

S-Parameter-Tester für den NWT

Helmut Stadelmeyer

Für alle, die den NWT oft verwenden, wird im FA 07/2008 ein praktischer Zusatz beschrieben [1], der den KW-Bereich sehr zufriedenstellend abdeckt. Bei der Durchsicht des Beitrages sind einige Punkte aufgefallen, bei denen Verbesserungen möglich sind. Das hat die Hoffnung geweckt, daß sich der nutzbare Frequenzbereich mit ein wenig Aufwand vielleicht doch nach oben hin erweitern läßt.

Was bei den vielen Versuchen herausgekommen ist, wird nachstehend beschrieben.

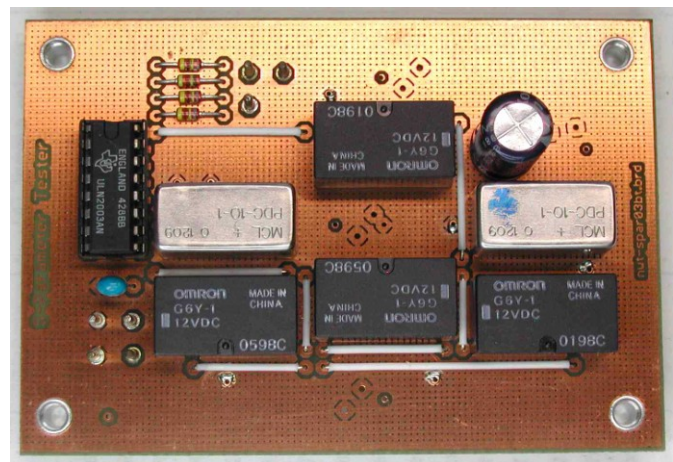


Abb. 1: Ein fertiges Versuchsmuster

Die Idee, für den NWT einen Zusatz zu schaffen, der die Messung von Eingangsreflexion, Durchgangsverstärkung, Ausgangsreflexion und Rückwärtsverstärkung ohne Änderung des Meßaufbaus ermöglicht, ist bestechend. Damit gehen nicht nur Serienmessungen, sondern vor allen Dingen Abgleicharbeiten an Baugruppen viel schneller von der Hand und man spart die koaxialen Steckverbinder, deren Daten nur für eine begrenzte Anzahl von Steckzyklen spezifiziert sind. Überdies verringert ein solcher Zusatz Fehler in der Verkabelung, die durch ständiges Umstecken leicht zustande kommen. Der Beitrag zeigt, welche Überlegungen angestellt worden sind, um mit geringen Mitteln die Brauchbarkeit zu hohen Frequenzen hin zu verbessern, wie der Zusatz aufgebaut ist und er fasst die erzielten Ergebnisse zusammen. Dateien zur Herstellung der Leiterplatten-Vorlagen sind verfügbar.

Der Zusatz soll die Systemimpedanz von 50 Ohm einhalten und die guten Eigenschaften der Richtkoppler bestmöglich ausnützen. Das bedeutet:

- Richtkoppler so anordnen, daß der Port mit der besseren Richtschärfe zur Anpassungsmessung genutzt wird.
- Konsequenter Einsatz von Streifenleitungen im HF-Pfad, was nur mit einer doppelseitigen Leiterplatte möglich ist; die soll selbst herstellbar sein.
- HF-Leiterzüge auf der Leiterplatte so kurz wie möglich
- Verwendung von HF-Relais
- Kurze Koaxialkabel mit Buchsen und Steckern von sehr guter Qualität.

Leiterplatte, Streifenleitung

Als Basismaterial wurde FR4 mit 1,5 mm Substratstärke und beidseitiger 35-µm-Kupferauflage verwendet, als Streifenleitung bewährt sich die „Coplanar Waveguide“ wegen guter Schirmwirkung zu benachbarten Leiterbahnen. Zur Ermittlung ihrer Abmessungen war das Programm AppCAD von AGILENT hilfreich (Abb. 2).

Die Bauteile sind auf der Leiterplatte so angeordnet, daß sich auf der Unterseite einerseits kurze HF-Pfade ergeben, andererseits aber auch möglichst durchgängige Masseflächen auf der Ober- und Unterseite entstehen, die sich gut miteinander verbinden lassen.

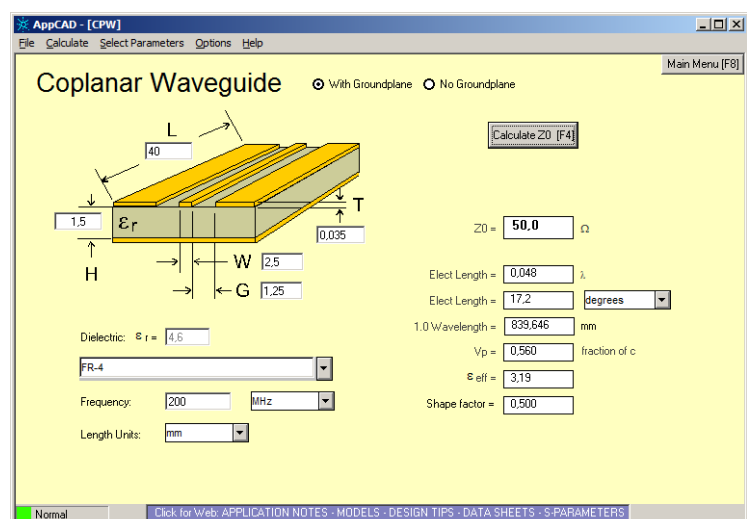


Abb. 2: Mit AppCAD ermittelte Streifenleitungsdaten

S-Parameter Tester

Dazu sind in der Massefläche mehrere Durchkontaktierungen anzubringen, die man mit kurzen Drahtstücken machen kann. Aus HF-Sicht besser geeignet sind jedoch Kupferhülsen, die unter anderem BUNGARD herstellt. Zu deren Verarbeitung ist allerdings spezielles Werkzeug notwendig, das man kaufen oder selbst anfertigen muß [2].

Um die Richtschärfe der gesamten Anordnung nicht unnötig zu verschlechtern, ist auf der Bauteilseite der Leiterplatte unter den Relaisanschlüssen 8, 11 und 14 sowie bei den Anschlüssen 1, 4 und der jeweils verwendeten Nebenleitung der Richtkoppler nur ein ganz dünnes Lötauge, das beim Bohren verschwindet. Die Idee dahinter: Ein geschlossener, freistehender Ring wäre eine Kurzschlußwindung, die die elektrischen Eigenschaften verändert.

Relais

Im Originalbeitrag wird das OMRON-Miniaturrelais der Type G2E verwendet, das niederfrequente Kommunikationstechnik vorgesehen ist. Zum Schalten kleiner Spannungen und Ströme ist es gut geeignet, zur Verwendung als Hochfrequenzschalter gibt das Datenblatt keinen Hinweis. Angaben zur Impedanz der Kontaktstrecke sind darin ebenfalls nicht enthalten.

Bei den hier beschriebenen Baugruppen kommen richtige HF-Relais von OMRON zum Einsatz, allerdings keine Koaxialrelais. Ein Vergleich der Datenblätter zeigt, daß die Type G6Y-1 eine spürbare Verbesserung der Rückflußdämpfung bringen wird, weil dieses Relais für 50 Ohm konstruiert worden ist, während ähnliche Relais von MATSUSHITA (PANASONIC) und TAKAMISAWA (FUJITSU) für 75 Ohm ausgelegt sind. Außerdem ist die Spule des G6Y-1 beliebig anschließbar, was bei den anderen Fabrikaten nicht der Fall ist: Dort muß der Anschluß 7 die positive Seite sein. Das OMRON-Relais erleichtert in vielen Fällen die Leiterbahnführung und hat bei richtiger Montage eine sehr gute Übersprechdämpfung von etwa 80 dB bei 250 MHz. Es wird unter anderem von [3] und [4] angeboten.

Kabel und Stecker

Das Meßobjekt ist bei Anpassungsmessungen nicht unmittelbar am Richtkoppler angeschlossen, sondern über ein Kabelstück, das von der Leiterplatte zur Steckverbindung an der Frontplatte geht. Von dort geht das Signal in der Regel über ein weiteres Kabelstück zum Meßobjekt. In den Kabeln wird durch eine von 50 Ohm abweichende Impedanz Leistung reflektiert, die sich zu jener addiert, die ein nicht ideal angepasstes Meßobjekt verursacht. Diese Kabelstücke verfälschen also das Meßergebnis, so wie das in gleicher Weise auch die Steckverbindungen tun.

Wie sehr Kabelstücke die Anpassung verändern können, zeigt Abb. 3:

Die rote Kurve gilt für den direkt am Reflexionsmeßkopf angeschlossenen Abschlußwiderstand, die blaue Kurve für ein 30 cm langes, sehr gutes K02252-D-Kabel (3 mm Außendurchmesser) mit einer BNC-Buchse und einem BNC-Stecker (alles von SUHNER), die grüne Kurve gilt für ein 20 cm langes und vielbenütztes RG-58-Kabel eines unbekannten Herstellers mit zwei RADIAL-BNC-Steckern. Der Abschlußwiderstand war jedesmal über einen sehr guten Buchsenadapter angesteckt.

Weil billige Koaxialkabel fast nie eine Impedanz von genau 50 Ohm haben, müssen zumindest jene von den Richtkopplern zum Meßobjekt kurz sein und so wie die Stecker und Buchsen von möglichst guter Qualität, um den von ihnen in das Meßergebnis eingebrachten Fehler klein zu halten. Ganz vermeiden läßt er sich nicht.

Richtkoppler

Bei dem im Originalbeitrag eingesetzten PDC-20-1BD handelt es sich um einen bidirektionalen Koppler. Er weist eine Koppeldämpfung von etwa 19,4 dB in beiden Richtungen auf, ist also, was die Vorlauf-

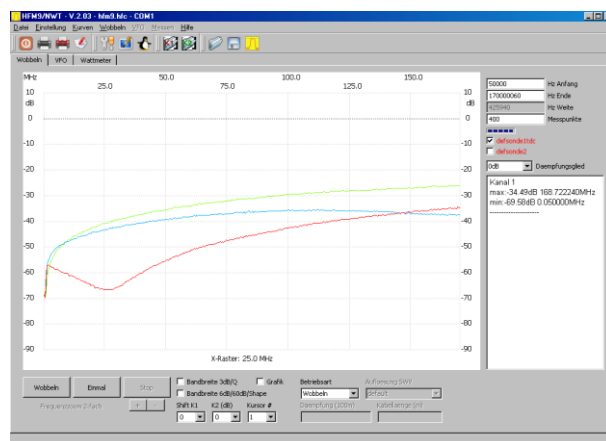


Abb. 3: Verringerung der Rückflußdämpfung eines Abschlußwiderstandes durch kurze Kabelstücke

S-Parameter-Tester

messung betrifft, symmetrisch. Bei der Rücklaufmessung (Richtschärfe, Directivity) ist der Verlauf über die Frequenz jedoch unterschiedlich: Je nachdem, wie der Koppler angeschlossen wird, liegen bei 50 MHz die typischen Werte bei 50,6 beziehungsweise 38,9 dB.

Die hier beschriebenen vier Versuchsaufbauten sind mit drei unterschiedlichen Kopplern gemacht worden, sie unterscheiden sich voneinander im Schaltbild des HF-Pfades und im Layout der Leiterplatte:

- Variante 1 mit dem PDC-20-1BD
- Variante 2 mit dem PDC-10-1BD
- Variante 3 mit dem PDC-10-1BD, allererstes Versuchsmuster mit 6 anstatt 4 Relais
- Variante 4 mit dem PDC-10-1

Zur genauen Information betreffend die Unterschiede bei den Kopplern bitte die entsprechenden Datenblätter von [5] herunterladen. Der PDC-10-1BD ist ebenfalls ein bidirektionaler Koppler, der 11,5 dB Koppeldämpfung hat. Der PDC-10-1 ist hingegen eine Ausführung mit nur einem gekoppelten Port (so wie der TDC-10-1, der im Reflexionsmeßkopf seinen Dienst tut). Bei ihm ist eine Seite der Nebenleitung intern mit 50 Ohm abgeschlossen, seine Koppeldämpfung beträgt ebenfalls 11,5 dB.

Schaltung

Eine Suche nach Unterlagen zu S-Parameter-Meßzusätzen namhafter Hersteller ergibt, daß dort zwei Richtkoppler verwendet werden anstatt des einen im Originalbeitrag, weshalb diese Schaltung auch hier angewendet worden ist. Sie ermöglicht eine kurze Leitungsführung auf der Leiterplatte und ergibt einen einheitlichen Bezugspegel sowohl für Durchgangs- als auch für Reflexionsmessungen. Beim Originalbeitrag ist das nicht der Fall, es kann deshalb leicht zu Ablesefehlern bei der Auswertung der Diagramme kommen. Auf die Mehrkosten für den zweiten Richtkoppler sollte es nicht ankommen - der Lohn dafür ist sorgenfreies Messen.

Variante 1

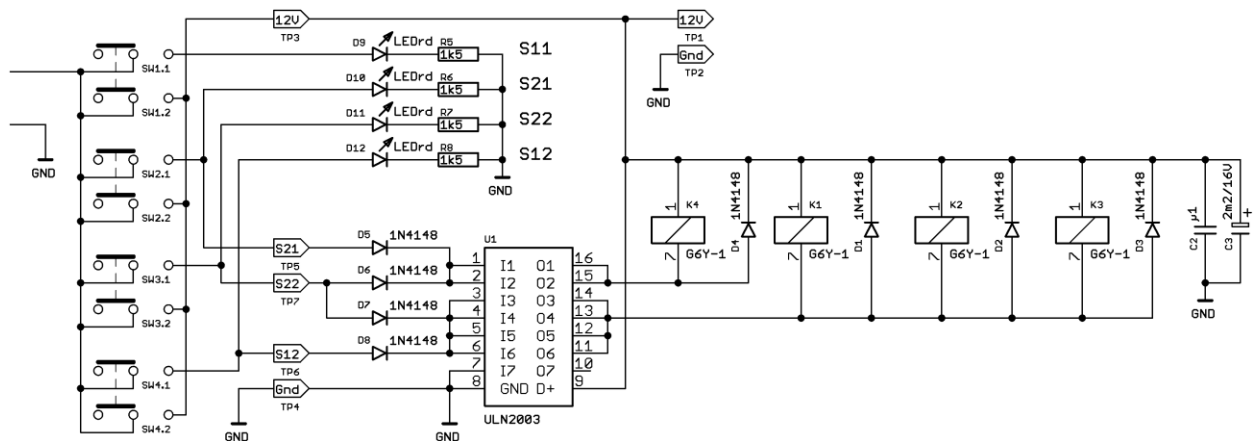


Abb. 4: Ansteuerung der Relais; das **Schaltbild** gilt für die Varianten 1, 2 und 4.

Relais und Schalter sind im nicht betätigten Zustand dargestellt. Beim Mustergerät wird die Meßart mit gegenseitig auslösenden Drucktasten gewählt, Leuchtdioden zeigen sie zusätzlich an. Die Relais werden nicht direkt von den Tastenkontakten geschaltet, sondern über einen Treiber-IC. Wenn gewünscht, ermöglicht das die Ansteuerung durch einen Mikrokontroller.

Im HF-Pfad befinden sich lediglich 4 Relais, 2 Richtkoppler und 4 Abschlußwiderstände (Abb. 5). Einen Eindruck vom Leiterplatten-Layout und den Abmessungen vermitteln Abb. 6 und 7 (ungefähr 3/4 der wirklichen Größe). An dieser Stelle sei ein Hinweis für jene erlaubt, die noch immer eine Scheu vor dem Anfertigen von doppelseitigen Leiterplatten haben: Man hat nicht mehr Arbeit als beim Herstellen von zwei gleichgroßen, einseitigen Stücken und es entsteht kein finanzieller Mehraufwand, weil kein spezielles Belichtungsgerät notwendig ist, das doppelseitige Belichtung ermöglicht, und keine Küvette zum Ätzen, in der die Platte senkrecht hängt und in der dann nach getaner Arbeit eine große Menge Ätzflüssigkeit herumsteht. Wie es einfach, billig und dennoch gut geht, ist bei [6] nachzulesen.

S-Parameter-Tester

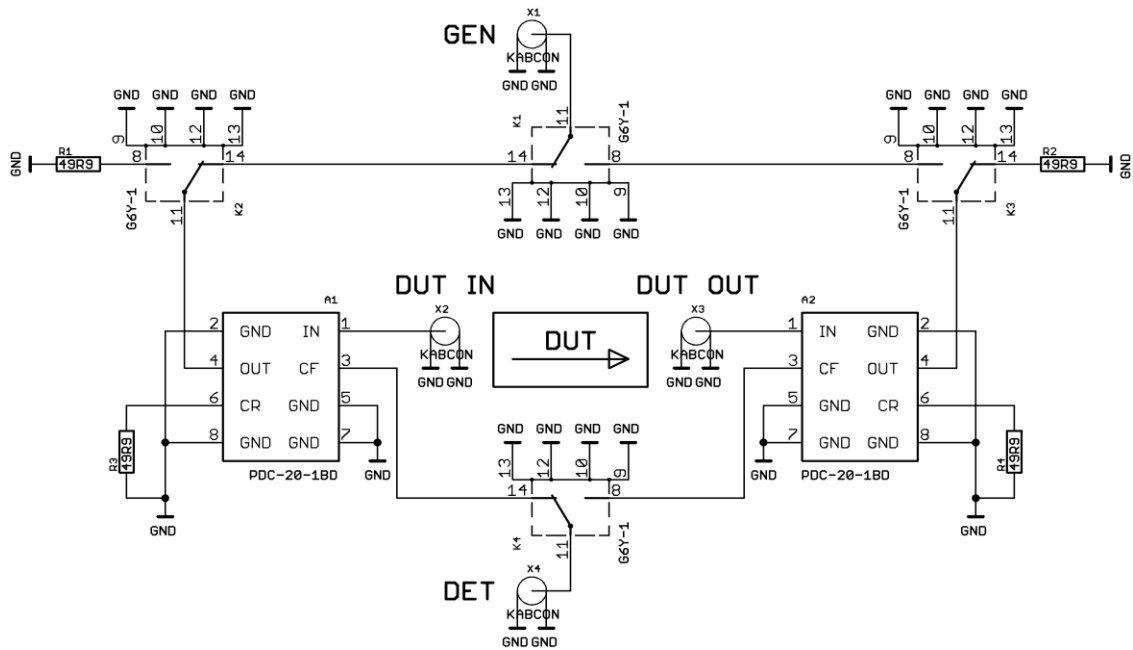


Abb. 5: HF-Pfad der Variante 1

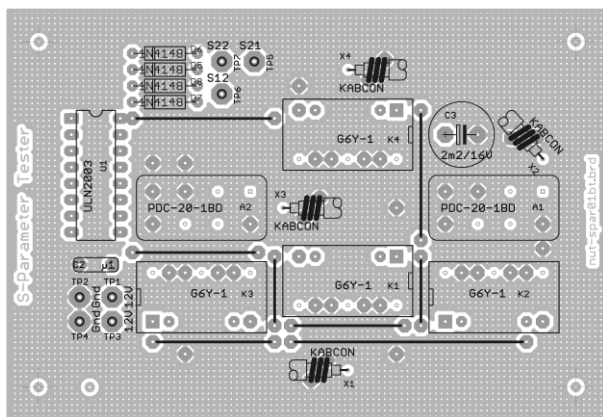


Abb. 6: Bestückungsplan Bauteilseite

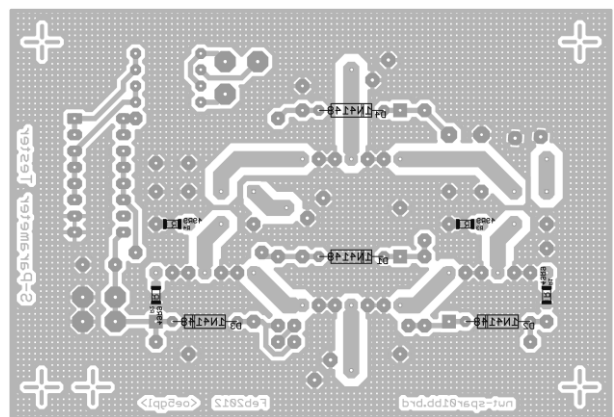


Abb. 7: Bestückungsplan Lötseite

Variante 2

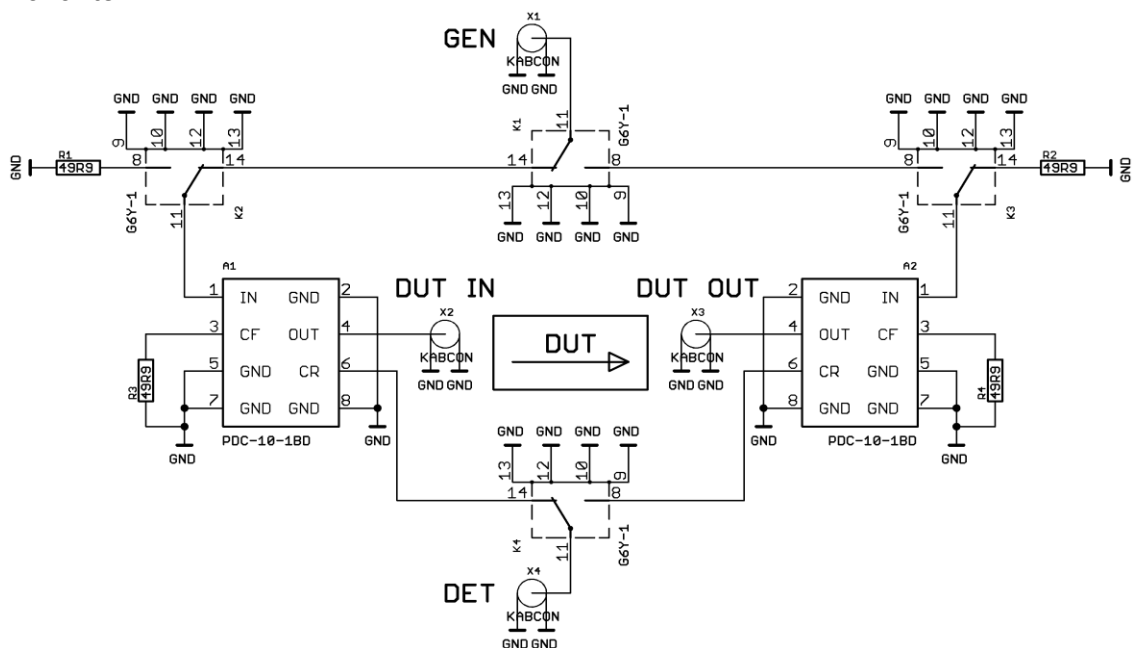


Abb. 8: HF-Pfad der Variante 2

S-Parameter-Tester

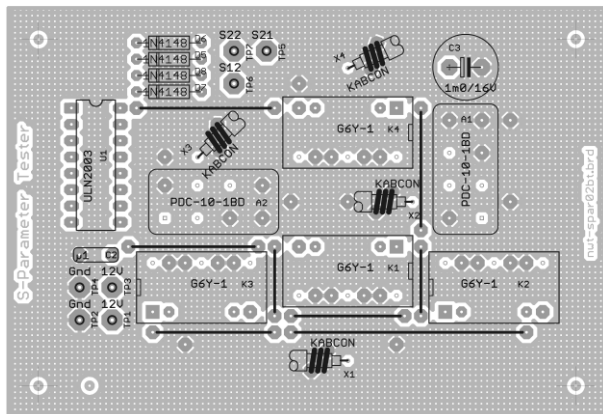


Abb. 9: Bestückungsplan Bauteilseite

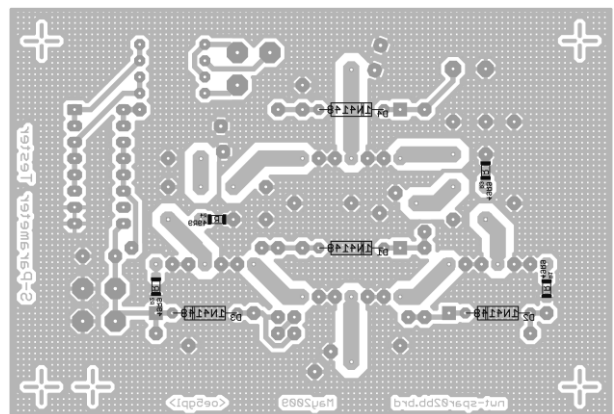


Abb. 10: Bestückungsplan Lötseite

Variante 3

Hier handelt es sich, wie schon weiter oben angegeben, um den allerersten Versuch, einen besseren Zusatz zu bauen. Er ist hier angeführt, um zu zeigen, ob ein wesentlicher Unterschied in der Brauchbarkeit der Baugruppen zwischen der Variante mit 4 und der mit 6 Relais besteht.

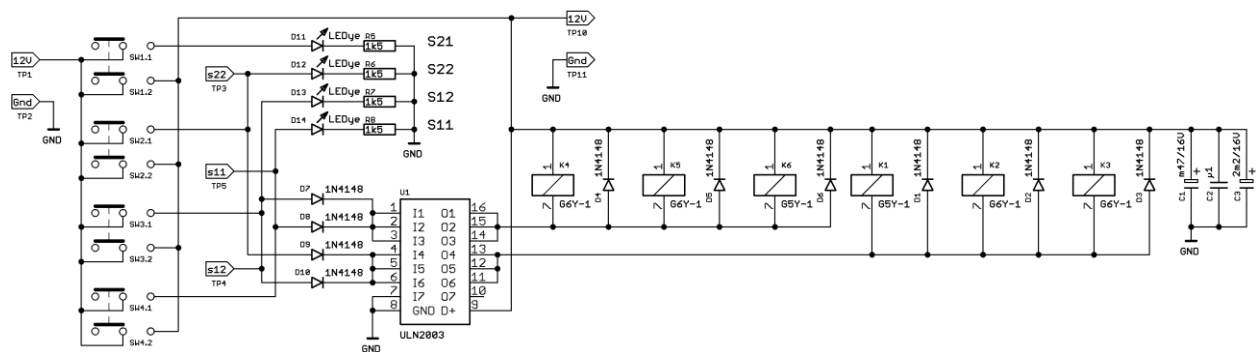


Abb. 11: Ansteuerung der Relais bei der Variante 3.

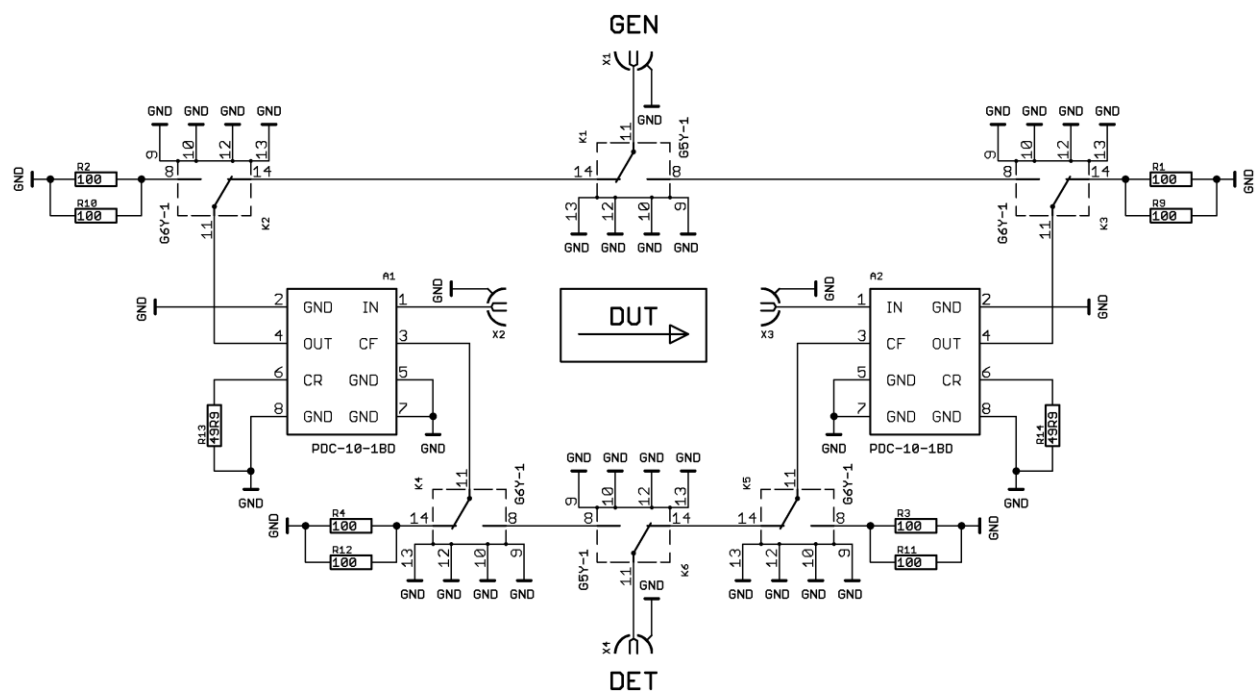


Abb. 12: HF-Pfad der Variante 3

S-Parameter-Tester

Variante 4

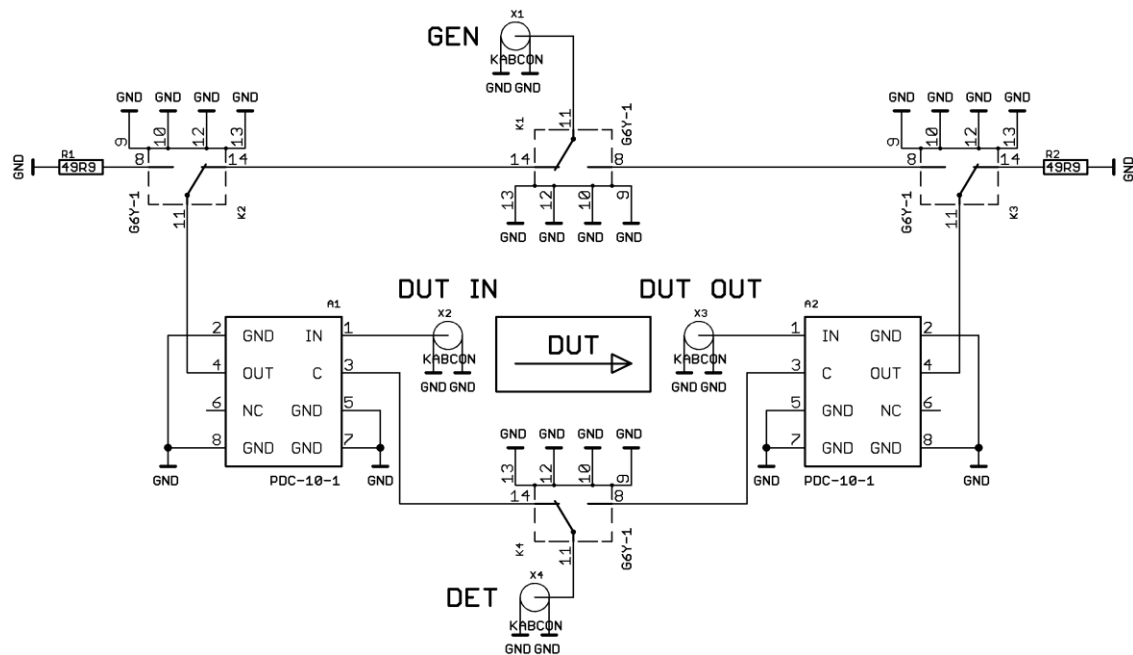


Abb. 13: HF-Pfad der Variante 4

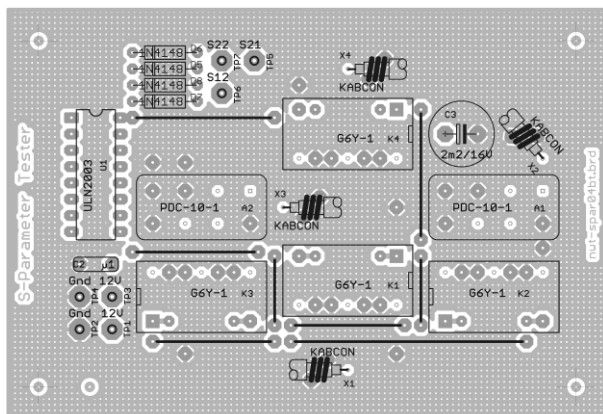


Abb. 14: Bestückungsplan Bauteilseite

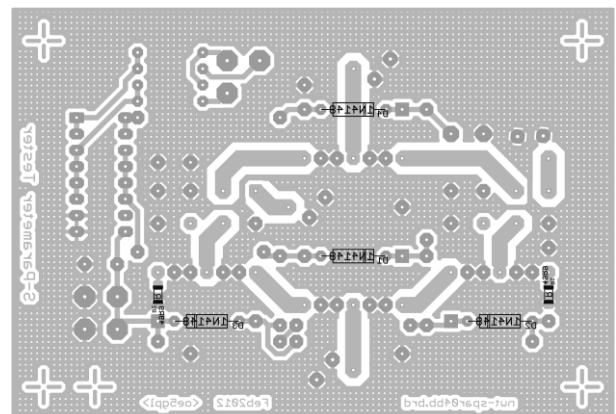


Abb. 15: Bestückungsplan Lötseite

Bauteile

Für die Varianten 1 und 2 sind die Richtkoppler bei [7] erhältlich. Den PDC-10-1 für die Variante 4 gibt es bei [8], die Mindestbestellmenge beträgt derzeit 7 Stück.

Die interne HF-Verkabelung wurde mit RG316/U von SUHNER ausgeführt. Das ist ein einfach geschirmtes Kabel mit 2,5 mm Außendurchmesser, PTFE-Isolierung und RADOX-Mantel. Die Kabel stammen von einem AFU-Flohmarkt, haben eine angepreßte BNC-Buchse vom gleichen Hersteller und sind offensichtlich ungebraucht. Bei den vier Mustern sind sie an den Punkten X1 bis X4 direkt auf der Leiterplatte festgelötet (Abb. 16).

Dazu ist der Kabelmantel etwa 10 mm abzusetzen, vorerst aber nur so weit abziehen, daß der Platz für einen Drahtwickel mit nicht ganz 3 Windungen 0,8-mm-Draht ausreicht. Der Wickel ist mit dem Schirm zu verlöten. Der nunmehr steife Schirm ist

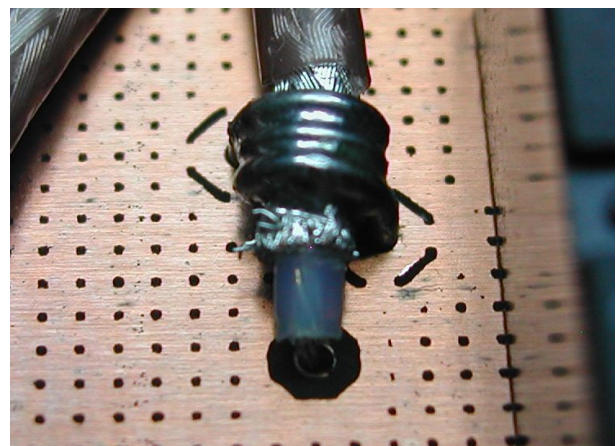


Abb. 16: Kabelbefestigung auf der Leiterplatte

S-Parameter-Tester

sodann mit 1 mm Überstand mit einem scharfen Messer abzutrennen.

Die vier Abschlüsse bestehen aus je einem 49,9-Ohm Widerstand in 1206-Bauform. Sie sind auf der Unterseite der Leiterplatte anzubringen. Wer diese Widerstände nicht vorrätig hat, kann jeweils 2 Stück mit 100 Ohm übereinander einlöten.

Durchkontaktierungen zwischen Ober- und Unterseite der Leiterplatte keinesfalls vergessen!

Gehäuse

So wie beim Originalbeitrag ist auch hier der S-Parameter-Testzusatz nicht mehr im NWT-Gehäuse unterzubringen. Es war deshalb notwendig, ein zusätzliches Gehäuse anzufertigen, das unter dem Hauptgerät angeordnet und mit dessen unterer Halbschale fest verschraubt ist. Nähere Hinweise zur Anfertigung von Gehäusen sind unter [9] zu finden.

Weil in diesem neuen Gehäuse ausreichend Platz ist, hat auch das Netzteil dorthin übersiedeln müssen. Es wurde bei dieser Gelegenheit völlig neu aufgebaut und ist in einem gesonderten Beitrag beschrieben. Der Vorteil der Änderung liegt auf der Hand: Aus dem Hauptgerät ist die größte Wärmequelle verschwunden, was die Stabilität des Oszillators verbessert.

Die im Gehäuse entstehende Warmluft führt ein auf der Rückseite angebrachter 50 * 50 mm großer Lüfter ab, der von einem CPU-Kühler stammt. In Abhängigkeit von der Temperatur wird die Drehzahl gesteuert, um die Geräuschbelastung gering zu halten. Durch eine Anzahl von 4-mm-Löchern in der unteren Halbschale tritt Zuluft im vorderen Bereich ein.

Das größere Gehäuse für den NWT hat ebenfalls einen solchen Lüfter bekommen.

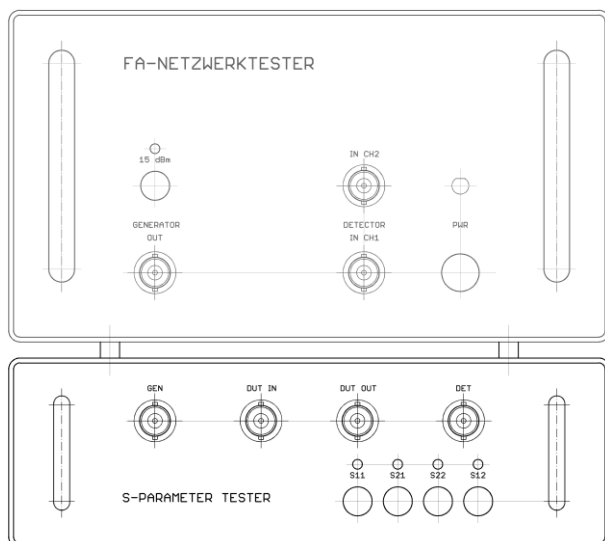


Abb. 17: Frontseite des Gehäuses für den Zusatz

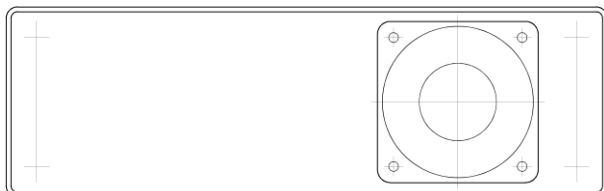


Abb. 18: Rückseite

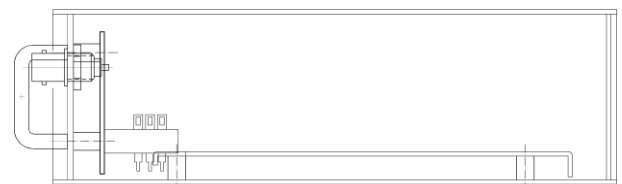


Abb. 19: Seitenansicht

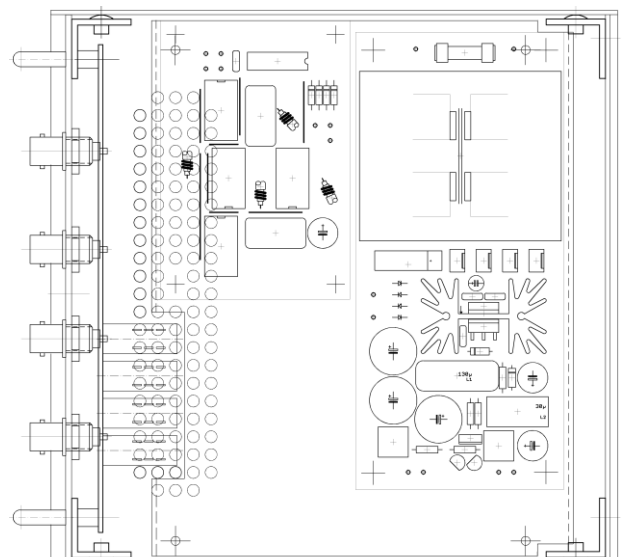


Abb. 20: Draufsicht

Neben den beiden Baugruppen gibt es im Mustergerät noch eine frontseitige Montageplatte, die das Tastenaggregat und die Leuchtdioden zur Signalisierung trägt.

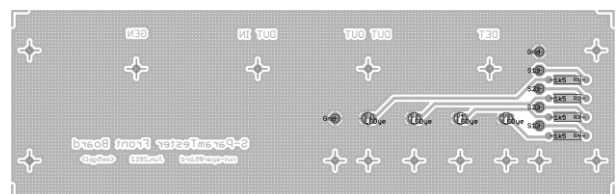


Abb. 21: Bestückungsplan frontseitige Montageplatte

S-Parameter-Tester

Kalibrierung

Im Umgang mit dem NWT Geübte wissen, daß sich die wahre Freude beim Messen erst nach einer zweckmäßigen Kalibrierung einstellt. Dazu ist die Buchse DET mit dem Detektor 1 zu verbinden. Weil der Pegelunterschied zwischen einer Durchgangsmessung mit Direktverbindung zwischen den Buchsen DUT IN und DUT OUT und einer Rückflußdämpfungs-Messung mit nicht angeschlossenem Meßobjekt (DUT, **D**evice **U**nder **T**est) sehr gering ist, genügt eine Kalibrierdatei für alle Betriebsarten des Zusatzes:

Ein Unterschied entsteht nur durch die Dämpfung der Direktverbindung, die bei der Durchgangsmessung wirksam ist. Der Anteil an der Gesamtdämpfung, der durch das kurze, interne Kabelstück von DUT OUT zu X3 auf der Baugruppe entsteht, wird bei der Rückflußdämpfungs-Messung durch das etwa gleich lange Kabelstück von X2 auf der Baugruppe zur Buchse DUT IN wettgemacht, denn das wird vom Meßsignal wegen der Totalreflexion an der offenen Buchse dann zweimal durchlaufen (zur Buchse hin und zur Baugruppe zurück).

Die Kalibrierung erfolgte in der Betriebsart S21, im Mustergerät hat diese Datei bei der Variante 1 den Namen *spar11.hfm* erhalten. In Abb. 23 gilt die dünne, schwarze, gerade Linie für die Direktverbindung zwischen DUT IN und DUT OUT in Betriebsart S21, die anderen Linien erhält man in Betriebsart S11. Die Welligkeit dieser Kurven wird durch die dabei am Ende offenen Kabelstücke verursacht: Die rote Kurve ist die interne Verbindung vom Richtkoppler zur Buchse mit ca. 20 cm Länge, bei 20 cm Verlängerung ergibt sich die grüne und bei weiteren 30 cm die blaue. Der Mittelwert dieser Kurven liegt auf der schwarzen S21-Linie.



Abb. 22: Zum Kalibrieren fertiger NWT

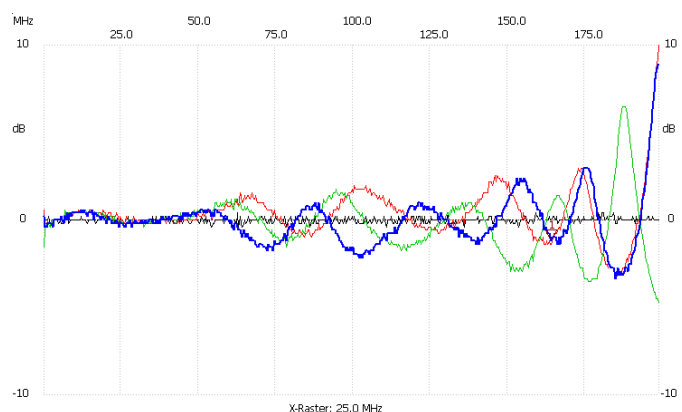


Abb. 23: Unterschied zwischen Durchgang und Reflexion nach der S21-Kalibrierung des Zusatzes bei unterschiedlichen Kabellängen

Inbetriebnahme

Selbstverständlich wurde untersucht, ob sich die Richtschärfe der Baugruppen verbessern läßt. Im Gegensatz zu den Erfahrungen mit dem Reflexionsmeßkopf bringt bei ihnen eine großflächige, elektrisch leitende Verbindung zwischen Richtkopplergehäuse und der Massefläche auf der Oberseite (Bauteilseite) keine merkliche Verbesserung.

Die primitive Art der Kabelbefestigung auf der Leiterplatte macht es notwendig, wenigstens einen der Masseanschlüsse sowohl auf der Ober- als auch auf der Unterseite zu verlöten. Übersieht man das, ergeben sich unstabile Verhältnisse, wenn die Kabel bewegt werden und die Richtschärfe ist mitunter geringer. Mit SMB-Steckern oder -Buchsen auf der Leiterplatte hat man diese Sorge nicht.

Bei der Variante 1 hat sich gezeigt, daß die Widerstände R3 und R4 berührungsempfindlich sind. Ein parallel zum Widerstand angeschlossener Trimmkondensator mit 1 bis 8 pF ergab eine eindeutige Verbesserung der Richtschärfe bei 2,2 pF um etwa 5 dB im oberen Frequenzbereich (Abb. 24). Die rote Linie ist der Zustand vor dem Abgleich, die grüne Linie gilt für S11 und die dicke, blaue für S22. Anstatt des Trimmers wurde ein 1206-Kondensator über den Widerstand gelötet. Wegen des guten Erfolges ist auch bei den anderen Varianten versucht worden, eine Verbesserung zu erreichen.

S-Parameter-Tester

Der Ordnung halber ist auch die Rückflußdämpfung an den Buchsen GEN und DET mit dem externen Reflexionsmeßkopf überprüft worden (Abb. 25).

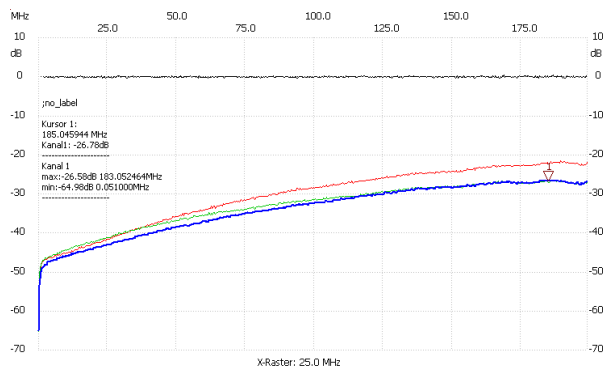


Abb. 24: Rückflußdämpfung vor und nach dem Abgleich

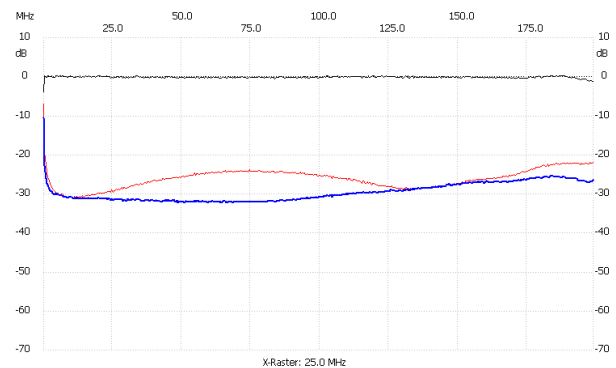


Abb. 25: Rückflußdämpfung an GEN und DET

Meßergebnisse

Als wesentliches Güte Merkmal des Zusatzes ist bei jeder Variante die Richtschärfe an DUT IN (Betriebsart S11) und DUT OUT (Betriebsart S22) ermittelt worden. Das Meßobjekt war ein Abschlußwiderstand SUHNER 65_BNC-50-0-1 an der jeweiligen Buchse. Die dabei festgestellten Unterschiede in der Richtschärfe lassen vermuten, daß die Koppler doch nicht ganz gleich sind, auch wenn sie aus demselben Fabrikationslos stammen.

In den nachfolgenden Diagrammen gilt die schwarze Linie als Bezug, die rote Linie ist das Ergebnis in der Betriebsart S11 und die dicke, blaue Linie das in der Betriebsart S22. Um das Verhalten der Richtkoppler bei niedrigen Frequenzen genauer festzustellen, ist der Frequenzbereich des NWT auf zwei Diagramme aufgeteilt.

Variante 1:

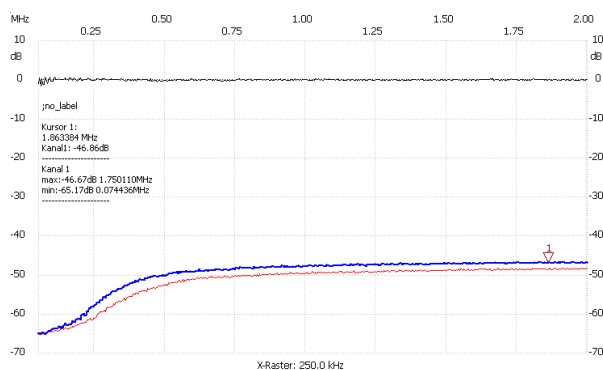


Abb. 26: Richtschärfe von 50 kHz bis 2 MHz

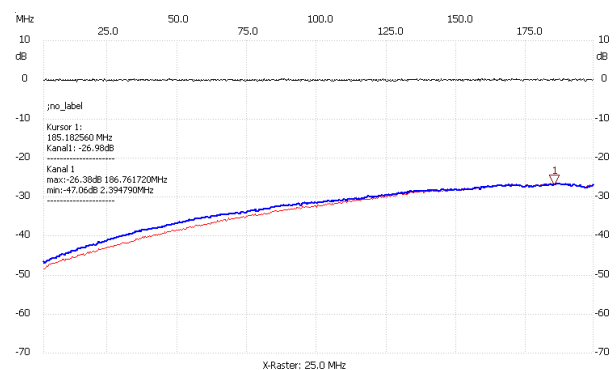


Abb. 27: Richtschärfe von 2 MHz bis 200 MHz

Variante 2:

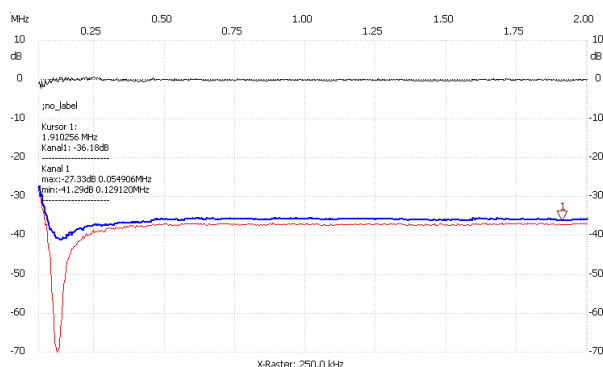


Abb. 28: Richtschärfe von 50 kHz bis 2 MHz

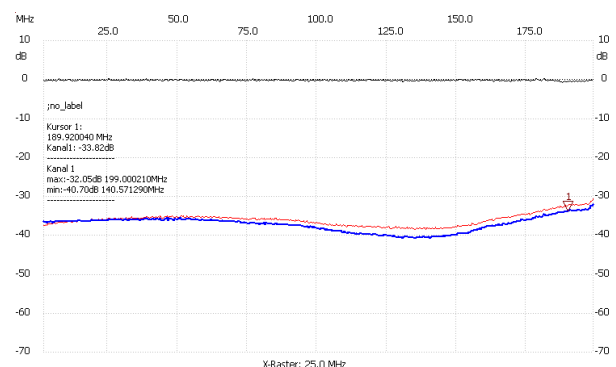


Abb. 29: Richtschärfe von 2 MHz bis 200 MHz

S-Parameter-Tester

Eine zusätzliche SMD-Kapazität mit 1,4 pF zwischen A1-4 sowie A2-4 und Masse hat nahezu im gesamten Frequenzbereich eine Verbesserung der Richtschärfe um fast 5 dB bewirkt.

Variante 3:

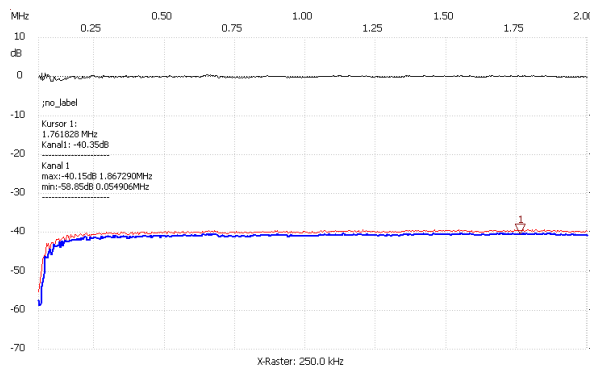


Abb. 30: Richtschärfe von 50 kHz bis 2 MHz

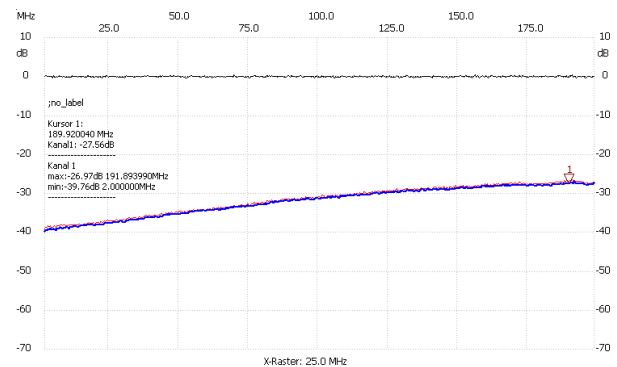


Abb. 31: Richtschärfe von 2 MHz bis 200 MHz

Bei den Varianten 3 und 4 schafft eine zusätzliche Kapazität keine Verbesserung.

Variante 4:

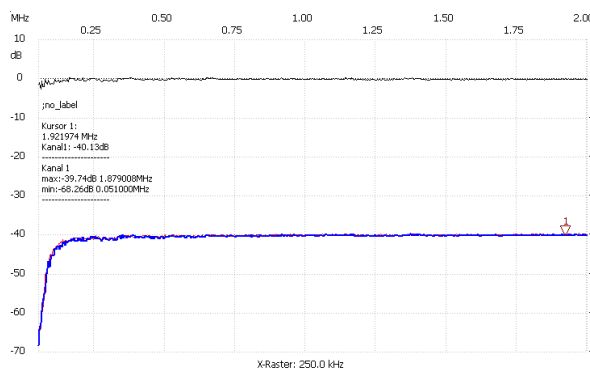


Abb. 32: Richtschärfe von 50 kHz bis 2 MHz

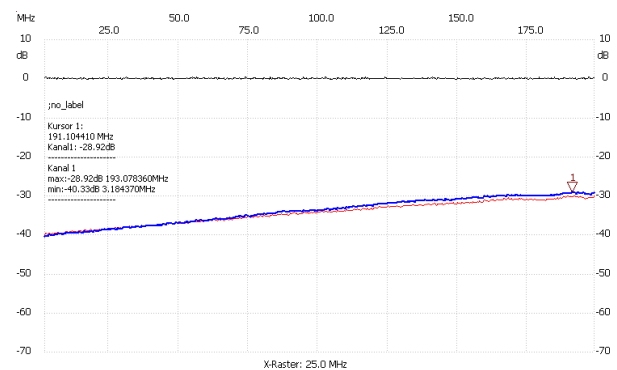


Abb. 33: Richtschärfe von 2 MHz bis 200 MHz

Zusammenfassung

Mit diesem Aufbau ist es möglich, bei 200 MHz eine Richtschärfe von wenigstens 27 dB zu erreichen, je nach verwendetem Richtkoppler auch mehr. Die Unterschiede zwischen den drei Richtkoppler-Typen sind insgesamt gering, wobei das unerwartet gute Verhalten der Variante 2 noch weiter untersucht wird. Die Ausführung mit 6 Relais (Variante 3) anstatt mit 4 bringt keinen Vorteil.

Dieser praktische Zusatz zum NWT ist nunmehr auch im 2-m-Bereich verwendbar. Weil die Variante 2 die besten Ergebnisse liefert, wurde diese Baugruppe mit auf ungefähr 15 cm gekürzten Kabeln eingebaut (Abb. 34).

Unterlagen

In der gepackten Datei *nwt-spar01.zip*, die bei [10] herunterzuladen ist, sind enthalten:

- Diese Beschreibung *nwt-spar01.pdf*
- Schaltbilder im A4-Format für die Varianten 1, 2 und 4
- Bestückungspläne für Ober- und Unterseite der Variante 2
- Leiterplatten-Layouts für Ober- und Unterseite der Variante 2 sowie die Datei *printcal01.ps* als Vergleichsmaßstab
- EAGLE-Dateien für die Variante 2
- Gehäusezeichnungen in A4

S-Parameter-Tester

Sehr wahrscheinlich wird jeder das Gehäuse nach seinen Vorstellungen anfertigen. Die Zeichnungen sollen lediglich zeigen, wie man es machen kann.

Wer für Variante 1 oder 4 bereits Richtkoppler hat und die verwenden möchte, kann auf Anfrage die entsprechenden EAGLE-Dateien bekommen.

Helmut, OE5GPL

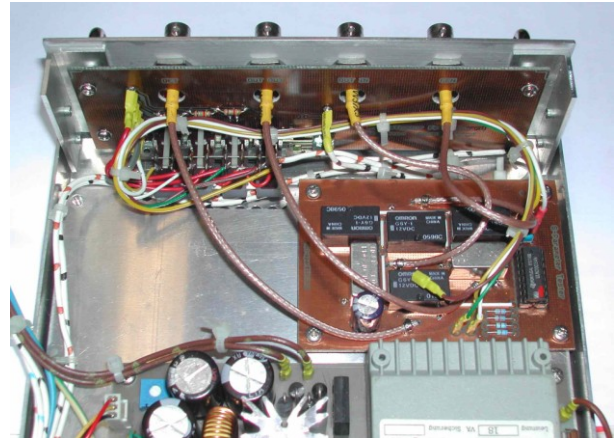


Abb. 34: Eingebaute Baugruppe

Verweise und Quellen:

- [1] Graf, U., DK4SX, S-Parameter-Umschalter für den FA-Netzwerktester: FUNKAMATEUR 7/08, S. 737 bis 740
- [2] OAFV-HomePage, TECHNIK / WERKSTATT / TIPPS, Leiterplatten durchkontaktieren: <http://www.oe5.oevsv.at/opencms/technik/werkstatt/tipps/>
- [3] REICHELT Elektronik: <http://www.reichelt.at/index.html?ACTION=3;ARTICLE=28340;SEARCH=G6Y%26%2345%253b1%2012V>
- [4] Digi-Key: <http://search.digikey.com/scripts/dksearch/dksus.dll?vendor=0&keywords=g6y-1+dc12>
- [5] MINI-CIRCUITS, RF/IF & Microwave Components: <http://www.minicircuits.com/homepage/homepage.html>
- [6] OAFV-HomePage, TECHNIK / WERKSTATT / TIPPS, Leiterplatten selbst herstellen: <http://www.oe5.oevsv.at/opencms/technik/werkstatt/tipps/>
- [7] FUNKAMATEUR-Leserservice, Mono- und Bidirektionale Koppler: <http://www.funkamateure.de>
- [8] MUNICOM Online: http://katalog.municom.info/product_info.php?products_id=2980
- [9] OAFV-HomePage, TECHNIK / WERKSTATT / TIPPS, Eigenbau-Gehäuse: <http://www.oe5.oevsv.at/opencms/technik/werkstatt/tipps/>
- [10] OAFV-HomePage, TECHNIK / MESSEN / NETZWERKTESTER, S-Parameter Tester: <http://www.oe5.oevsv.at>
- [11] OAFV-HomePage, TECHNIK / WERKSTATT / TIPPS, Entwerfen von Leiterplatten: <http://www.oe5.oevsv.at/opencms/technik/werkstatt/tipps/>

1. Nachtrag (Feb. 2013)

Um zum Testen immer dieselben Koaxialkabel verwenden zu können, waren bei allen vorangeführten Messungen zum leichteren Wechsel der Varianten ihre Masseanschlüsse nur auf der Unterseite der Leiterplatten verlötet. Deswegen sind manche Meßergebnisse nicht so gut geworden, wie sie hätten sein können:

Beim endgültigen Einbau der Variante 2 in das neue Gehäuse ist bei diesen Kabeln zumindest einer der beiden Masseanschlüsse auch auf der Oberseite der Leiterplatte verlötet worden, wie schon unter „Inbetriebnahme“ empfohlen. Dazu war es notwendig, beim Anschluß X2 das Relais K4 vorübergehend auszubauen; mit Löt-sauger und Entlöt-litze ist das keine große Angelegenheit. Das Ergebnis ist erstaunlich, wie der Vergleich von Abb. 35 und 36 mit Abb. 28 und 29 zeigt, denn die Richtschärfe hat fast im gesamten Frequenzbereich deutlich zugenommen.

Das zeigt wieder einmal schön, wie sehr die optimale Funktion einer HF-Schaltung von guter Masseverbindung abhängt.

S-Parameter-Tester

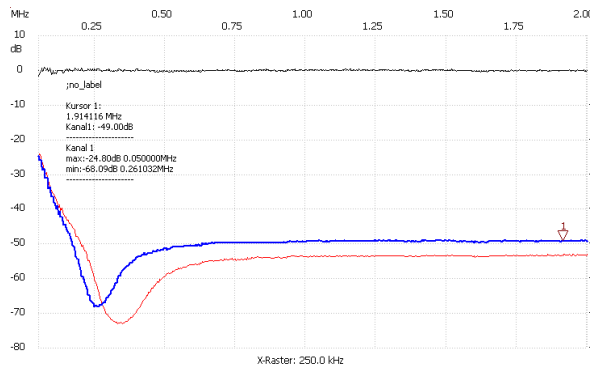


Abb. 35: Richtschärfe von 50 kHz bis 2 MHz

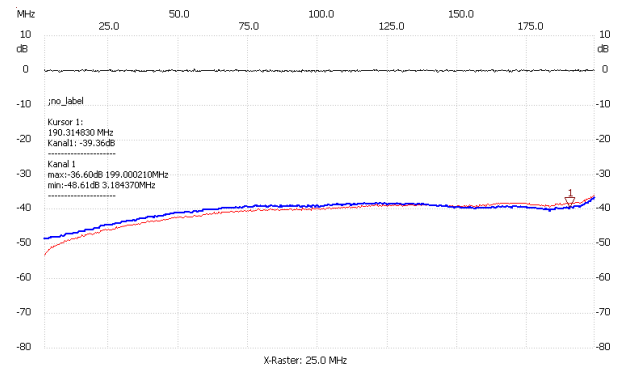


Abb. 36: Richtschärfe von 2 MHz bis 200 MHz

Zur Kontrolle, ob es sich um ein plausibles Meßergebnis handelt, wurde die Rückflußdämpfung von vier unterschiedlichen Abschlußwiderständen nachgemessen (Abb. 37). Das HP-Produkt stammt vom Flohmarkt, sein stark vom Sollwert abweichender Widerstand ist wahrscheinlich die Folge einer unzulässigen Überlastung. Die rote und die grüne Linie liegen bis über 150 MHz recht genau auf den errechneten Werten, der Verlauf der blauen und der cyanfarbenen Linie wird durch die Eigenschaften der Baugruppe bestimmt.

Fabrikat	Type	R_{soll}	R_{ist}	Theor. Rückflußdämpfung	Kurvenfarbe
SUHNER	65_BNC-75-0-1	75 Ω	74,5 Ω	14,1 dB	rot
HP	11652-60001	50	52,6	32,0	grün
SUHNER	65_BNC-50-0-1	50	50,3	50,5	blau
ROSENBGERGER	unbekannt	50	50,2	54,0	cyan

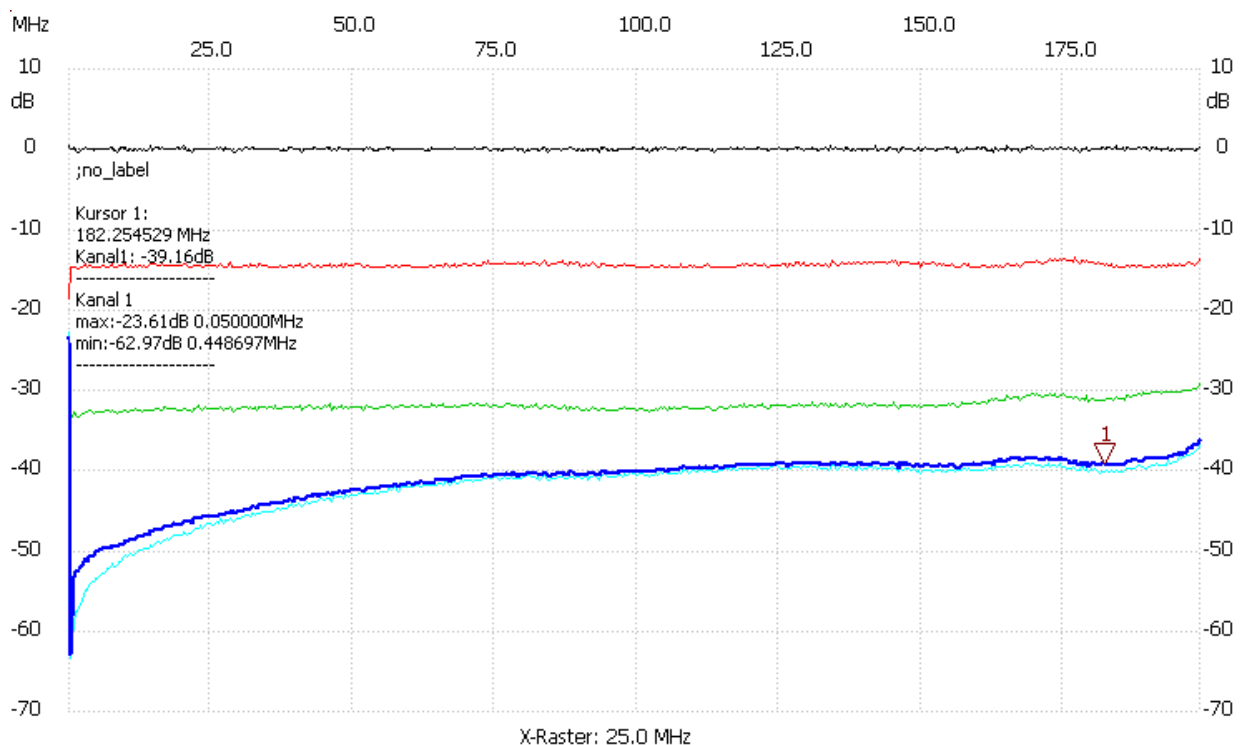


Abb. 37: Rückflußdämpfung obiger Abschlußwiderstände bei Betriebsart S11