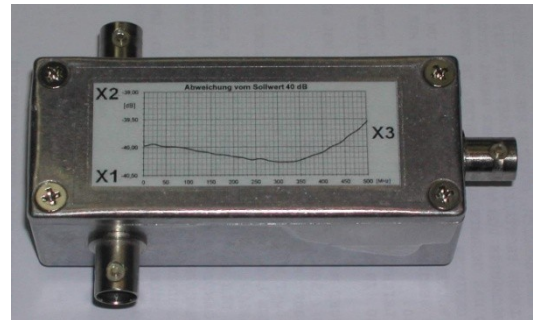


Leistungsmess-Sonde für den NWT

Helmut Stadelmeyer

Im Jahr 2001 ist in der QST ein interessanter Schaltungsvorschlag veröffentlicht worden, der für den Netzwerktester eine ideale Ergänzung zur Leistungsmessung ist:

Kostet fast nix und der NWT kann damit 100 W dauernd und kurzzeitig sogar 200 W messen - man muß nur den hier beschriebenen Vorschlag nachbauen!



Auf der dem Buch [1] beiliegenden CD wird in der Datei *qst200106.pdf* eine mit einfachen Mitteln nachbaubare Sonde beschrieben, die den Leistungs-Meßbereich unseres NWTs auf 100 W (50 dBm) erweitert. Für den NWT wirkt sie wie ein 40-dB-Dämpfungsglied. Elektrisch gesehen handelt es sich dabei um einen Spannungsteiler, der an einer ganz kurzen HF-Leitung angeschlossen ist.

Die 4 Widerstände ergeben einen Spannungsteiler 100:1, wenn der Meßausgang an X3 mit 50 Ohm abgeschlossen ist. Laut Originalbeitrag beträgt im Bereich zwischen 0 und 500 MHz bei sorgfältigem Abgleich mit Hilfe eines Netzwerkanalysators die Abweichung vom Idealwert am Meßausgang X3 nicht mehr als 0,1 dB. Der Zahlenwert der angezeigten Leistung ist allerdings nur dann richtig, wenn das SWR auf dem Leistungskabel 1,0 ist, also eine reelle Last von 50 Ohm gespeist wird, wie beispielsweise eine gute Kunstantenne. Wie Abb. 2 zeigt, werden beim Muster wegen der bequemen Anpassung an das übrige NWT-Zubehör lauter BNC-Buchsen verwendet; im Originalbeitrag sind es im Leistungskreis N-Buchsen, so wie sich das für solche Leistungen eigentlich gehört. Weitere Änderungen:

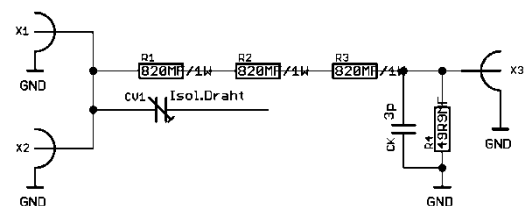


Abb. 1: Schaltung

- Verbindung zwischen den Mittleitern der beiden gegenüberliegenden Buchsen aus Weißblech anstatt Messing wegen leichter Verfügbarkeit. Wegen der großen Fläche kein Unterschied im elektrischen Verhalten.
- Für R1 bis R3 Metallfilm-Widerstände mit 1 W und 1 % Toleranz anstatt 0,5-W-Kohleschicht-Widerstände. Es gibt in derselben Baugröße auch Metallfilmwiderstände, die für 2 Watt Verlustleistung spezifiziert sind. Sie haben jedoch eine Toleranz von 5 % und einen größeren Temperaturkoeffizienten. Von ihrer Verwendung wird abgeraten, weil das die Meßgenauigkeit spürbar verschlechtern kann. Mit dem angegebenen Typ ist ohnedies kurzzeitiger Betrieb bis zu 200 W möglich, wobei die Verlustleistung pro Widerstand anstatt 1 W dann 1,33 W beträgt.

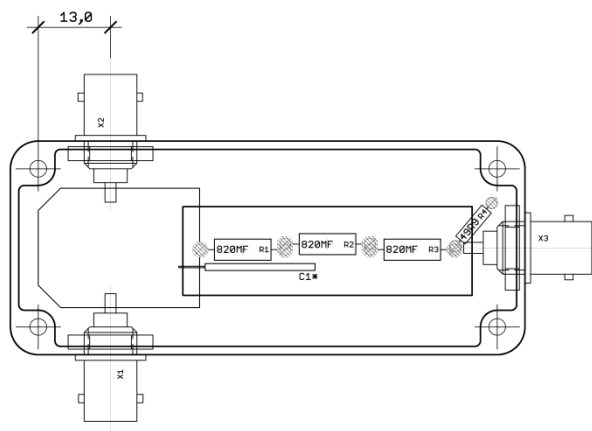


Abb. 2: Aufbauskinne

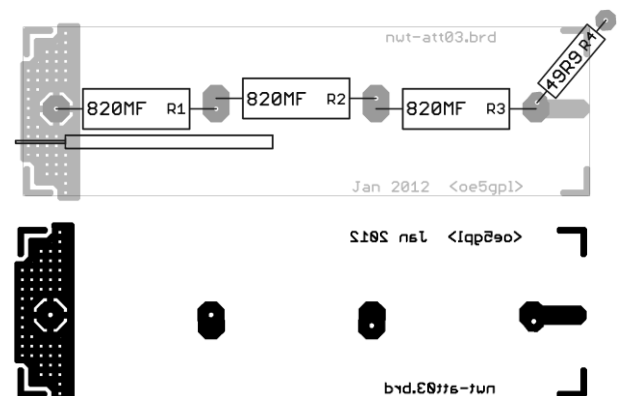


Abb. 3: Bestückungsplan und Leiterplattenlayout

- Der Stabilität wegen sind entgegen dem Originalbeitrag die Widerstände und CV1 auf einer FR4-Leiterplatte befestigt; die genaue Lage des Kondensators zu den Widerständen hin ist beim Abgleich zu ermitteln.

Leistungsmess-Sonde für den NWT

- Parallel zu R4 liegt ein ganz kleiner Kondensator, mit dem auf größte Rücklaufdämpfung an X3 abzugleichen ist.

Das HF-dichte Alu-Gehäuse von HAMMOND gibt es bei [2] unter der Best.-Nr. 522369–62. Die Buchsen sind knapp oberhalb der Mitte des Gehäuse-Unterteils angeordnet, die einseitige Leiterplatte wird mit der Kupferseite nach oben eingebaut. Die Widerstände sind von oben durchgesteckt und nach SMD-Art, aber mit reichlich Zinnzugabe, festgelötet. Die Verbindung zwischen den Widerständen soll annähernd waagrecht werden. R4 ist mit seinem kalten Ende an der kurzen Lötöse der Buchse X3 angeschlossen.

Abgleich

Dazu ist ein bildgebendes Gerät notwendig, das den gesamten Frequenzbereich sichtbar macht, für den der Zusatz geeignet sein soll. Ein punktwiser Abgleich mit Meßsender und Leistungsmesser ist nicht möglich, weil viel zu umständlich. Es ist allerdings empfehlenswert, damit zu kontrollieren, ob die am Analyser gezeigte Kurve den tatsächlichen Gegebenheiten entspricht.

Gibt man sich mit einer maximalen Frequenz von 200 MHz zufrieden, dann ist der NWT das Mittel der Wahl. Als Kondensator CV1 reicht in diesem Fall ein 3 cm langes Stück Installationsdraht Ye1,5, das gemäß Abb. 4 parallel zu R1 angelötet wird.

Will man den Bereich bis 500 MHz abdecken, braucht man einen skalaren oder vektoriellen Netzwerkanalysator, wobei ein Spektrumanalyser mit Trackinggenerator ebenfalls ein skalarer Netzwerkanalysator ist. Der Musteraufbau ist versuchsweise zuerst mit dem NWT und anschließend mit einem Analyser abgeglichen worden.

Die Anpassung des Meßausgangs X3 läßt sich mit einem kleinen Kondensator, der parallel zu R4 liegt und dessen Induktivität kompensiert, spürbar verbessern. Weil dieser Kondensator bei hohen Frequenzen aber auch das Teilerverhältnis des Spannungsteilers beeinflusst, soll man diesen Abgleich vor dem Abgleich von C1 machen.

Will man bis 500 MHz messen, dann ist zusätzlich zu C1 eine masseseitige Abgleichfahne für R3 notwendig. Deren Abstand zu R3 beeinflusst die Anpassung ebenfalls.

Nachstehend die Beschreibung der einzelnen Schritte für den Dämpfungsabgleich.

a) Mit NWT bis 200 MHz:

- In EINSTELLUNG/OPTION die Startfrequenz auf 50 kHz und die Endfrequenz auf 199 MHz einstellen und bestätigen
- NWT für Anpassungsmessung herrichten. Beim Reflektionsmesskopf den Ausgang für den Prüfling offen lassen und Referenzlinie mit dem Wobbelkurvenmanager speichern
- X3 an Reflektionsmesskopf anschließen, X2 mit 50-Ohm-Widerstand abschließen, X1 bleibt offen. Rückflußdämpfung mit Ck optimieren. Dazu 5-pF-Trimmer parallel zu R4 schalten, auf größte Dämpfung justieren, eingestellten Wert messen und durch Keramik Kondensator ersetzen. Beim Mustergerät sind es 3 pF
- Generatorausgang und Detektoreingang mit Kabel direkt verbinden, Kalibrierlauf durchführen und als *defsonde1.hfm* speichern
- Anzahl der Meßpunkte auf 500 einstellen
- Math. Korrektur Kanal 1 aktivieren; es erscheint eine schnurgerade, waagrechte Linie bei 0 dB
- Y-Achse des Displays auf Ymax = -30 dBm und Ymin = -50 dBm einstellen
- Ein **gutes, externes** 40-dB-Dämpfungsglied zwischen Generatorausgang und Detektoreingang einfügen, einen Durchlauf starten, Kurve speichern. Dabei dasselbe Kabel verwenden
- X1 der Baugruppe an Generatorausgang anschließen, an X2 verbleibt der 50-Ohm-Abschluß
- X3 am Detektoreingang anschließen und wobbeln. Dabei CV1 vorsichtig bewegen, wenn erforderlich, kürzen und auf beste Übereinstimmung der beiden Kurvenverläufe einstellen. Die Bauteile auf der Leiterplatte sind nicht geschirmt, deswegen verändert sich bei aufgesetztem Deckel der Kurvenverlauf, was zu berücksichtigen ist.

Leistungsmess-Sonde für den NWT

- Ist keine weitere Verbesserung möglich, Display als Referenz für späteren Vergleich speichern. Beim Mustergerät sieht das Display nach dem Abgleich aus wie in Abb. 5. C1 mit einem Tropfen Kleber sichern.

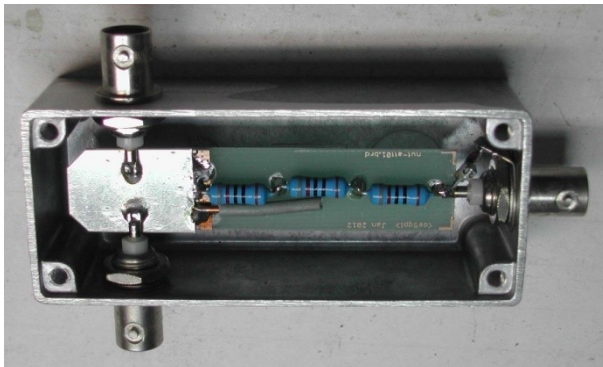


Abb. 4: Mit dem NWT abgeglichene Baugruppe

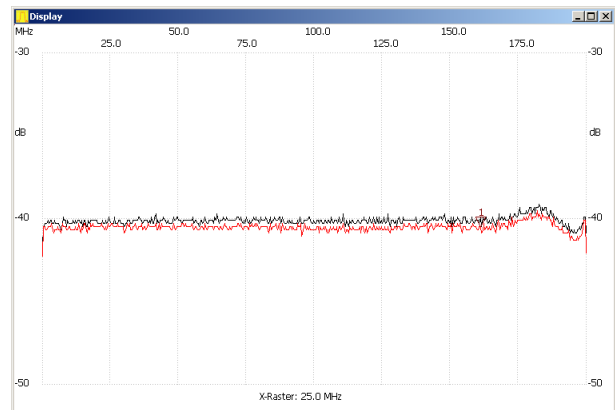


Abb. 5: Abgleich der Dämpfung mit NWT bis 200 MHz

Die schwarze Linie in Abb. 5 gehört zum 40-dB-Dämpfungsglied, die rote Linie gilt für die Baugruppe. Der Abstand zwischen den beiden Linien hat seine Ursache in geringfügig unterschiedlicher Dämpfung, er verändert sich über den gesamten Frequenzbereich so gut wie gar nicht. Der Abgleich ist völlig problemlos und im Nu erledigt.

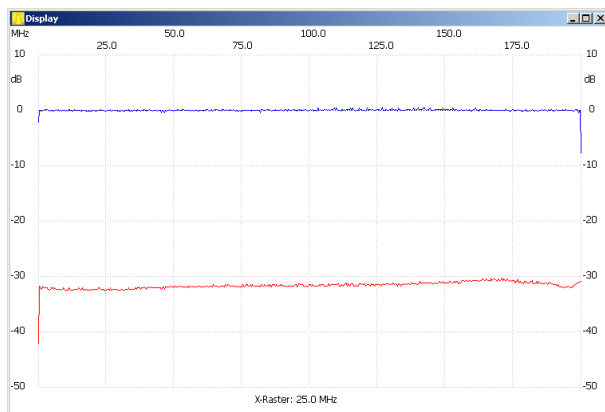


Abb. 6: Abgleich der Rückflußdämpfung mit NWT bis 200 MHz

Hat man zwar einen Analyser, aber keinen Trackinggenerator, dann kann als Ersatz auch ein Sweeper dienen. Dazu ist der Analyser auf ganz langsamen und der Sweeper auf schnellen Durchlauf einzustellen, sodaß der Analyser bei jedem Bildpunkt die Zeit für wenigstens einen kompletten Durchlauf des Sweepers hat. Das funktioniert so nur bei prozessorgesteuerten Geräten wie HP 8569 zusammen mit HP 8350. Nachteil ist der Zeitbedarf für die Messung.

Mit einem analogen Sweeper könnte das ebenfalls funktionieren, wenn der Analyser im „Max-Hold“-Modus arbeitet. Dann sollte der Sweeper auf langsamen und der Analyser auf schnellen Durchlauf eingestellt sein, es wird aber vielleicht länger dauern, bis alle Bildpunkte den richtigen Wert anzeigen.

b) Mit Analyser bis 500 MHz:

- Beide Geräte einschalten und 30 Minuten zuwarten
- Bereich des Sweepers auf 0 bis 500 MHz und Ausgangsleistung auf 10 dBm einstellen
- X3 an Richtkoppler anschließen, X2 mit 50-Ohm-Widerstand abschließen, X1 bleibt offen. Rückflußdämpfung mit Ck optimieren. Dazu 5-pF-Trimмер parallel zu R4 schalten, auf größte Dämpfung justieren, eingestellten Wert messen und durch Keramik Kondensator ersetzen (ca. 1,5 pF)
- Referenzpegel des Analysers auf -27 dBm, vertikale Auflösung auf 1 dB pro Skalenteilung, Mittenfrequenz auf 250 MHz und horizontale Achse auf 50 MHz/Skalenteilung einstellen
- Ein **gutes, externes** 40-dB-Dämpfungsglied zwischen Sweeperausgang und Analysereingang einfügen, einen kompletten Durchlauf des Sweepers abwarten.
- Kurve speichern
- Baugruppe auf einer Seite mit gutem Abschlußwiderstand versehen und statt dem Dämpfungsglied an den Sweeper anschließen
- Meßausgang der Baugruppe am Analyser anschließen und einen kompletten Durchlauf abwarten

Leistungsmess-Sonde für den NWT

- Durch Verändern von C1 und der masseseitigen Fahne auf beste Übereinstimmung der beiden Kurvenverläufe abgleichen. Dieser Vorgang kostet wegen des langsamen Durchlaufs Zeit; mit Trackinggenerator geht genau das ohne nennenswerten Verzug. Dabei den Einfluß des Deckels beachten.
- Ist keine weitere Verbesserung möglich, Display als Referenz für späteren Vergleich speichern.
- Masseseitige Abgleichfahne mit einem Tropfen Kleber sichern, Rückflußdämpfung an X3 mit Ck optimieren

Eine Abweichung von höchstens 0,1 dB über den ganzen Bereich war auch mit viel Mühe nicht zu erreichen: Dem Analyser nach beträgt sie bei 440 MHz ungefähr 0,5 dB. Damit wenigstens in dem für die meisten Funkamateure interessanten Bereich von 145 MHz die 0,1 dB eingehalten werden, war das Anbringen von zwei 4 mm breiten Massefahnen ganz dicht bei R1 erforderlich, wie Abb. 7 zeigt. Genauso wichtig ist eine masseseitige Abgleichfahne bei R3, denn ohne diese steigt der Pegel über 300 MHz sehr steil an.

Die rote Linie in Abb. 8 gehört zum 40-dB-Dämpfungsglied, die blaue Linie gilt für die Baugruppe. Die Durchgangsdämpfung zwischen X1 und X2 liegt über den ganzen Frequenzbereich bei 0,1 dB und ist durch den Leistungsverlust des Spannungsteilers bedingt. Eine Messung ist schwierig, weil der Fehler durch die notwendigen Adapter für die BNC-Buchsen in der Größenordnung der Durchgangsdämpfung liegt. Auf jeden Fall für die BNC-Buchsen nur ein Markenfabrikat verwenden!

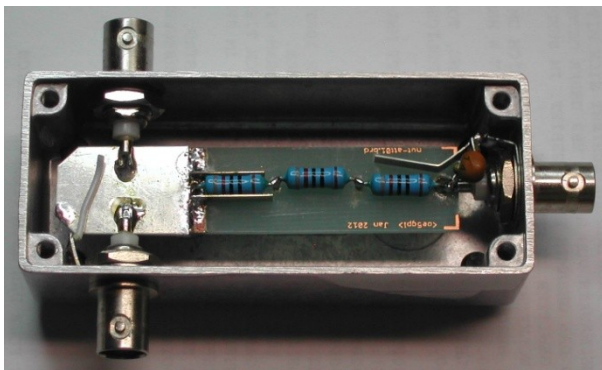


Abb. 7: Mit dem Analyser bis 500 MHz abgeglichene Baugruppe

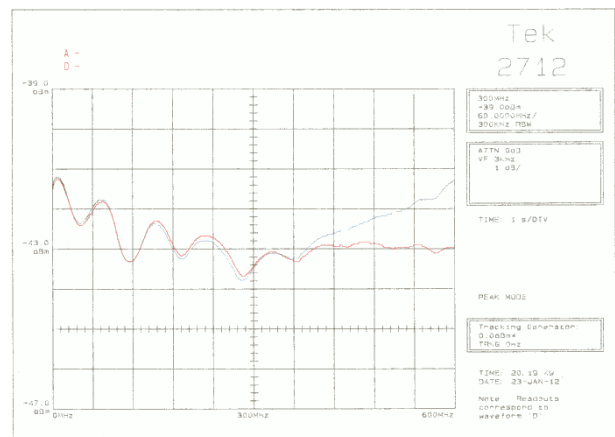


Abb. 8: Dämpfung bis 600 MHz

Die Deckelempfindlichkeit ist wegen der höheren Frequenz wesentlich ausgeprägter, ein aufgesetzter Deckel verringert das Ansteigen der Kurve über 300 MHz deutlich. Insgesamt ist der Abgleich selbst mit einem Trackinggenerator eine ziemliche Spielerei.

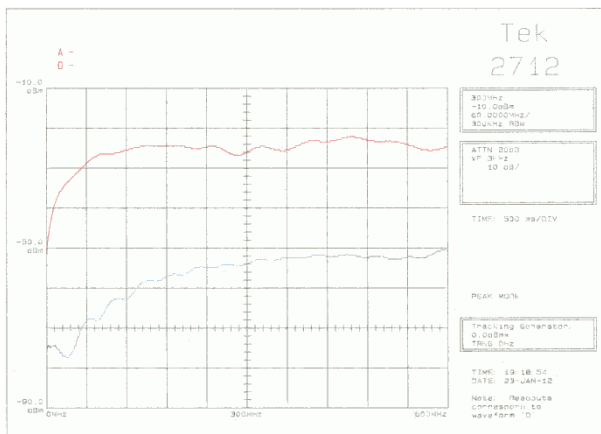


Abb. 9: Rückflußdämpfung an X3 bis 600 MHz

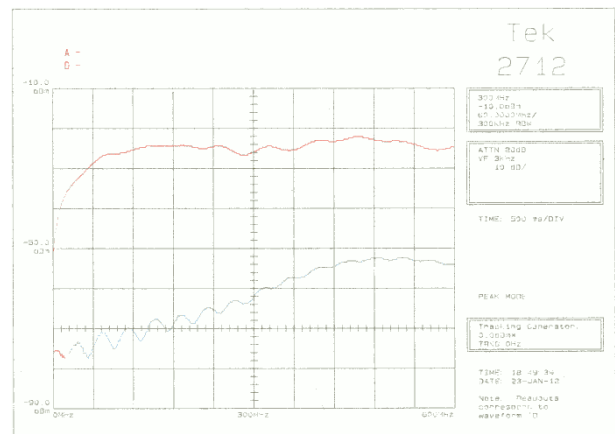


Abb. 10: Rückflußdämpfung an X1 bis 600 MHz

Die Rückflußdämpfung an X3 wird durch die Kapazität der masseseitigen Abgleichfahne beeinflusst. Mit einem 1,4-pF-Keramikkondensator hat sich der Verlauf gemäß Abb. 9 eingestellt. Die rote Linie gilt für

Leistungsmess-Sonde für den NWT

Totalreflektion, die Differenz zur blauen entspricht der Rückflußdämpfung. Bis 500 MHz ist ihr geringster Wert immerhin knapp unter 30 dB.

Eine Fingerprobe bei der Messung der Rückflußdämpfung an X1 hat gezeigt, daß hier Verbesserung durch eine ganz kleine Kapazität möglich ist. Ein 1,4-pF-Kondensator ist schon zu viel, deshalb ist ein kurzes Stückchen Schalt Draht mit 0,7 mm Durchmesser und Teflonisolation dafür mißbraucht worden (siehe Abb. 7). Der Abstand des Drahtes zum Blech beträgt etwa 0,5 mm

Wie genau die Durchgangsleistung am Ausgang X3 wirklich gedämpft wird, ist mit Meßsender und Leistungsmesser bei 10 dBm kontrolliert worden (Aufbau nach Abb. 11).

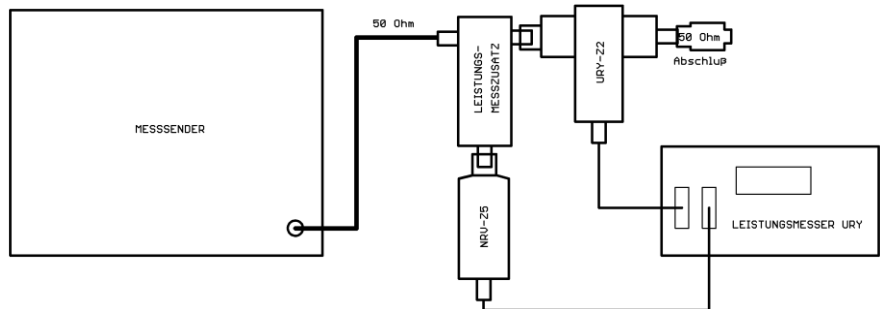


Abb. 11: Meßanordnung zur Ermittlung der Abweichung vom Idealwert

Das Ergebnis deckt sich nicht ganz mit dem Analyser-Schirmbild, ist für einen Funkamateuer aber durchaus zufriedenstellend, weil sowohl bei 145 MHz als auch bei 435 MHz entsprechend Abb. 12 die Dämpfung innerhalb des 0,1-dB-Bereichs liegt. Wegen der Abweichung im übrigen Bereich brauchen wir keinesfalls den Kopf hängen zu lassen, weil DL4JAL in weiser Voraussicht in der Software für die Leistungsmessung schon berücksichtigt hat, daß man zur Messung größerer Leistung ein beliebiges Dämpfungsglied vorschalten kann. Wir entnehmen den genauen Wert der Dämpfung aus der Kalibrierkurve Abb. 12, tragen ihn in das rechte Feld ein (Abb.13) und erhalten schon eine zahlenrichtige Leistungsanzeige.

Es wird jeder eingetippte Wert akzeptiert, auch wenn er noch so krumm ist. Zudem ist es ratsam, die Funktion „Hang“ anzuhaken, damit die Anzeige nicht so sehr zappelt. Die Kalibrierkurve befestigt man mittels glasklarer Klebefolie auf dem Deckel der Sonde.

Weil der Abgleich heikel ist, muß jeder diese Kurve für seine Sonde ermitteln, wenn das Meßergebnis halbwegs genau sein soll.

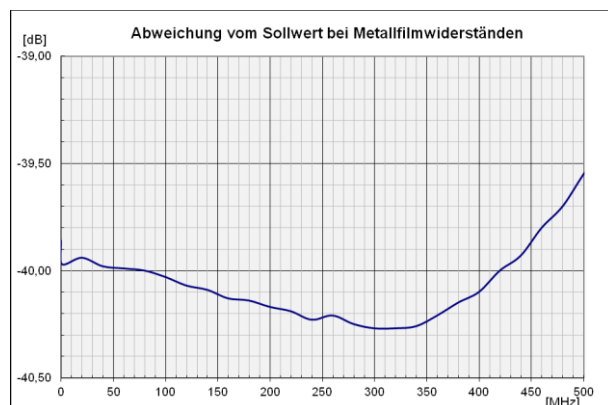


Abb. 12: Abweichung vom Sollwert -40 dB nach dem Abgleich

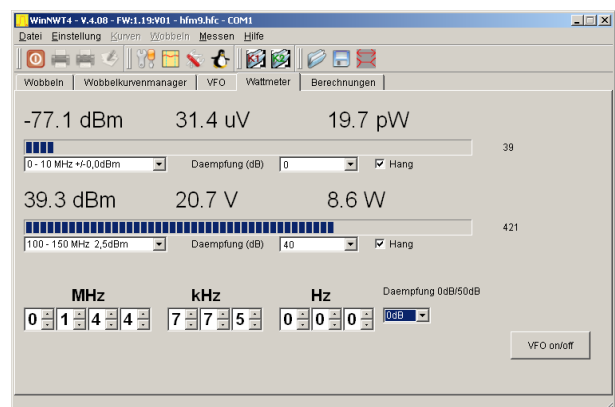


Abb. 13: Leistungsmessung am Funkgerät

Auch wenn die Leistungsmessung mit der Sonde einwandfrei funktioniert, hat sich das schlechte Gewissen geregt: Sind womöglich die Metallfilmwiderstände die Ursache der großen Abweichung im oberen Frequenzbereich? Um das herauszufinden, ist die Leiterplatte mit alten Kohle-Massewiderständen von VITROHM und anschließend noch mit üblichen Kohleschichtwiderständen bestückt und vermessen worden (alle Widerstände 0,5 W). Das Ergebnis sieht man in Abb. 15.

Der Abgleich am Analyser gab Anlaß zur Hoffnung, weil sich die Dämpfung im oberen Frequenzbereich sogar unter die mit dem Dämpfungsglied erzeugte Referenzlinie verschieben ließ. Die Leistungsmessung hat aber gezeigt, daß der Verlauf ganz anders aussieht und es mit den seinerzeit hochgelobten Massewiderständen offensichtlich doch nicht so weit her ist: Die Dämpfung ändert sich über die Frequenz um fast ein ganzes dB. Zudem sind diese alten Bauteile nicht so genau gefertigt worden, wie das heute üb-

Leistungsmess-Sonde für den NWT

lich ist. Deswegen wird man damit den Sollwert nicht so leicht erreichen, wie Abb. 16 recht deutlich zeigt. Diese Art von Widerständen wird heutzutage kaum noch verwendet, die Beschaffung ist zumindest schwierig.



Abb. 14: Aufbau mit Kohle-Massewiderständen

Abb. 15: Durchgangsdämpfung bis 600 MHz

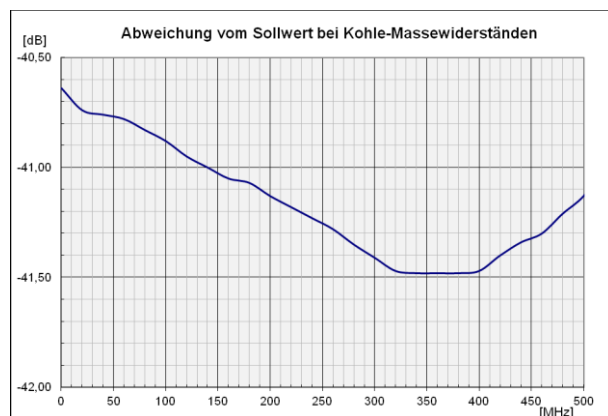


Abb. 16: Abweichung vom Sollwert -40 dB nach dem Abgleich

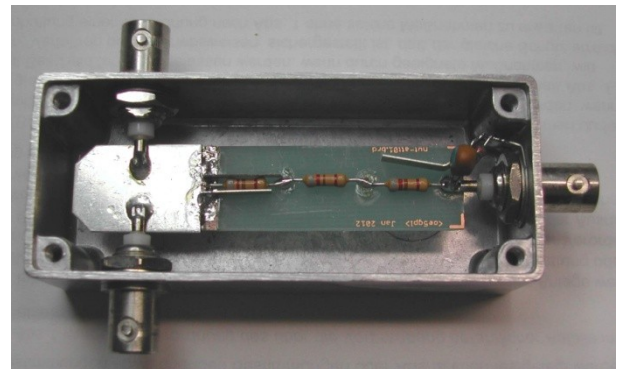


Abb. 17: Aufbau mit Kohle-Schichtwiderständen

Auch dem Versuch mit den Kohleschichtwiderständen war kein durchschlagender Erfolg beschieden, wie Abb. 19 zeigt; dabei schaut das Bild am Analyser durchaus gut aus, die Dämpfung ließ sich im kritischen Bereich mit den Blechfahnen schön auf nahezu parallelen Verlauf justieren.

Es sieht fast so aus, als ob es in Amerika Widerstände gibt, die für diesen Zweck besser geeignet sind, denn an der Leiterplatte wird es wohl nicht liegen, daß die Abweichung dermaßen groß ist. Die Leistungsmessung straft wieder einmal das schöne Bild vom Analyser Lügen, denn die Abweichung beträgt bei 400 MHz ganze 0,7 dB.

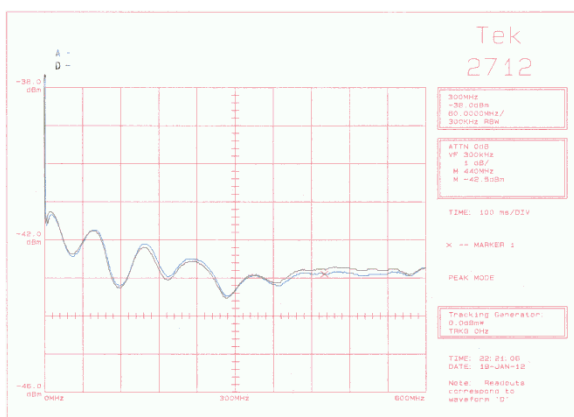


Abb. 18: Durchgangsdämpfung bis 600 MHz

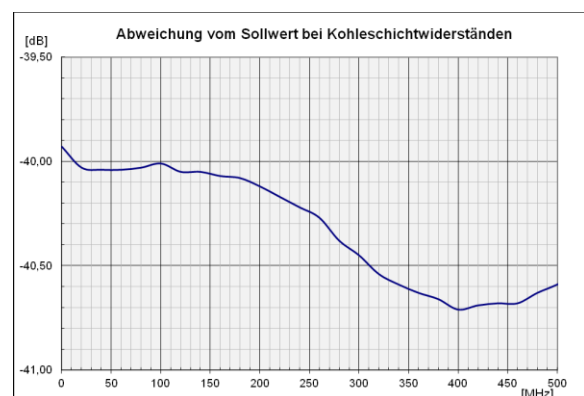


Abb. 19: Abweichung vom Sollwert -40 dB nach dem Abgleich

Unter dem Strich sind doch die Metallfilmwiderstände die bessere Wahl, denn damit ist im gesamten KW-Bereich und sowohl bei 145 als auch bei 435 MHz bei entsprechendem Abgleich die Abweichung

Leistungsmess-Sonde für den NWT

nicht größer als $\pm 0,1$ dB, was einen Fehler von weniger als 2,5 % bedeutet. Bei anderen Frequenzen gibt man den dafür ermittelten Dämpfungswert ein, den Rest macht der NWT. Zudem ist die Baugruppe damit ein gutes Stück belastbarer als mit den anderen Widerstandsarten.

Alle Unterlagen sind in der gepackten Datei *nwt-att03.zip* enthalten: Leiterplatten-Layout *nwt-att03b.ps*, Datei *150mm.ps* als Vergleichsmaßstab, Bestückungsplan *nwt-att03d.pdf* und Schaltplan *nwt-att03s.pdf*. Layout und Vergleichsmaßstab sind zwecks Maßanpassung an den jeweiligen Drucker im POSTSCRIPT-Format. Wie man mit den *.ps-Dateien verfährt, ist unter [3] im Verzeichnis TIPPS bei „Entwerfen von Leiterplatten für Amateurfunk-Projekte“ nachzulesen. Die Datei *nwt-att03label.xls* ist zur Anfertigung des Korrekturkurven-Aufklebers vorgesehen; die Zahlenwerte sind durch eigene Meßergebnisse zu ersetzen.

Zusammenfassung

Die beschriebene Baugruppe ist mit geringem Aufwand herstellbar, zu einem sorgfältigen Abgleich sind allerdings besondere Meßgeräte notwendig. In Verbindung mit dem Netzwerktester und dem in einem anderen Beitrag beschriebenen verbesserten 2. Detektor [4, folgt demnächst] bekommt man damit einen universellen Leistungsmesser mit überraschend guter Genauigkeit für den Bereich von 100 kHz bis 500 MHz und etwas mehr als 100 W.

Man sollte diese Sonde genauso wie die 15-dBm-Endstufe zum Schutz des AD8361 nur am zweiten Detektor betreiben.

Selbstverständlich ist sie auch bei jedem anderen Kleinleistungsmesser verwendbar, man muß nur aufpassen, daß die Belastungsgrenze des Sensors keinesfalls überschritten wird (z.B. bei einem Diodenmeßkopf!).

Viel Freude mit diesem überaus praktischen Meßhilfsmittel und an OE5VLL herzlichen Dank für die Analysator-Leihgabe!

Helmut, OE5GPL

Verweise und Quellen:

- [1] W. Hayward, W7ZOI, R. Campbell, KK7B und B. Larkin, W7PUA: „Experimental Methods in RF Design“, Seite 7.8
- [2] Fa. CONRAD, Metall-, Aluminium-Gehäuse:
<http://www.conrad.at/ce/de/product/522369/GEHAeUSE-ALUMINIUM-SPRITZGUSS-27969PSLA/0203051&ref=list>
- [3] OAFV-HomePage, TECHNIK/WERKSTATT/TIPPS: <http://www.oe5.oevsv.at/opencms/technik/>
- [4] OAFV-HomePage, TECHNIK/MESSEN/NETZWERKTESTER, HF-Leistungsmessung mit dem NWT: <http://www.oe5.oevsv.at/opencms/technik/>