206, 30 V, Reichelt) zu nehmen schlugen fehl, da die sehr hohe Eigenkapazität dieses Bauteils die Impedanz der Gesamtschaltung zunichte macht.

Als Dioden („first-“ and „second limiter“) habe ich High Speed Doppel Dioden vom Typ BAV99 genommen. Wie man dem Datenblatt entnehmen kann, ist eine max. Spitzenspannung von 85 V erlaubt, also durch die Gasentladungspille und die Dämpfungsglieder ausreichend geschützt. Trotz der Winzigkeit sind beachtliche Ströme zulässig. Auch hier sind ja noch die strombegrenzenden Dämpfungsglieder vorgeschaltet, die bei 90 V=Zündungsanfang Gasentladung einen Strom von max. 1,5 A zulassen.

LIMITING VALUES

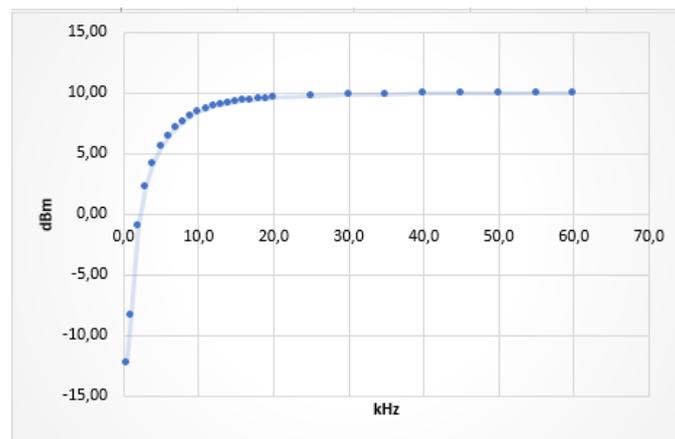
In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
Per diode					
V_{RRM}	repetitive peak reverse voltage		–	85	V
V_R	continuous reverse voltage		–	75	V
I_F	continuous forward current	single diode loaded; see Fig.2; note 1	–	215	mA
		double diode loaded; see Fig.2; note 1	–	125	mA
I_{FRM}	repetitive peak forward current		–	450	mA
I_{FSM}	non-repetitive peak forward current	square wave; $T_j = 25\text{ °C}$ prior to surge; see Fig.4			
		$t = 1\ \mu\text{s}$	–	4	A
		$t = 1\ \text{ms}$	–	1	A
		$t = 1\ \text{s}$	–	0.5	A
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} = 25\text{ °C}$; note 1	–	250	mW
T_{stg}	storage temperature		–65	+150	°C
T_j	junction temperature		–	150	°C

Auszug aus Datenblatt BAV99

Der Aufbau kann dem Eingangsbild / der Schaltung entnommen werden.

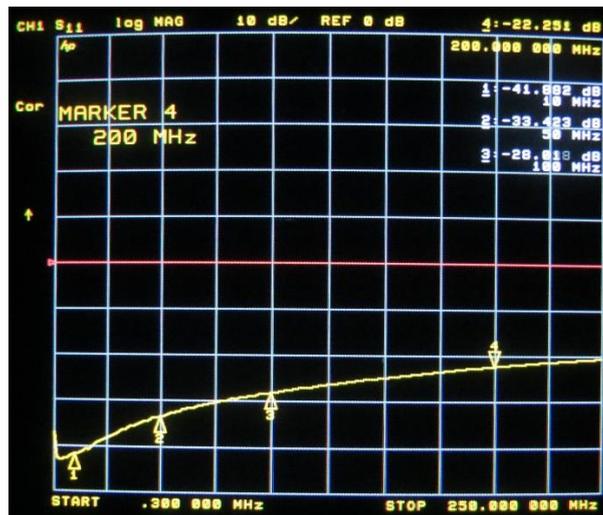
Als erstes habe ich einmal das Hochpassverhalten des Limiter gemessen. Da mein Network-Analyser erst bei 300 kHz beginnt, erfolgte dieses händisch mittels R&S Signalgenerator SPN und auf 50 Ω terminierten Hameg HM 1008-2 Scope mit anschließender Auswertung über Excell.



Dämpfungsverlauf Hochpassfilter

Wie man dem Diagramm entnehmen kann, ist der -3 dB Punkt auf der Flanke tatsächlich bei 6 kHz und voller Durchgang ab 20 kHz; also für die Anwendung geeignet.

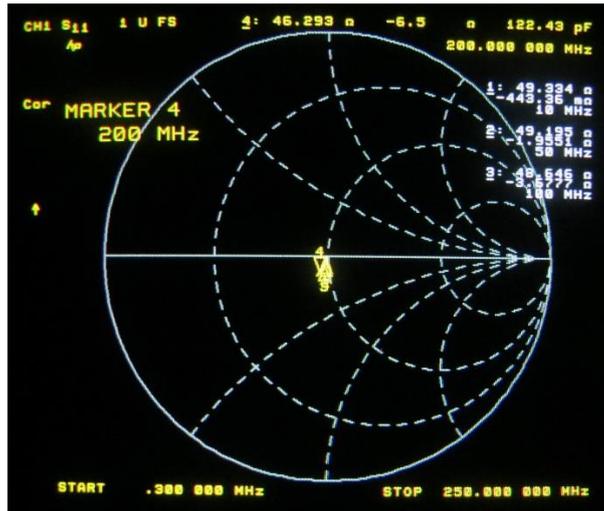
Als nächstes wurde mittels Network Analyser hp 8975C die S11 und S21 Parameter bestimmt. Der als Vorbild dienende hp 11947A Limiter ist nach den Herstellerspezifikationen für den Bereich von 9 kHz bis 200 MHz ausgelegt. Entsprechend wurden die Parameter bis 250 MHz vermessen, in einem weiteren Schritt ergänzend bis 1 GHz:



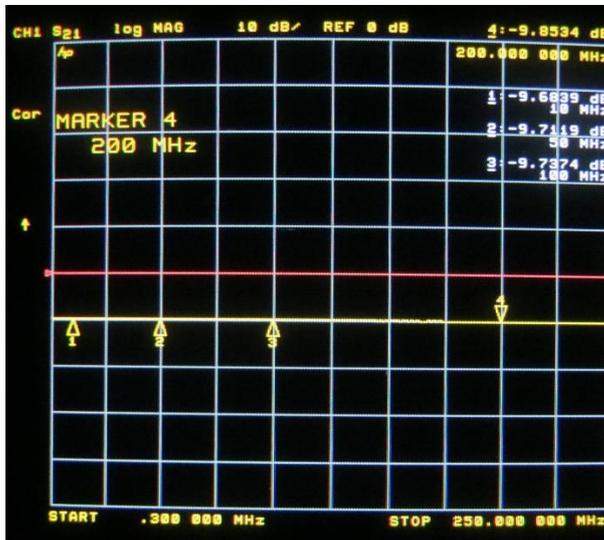
S11 log MAG 300 kHz bis 250 MHz



S11 SWR 300 kHz bis 250 MHz



S11 Smith Diagram 300 kHz bis 250 MHz

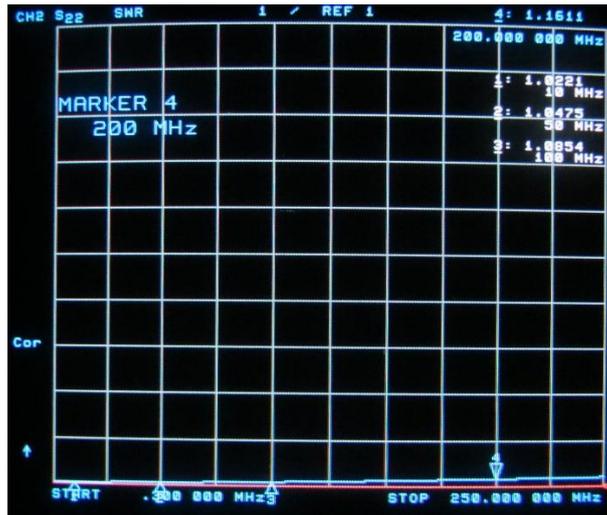


S21 log MAG 300 kHz bis 250 MHz

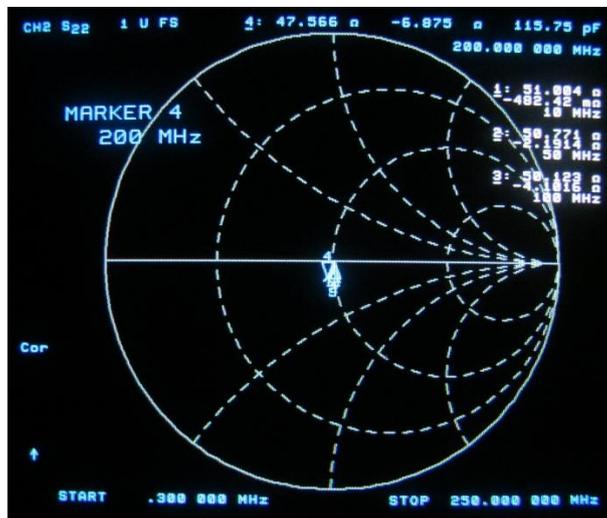
Der Vollständigkeit halber vom Ausgang her gemessen:



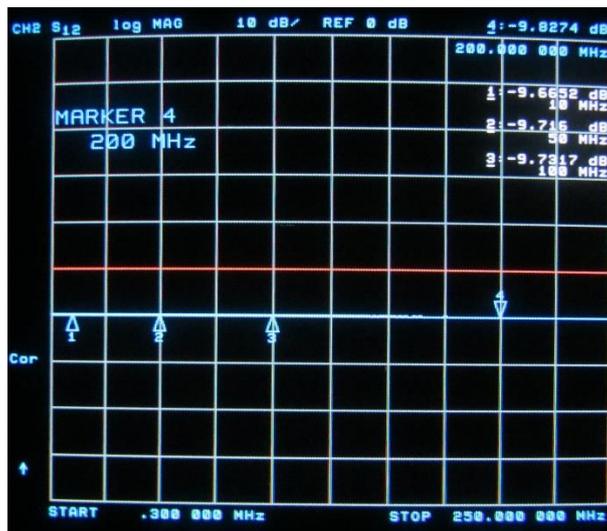
S22 log MAG 300 kHz bis 250 MHz



S22 SWR 300 kHz bis 250 MHz



S22 Smith 300 kHz bis 250 MHz

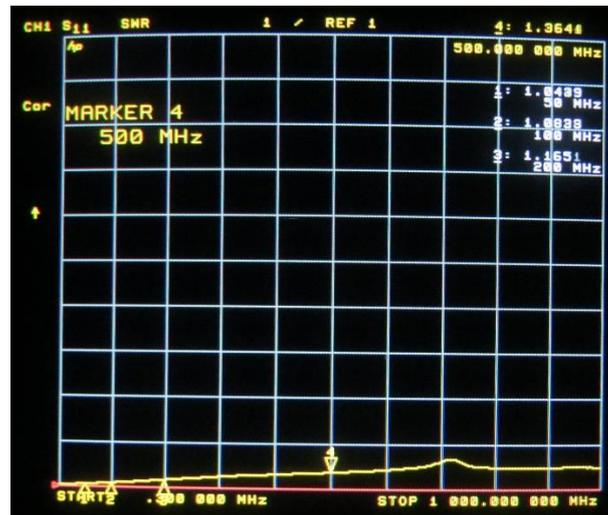


S12 300 kHz bis 250 MHz

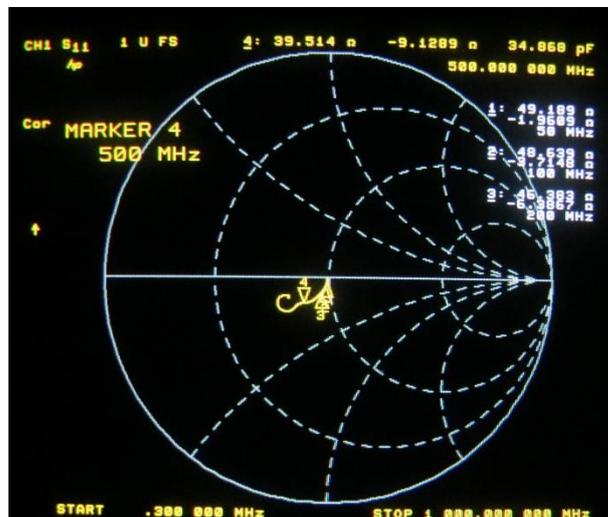
Messreihe bis 1 GHz:



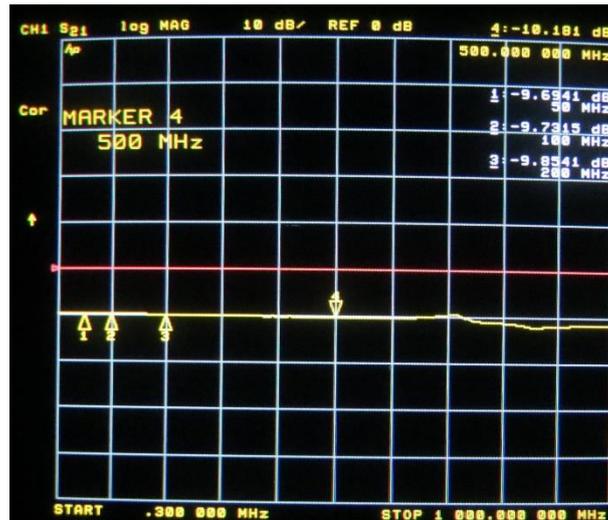
S11 log MAG 300 kHz bis 1000 MHz



S11 SWR 300 kHz bis 1000 MHz



S11 Smith 300 kHz bis 1000 MHz

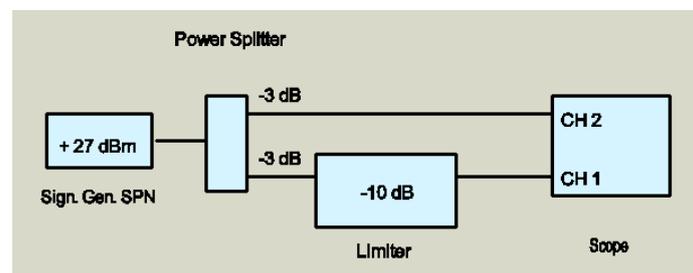


S21 300 kHz bis 1000 MHz

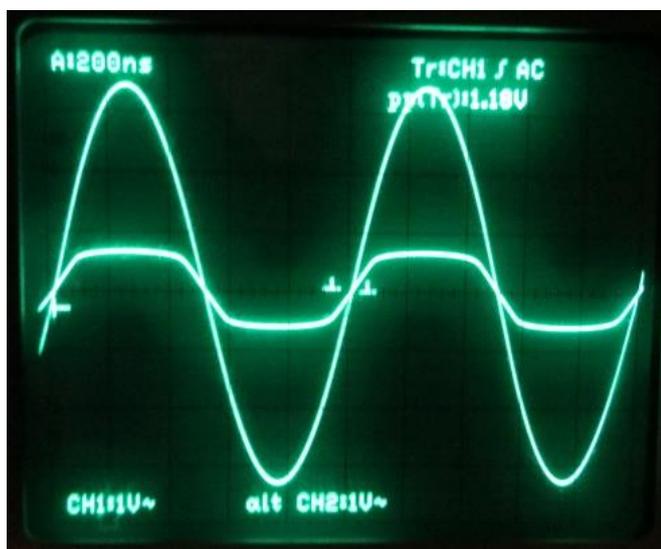
Als Ergebnis ist festzustellen, dass Anpassung und Durchgangsdämpfung durchaus dem kommerziellen Aufbau nicht nur entsprechen, sondern hinsichtlich der Anpassung wesentlich besser ausfallen.

Und jetzt kommt die große Frage, ob der Limiter das tut was er soll. Leider habe ich keinen Leistungsmessender. Die vorhandenen Messsender hören bei +13 dBm auf, was 1,0 V (U_{eff}) entspricht. Die kleinen fernöstlichen Breitbandverstärker helfen auch nicht weiter, da sie auch keine über +13 dBm liegende Leistung bringen.

Eine Messung mit dem R&S SPN, der immerhin 27 dBm Ausgangsleistung bei max. 1,3 MHz hat ergab folgendes Bild:



Messaufbau



Die Messfrequenz beträgt 1 MHz. Der Generator liefert ca.* + 27 dBm = 5 V (U_{eff}) = 14 V (U_{ss}). Der Splitter teilt dieses Signal in zwei Zweige auf, also - 3 dB. Hinzu kommt der Durchgangsverlust von -3 dB. Somit stehen an beiden Ausgängen des Splitters 27 dBm - 3 dB - 3 dB = 21 dBm an. Das entspricht 7,06 V (U_{ss}). Ein Zweig geht direkt zum Scope (Oszillograf HM1008-2); die große Amplitude stellt somit das Signal am Limiter Eingang dar. Die kleine Amplitude ist das Ausgangssignal des Limiters. Deutlich sieht man, dass das Signal keinen reinen sondern einen begrenzten / abgeflachten Sinus ergibt. Es ist das durch die Dioden limitierte oder auch ge-

kappte Signal mit +/- 0,6 V. Ein weiterer Test mit 25 kHz verlief genauso positiv.

* Hinweis: Wer genau hinsieht erkennt eine kleine Abweichung in der Spannungsanzeige, der Signalgenerator muss noch einmal neu justiert werden, was aber für diesen Zweck keine Rolle spielt.

Der gleiche Test wurde mit einem Multiband Funkgerät auf den Frequenzen 30 MHz, 144 MHz und 435 MHz durchgeführt, allerdings als Messgerät der R&S CMU200 als Spektrum Analyser eingesetzt. Auch hier stellten sich die gekappten Signale mit +8,5 dBm = 0,6 V (U_s) ein.

Hinsichtlich des max. Eingangspegels in Form eines kontinuierlichen Signals ist zu beachten, dass die im ersten Dämpfungsglied verbauten Widerstände max ¼ Watt auf Dauer vertragen. Somit ist angesichts des 3 dB Dämpfungsgliedes im Eingang eine max. Dauerleistung von höchstens 0,5 Watt angezeigt. Hinsichtlich der sehr kurzen Transienten, um deren Kappung es ja geht, dürften aber keine Probleme bestehen und auch die Dioden gem. Datenblatt keine Überlastung haben.

Als Ergebnis ist festzuhalten, dass der Limiter im Frequenzbereich von 25 kHz bis 435 MHz seine Funktion erfüllt. Bei einem Einsatz im Zusammenhang mit dem Artificial Mains Network sind die zu vermessenden Signale weit unter der Kappungsgrenze, sodass nicht mit einer Verfälschung der Messwerte zu rechnen ist. Sehr wohl ist die Durchgangsdämpfung von 10 dB bei der Auswertung zu beachten.

Eine Betrachtung evtl. durch die Dioden entstehender Oberwellen erfolgt später in einem gesonderten Bericht.

Über Rückfragen, Anmerkungen, Verbesserungsvorschläge würde ich mich freuen. Kontakt bitte per Mail dl6dca@dark.de oder Ortsfrequenz 144,575 MHz.

Fundstellenhinweise:

- [1] <https://hackaday.io/project/168800-hp-11947a-clone>
- [2] <http://www.dl2khp.de/projekte/netznachbildung.html>
- [3] https://xdevs.com/doc/HP_Agilent_Keysight/HP%2011947%20Operations%20&%20Service.pdf
- [4] <http://www.hp.woodshot.com/>
- [5] <https://m0ukd.com/calculators/pi-attenuator-calculator/>
- [6] <https://www.digikey.de/de/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-parallel-and-series-resistor>

Ergänzende Literaturhinweise:

- <https://www.rfcafe.com/references/qst/passive-limiter-december-1966-qst.htm>
- <https://www.everythingrf.com/community/what-is-an-rf-limiter>
- https://www.richardsonrfpd.com/docs/rfpd/PIN_Limiter_Design_Guide.pdf