

## Endstufe für den NWT bringt 12 dB größeren Dynamikumfang

Helmut Stadelmeyer

**Die Ausgangsleistung des NWT beträgt im Originalzustand etwa 3 dBm, die Rauschgrenze der AD8307-Detektoren liegt unter -76 dBm. Dadurch ist der Anzeigeumfang des Gerätes derzeit festgelegt.**

**Schaltet man dem Generatorausgang einen kleinen Verstärker nach, der den Pegel auf ca. 15 dBm anhebt, dann gewinnt das Gerät mit wenig Aufwand mehr als 10 dB an Meßdynamik. Die kann man in vielen Fällen gut brauchen, beispielsweise wenn die Weitabdämpfung eines Filters untersucht werden soll.**

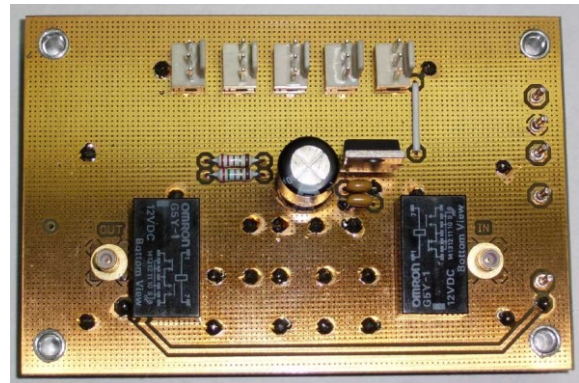


Abb. 1: Oberseite einer betriebsbereiten Baugruppe

Das Datenblatt des AD8307 [1] gibt für eine garantierte Linearität von  $\pm 1$  dB einen Pegelbereich von -72 bis +16 dBm an, also insgesamt 88 dB. Im hauptsächlich verwendeten Frequenzbereich bis 100 MHz liegt die typischerweise erreichte Abweichung von der Log-Linearität in diesem Pegelbereich sogar bei nur  $\pm 0.3$  dB, wie eine Kontrolle am eigenen Gerät bestätigt hat. Weiter unten wird darauf genauer eingegangen. In vielen Fällen ist ein erweiterter Anzeigebereich selbst dann hilfreich, wenn die Linearität bei ganz kleinen Pegeln nicht mehr eingehalten wird, wie das zum unteren Ende des Meßbereichs hin der Fall ist.

Mit einem maximalen Pegel von 15 dBm läßt sich der NWT schon zur Untersuchung der Großsignalfestigkeit von manchen Baugruppen einsetzen. Es zahlt sich also aus, den ganzen vom AD8307 angebotenen Pegelbereich für die Darstellung auszunützen, zumal die NWT-Software von DL4JAL ebenfalls auf einen Anzeigeumfang von 100 dB ausgelegt ist. Mittlerweile ist sogar eine beliebige Skalierung der vertikalen Achse möglich, z.B. von +20 bis -90 dB oder auch nur ein kleiner Bereich, der dann eine Lupenfunktion bietet [2].

### Schaltbild

Die NWT-Baugruppen im Mustergerät des Verfassers sind nunmehr mit 10,5 V versorgt, um die Verlustleistung und damit die Erwärmung zu verringern. Das trägt zur Stabilität des DDS-Oszillators bei. Der Verstärker ist durch einen eigenen Spannungsregler 7808 von den übrigen Baugruppen entkoppelt und eine ordentliche Siebung hilft, das Rauschen zu verringern.

Ganz so einfach, wie es anfangs ausgesehen hat, ist der Entwurf des Verstärkers dann doch nicht gewesen: beim Nachrechnen hat sich nämlich herausgestellt, daß für eine untere Frequenzgrenze von 50 kHz die Drossel L2 unübliche Werte haben muß. Mehr dazu im Abschnitt „Verwendete Bauteile“. Der Verstärker wurde deswegen so ausgelegt, daß er mit beschaffbaren Bauteilen ab 1 MHz seinen Zweck erfüllt.

Um den unteren Frequenzbereich des NWT nicht unnötig zu beschneiden, muß der Verstärker also, ganz nach dem Prinzip einer richtigen PA, zuschaltbar ausgeführt werden. Die Umschaltung im HF-Pfad von Bypass auf Durchgang kann mit Relais erfolgen oder auch mit Halbleiterschaltern. Für beide Varianten wurde je ein Musterexemplar angefertigt, wobei bei der Variante mit Relais die OMRON-Typen G5Y-1 und G6Y-1 verwendet werden können. Ein Vorteil der Relais-Variante ist die sehr geringe Durchgangsdämpfung, die allerdings mit einem etwas größeren Gesamtstrom zur Versorgung der Relais bezahlt werden muß (ca. 90 mA bei 10,5 V). Es ist immer nur ein Relais in Betrieb.

Die Variante mit Halbleiterschaltern verwendet ICs von MACOM mit der Bezeichnung SW-339, die bei 200 MHz laut Datenblatt eine Durchgangsdämpfung von 0,4 dB haben. Das ist beim Pegelplan berücksichtigt. Diese Variante gibt sich mit einem geringeren Stromverbrauch von ca. 73 mA zufrieden.

Einzufügen ist der Verstärker zwischen dem schaltbaren Dämpfungsglied und der Generator-Ausgangsbuchse. Das bietet uns die Möglichkeit, nötigenfalls bei Zuschaltung von ein paar Dezibel Dämpfung den Verstärker oberwellenarm und in seinem linearen Bereich zu betreiben.

## Endstufe für den NWT

**Achtung:** Bei Baugruppen, die den vollen Ausgangspegel von 15 dBm aus irgendwelchen Gründen nicht vertragen, nicht auf eine Verringerung des Pegels vergessen!

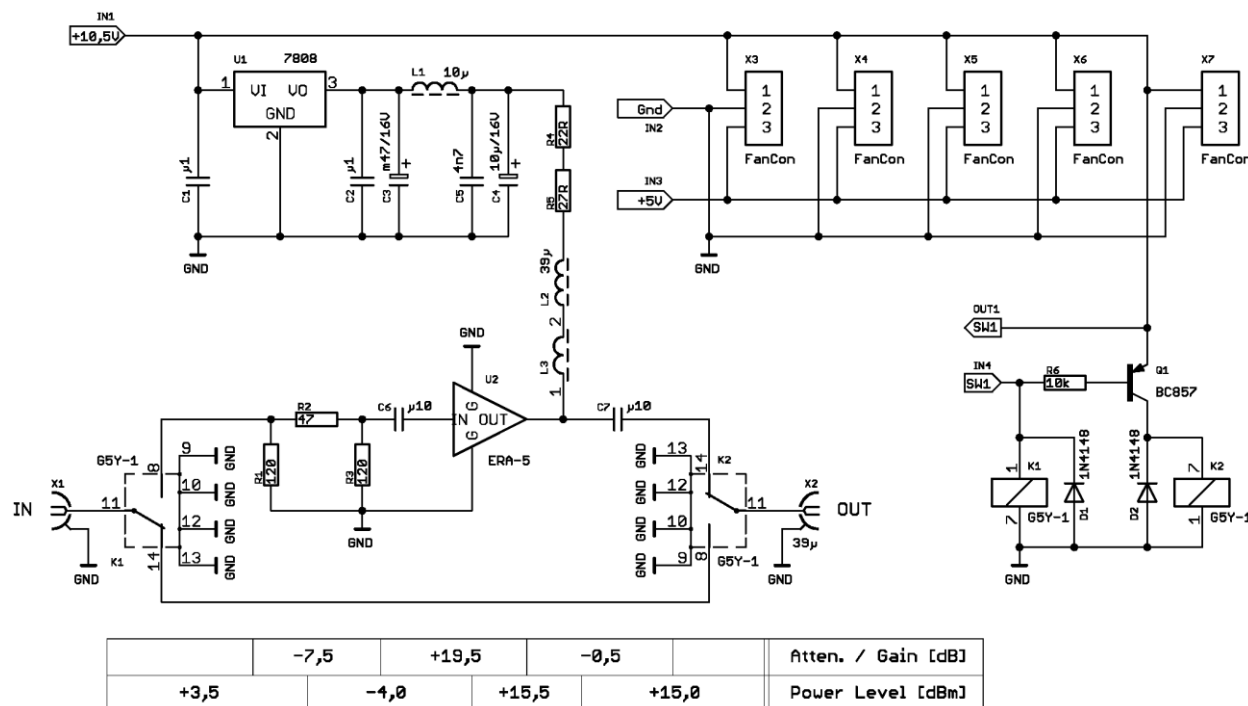


Abb. 2: Schaltbild der Variante mit Relais (Variante 1)

Die Strombegrenzung für den MMIC erfolgt mit zwei Widerständen; das hat den Zweck, die nicht unbedeutende Verlustleistung aufzuteilen. Der Gesamtwert des Strombegrenzungswiderstandes ist im Datenblatt des MMIC angegeben.

Der Pegelplan unter dem Verstärkerschaltbild gilt für den im Musterexemplar verwendeten ERA-5 und eine Eingangsleistung von 3,5 dBm. Bei einem anderen MMIC oder anderen Pegelwerten ist der Plan ausgehend von einer Ausgangsleistung von 15 dBm den Bauteilwerten entsprechend anzupassen. So erhält man den Wert für das Dämpfungsglied, dessen Widerstände mit dem EXCEL-Blatt von [3] leicht zu ermitteln sind (Abb. 3 und 4). Dieses Dämpfungsglied verbessert zudem die Anpassung zwischen dem schaltbaren Abschwächer und dem MMIC.

Unsymmetrisches PI-Glied:				Symmetrisches PI-Glied:			
<b>Eingaben:</b> Z1: 50 [Ω] Z2: 50 [Ω] Dämpfung A: 7,5 [dB] max Pegel P: 20 [dBm]				<b>Eingaben:</b> Z1: 50 [Ω] Z2: 50 [Ω] Dämpfung A: 3 [dB] max Pegel P: 10 [dBm]			
<b>Ausgaben:</b> R1: 122,9196 [Ω] P1: 40,677 [mW] R2: 122,9196 [Ω] P2: 7,23507 [mW] R3: 48,74193 [Ω] P3: 34,3067 [mW]				<b>Ausgaben:</b> R1: 292,40218 [Ω] P1: 1,7099736 [mW] R2: 292,40218 [Ω] P2: 0,8570169 [mW] R3: 8,807397 [Ω] P3: 1,2105688 [mW]			
<b>Alternativ:</b> <b>Eingaben:</b> R1: 120 [Ω] R2: 120 [Ω] R3: 47 [Ω]				<b>Alternativ:</b> <b>Eingaben:</b> R1: 120 [Ω] R2: 120 [Ω] R3: 25,21 [Ω]			
<b>Ausgaben:</b> Z1: 48,56118 [Ω] Z2: 48,56118 [Ω] Dämpfung A: 7,4565 [dB]				<b>Ausgaben:</b> Z1: 49,999931 [Ω] Z2: 49,999931 [Ω] Dämpfung A: 7,7070 [dB]			

Abb. 3: EXCEL-Blatt zur Ermittlung der Widerstands-werte für das Dämpfungsglied und Überprüfung der Dämpfung bei Verwendung von Werten aus der Normreihe

ERMITTLUNG der Resonanzfrequenz:			
<b>Eingabe:</b>	C	24 [pF]	<b>Ausgabe:</b> $f_r = 7,0892826$ [MHz]
	L	21 [μH]	
ANPASSUNG in einem 50-Ohm-System:			
<b>Eingabe:</b>	Z=	48,6 [Ω]	<b>Ausgabe:</b> VSWR = 1,03
			r = 1,42 [%]
			P <sub>ref</sub> = 0,02 [%]
			Rückflußdämpfung = 36,95 [dB]
FREQUENZKOMPENSATION von SMD-Widerständen Baugröße 1206:			
<b>Eingabe:</b>	R=	121 [Ω]	<b>Ausgabe:</b> C = 0,00 [pF]

Abb. 4: Kontrolle der Anpassung des Dämpfungsglieds in einem 50-Ohm-System

## Endstufe für den NWT

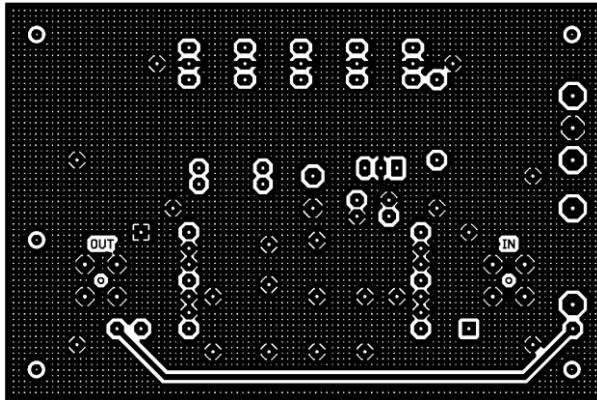


Abb. 5: Leiterplatten-Layout Oberseite Variante 1 (nicht maßstabgetreu)

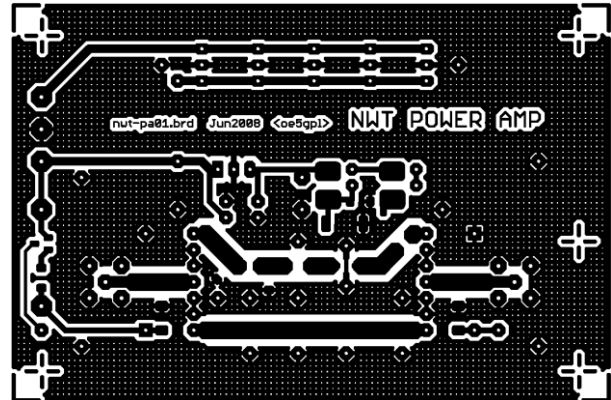


Abb. 6: Leiterplatten-Layout Unterseite Variante 1 (nicht maßstabgetreu)

Zum Lesen der zu den SMD-Bauteilen zugehörigen Bauteilnamen und -werte sind die Bestückungspläne vergrößert zu betrachten - nur die Beschriftung größer zu machen hat wenig Sinn, weil das bei einer dichter belegten Leiterplatte Übersichtlichkeit und Lesbarkeit der Darstellung stark beeinträchtigt. Gut lesbare Unterlagen sind Teil der zugehörigen Dokumentation.

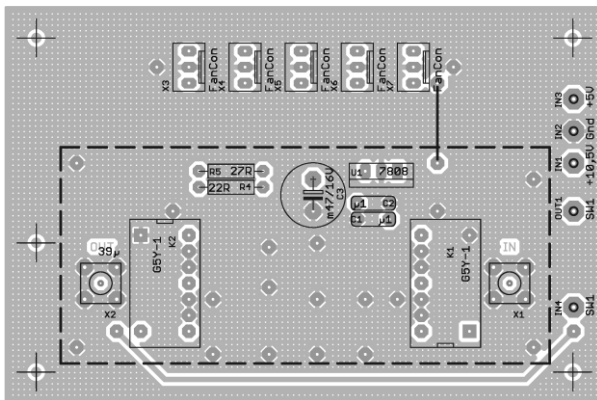


Abb. 7: Bestückungsplan Oberseite Variante 1

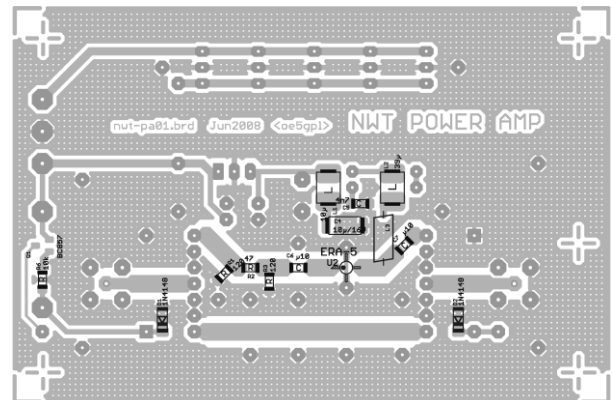


Abb. 8: Bestückungsplan Unterseite Variante 1

Für die Dimensionierung der Bauteile eines solchen Verstärkers bietet sich das Programm AppCAD der Firma AVAGO (Tochter von AGILENT) an, das kostenlos von [4] herunterzuladen ist. Unter „Active Circuits → Current Biased RFIC Circuits“ ist ein Blatt zur Berechnung von Schaltungen mit unseren MMICs enthalten. Damit sind nach Eingabe einiger Werte, die man dem Datenblatt des gewählten MMIC und den Anforderungen an die Baugruppe entnimmt, alle Angaben zum Vervollständigen des Schaltbildes verfügbar:

- Wert und Verlustleistung des Vorwiderstandes
- Wert der Koppelkondensatoren für die gewünschte untere Grenzfrequenz
- Wert des Abblockkondensators
- Temperatur im Inneren des MMIC
- Verstärkungsverlust durch die BIAS-Beschaltung

Bei diesem Programm sind alle Felder, in die Daten einzugeben sind, auf der linken Seite und oben durch einen Rahmen kenntlich gemacht.

## Endstufe für den NWT

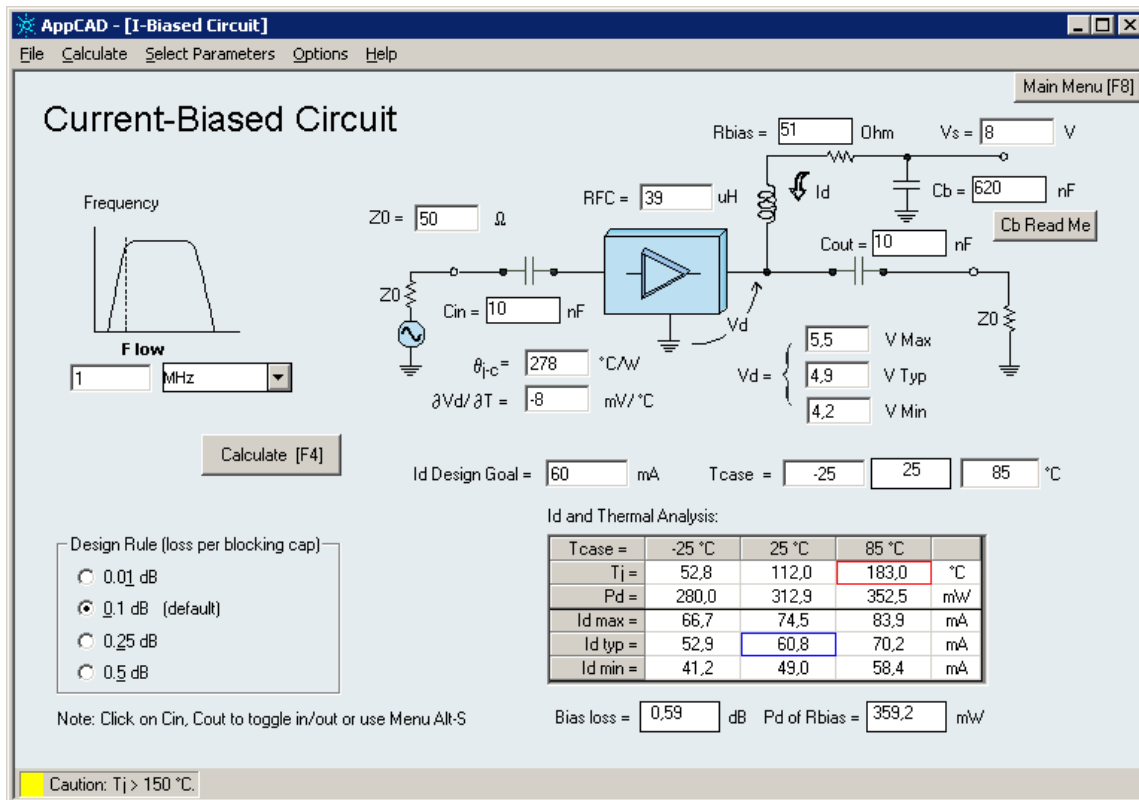


Abb. 9: Ermittlung der Bauteilwerte mit AppCAD

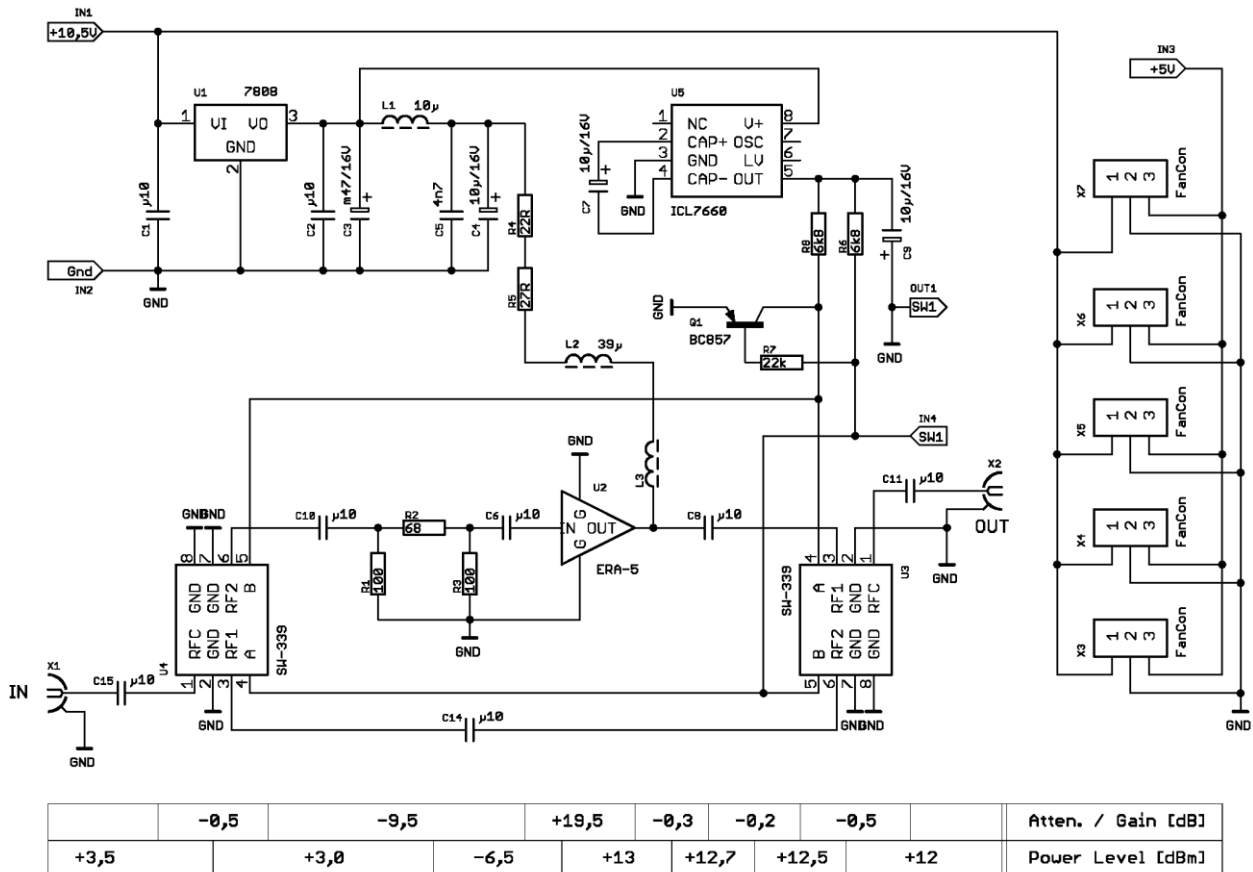


Abb. 10: Schaltbild der Variante mit Halbleiterschaltern (Variante 2)

Die HF-Schalter SW-339 benötigen an den Eingängen A und B eine negative Spannung, die mit einem Inverter 7660 aus +8 V erzeugt wird. Zur Sicherheit sind alle HF-führenden Anschlüsse der Schalter durch Kondensatoren gleichspannungsfrei gemacht.

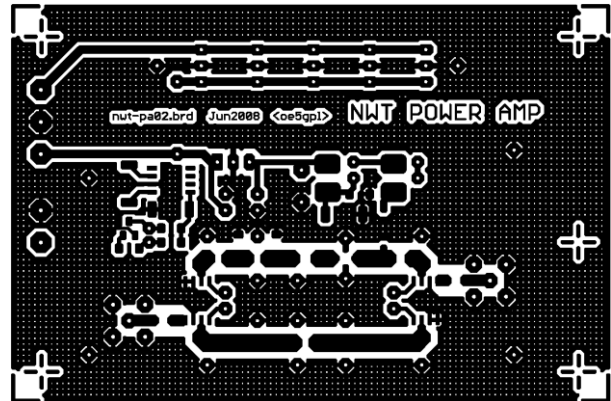


Abb. 12: Leiterplatten-Layout Unterseite Variante 2 (nicht maßstabgetreu)

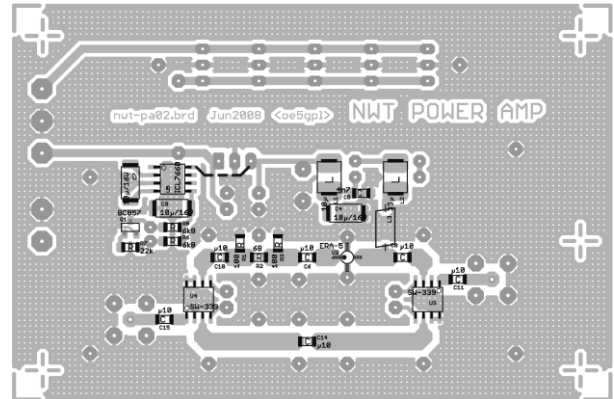


Abb. 14: Bestückungsplan Unterseite Variante 2

Schlüsselbauteile sind MMIC-Verstärker, Drosseln und Relais bzw. Schalter-ICs. Der MMIC muß einen Ausgangspegel von 15 dBm liefern, soll dabei aber möglichst linear sein und wenig unerwünschte Nebenprodukte erzeugen. Deshalb muß seine Ausgangsleistung bei 1 dB Kompression ein Stück darüber liegen. Die Verstärkung des Bauteils soll also nicht viel weniger als 15 dB betragen.

Eine wesentliche Bedingung ist, daß der MMIC bis zu niedrigen Frequenzen hin funktioniert, was bei vielen dieser Bauteile durchaus nicht selbstverständlich ist. Nach oben hin ist sein Frequenzbereich bei dieser Anwendung dagegen nicht von Bedeutung. Der bei den Musterexemplaren verwendete ERA-5 kann laut Datenblatt bei 2 GHz und einer Kompression von 1 dB eine durchschnittliche Ausgangsleistung von 18,4 dBm liefern. Die Leiterplatte ist für die Gehäusebauformen SOT86 und SOT89 ausgelegt. Leider bezeichnen die Hersteller ihre MMIC-Gehäuse uneinheitlich, ein Vergleich anhand der Datenblätter ist deshalb notwendig.

Seite 5 von 13

## Endstufe für den NWT

Typ	Hersteller	Gehäuse	Beschriftung
AG602	WATKINS JOHNSON	SOT89	AG602
AG604	WATKINS JOHNSON	SOT86, SOT89	Kxx
ERA5	MINI CIRCUITS (MCL)	SOT86	5, auch E5
GALI5	MCL	SOT89	05
HMC480ST89	HITTITE	SOT89	H480
SNA586	SIRENZA	SOT86	S5

Für die Beschaffung der ICs gibt es mehrere Möglichkeiten: Manche Bauteilhändler haben einen passenden Typ in ihrem Angebot (eine Suchmaschine fragen!), aber auch Amateurfunk-Flohmärkte sind eine mögliche Quelle, weil in ausgemusterten Leiterplatten der Meßgeräte- und Telekommunikationsindustrie gar nicht selten solche Teile verbaut worden sind. Man muß nur wissen, wie die Bauteile bezeichnet sind und man braucht eine Lupe, um die winzige Beschriftung vor dem Kauf lesen zu können [5]. Fraglos belastet letztere Möglichkeit das Bastelbudget am wenigsten, denn die Leiterplatten kosten in der Regel einen Pappenstiel.

Die Koppelkondensatoren am Ein- und Ausgang des MMIC müssen wegen der niedrigen unteren Grenzfrequenz eine verhältnismäßig große Kapazität haben. Der erstmalige Aufbau erfolgte mit der Bauform 1812, deren Breite gut zur 50-Ohm-Streifenleitung paßt; sie wurde in der Folge durch 1206-Bauteile ersetzt. Ein Unterschied war dabei nicht festzustellen.

Die beim Musterexemplar verwendete Drossel L2 ist ein Bauteil mit Plastikgehäuse in der Bauform 1814. Solche Drosseln sind leider keine idealen Induktivitäten, denn sie haben unter anderem unerwünschte Resonanzfrequenzen. In diesem Fall liegt die Parallelresonanz bei 16 MHz und die Serienresonanz bei 400 MHz. Letztere hat ohne zusätzliche Maßnahmen zur Selbsterregung des MMIC im UHF-Bereich geführt. Auf dem NWT hat sich die so gezeigt, daß die Verstärkung ab 170 MHz bis 200 MHz um einige dB angestiegen ist. Um das zu verhindern, war eine weitere Drossel L3 notwendig, die aus einem blanken Draht besteht, auf dem ein 5 \* 3,5 mm großes Ferritrohrchen aufgeschoben ist. L2 muß den Strom von 60 mA zum MMIC vertragen und soll nur einen geringen ohm'schen Widerstand aufweisen. Übliche SMD-Drosseln mit dieser Induktivität in der Bauform 1814 haben einen Widerstand in der Gegend von wenigen Ohm. Um den gemessenen Wert ist der Strombegrenzungswiderstand R4+R5 gegenüber dem im Datenblatt des MMIC angegebenen Sollwert zu vermindern. Normale Kohleschichtwiderstände kommen hier bereits an ihre Belastungsgrenze, man sollte deshalb Metallfilmwiderstände nehmen.

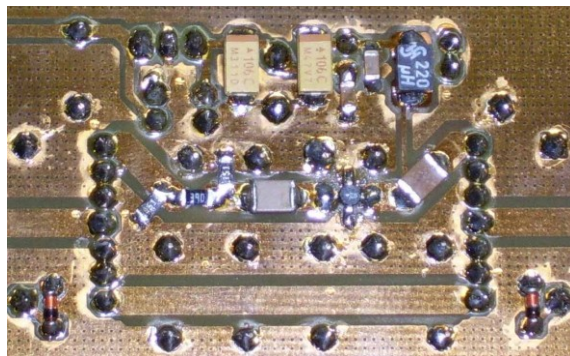


Abb. 15: SMD-Aufbau des Verstärkers Var.1, Detail

Das Dämpfungsglied besteht aus 1206-Widerständen. Bei den beiden Koaxialbuchsen wurde die SMB-Norm gewählt, man kann die Kabel aber genausogut direkt festlöten.

Die Relais finden sich in vielen älteren Multischaltern, wie sie in Fernsehanlagen verwendet worden sind (in modernen Multischaltern kommen durchwegs Schaltdioden zur Anwendung). Wegen der günstigeren Leiterbahnführung sind die Spulen der beiden Relais nicht gleichsinnig angeschlossen. Fabrikate von MATSUSHITA (RK-1) und TAKAMISAWA (UM1) mit demselben Anschlußbild sind gepolt und deshalb hier nicht zu gebrauchen.

## Aufbau

Bedrahtete Bauteile befinden sich auf der Oberseite, alle SMD-Bauteile auf der Unterseite (Lötseite) der Leiterplatte. Beim Bestücken sollte man mit der Brücke auf der Oberseite und den Durchkontaktierungen beginnen, dann folgen die SMDs auf der Unterseite. Die zweckmäßige Reihenfolge der Lötarbeiten bei den SMDs ist nicht anders als bei bedrahteten Bauteilen: man beginnt mit den niedrigsten, dann folgen der Reihe nach die nächsthöheren. Sind alle SMDs **mit Ausnahme des Dämpfungsgliedes R1**

## Endstufe für den NWT

**bis R3** bestückt, dann sind die auf der Oberseite angeordneten, bedrahteten Bauteile in derselben Reihenfolge zu verlöten. Die Masseanschlüsse der SMB-Buchsen sind ebenfalls beidseitig zu verlöten.

Die Leiterplatte ist größer als notwendig, weil sie zu vorhandenen Befestigungslöchern im Mustergerät passen sollte. Wer die Stecker zur Stromverteilung nicht braucht, kann weglassen, was überflüssig ist. Die Muster sind aus einer 1,5 mm starken FR4-Leiterplatte von BUNGARD angefertigt worden. Diese Platten sind mit einem sehr widerstandsfähigen Fotolack beschichtet, der die Anfertigung der Leiterplatte problemlos macht. Entfernt man ihn nach dem Ätzen nicht, dann behindert er allerdings die Lötarbeit bei der üblichen Kolbentemperatur von 330 bis 350 Grad ganz entscheidend. Man hat die Wahl, ihn mit Spiritus wegzuwischen oder mit einer Temperatur von 400 Grad zu löten. Unter diesen Umständen löst das Flußmittel im Lötzinn den Lack auf, der Lötvorgang dauert allerdings ein wenig länger. Eines der Mustergeräte ist so entstanden. Der Lack auf den Leiterbahnen bietet einen vorzüglichen und dauerhaften Schutz gegen Oxidation. Man sollte ihn deshalb entweder nicht entfernen oder aber die Leiterplatte mit SK10-Lötlack besprühen.

Ein nicht beabsichtigter Langzeitversuch mit BUNGARD-Material hat bei einer fertig geätzten Leiterplatte gezeigt, daß dieser Lack anscheinend durch über Monate andauernde Lichteinwirkung soweit aushärtet, daß man ihn dann selbst mit 400 Grad kaum mehr durchlöten kann. Solche Platinen sollte man also nicht offen herumliegen lassen.

Der Blechrahmen in der Größe des eingezeichneten Rechtecks und einer Höhe von 10 mm schirmt den Verstärker auf der Unterseite gegen seine Umgebung ab. Beim Muster sind auch ohne Deckel keine Einstreuungen in das Gesamtgerät festzustellen.

## Inbetriebnahme und Abgleich

Die gesamte Stromaufnahme der Variante 1 beträgt ca. 90 mA bei 10,5 V Versorgungsspannung, auf den ERA5 entfallen davon etwa 60 bis 65 mA. Es ist auf jeden Fall mit einem breitbandigen Leistungsmesser zu prüfen, ob der Verstärker frei von Selbsterregung ist: bei offenem Eingang darf am Ausgang keinerlei Leistung festzustellen sein.

Das Ziel des Abgleichs ist, die Ausgangsleistung der Endstufe mit Hilfe des Dämpfungsgliedes auf den gewünschten Wert vom 15 dBm zu bringen. Ein größerer Pegel hat wenig Sinn, weil der AD8307 dann nicht mehr linear ist und der Fehler bei allen Messungen mit Endverstärker zum Tragen käme, wenn das vorgelagerte Stufendämpfungsglied nicht zugeschaltet ist. Den Abgleich macht man bei der Frequenz von 10 MHz, solange der Verstärker noch nicht eingebaut ist (also im Originalzustand des NWT).

Er würde beim provisorischen Anschluß an den NWT und einer Brücke anstatt dem TT-Dämpfungsglied je nach verwendetem MMIC mehr als die angepeilten 15 dBm liefern. Dem Generatorausgang ist deshalb ein genaues, externes Dämpfungsglied von 10 dB nachzuschalten, das man mit dem Eingang des Verstärkers verbindet; der Ausgang des Verstärkers wird an den Detektor angeschlossen. Ist die Pegelmessung des NWT bei der Inbetriebnahme richtig kalibriert worden, dann kommt man ohne zusätzliche Meßgeräte aus. Mit einem externen Pegelmeßgerät ist man auf jeden Fall auf der sicheren Seite.

Addiert man zum angezeigten Ausgangspegel die 10 dB des externen Dämpfungsgliedes und zieht dann 15 dB ab, hat man schon den gesuchten Wert für das TT-Dämpfungsglied des Verstärkers. Es werden sich sehr wahrscheinlich krumme Werte für die Widerstände ergeben. Man hat die Wahl, entweder durch Parallelschalten zweier ungefähr gleich großer Widerstände den gewünschten Wert anzunähern oder die nächstliegenden Widerstandswerte aus der E24-Normreihe einzusetzen. Dann sollte man allerdings Dämpfung und Anpassung überprüfen (vgl. Abb. 3 und 4). Im ersten Fall sind die beiden 1206-er Bauteile problemlos übereinander zu verlöten.

Eine rasche Überprüfung, ob der Verstärker bei 15 dBm noch annähernd linear arbeitet, ist leicht möglich: man braucht lediglich in der Leistungsmesser-Betriebsart des NWT den Ausgangspegel bei den Dämpfungsstufen 0 dB und 20 dB zu kontrollieren. Fällt der Unterschied spürbar kleiner aus als 20 dB, dann ist der Verstärker im oberen Leistungsbereich nicht mehr linear und es ist zu überlegen, ob man nicht einen anderen MMIC einsetzen sollte, der sich höher aussteuern läßt. Beim Mustergerät hat sich jedoch gezeigt, daß auch bei Verwendung des ERA-5, der von den 6 angeführten MMIC-Typen die

## Endstufe für den NWT

geringste Ausgangsleistung liefert, der durch Kompression verursachte Meßfehler im praktischen Betrieb fast nie ins Gewicht fällt.

### Meßergebnisse Variante 1 mit dem NWT des Verfassers

Ausgangsleistung Pout	15 dBm maximal bei 4 MHz
Schwankung der Verstärkung G	weniger als 1 dB zwischen 1 und 200 MHz
Durchgangsdämpfung im Bypass	0,2 dB bei 200 MHz
Kompression bei 15 dBm	ca. 0,4 dB (siehe Abb. 20)
dB-linearer Meßbereich des NWT	87 dB bei weniger als +/- 0,5 dB Abweichung (s. a. Abb. 31)
Rauschsockel des Signals	- 70 dBc im Abstand von 10 kHz bei 15 dBm Trägerleistung
Oberwellenanteil	-30 dBc für die erste, mehr als -40 dBc für die zweite OW (s. Abb. 23)

Der Verlauf der Verstärkung über den Frequenzbereich ist in den Abb. 16 und 17 dargestellt (der Analysator funktioniert erst ab 10 MHz, deshalb ist zur Darstellung des gesamten Bereichs eine Aufteilung auf zwei Schaubilder notwendig). Die Kontrolle mit einem Leistungsmesser zeigt beim Mustergerät eine Schwankung der Verstärkung um 0,6 dB zwischen 1 und 200 MHz. Der Abfall zu niedrigen Frequenzen wird in der Hauptsache von der begrenzten Induktivität der Drossel L2 bestimmt.

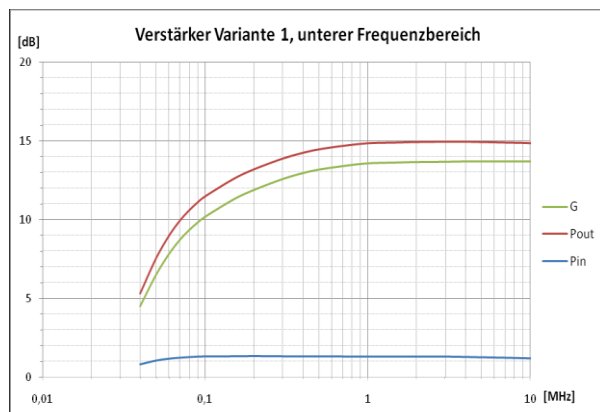


Abb. 16: Verstärkung im Bereich von 0,05 bis 10 MHz

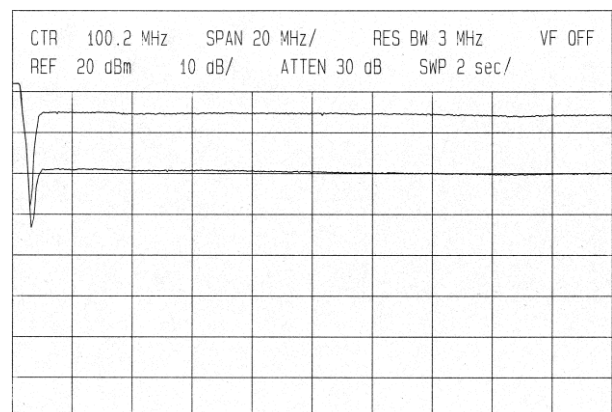


Abb. 17: Verstärkung von 10 bis 200 MHz (S21)

In Abb. 16 ist der Verstärker mit 1,3 dBm angesteuert; die grüne Kurve zeigt die Verstärkung (entspricht der Differenz zwischen roter und blauer Kurve). In Abb. 17 ist wiederum die Differenz beider Kurven das Maß für die Verstärkung. Die Durchgangsdämpfung in der Betriebsart Bypass ist verschwindend gering.

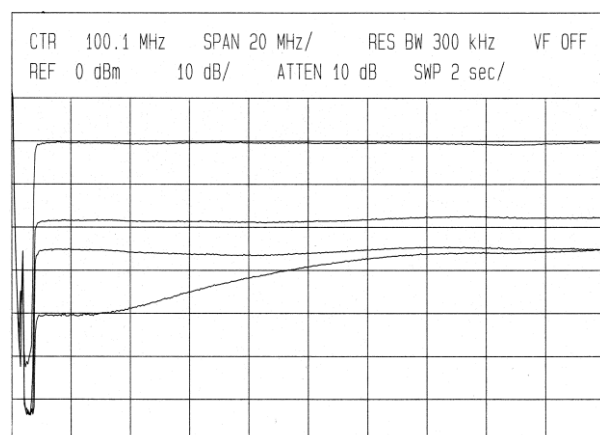


Abb. 18: Rückflußdämpfung gemessen mit HP 8569

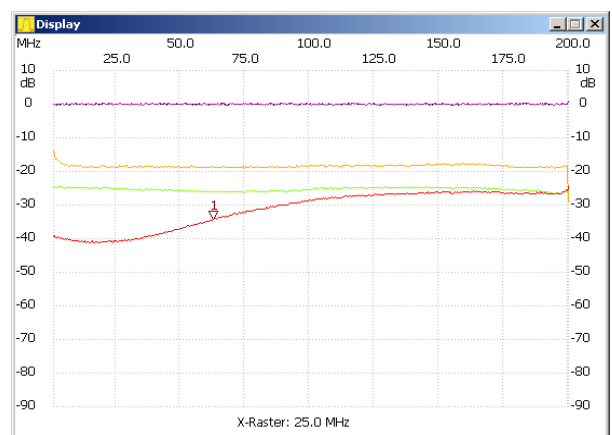


Abb. 19: Rückflußdämpfung gemessen mit dem NWT

In Abb. 18 entspricht die obere Linie der Totalreflexion bei offenem Ausgang des TDC-10-Richtkoppelers, die Differenz zur darunter liegenden Linie zeigt die Rückflußdämpfung am Ausgang. Die dritte Linie

## Endstufe für den NWT

ist die Eingangsanpassung; das Dämpfungsglied zur Einstellung der Ausgangsleistung trägt seinen Teil zur guten Anpassung bei. Die untere Kurve in Abb. 19 ergibt sich, wenn man auf Bypass umschaltet. Bei all diesen Messungen war der andere HF-Anschluß des Verstärkers mit einem SMB-Abschlußwiderstand versehen. Abb. 19 zeigt zum Vergleich dieselbe Messung mit dem NWT – es ist kaum ein Unterschied zu sehen.

Abb. 20 zeigt den Verlauf der Ausgangsleistung am oberen Ende des für den MMIC sinnvollen Pegelbereichs in Abhängigkeit von der Eingangsleistung. Die Differenz der beiden Kurven entspricht der durch Kompression verursachten Abweichung von der linearen Verstärkung.

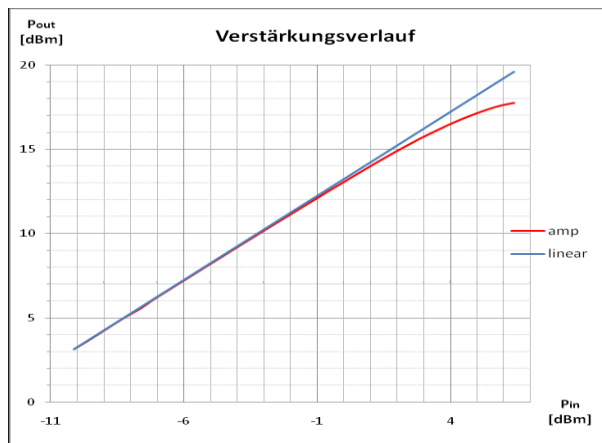


Abb. 20: Kompression des Ausgangssignals beim ERA5

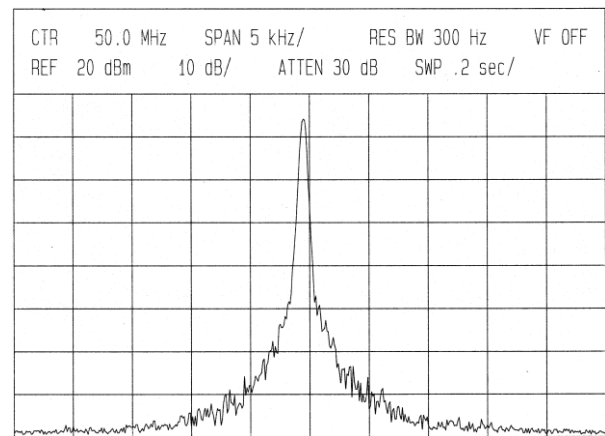


Abb. 21: Rauschsockel des Ausgangssignals bei 50 MHz und 15 dBm

In den Abbildungen 21 bis 23 ist der NWT in VFO-Betriebsart als Generator verwendet worden. Die Qualität des Verstärker-Ausgangssignals wurde damit untersucht, soweit das mit vorhandenen Mitteln möglich war:

- Das Seitenbandrauschen liegt bei einem Trägerabstand von 5 kHz mehr als 60 dB unter dem Wert des Trägers (Abb. 21), es ist unabhängig von der Ausgangsleistung. Der Oberwellenanteil ist bei einem Ausgangspegel von -5 dBm gering und durchaus vergleichbar mit dem eines richtigen Meßsenders (Abb. 22). Der Pegel der ersten Oberwelle liegt dabei immer mehr als 35 dB unter dem Träger.
- Abb. 23 zeigt den Abstand der ersten und zweiten Oberwelle vom Träger bei 15 dBm. Die Oberwellen werden in diesem Fall wesentlich durch die Nichtlinearität des Verstärkers bestimmt, ihr größter Pegel liegt immer noch 30 dB unter dem Wert des Trägers.

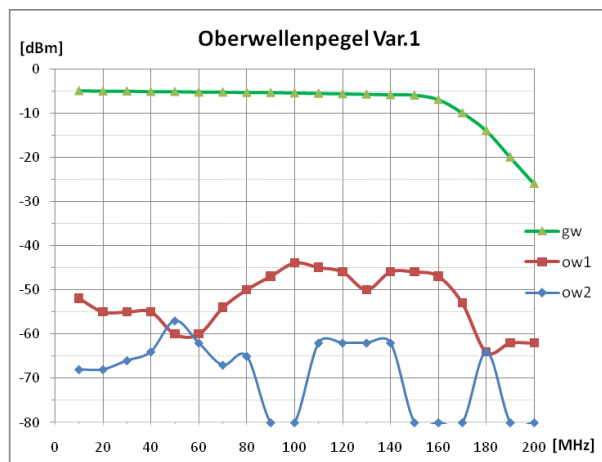


Abb. 22: Oberwellenanteil mit Endverstärker bei -5 dBm Ausgangsleistung

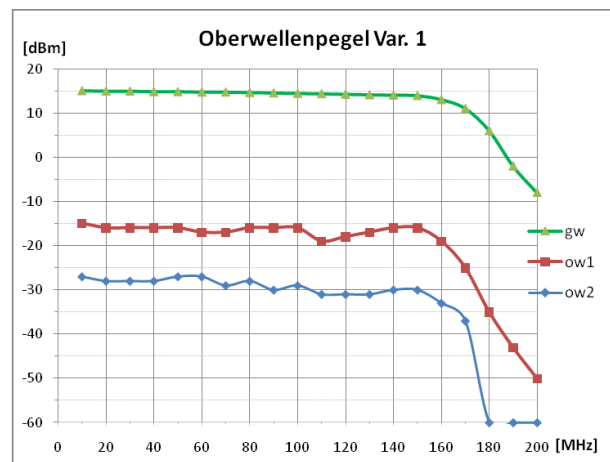


Abb. 23: Oberwellenanteil mit Endverstärker bei 15 dBm Ausgangsleistung

- Der Pegel aller Nebenwellen im Bereich unter 200 MHz liegt zumindest 35 dB unter dem Wert des Trägers.

## Endstufe für den NWT

Die in [6] angegebenen, ausgezeichneten Werte für den Amplitudenabstand der ersten Oberwelle und der Nebenwellen zur Grundwelle haben sich beim Mustergerät weder im Originalzustand noch mit Verstärker nachvollziehen lassen. Bild 1 in [7] paßt hingegen recht gut zu den in Abb. 22 ersichtlichen Werten, denn dort liegt bei der Grundfrequenz von 72 MHz die erste Oberwelle nur ein bißchen mehr als 40 dB unter dem Träger. Diese erste Oberwelle fällt in den Durchlaßbereich des untersuchten 145-MHz-Filters und erzeugt wegen des nicht selektiven Detektors einen unrichtigen Pegelverlauf bei 72 MHz. Der Einfluß der zweiten Oberwelle von 48 MHz läßt sich dort ebenfalls noch erahnen.

## Meßergebnisse Variante 2

Um es gleich vorwegzunehmen: die in die Halbleiterschalter gesetzten Erwartungen sind nicht ganz erfüllt worden, was bedeutet, daß die Variante mit Relais aus meßtechnischer Sicht die bessere ist.

Es wurden Versuche mit den Typen SW-239 und SW-339 gemacht, die dieselbe Anschlußbelegung haben. Dabei hat sich gezeigt, daß beide im Frequenzbereich bis 20 MHz mit der Ausgangsleistung von 15 dBm nicht zurechtkommen, wobei der SW-339 etwas besser abschneidet. Laut Datenblatt verträgt er einen um 4 dB größeren Pegel, wobei der Bereich unter 50 MHz bei keiner der beiden Typen spezifiziert ist.

Ein Versuchsaufbau mit dem SW-239 war bei einer Ausgangsleistung von 15 dBm im unteren Frequenzbereich hoffnungslos übersteuert und schon beinahe als Oberwellengenerator zu gebrauchen. Ein annehmbarer Kompromiß ist bei Verwendung des SW-339 eine Begrenzung des Ausgangspegels auf 12 dBm, wie die nachfolgenden Bilder zeigen. Damit verschenkt man nicht allzu viel von der kostbaren Ausgangsleistung und gewinnt dennoch einiges an Meßdynamik.

Ausgangsleistung $P_{out}$	12,4 dBm maximal bei 20 MHz
Schwankung der Verstärkung G	1,1 dB zwischen 1 und 200 MHz
Durchgangsdämpfung im Bypass	max. 1,3 dB bei 200 MHz
Oberwellenanteil	ca. -30 dBc für die erste, mehr als -40 dBc für die zweite OW bei 12 dBm Ausgangsleistung (s. Abb. 29)

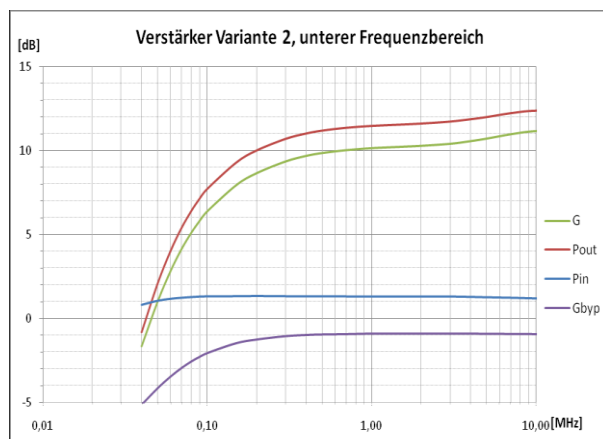


Abb. 24: Verstärkung im Bereich von 0,05 bis 10 MHz

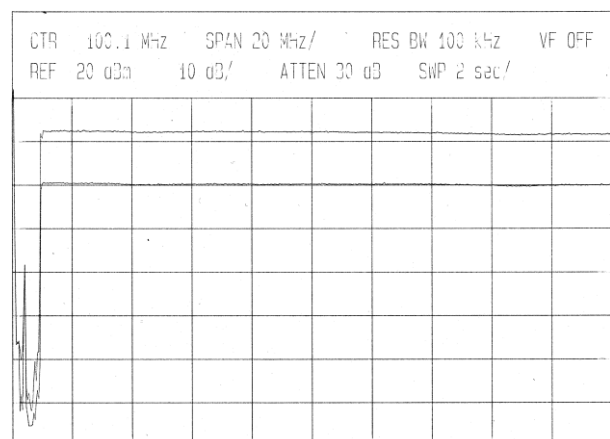


Abb. 25: Verstärkung im Bereich von 10 bis 200 MHz

Die obere Linie in Abb. 26 entspricht wieder der Totalreflexion bei offenem Ausgang des Richtkopplers, die darunter liegende der Rückflußdämpfung am Ausgang und die nach rechts hin ansteigende der des Eingangs. Die nach rechts hin fallende Kurve ist die Rückflußdämpfung von Eingang und Ausgang in Schalterstellung Bypass.

Abb. 27 zeigt den Versuch, die Amplitude der Nebenwellen in einem Schaubild darzustellen. Durch das Prinzip des DDS-Oszillators bedingt treten diese Nebenwellen bei unterschiedlichen Oszillatorfrequenzen mitunter an derselben Stelle, jedoch mit unterschiedlicher Amplitude, auf. Unter anderem entsteht sowohl bei 40, 60, 130 als auch 180 MHz Oszillatorfrequenz eine Nebenwelle bei 140 MHz, wobei in diesem Fall 130 MHz die kräftigste mit -48 dBc liefert. Nebenwellen über 200 MHz sind nicht berücksichtigt, weil sie nicht in Meßbereich fallen.

## Endstufe für den NWT

Es sind längst nicht alle auftretenden Nebenwellen in Abb. 27 vermerkt. Ihre Amplituden sind aber immer geringer als jene der ersten Oberwelle, weshalb sie bei der Messung nicht weiter stören.

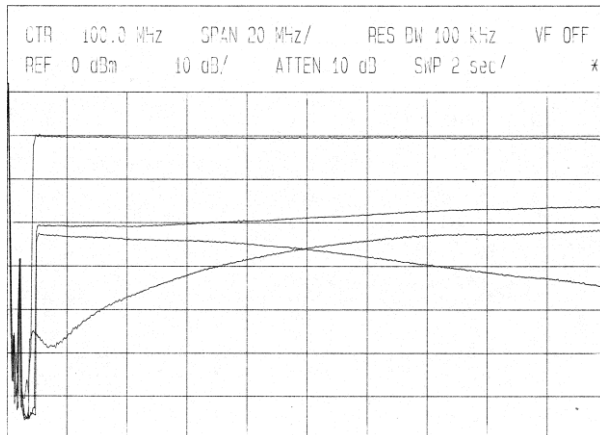


Abb. 26: Rückflußdämpfung

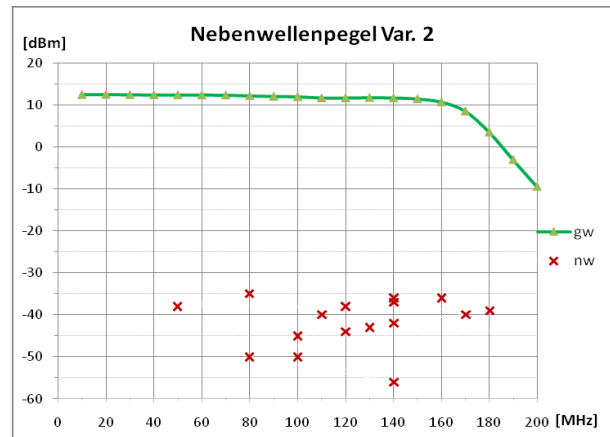


Abb. 27: Nebenwellen

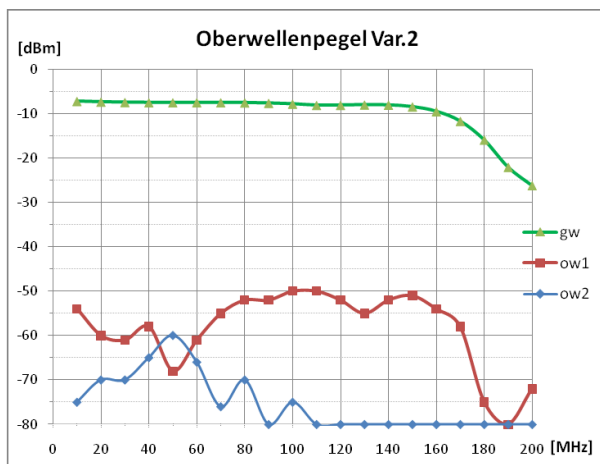


Abb. 28: Oberwellenanteil mit Endverstärker bei -8 dBm Ausgangsleistung

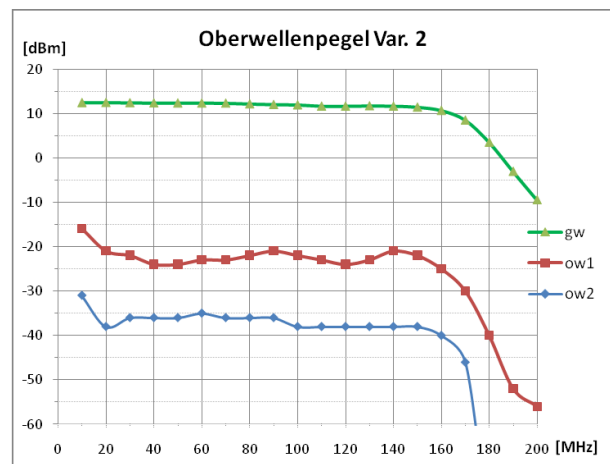


Abb. 29: Oberwellenanteil mit Endverstärker bei 12 dBm Ausgangsleistung

Eine Quelle unerwünschter Effekte kann das Gehäuse des NWT sein: beim Mustergerät ist es pulverbeschichtet und im Lauf der Zeit zum Zweck von Änderungen mehrmals geöffnet und wieder zusammengebaut worden. Durch Unachtsamkeit waren irgendwann nicht mehr alle Schrauben so gut angezogen, wie es hätte sein sollen und die Verbindung der Gehäusehalbschalen zur Gerätemasse war dadurch beeinträchtigt.

Das hat sich dergestalt ausgewirkt, daß das Gerät bei offenen Detektoreingängen Signale angezeigt hat, die dort nicht zugeführt worden sind. Abb. 30 soll einen Eindruck vermitteln, wie sich der Effekt auf dem Bildschirm zeigt.

Ein erhöhter Ausgangspegel des Generators begünstigt solche Erscheinungen, also darauf achten! Auf jeden Fall sind die Stellen der Gehäuseschalen, an denen die Schrauben durchtreten, innen blank zu schaben, damit ein ordentlicher Massekontakt mit den Einbauten sichergestellt ist.

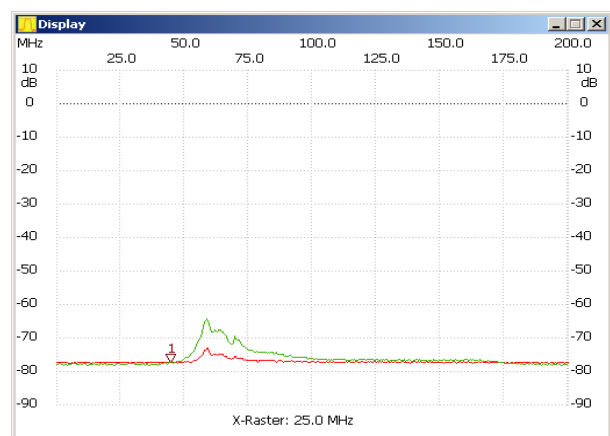


Abb. 30: Phantomsignale bei offenen Detektoreingängen

## Endstufe für den NWT

Die Ursache waren Resonanzerscheinungen im Gehäuse, die direkt in die Detektorschaltung oder in die Zuleitungskabel einkoppeln. Diese Phantomsignale sind verschwunden, nachdem in der Betriebsart „Wobbeln“ die Schrauben normal angezogen worden sind. Dabei war sehr schön festzustellen, an welcher Stelle das Festschrauben seine Wirkung getan hat. Die Frequenz der Resonanz hat sich dabei ebenfalls wesentlich verändert.

In diesem Zusammenhang wird nochmals auf die Verwendung hochwertiger Koaxialkabel für die geräteinterne Verdrahtung hingewiesen. Im Mustergerät kommen Teflon-isolierte, doppelt geschirmte Kabel der Type K02252-D mit einem Außendurchmesser von 3 mm zur Verwendung. Ebenso ist darauf zu achten, daß die Kabel wegen des großen Ausgangspegels einen gegenseitigen Mindestabstand von einigen Zentimetern einhalten. Übliche Billigkabel der Typen RG58 und RG174 geben Anlaß zu Einstreuungen in den Detektoreingang, weil deren Schirmfaktor von 40 bis 50 dB viel zu gering ist. Unter solchen Umständen wird man bei offenem Detektoreingang den Noise Floor des AD8307 nicht erreichen und der Dynamikbereich ist dadurch unnötigerweise eingeschränkt.

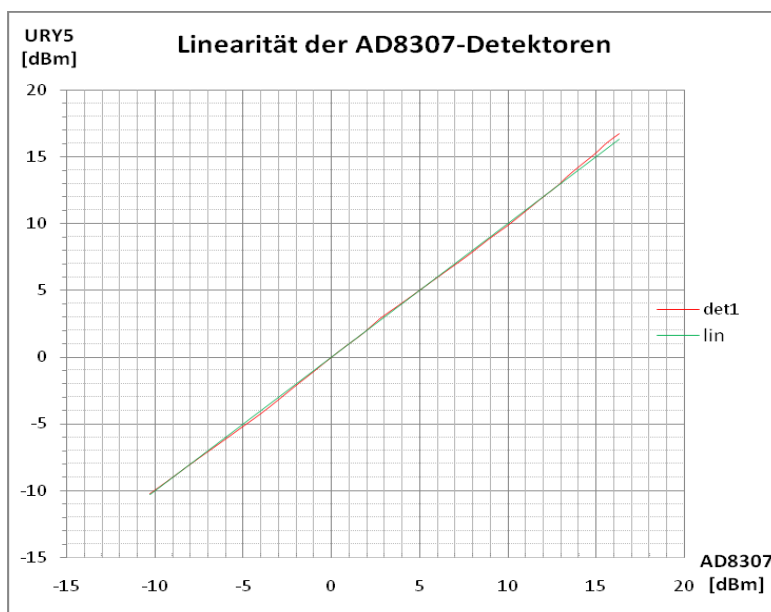


Abb. 31: Linearität der AD8307-Detektoren im Mustergerät bei 50 MHz.

Zu guter Letzt ist noch die Linearität des Detektors im Pegelbereich von +16 bis -10 dBm bei 50 MHz in 1-dB-Schritten mit einem HF-Millivoltmeter gemessen worden; das Ergebnis zeigt Abb. 31. Die Abweichung vom Idealwert (grüne Linie) beträgt bis zu einem Pegel von 16 dBm nur wenige Zehntel dB, was Anlaß zu ungetrübter Freude ist.

Man muß das Diagramm stark vergrößert ansehen, um das Ausmaß der Abweichungen einigermaßen abschätzen zu können. Der Verlauf im Bereich zwischen 0 dBm und der Rauschgrenze ist schon im Beitrag betreffend den zusätzlichen Detektor mit dem AD8307 dokumentiert.

Die Kennlinie des zweiten Detektors unterscheidet sich so gut wie gar nicht von der des ersten. Weil die beiden ICs laut Beschriftung nicht im gleichen Jahr gefertigt worden sind, darf man daraus schließen, daß die Datenhaltigkeit dieser Bauteile sehr gut ist – ein Grund mehr, sie auf dem Flohmarkt nicht liegen zu lassen.

## Anzeige tatsächlicher Pegelwerte

Zur Darstellung auf dem Bildschirm bietet das Programm mittlerweile folgende Möglichkeiten:

Verwendet man die Default-Sondendatei `defsondel.hfm`, dann werden die Pegelwerte ohne mathematische Korrektur ungefähr den tatsächlichen Verhältnissen entsprechend angezeigt. Mit Korrektur liegt die Linie im Bypass-Betrieb des Verstärkers auf 0 dB, der tatsächliche Pegel beträgt aber zumindest im unteren Frequenzbereich zwischen 3 und 4 dBm.

Wer will, kann die angezeigte Kurve mit der Funktion „Display Y-Achse Skala/Shift“ in 1-dB-Schritten über einen Bereich von -10 bis +20 dB so verschieben, daß die Anzeige wieder paßt, und das getrennt für jeden der beiden Kanäle. Auf diese Weise gelangt man auch bei eingeschalteter Korrektur wieder zu einer annähernd pegelrichtigen Darstellung.

## Endstufe für den NWT

### Unterlagen

Schaltbilder, Bestückungspläne und Leiterplatten-Layouts sind in der gepackten Datei `nwt-pa01.zip` enthalten [8], ebenso ein Vergleichsmaßstab zum Überprüfen der Maßhaltigkeit des Druckers. Eine allfällige Änderung der Vergrößerung läßt sich in der \*.ps-Datei vornehmen. Wie man mit der \*.ps-Datei verfährt, ist bei [9] nachzulesen.

### Wichtiger Hinweis

Die Eingänge des logarithmischen und des linearen Detektors auf der Hauptplatine des NWT sind parallel geschaltet. Der AD8361 ist gemäß Datenblatt nur mit höchstens 13 dBm belastbar, wenn keine bleibenden Schäden entstehen sollen (siehe Seite 4/24). Mit den vom Verstärker abgegebenen 15 dBm ist dieses Bauteil demnach bereits überlastet.

Um das zu vermeiden, ist der Verstärker nur zusammen mit einem zusätzlichen AD8307-Detektor zu verwenden, für den der NWT schon vorbereitet ist!

### Zusammenfassung

Die Variante mit den Relais funktioniert zur vollen Zufriedenheit, die mit den Halbleiterschaltern hat keinen so guten Frequenzgang, ist aber ebenfalls brauchbar. Es wurde nicht weiter untersucht, ob bei Verwendung anderer Schalter-ICs noch Verbesserungen möglich sind. Zum Nachbau ist deshalb die Variante 1 empfehlenswert. Wegen der stärkeren Oberwellen bei voller Ausgangsleistung muß man bei der Beurteilung von Filtermessungen mit einer Bandbreite von mehr als einer Oktave auf die Anzeige von Phantomsignalen achten (vgl. auch Seite 10, erster Absatz!). Im Gerät des Verfassers erfolgt die Umschaltung zwischen Bypass und Durchgang mit einem auf der Frontplatte des NWT über der Ausgangsbuchse des Generators nachträglich eingebauten Tastenschalter.

Helmut, OE5GPL

### Verweise und Quellen:

- [1] Analog Devices, Inc.: <http://www.analog.com>
- [2] Lindenau, A., DL4JAL, Software zum FA-Netzwerktester: <http://www.dl4jal.eu/>
- [3] OAFV-HomePage, TECHNIK/SOFTWARE/HELPER: Attenuator  
<http://www.oe5.oevsv.at/opencms/Technik/>
- [4] Avago Technologies: <http://www.hp.woodshot.com/>
- [5] Hackl, Erwin, OE5VLL, Sammlung von Marking Codes: <http://marking.at/index/>
- [6] Graubner, N., DL1SNG und Borchert, G., DF5FC; Bausatz Netzwerktester FA-NWT (1), Aufbau und Inbetriebnahme: FUNKAMATEUR FA 10/06, Seite 1155
- [7] Lindenau, A., DL4JAL; LinNWT und WinNWT – Software zum FA-Netzwerktester: FUNKAMATEUR FA 1/07, Seite 38
- [8] OAFV-HomePage, TECHNIK/MESSEN/NETZWERKTESTER: Endstufe für den NWT  
<http://www.oe5.oevsv.at/opencms/Technik/>
- [9] OAFV-HomePage, TECHNIK/WERKSTATT/TIPPS: Leiterplattenentwurf, Leiterplattenherstellung  
<http://www.oe5.oevsv.at/opencms/Technik/>