

Leistungs- / SWR Präzisions-Messkoppler

0,4 ... 70 MHz

100mW ... 2kW

Richtschärfe

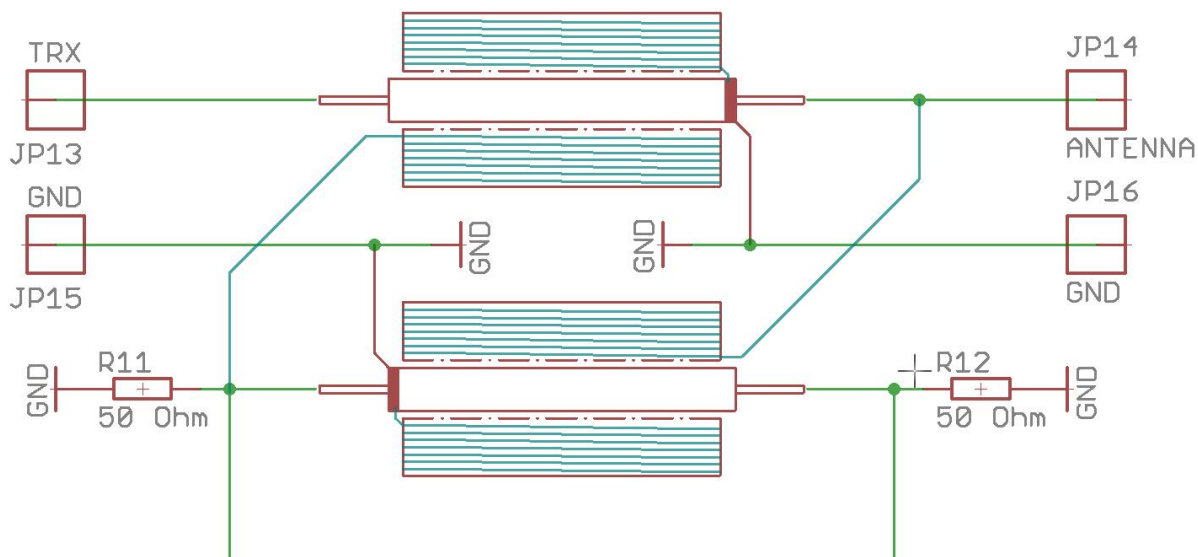
Beim Bau eines Richtkopplers versucht man eine möglichst hohe Richtschärfe zu erreichen. Dafür bekommt man eine optimale Auflösung bei der SWR Messung.

Im Internet findet man einige Bauprojekte solcher Koppler mit dem bekannten AD8307. Dort überbietet man sich mit Richtschärfen von über 30dB bis 40dB, ja 50dB oder sogar 60dB habe ich schon gesehen.

In diesem Artikel möchte ich das Verständnis für Messfehler vertiefen und warum man bei der Beurteilung von Messergebnissen immer auch den Messaufbau klar und detailliert dokumentieren muss, denn sonst sind es einfach nur Zahlen auf dem Papier. Außerdem benötigt man für solch hohe Richtschärfen Messgeräte in der Preisklasse von Mittelklasse-Autos. Um das zu zeigen reichen ein paar einfache Formeln.

Beispiel: Kurzwellen Richtkoppler mit 2 Ringkernen

bauen wir einen Richtkoppler für den KW Bereich inkl. 50 MHz. Die typische Schaltung sieht so aus:



der obere Ringkern misst den Strom durch den Innenleiter des Antennenkabels und der untere Ringkern misst die Spannung am Antennenanschluss. Zusammen mit den 50 Ohm Widerständen erzeugt diese Messbrücke ein HF-Signal das der vorlaufenden Leistung entspricht, und eines das der rücklaufenden entspricht.

Watt und dBm:

Leistungen gibt man umgangssprachlich immer in Watt an. Für Berechnungen und Schaltungsentwicklung ist es aber einfacher die Leistung in dBm anzugeben.

Die Umrechnung von Watt in dBm (und umgekehrt) ist einfach, dBm bedeutet dass wir uns auf 1 Milliwatt beziehen. Eine Leistung von 1 Milliwatt bezeichnet man daher mit 0 dBm. Danach geht es in 10er-Schritten aufwärts:

10mW = 10dBm
100mW = 20dBm
1W = 30dBm
10W = 40dBm
100W = 50dBm
1kW = 60dBm

Richtschärfe:

„Richtschärfe“ bedeutet, dass der Koppler die hin- und rücklaufende Leistung bestmöglich unterscheiden kann. Je besser das klappt umso genauer kann man das SWR messen.

Dazu ein einfaches Beispiel:

Wir speisen eine Leistung von 100 Watt (50dBm) in den Richtkoppler, den Antennenanschluss schließen wir mit einer (theoretischen) perfekt-idealen 50 Ohm Dummyload ab. Es sollte also keine rücklaufende Leistung vorhanden sein, wir dürfen nur eine vorlaufende von 100 Watt (50dBm) messen.

Wir würden daher erwarten am Ausgang der vorlaufenden Leistung einen Wert von 50dBm zu messen und am Ausgang der rücklaufenden einen Wert von 0, also gar nichts. In der Praxis sieht es aber anders aus. Hier die Messwerte eines realen Kopplers:

vorlaufende Leistung 50 dBm (entspricht 100 Watt) rücklaufende Leistung 16 dBm (entspricht 0,04 Watt)

die Richtschärfe dieses Kopplers wäre also $50 - 16 = 34\text{dB}$. Diese 34dB zeigen, dass der Richtkoppler ein wenig rücklaufende Leistung anzeigt obwohl eigentlich keine da sein sollte. Es ist einfach der Messfehler des Kopplers. Je höher die Richtschärfe ist umso besser ist der Koppler.

Auflösung bei der SWR Messung:

Die Richtschärfe zeigt die Auflösung des Kopplers. Man kann das mit einer Formel in das kleinste SWR umrechnen das mit diesem Koppler noch messbar ist. Anstelle einer unübersichtlichen Formel, hier eine fertig gerechnete Tabelle:

<u>Leistung FWD</u>	<u>Leistung REV</u>	<u>Richtschärfe</u>	<u>messbares SWR</u>
<u>dBm</u>	<u>dBm</u>	<u>dB</u>	<u>:1</u>
50,0	0,0	50,0	1,006
50,0	5,0	45,0	1,011
50,0	10,0	40,0	1,020
50,0	15,0	35,0	1,036
50,0	20,0	30,0	1,065
50,0	25,0	25,0	1,119
50,0	30,0	20,0	1,222
50,0	35,0	15,0	1,433
50,0	40,0	10,0	1,925
50,0	45,0	5,0	3,570
50,0	50,0	0,0	???

Anforderungen an die Präzision, zunächst ein Beispiel eines schlechten Kopplers:

Angenommen jemand baut einen Richtkoppler der „nur“ 20dB Richtschärfe hat. Das bedeutet, lege ich 50dBm (100 Watt) Leistung an, so zeigt der Richtkoppler fälschliche eine rücklaufende Leistung von 30dBm (1 Watt) an. Anhand obiger Tabelle kann man sehen, dass bei einer Richtschärfe von 20dB ein SWR von 1,22:1 angezeigt wird selbst wenn gar keine rücklaufende Leistung vorhanden ist.

Dafür gibt es viele Gründe, einer davon ist die Toleranz der 50 Ohm Widerstände im Koppler. Damit der Koppler diesen Messfehler zeigt, müsste einer der 50 Ohm Widerstände einen tatsächlichen Wert von ca. 41 oder 61 Ohm haben. Natürlich könnte es auch sein dass diese Widerstände stimmen, stattdessen aber unsere Dummyload nur 41 (oder 61) Ohm hat. Das würde den gleichen Fehler bewirken, oder es ist eine Kombination aus beiden Fehlern.

Das ist nichts ungewöhnliches. Meine 1kW Dummyload (Hersteller: Vectronics USA) hat z.B. 64 Ohm im kalten Zustand und 55 im heißen.

Handelsübliche SWR Meter liegen in der Genauigkeit vermutlich in diesem Bereich, teure Geräte vielleicht bis 30dB Richtschärfe.

und hier ein Beispiel eines der vielen Bauprojekte, ein 40dB Koppler:

führen wir jetzt die gleiche Rechnung für einen Richtkoppler durch, dessen Präzision einer Richtschärfe von 40dB entsprechen soll.

Bei einer zu messenden Leistung von 50dBm (=100W) würde dieser Koppler eine falsche rücklaufende Leistung (siehe Tabelle) von 10dBm (=10mW) anzeigen, was einem SWR von 1,02 entspricht.

Wenn wir wieder die 50 Ohm Widerstände als Fehlerquelle hernehmen, so bedeutet das dass der Widerstand statt 50 Ohm tatsächlich einen Wert von 49 oder 51 Ohm hat. Das wäre eine Toleranz von +/- 2%. Die in Präzisions-Dummyloads üblicherweise benutzten HF-Widerstände der Firma Florida-RF haben Toleranzen von 1 bis 10%, je nach Preis, liegen also in diesem Bereich.

Wir haben aber 3 solche Widerstände, zwei im Koppler und einen in der Dummyload. Um Messfehler durch die Widerstände auszuschließen, müssen alle drei weniger als 1% Toleranz haben, und das über den ganzen Frequenzbereich. Auf dem 80m Band geht das noch einfach, bei 50 MHz wird diese Genauigkeit aber eine echte Herausforderung.

Zusätzlich haben wir, vor allem auf 50MHz, Fehler durch ungewollte Kopplungen, parasitäre Kapazitäten und Induktivitäten, und was man nicht vergessen darf, durch die Linearität der AD8307. Oft werden Richtkoppler durch Einbau von kleinen Kondensatoren (einige 10 pF) kompensiert. Ich habe aber die Erfahrung gemacht, dass man mit diesen Cs nur vorhandene Fehler kaschiert und sich dabei leicht Resonanzen einhandelt. Besser ist es den Richtkoppler so aufzubauen dass er ohne Kompensation auskommt.

Die realistische Machbarkeit eines Richtkopplers liegt vermutlich bei maximal 35dB, was schon eine beachtliche Leistung ist, denn ein SWR von 1,04 : 1 messen zu können ist durchaus beeindruckend.

und zum Spaß noch einer den angepriesenen 50dB Koppler:

er würde an der perfekten Dummyload bei 100W eine rücklaufende Leistung von 1mW (=0dBm) zeigen. Die erlaubten Toleranzen der 50 Ohm Widerstände wären hier 49,7 bis 50,3 Ohm, also +/- 0,6%. Das für alle drei Widerstände. Wir würden also HF-tauglich Widerstände mit 0,1% Genauigkeit brauchen und natürlich muss das Layout und die Verdrahtung perfekt angepasst sein. Das das nicht klappen kann ist klar.

Messung der Richtschärfe:


die oben benutzte Toleranz der 50 Ohm Widerstände ist nur eine von vielen Fehlerquellen, ich habe sie benutzt weil sie leicht verständlich ist.

Viel schwieriger ist es jedoch die Richtschärfe tatsächlich auch messen zu können, denn hier ist echte Präzision bei den Messmitteln und vor allem Kabel und Verdrahtung gefordert.

Ich habe einen 40dB Koppler gebaut welcher „deutlich“ unterschiedliche Ergebnisse gezeigt hat je nachdem welches Koaxkabel ich für die Dummyload benutzte und ob ein PL-N Adapter eingeschleift war. Wenn man im Bereich von besser als 1,1 : 1 misst dann merkt man schnell dass Koaxkabel sehr unterschiedliche Qualität haben, und dass Adapterstecker eine Katastrophe sind.

Um vernünftig messen zu können habe ich schließlich einen 50 Ohm-HF-Widerstand ganz ohne Kabel und Stecker an den Ausgang des Richtkopplers gelötet.

Allein daran sieht man schon, dass Richtschärfen von 40dB und eher ins Reich des Voodoo gehören. Alles was besser als 25dB ist, eignet sich für den Zweck der Antennenanpassung sehr gut.

Bauprojekte die Richtschärfen von über 30dB zeigen, sollten immer den Messaufbau sowie die Toleranzen der benutzten Messmittel genau dokumentieren. Ich hoffe dass ich mich selbst an diese Anforderung halten kann 

Leistungsmessung zum Abgleich:

um die Werte des Richtkopplers bestimmen zu können ist es notwendig die anliegende HF-Leistung möglichst genau zu kennen.

Zunächst habe ich einfach ein Oszilloskop mit einem 10:1 Tastkopf drangehalten, die HF-Spannung gemessen und mit $P = U^2 / 50$ die Leistung berechnet. Eigentlich ist das eine sehr genaue Methode, ABER leider verfälscht die Kapazität eines Tastkopfs die Messung der Richtschärfe ganz erheblich, vor allem auf höheren Frequenzen.

Nach vielen Versuchen bin ich dann auf folgende Lösung gekommen:

am Eingang des Richtkopplers wird ein auf 50 Ohm angepasstes Auskoppelglied angebracht, alles so kurz wie möglich, mit SMD Widerständen da diese für HF viel besser sind als bedrahtete Typen.

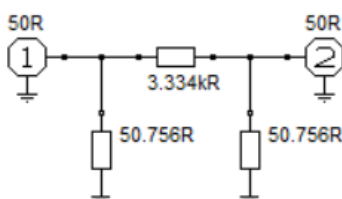
(man verzeihe mir das Gekritzel, Freihandzeichnen mit der Maus gehört nicht zu meinen Stärken)



der obere Widerstand (an TRX) hat 3,3 kOhm, der untere gegen Ground hat 50 Ohm. Wenn man keinen 50 Ohm Widerstand hat, so kann man 56 Ohm und 470 Ohm parallel schalten. An der Verbindung der beiden Widerstände greift man mit einem dünnen Koaxkabel ab und dem Schirm des Kabels legt man auf die Massefläche.

Diese Auskopplung beeinflusst die Messungen am Richtkoppler nicht. Die Auskoppeldämpfung beträgt: 42,5 dB (je nach Toleranz kann es zwischen 42,2 und 42,8 dB liegen, bei Bedarf nachmessen). Das angeschlossene Messgerät (Oszi, Analyser usw) muss einen 50 Ohm Eingang haben !

Wie funktioniert diese Auskopplung ?



der linke 50 Ohm Widerstand ist die Dummyload welche am Ausgang des Richtkopplers angeschlossen ist. Die anderen beiden Widerstände werden wie im Bild oben aufgelötet. Dieses Dämpfungsglied hat eine berechnete Abschwächung von 42,5 dB. Aber wie man schon sieht sind die Widerstandswerte nicht 100% genau, daher wird es eine Abweichung von ein paar zehntel dB geben. Das kann bei einer Leistungsmessung schon mal mehrere Watt Fehler bringen, eigentlich nicht schlimm, aber wer es noch genauer will muss daher die genaue Dämpfung des Auskoppelglieds vorab messen.

Und noch etwas das mir stundenlanges Kopfzerbrechen machte: die gemessene Leistung nach dem Auskoppelglied war immer einen Tick zu klein als sie hätte sein müssen. Aber natürlich haben auch das Koaxkabel und die Stecker zum Messgerät eine kleine Dämpfung, das sind zwar nur winzige zehntel dB, aber in Summe macht sich das schon bemerkbar.

In der Praxis ist das alles vollkommen egal. Aber ich weiß dass viele Funkamateure (so wie ich) die Dinge päpstlich genau angehen möchten und dann muss man eben auch solch kleine Einflüsse bedenken.

From:

<http://projects.dj0abr.de/> - **DJ0ABR Projects**

Permanent link:

http://projects.dj0abr.de/doku.php?id=de:pwrswr:pwrswr_dir

Last update: **2021/05/13 13:55**

