

Splitter/Combiner für 0,1 bis 100 MHz

Helmut Stadelmeyer

Gelegentlich braucht man zum Durchführen einer Messung einen Leistungsteiler oder Leistungsaddierer (im angelsächsischen Sprachgebrauch als Splitter/Combiner bezeichnet). Der hier beschriebene ist anlässlich einer IP3-Untersuchung an einer Aktivantenne notwendig geworden.

Bei einer solchen Messung sind zwei gleich große HF-Signale mit verhältnismäßig geringem Frequenzabstand notwendig. Schaltet man die beiden Generatoren über einen T-Verbinder unmittelbar zusammen, dann beeinflussen sie sich gegenseitig und das Meßergebnis ist falsch. Zudem beträgt die Impedanz am gemeinsamen Punkt dann nicht mehr 50 Ohm, sondern nur mehr die Hälfte. Zur richtigen Zusammenschaltung braucht man also eine Baugruppe, die das Signal von jedem Eingang möglichst ungehindert zum Ausgang durchläßt, den Weg von einem Eingang zum anderen jedoch sperrt. In der Praxis läßt sich das nicht ganz erreichen, die Dämpfung zwischen den beiden Eingängen beträgt aber immerhin um die 30 dB. Diese Baugruppe sorgt auch für die Anpassung an das 50-Ohm-System.

Sie besteht ausschließlich aus passiven Teilen, im wesentlichen aus zwei Übertragern, einem Widerstand und einer Kapazität, die der Kompensation der Schaltungsinduktivitäten dient. Die Baugruppe ist vom Prinzip her bidirektional und deswegen sowohl als Addierer als auch als Leistungsteiler zu gebrauchen. Eine Suche im Internet hat unter anderem Bauvorschläge von F6AOJ [1], VE7BPO [2] und

K8ZOA [3] zum Vorschein gebracht, wobei letztendlich die von K8ZOA verwendete Schaltung ausgewählt worden ist: sie weist für einen 3-dB-Splitter nach seinen Angaben den besten Isolationswert von allen drei Vorschlägen auf.

Weil die zu untersuchende Aktivantenne von Längswelle bis über den KW-Bereich hinaus funktioniert, sollten ihre Großsignal-Eigenschaften bei 100 kHz untersucht werden. Um die gegenseitige Beeinflussung der Generatoren gering zu halten, war für die Isolation ein Wert von mehr als 30 dB erstrebenswert. Damit waren für diesen besonderen Fall die gewünschten Daten

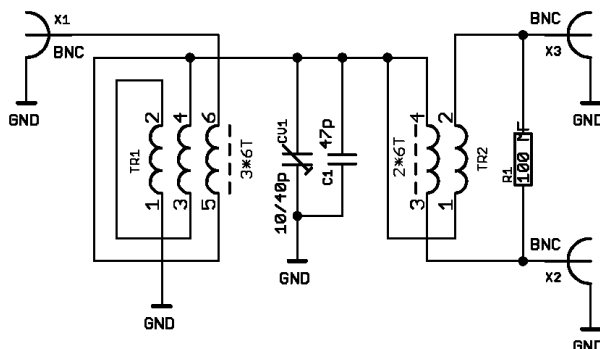


Abb. 2: Schaltplan des Splitters

des Splitters festgelegt. Ob sie erreichbar sind, war ungewiß, denn K8ZOA hat mit seiner Messung erst bei 300 kHz begonnen.

Untersuchte Muster

Die angefertigten Versuchsmuster sind mit folgenden Ferritkernen aufgebaut worden:

- Antennenübertrager aus alten Fernsehgeräten mit gelber Kennfarbe. Von diesen Doppellochkernen liegen leider keinerlei Daten vor; sie sind für Signale in den Fernsehbandern I und III verwendet worden (41 – 68 und 174 - 230 MHz) und waren ursprünglich mit einer plastikisolierten Zwillingsleitung bewickelt. Der Querschnitt beträgt 8*14 mm bei einer Länge von 8 mm. In der Folge wird das Muster mit diesen Kernen als Variante 1 bezeichnet.
- Antennenübertrager wie in Variante 1, jedoch 14 mm lang und ohne Farbkennzeichnung (also schwarz). Dies ist die Variante 2.
- AMIDON-Ringkerne FT37-43, als Variante 3 bezeichnet.
- AMIDON-Ringkerne FT37-77, als Variante 4 bezeichnet.
- EPCOS-Ringkerne B64290L38X830, als Variante 5 bezeichnet.



Abb. 1: Betriebsbereiter Splitter/Combiner

Splitter/Combiner

AMIDON-Kerne sind bei [4] erhältlich, die EPCOS-Kerne führt [5] unter der Bestell-Nr. 500575-62. Weil alle Kerne einen größeren Materialquerschnitt haben als die von K8ZOA verwendeten, ist die Windungszahl von 10 auf 7 Windungen verringert worden. Übrige Bauteile: Als Metallfilmwiderstand reicht eine 0,5-W-Type. Die Kapazität ist auf zwei Kondensatoren aufgeteilt, wobei der Festkondensator wegen der besseren Temperaturstabilität eine Glimmernahtausführung ist und der Abgleich auf beste Isolation mit dem Trimmer erfolgt.

Aufbau

K8ZOA hat Versuche mit unterschiedlichen Aufbauweisen gemacht und dabei herausgefunden, daß die Verwendung einer Leiterplatte keinen Vorteil bringt, sondern im Gegenteil etwas schlechtere Werte bei der Isolation zur Folge hat. Wegen leichter Montierbarkeit der Bauteile und besserer mechanischer Festigkeit sind die Muster dennoch damit aufgebaut worden. Zur Verringerung unerwünschter Kapazitäten ist bei kritischen Leiterbahnen der Abstand zur Massefläche vergrößert, die Leiterplatte hat etwa 5 mm Abstand zum Boden des Gehäuses.

Der Übertrager bei Port X1 hat drei parallele, stark verdrehte 0,4-mm-Drähte mit 7 Windungen. Diese drei Teilwicklungen sind in Serie geschaltet, das von der Buchse kommende Signal mit 50 Ohm Impedanz durchläuft also insgesamt 18 Windungen. Die Impedanz an den Punkten 4/5 von TR1 ist somit auf 22,2 Ohm transformiert (\bar{U}^2). Das zu den Buchsen X2 und X3 gehende Signal soll von 22,2 Ohm wieder auf 50 Ohm transformiert werden, der Übertrager hat deshalb 2 parallele, ebenfalls verdrehte Drähte mit wiederum 7 Windungen.

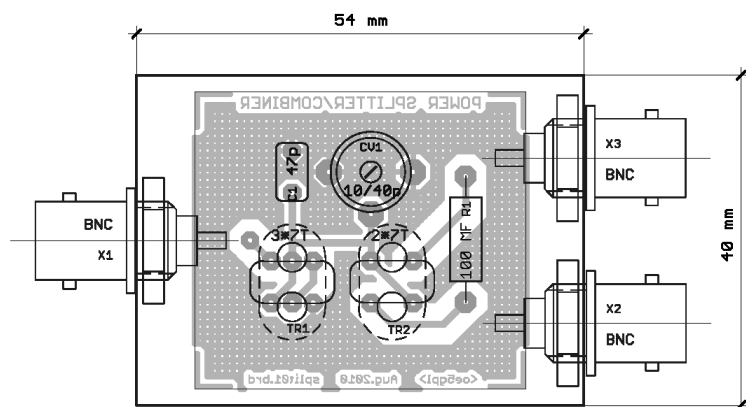


Abb. 3: Bestückungsplan

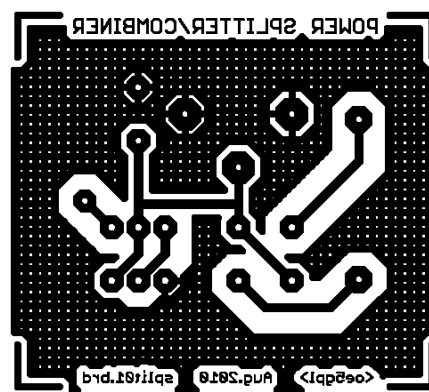


Abb. 4: Einseitiges Leiterplattenlayout (nicht maßstäblich)

Das Gehäuse kann aus etwa 0,7 mm dickem Weißblech angefertigt werden, wobei der Hauptteil U-förmig gebogen ist und die beiden Stirnseiten, in die die Buchsen eingesetzt werden, paßgenau zurechtgeschnitten und eingelötet sind. Nach dem Abgleich wird es mit einem Deckel aus dünnem Weißblech verschlossen, wobei je ein Lötspot an den vier Ecken genügt und eine spätere Änderung möglich macht. Genauso gut ist ein aus Leiterplattenmaterial angefertigtes Gehäuse geeignet.

Die Muster sind allerdings in ein vorhandenes, 25 mm langes Stück eines rechteckigen Alu-Formrohres mit 3 mm Wandstärke eingebaut worden.

Boden und Deckel sind daran mit 2-mm-Schrauben befestigt. Die Massefläche der Leiterplatte ist mit den entsprechend gekürzten und zurechtgebogenen Massefahnen der BNC-Buchsen verlötet; diese Fahnen halten die Leiterplatte in Position, es ist keine zusätzliche Befestigung notwendig. Ob man die Buchsen X2 und X3 mit Abstand nebeneinander oder an den Außenseiten gegenüber anordnet, macht bei der Isolation so gut wie keinen Unterschied, wie der provisorische Einbau einer Trennwand dazwischen gezeigt hat.

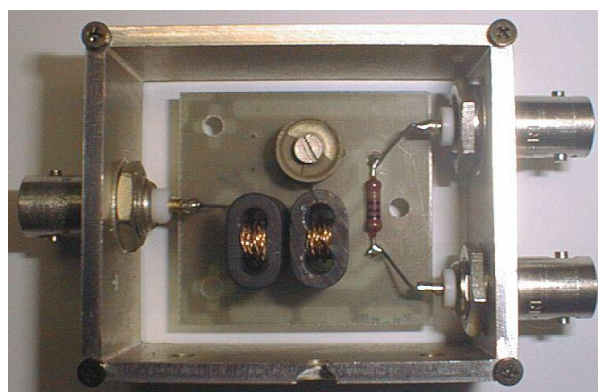


Abb. 5: Innenansicht der Variante 2

Splitter/Combiner

Abgleich

Dazu ist ein Wobbelgenerator mit Detektor erforderlich, denn ein punktwiser Abgleich der Isolation mit Meßsender und Pegelmesser ist viel zu zeitaufwendig. Der Netzwerktester ist eine gute Wahl, man hat damit die Sache im Handumdrehen erledigt: an Port X1 kommt ein guter Abschlußwiderstand, der Generator an X2 und der Detektor an X3. CV1 ist lediglich auf größte Dämpfung (= beste Isolation) zwischen den Ports X2 und X3 einzustellen. Je nach verwendetem Ferritkern kann eine Änderung von C1 notwendig sein. Das ist dann der Fall, wenn beim Durchdrehen von CV1 um 360 Grad das Maximum nur einmal erreicht wird.

Ergebnisse

Um die Darstellung übersichtlich zu halten, ist die Frequenzachse auf einen Bereich von 50 kHz bis 5 MHz und einen weiteren von 50 kHz bis 100 MHz aufgeteilt. Alle Kurven wurden bei einem Ausgangspegel von ungefähr 1,5 dBm und rechnerischer Korrektur auf 0 dB ermittelt.

Meßergebnisse der Variante 1 in Abb. 6 und 7 zeigen den Verlauf der Anpassung (Rückflußdämpfung), wobei die obere Linie die Referenz (offener Ausgang des Richtkopplers), die mittlere Kurve die Anpassung am Port X1 und die untere Kurve die Anpassung an den Ports X2 und X3 ist.

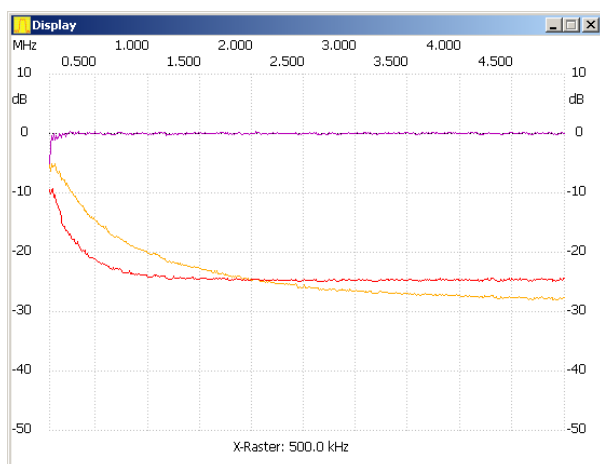


Abb. 6: Var. 1, Rückflußdämpfung von 50 kHz bis 5 MHz

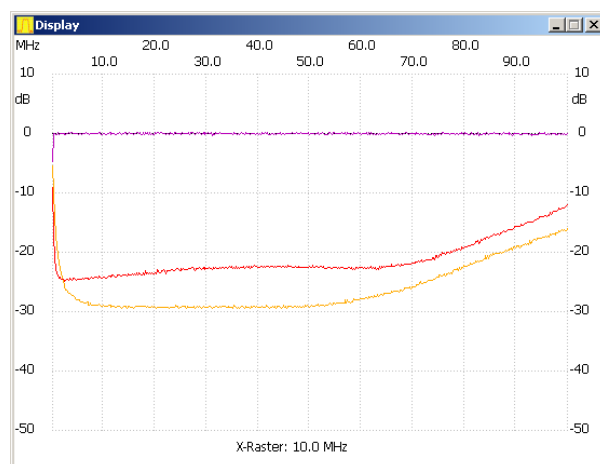


Abb. 7: Var. 1, Rückflußdämpfung von 50 kHz bis 100 MHz

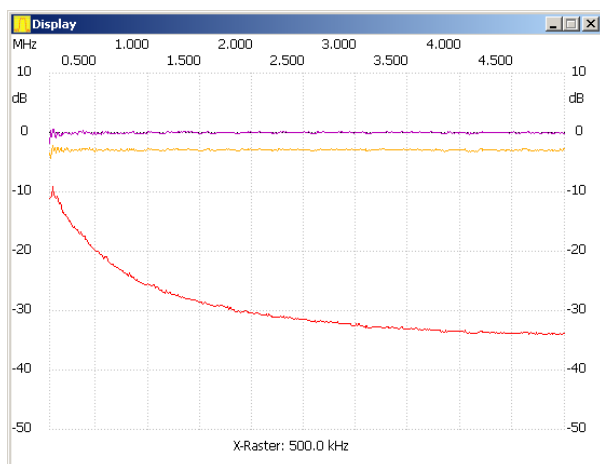


Abb. 8: Var. 1, Verlauf von Durchgangsdämpfung und Isolation von 50 kHz bis 5 MHz

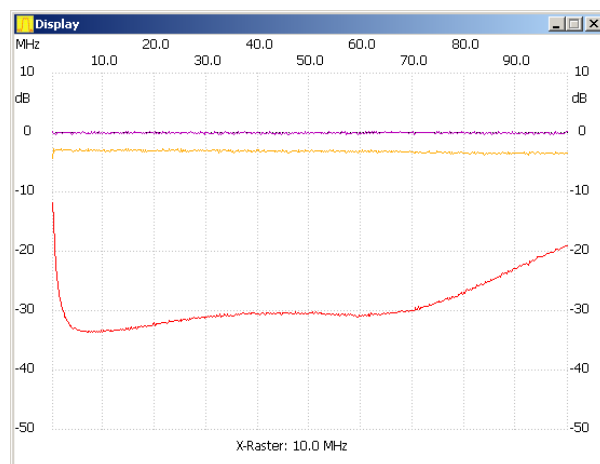


Abb. 9: Var. 1, Verlauf von Durchgangsdämpfung und Isolation von 50 kHz bis 100 MHz

Durchgangsdämpfung und Isolation bei der Variante 1 sind in Abb. 8 und 9 ersichtlich: die obere Linie ist wiederum die Referenz (Generator direkt mit Detektor verbunden), die mittlere entspricht der Durchgangsdämpfung und die untere der Isolation zwischen den Ports 2 und 3. Die gewünschte Isolation von

Splitter/Combiner

30 dB wird erst ab 2 MHz erreicht, von 2 bis 70 MHz ist sie besser als 30 dB. Die Variante 1 ist für den vorgesehenen Zweck also nicht geeignet, Aussagen zur allgemeinen Verwendbarkeit der untersuchten Varianten sind am Ende dieses Abschnittes zusammengefaßt.

Die Abbildungen 10 und 11 gelten sinngemäß für die Anpassung von Variante 2.

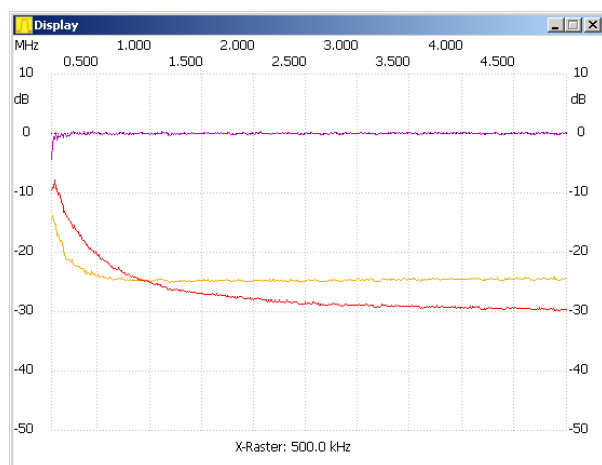


Abb. 10: Var. 2, Rückflußdämpfung von 50 kHz bis 5 MHz

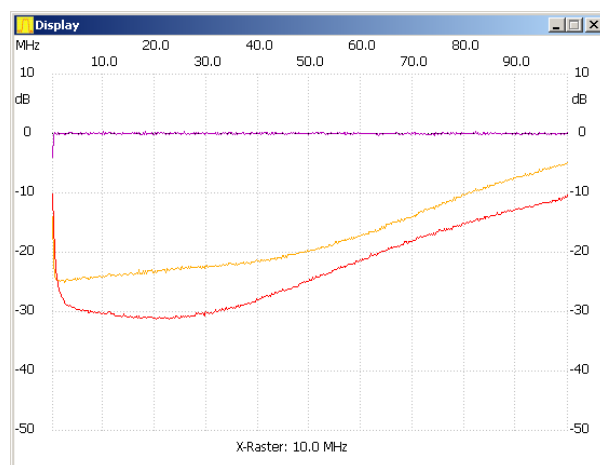


Abb. 11: Var. 2, Rückflußdämpfung von 50 kHz bis 100 MHz

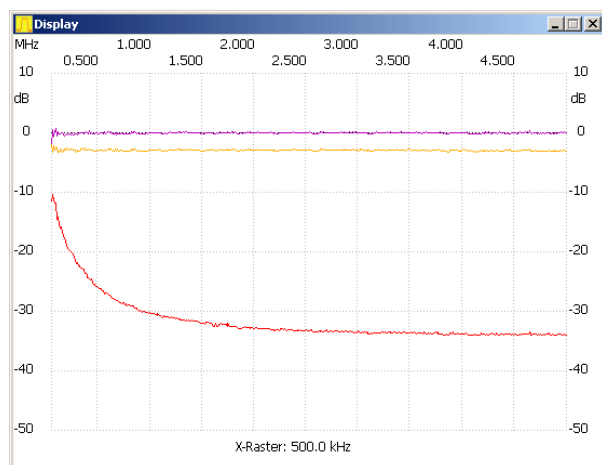


Abb. 12: Var. 2, Verlauf von Durchgangsdämpfung und Isolation von 50 kHz bis 5 MHz

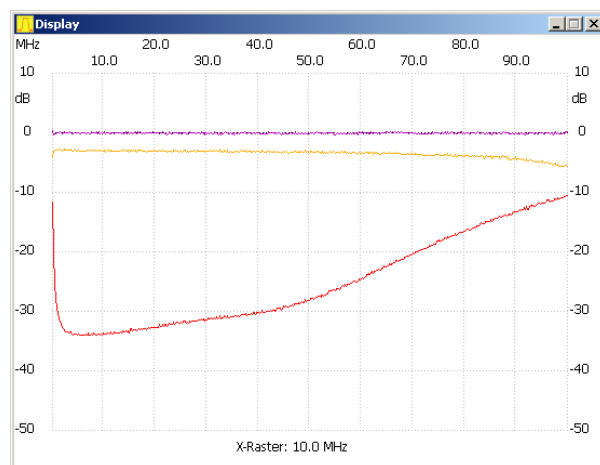


Abb. 13: Var. 2, Verlauf von Durchgangsdämpfung und Isolation von 50 kHz bis 100 MHz

Die Zuordnung der Kurven von Durchgangsdämpfung und Isolation bei der Variante 2 (Abb. 12 und 13) ist dieselbe wie bei der Variante 1. Es wird deutlich, daß die Isolation zum unteren Frequenzbereich hin etwas besser geworden ist, denn die 30 dB werden bereits bei 1 MHz erreicht. Dafür ist sie aber im oberen Bereich merklich schlechter und unterschreitet ab 40 MHz wieder die 30-dB-Grenze. Somit ist auch diese Variante für den vorgesehenen Anwendungszweck nicht geeignet.

An der Platine wird das wahrscheinlich nicht liegen, es sind vielmehr die Doppellochkerne, die den Unterschied zu den von K8ZOA erreichten Ergebnissen ausmachen: er verwendet recht kleine Ringkerne von STEWARD, die aus einem völlig anderen Material gefertigt sind und eine Anfangspermeabilität von 5000 haben. So erreicht er kürzestmögliche Längen bei den Wickeldrähten und hält damit schädliche Kapazität gering. Die Daten des Kerns von STEWARD sind nicht so detailliert dokumentiert, wie das bei AMIDON der Fall ist. Beim Material 43 von AMIDON beträgt die Anfangspermeabilität 850, das Material 77 hat 2000 und Material N30 von EPCOS bringt es auf 4300.

Ein Ringkern hat den Vorteil, daß die Windungen mit Abstand nebeneinander liegen und nicht direkt über- oder nebeneinander, wie das beim Doppellochkern der Fall ist. Dadurch ist die Kapazität zwischen den Windungen deutlich kleiner, was sich im oberen Frequenzbereich vorteilhaft bemerkbar macht.

Die Anpassung bei der Variante 3 verhält sich recht ähnlich wie die der Variante 1:

Splitter/Combiner

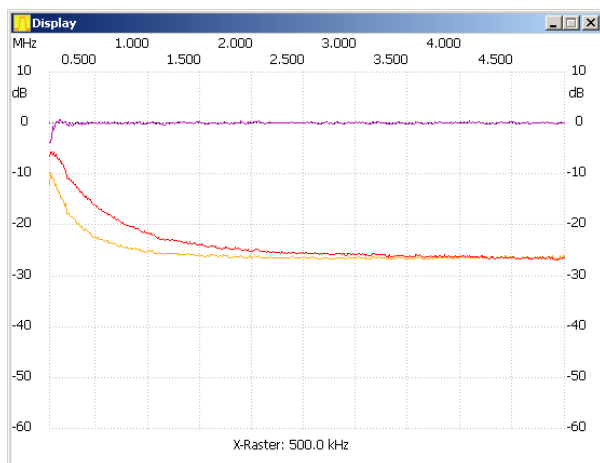


Abb. 14: Var. 3, Rückflußdämpfung von 50 kHz bis 5 MHz

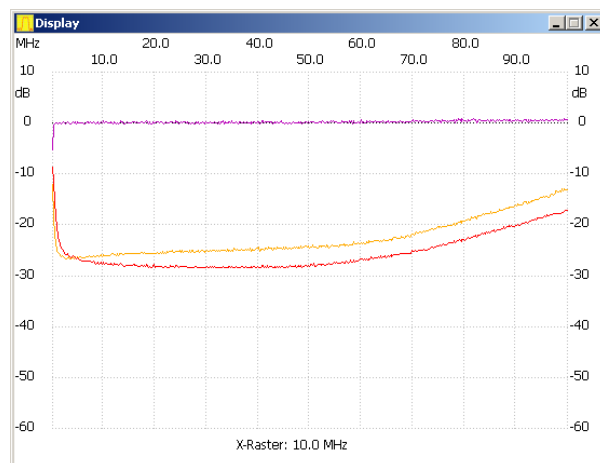


Abb. 15: Var. 3, Rückflußdämpfung von 50 kHz bis 100 MHz

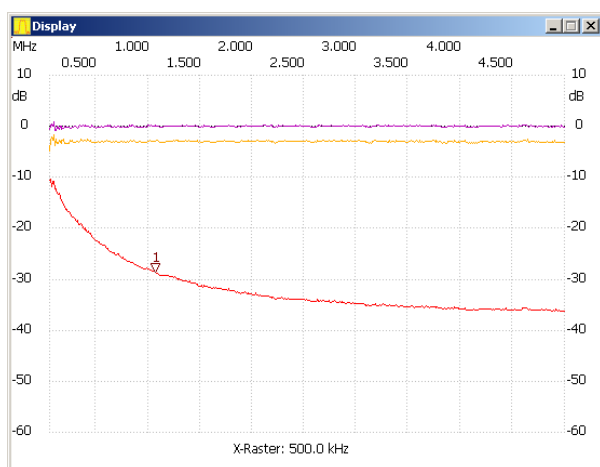


Abb. 16: Var. 3, Verlauf von Durchgangsdämpfung und Isolation von 50 kHz bis 5 MHz

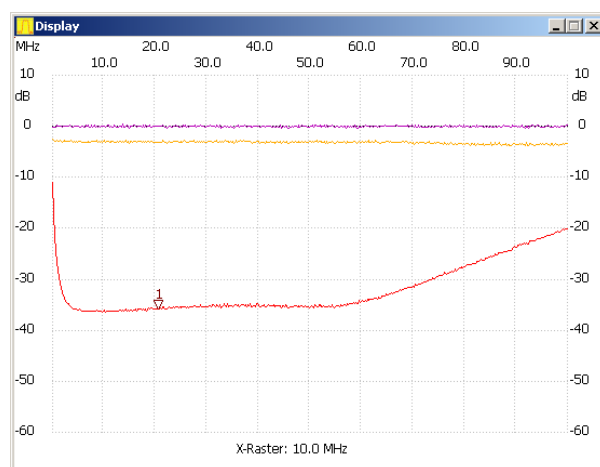


Abb. 17: Var. 3, Verlauf von Durchgangsdämpfung und Isolation von 50 kHz bis 100 MHz

Die 30-dB-Schwelle erreicht die Variante 3 bei 1,5 MHz, die Isolation ist um fast 5 dB besser. Insgesamt erreicht diese Variante aber nicht die gewünschten Werte.

Bei der Variante 4 ist die Anpassung zum oberen Ende der Frequenzachse hin etwas schlechter:

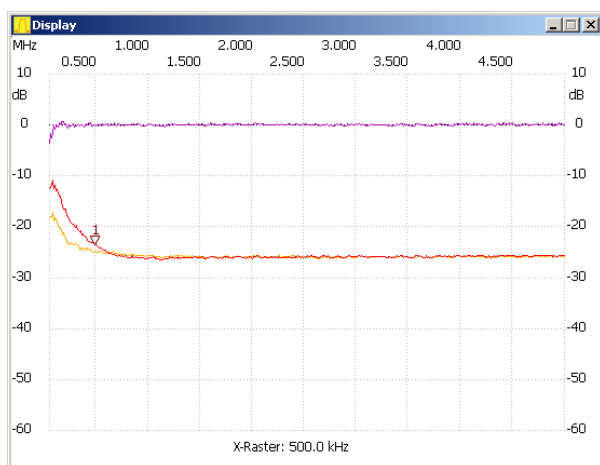


Abb. 18: Var. 4, Rückflußdämpfung von 50 kHz bis 5 MHz

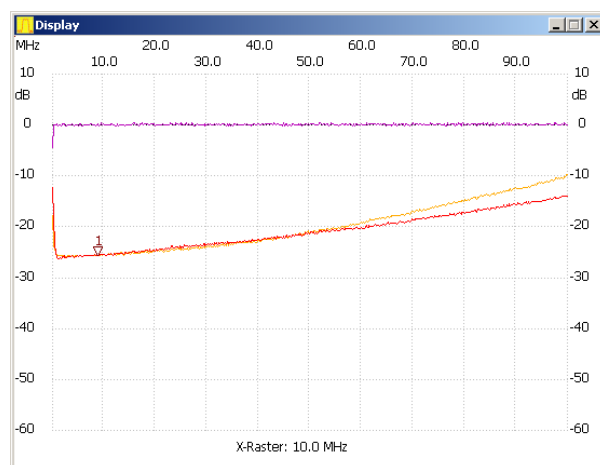


Abb. 19: Var. 4, Rückflußdämpfung von 50 kHz bis 100 MHz

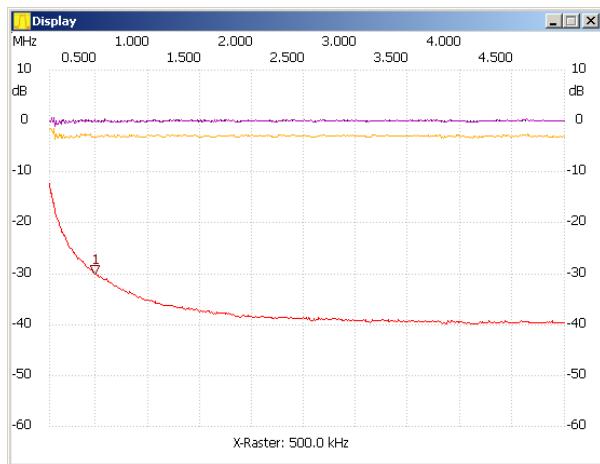


Abb. 20: Var. 4, Verlauf von Durchgangsdämpfung und Isolation von 50 kHz bis 5 MHz

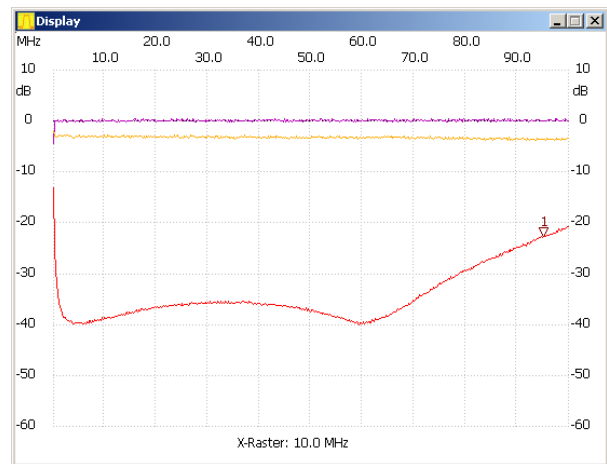


Abb. 21: Var. 4, Verlauf von Durchgangsdämpfung und Isolation von 50 kHz bis 100 MHz

Die Isolation bei Variante 4 erreicht die 30-dB-Grenze schon bei 500 kHz, im Bereich bis 70 MHz ist sie mit mehr als 35 dB tadellos. Die Durchgangsdämpfung nimmt bis 100 MHz linear um ungefähr 0,5 dB zu.

Während der Messung hat sich gezeigt, daß bei Berührung eines Übertragers die Werte mitunter völlig anders werden und nach Loslassen sehr oft nicht mehr in den vorherigen Zustand zurückkehren. Nach einigem Probieren hat sich herausgestellt, daß das Material der Mischung 77 im Gegensatz zu allen anderen untersuchten Kernen elektrisch leitend ist. Der Widerstand zwischen zwei gegenüber angelegten Prüfspitzen liegt bei etwa 2500 Ohm.

Diese Kerne sind nicht beschichtet und haben stellenweise scharfe Ränder, die beim Bewickeln die Isolation abschürfen. Die Folge sind hochohmige Wicklungs- und Windungsschlüsse, die das Meßergebnis verfälschen. Im Verlauf der Suche nach der Ursache sind die Meßwerte immer schlechter geworden, weil dabei an immer mehr Stellen der Lack durchgescheuert worden ist. Will man den Isolierlack der Drähte beim Bewickeln der Kerne nicht beschädigen, dann erreicht man das nur durch sehr sorgfältiges Entgraten mit Rund- und Flachfeile. Die Abb. 18 bis 21 sind mit solcherart nachgearbeiteten Kernen ermittelt worden. Auch diese Variante erreicht nicht das gesteckte Ziel.

Die Kerne der Variante 5 sind mit Kunststoff beschichtet, daher isoliert und sie haben keinerlei scharfe Kanten. Mit den bei der Variante 4 gefundenen Unzulänglichkeiten ist deshalb hier nicht zu rechnen. Die Anpassung von Variante 5 ist aus den Abbildungen 22 und 23 ersichtlich.

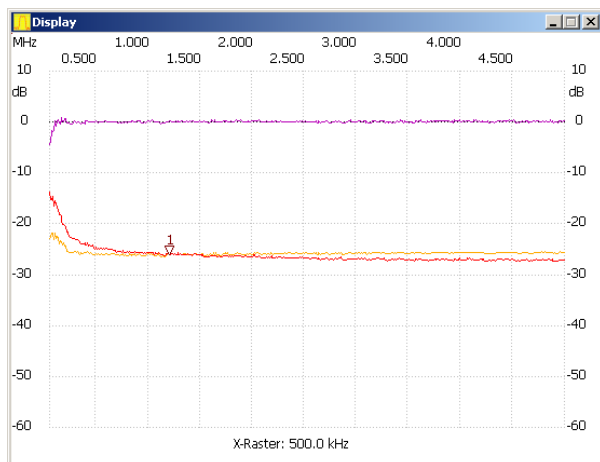


Abb. 22: Var. 5, Rückflußdämpfung von 50 kHz bis 5 MHz

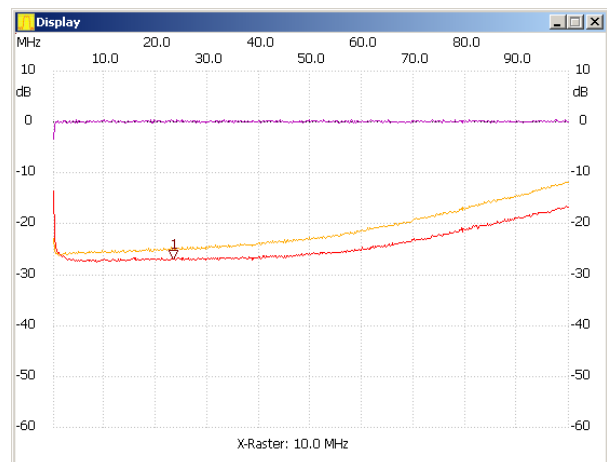


Abb. 23: Var. 5, Rückflußdämpfung von 50 kHz bis 100 MHz

Die mit den Varianten 4 und 5 erreichten Werte für die Isolation sind nicht viel schlechter als jene, die K8ZOA in seinem Beitrag [3] beschreibt; die Durchgangsdämpfung ist im Bereich über 30 MHz sogar geringer, wie aus Abb. 25 hervorgeht. Die Verwendung einer Leiterplatte scheint kein wesentlicher Nach-

Splitter/Combiner

teil zu sein. Das hier verwendete Meßgerät ist allerdings bei weitem nicht so genau wie seines, dafür aber auch nicht so sündteuer.

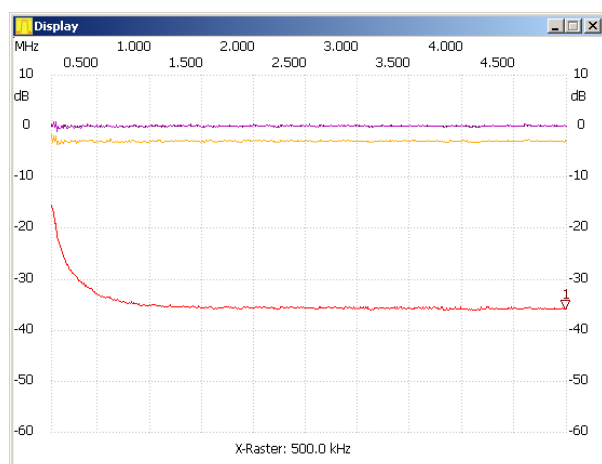


Abb. 24: Var. 5, Verlauf von Durchgangsdämpfung und Isolation von 50 kHz bis 5 MHz

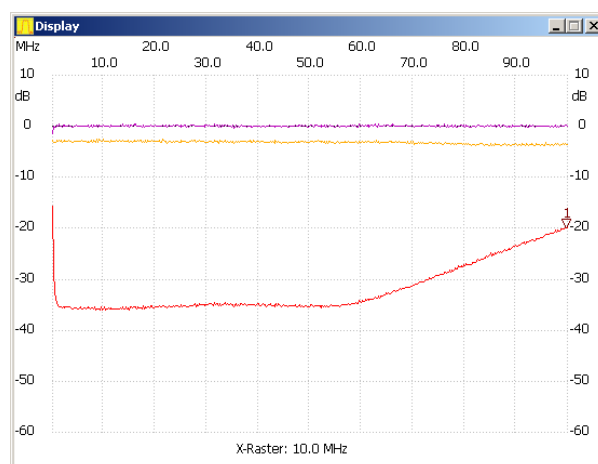


Abb. 25: Var. 5, Verlauf von Durchgangsdämpfung und Isolation von 50 kHz bis 100 MHz

Variante 5 liefert zumindest im unteren Frequenzbereich die besten Werte: bei 100 kHz beträgt die Isolation knapp mehr als 20 dB, das Wunschziel von 30 dB wird allerdings erst bei 300 kHz erreicht. Mangels Besserem ist diese Variante schlußendlich für die IP3-Messung verwendet worden.

Um sicher zu sein, daß die Übertrager dieser Variante bei 1,5 dBm nicht schon im Bereich der Sättigung arbeiten, wurde die Dämpfung bei 1,5 und -18,5 dBm verglichen (Abb. 26 und 27, rechnerisch korrigiert auf 0 und -20 dBm). Die Kurven haben überall den erhofften Abstand von 20 dB.

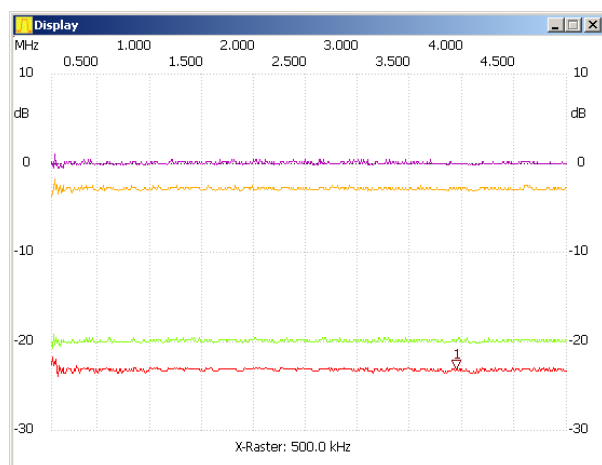


Abb. 26: Durchgangsdämpfung bei unterschiedlichen Pegeln von 50 kHz bis 5 MHz bei Var. 5

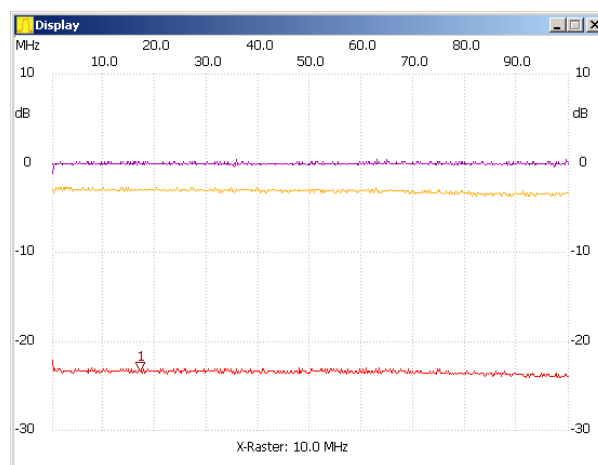


Abb. 27: Durchgangsdämpfung bei unterschiedlichen Pegeln von 50 kHz bis 100 MHz bei Var. 5

Abschließend wurde noch das Großsignalverhalten dieses Splitters bei 100 kHz untersucht. Weil die erste Oberwelle bei den hierzu verwendeten Generatoren nur 30 bis 40 dB unter dem Träger liegt, sind ihnen L/C-Tiefpässe nachgeschaltet worden, die mit [6] berechnet wurden und in [11] im Verzeichnis „TECHNIK/SOFTWARE/HELPER“ dokumentiert sind. Damit liegt dann die erste Oberwelle der Generatoren 90 dB unter dem Wert des Trägers – ausreichend für eine ungefähre IP3-Messung. Ein wesentlicher Unsicherheitsfaktor bei dieser Messung war allerdings der gegenüber einem Quarzoszillator vergleichsweise breite Rauschsockel der beiden Generatoren; Besseres war zu der Zeit nicht verfügbar.

Die Auswertung der Diagramme Abb. 28 und 29 ergibt einen IP3 von 26 dBm. Er liegt ein Stück über dem zu erwartenden Wert für die Aktivantenne und wird deshalb das dortige Meßergebnis nicht wesentlich verfälschen.

Splitter/Combiner

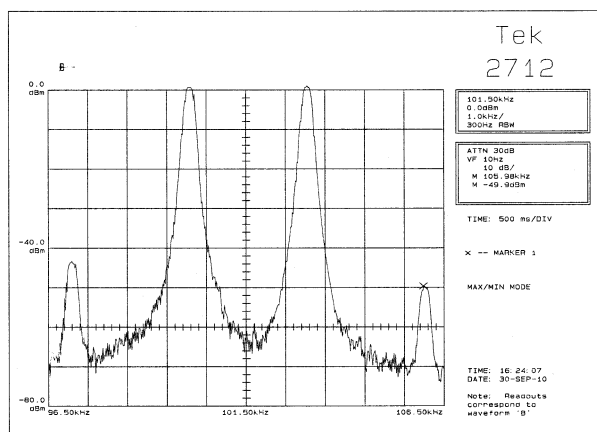


Abb. 28: IM3-Produkte bei 100 kHz und +1 dBm bei Var. 5

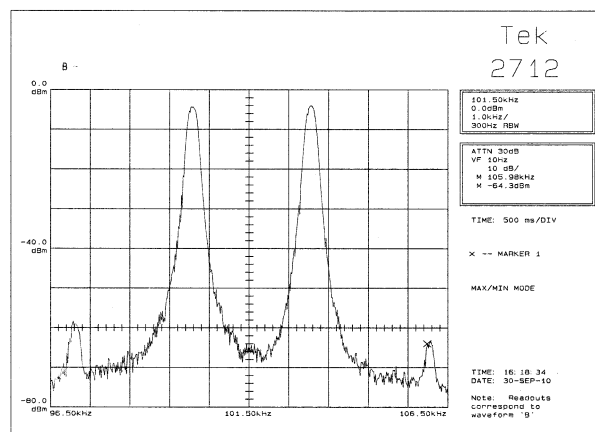


Abb. 29: IM3-Produkte bei 100 kHz und -4 dBm bei Var. 5,

Bisher sind die Versuchsmuster hauptsächlich im Hinblick auf die Verwendbarkeit zur Untersuchung der Großsignalfestigkeit bei einer unteren Grenzfrequenz von 100 kHz beurteilt worden.

Alle Varianten sind jedoch für übliche Anwendungen [7] im KW-Bereich und darüber hinaus uneingeschränkt zu gebrauchen, wie Tabelle 1 zeigt. Dabei ist eine Isolation von 30 dB in vielen Anwendungen nicht notwendig, oft genügen schon 20 dB.

Variante	Isolation				Durchgangsdämpfung	
	30 dB		20 dB		bei 100 kHz	bei 100 MHz
	untere GF [MHz]	obere GF [MHz]	untere GF [MHz]	obere GF [MHz]	[dB]	[dB]
1	2,0	70	0,50	98	3,0	3,5
2	1,0	40	0,20	70	3,0	5,0
3	1,3	73	0,40	100	3,0	3,5
4	0,5	78	0,13	100	3,0	3,5
5	0,3	72	0,08	100	3,0	3,5

Tabelle 1

Wozu braucht man einen Splitter/Combiner noch?

Eine häufige Anwendung ist die Zusammenschaltung von zwei Antennen auf einen Empfänger entweder zum Zweck der Verbesserung der Signalstärke oder für den Diversity-Empfang:

- Weisen die beiden (gleichen) Antennen in dieselbe Richtung, dann wird der Antennengewinn um 3 dB (abzüglich der Verluste im Combiner) verbessert. Dazu ist die elektrische Länge der Leitungen zwischen Antennen und Combiner genau abzustimmen, damit die Signale gleichphasig an den Combiner gelangen.
- Schaltet man zwei Richtantennen zusammen, dann lassen sich so zwei ganz unterschiedliche Richtungen abdecken. Die Kabellänge spielt dabei keine Rolle.
- Bei Antennen-Diversity sind die Antennen in einem entsprechenden Abstand errichtet, in einem speziellen Empfänger mit zwei Eingangsteilen wird mit einem elektronischen Schalter immer das stärkste Signal ausgewählt und in den darauffolgenden Stufen weiter verarbeitet. Damit läßt sich das Problem des selektiven Fadings in den Griff bekommen. Näheres dazu ist bei [8], [9] und [10] zu finden.

Es geht aber auch umgekehrt:

- An einer Antenne lassen sich damit zwei unabhängige Empfänger betreiben; dabei bekommt jeder Empfänger die Hälfte der von der Antenne gelieferten Leistung.
- Im Empfängerbau und in der Meßtechnik kommen Splitter zum Aufteilen der Oszillatorleistung auf mehrere Verbraucher, beispielsweise auf Empfangs- und Sendemischer, zur Anwendung.

Unterlagen

Das Leiterplatten-Layout ist in der gepackten Datei 'split01.zip' enthalten, ebenso ein Vergleichsmaßstab zum Überprüfen der Maßhaltigkeit des Druckers. Eine allfällige Änderung der Vergrößerung läßt sich

Splitter/Combiner

in der *.ps-Datei vornehmen. Wie man mit der *.ps-Datei verfährt, ist bei [11] im Verzeichnis „TECHNIK/WERKSTATT/TIPPS“ unter „Platinenentwurf“ nachzulesen.

Helmut, OE5GPL

Verweise und Quellen:

- [1] Le Fouler, Jean-Franc (Jeff), F6AOJ: http://f6aoj.ao-journal.com/crbst_136.html
- [2] Gale, Todd W., VE7BPO: <http://www.qrp.pops.net/swl-ant-split.asp>
- [3] Smith, Jack, K8ZOA:
<http://www.cliftonlaboratories.com/Documents/Notes on Building a Z10050A.pdf>
- [4] Fa. Andy Fleischer: http://www.andyquarz.de/pageID_4905341.html
- [5] Fa. CONRAD:
<http://www.conrad.at/ce/de/product/500575/RINGKERN-BESCHICHTET-10X6X4-N30>
- [6] AADE FILTER DESIGN AND ANALYSIS V 4.42: <http://www.aade.com/filter32/download.htm>
- [7] Schnorrenberg, Werner, DC4KU, Power Splitter & Power Combiner:
http://www.mydarc.de/dc4ku/Power_Splitter.pdf
- [8] WIKIPEDIA: <http://de.wikipedia.org/wiki/Antenna-Diversity>
- [9] CLASSIC BROADCAST HomePage:
http://www.classicbroadcast.de/stories/stories_TelefunkenKurzwellentechnik.pdf
- [10] Radiomuseum, HomePage:
http://www.radiomuseum.org/forum/empfang_mit_frequenz_diversity.html
- [11] OAFV-HomePage: <http://www.oe5.oevsv.at>