

Diplexer für den gleichzeitigen CW- und SSB-Betrieb an derselben Antenne am NMD im 80 m-Band

Werner Baumberger HB9CLN, Andrea Meier HB3YMQ

Mit der Ausschreibung des Sonderpreises „Betriebsart SSB“ für den NMD 2017 kam bei uns der Wunsch auf, für CW- und SSB-Betrieb am NMD dieselbe Antenne zu nutzen. 2017 lösten wir dieses Problem auf die gleichermaßen einfache wie unelegante Weise: durch umstöpseln, also Dipol-Sharing. So stand jedem von uns nur die halbe Contest-Zeit zur Verfügung. 2018 wollten wir das besser machen.

Technische Möglichkeiten

Neben dem erwähnten Dipol-Sharing mit dem unvermeidlichen Zeitverlust für die beiden Teilnehmer sind folgende Möglichkeiten denkbar:

1. Aufhängen von zwei rechtwinklig zueinander stehenden Dipolen am selben Mast (resp. am selben bestehenden Bauwerk)

Da der Mast einen wesentlichen Anteil am Aufwand für den Antennenbau am NMD darstellt resp. ein geeignetes bestehendes Bauwerk an einem Standort meist nur einmal vorhanden ist (z. B. Aussichtsturm), ist dies durchaus eine Option. Es werden zweimal 40 m Draht und zwei Speiseleitungen benötigt, aber bloss eine Aufhängung. Kritisch ist bei dieser Lösung die erzielte Isolation zwischen den beiden Dipolen. Durch die rechtwinklige Anordnung sollte diese maximiert werden können.

2. Anschluss der beiden TRX über einen symmetrischen Leistungsteiler (*Splitter*) am selben Dipol
Diese Lösung verursacht einen theoretischen Leistungsverlust von 3.0 dB in jedem Pfad (SSB-TRX - Dipol, CW-TRX - Dipol), in der Praxis geringfügig mehr. Dieser Verlust ist im Empfangsfall irrelevant, im Sendefall aber doch schmerzhaft. Zudem dürfte die (theoretisch sehr hohe) Isolation zwischen den beiden Funkgeräten in der Praxis 20 dB kaum überschreiten und deswegen ungenügend sein.

3. Anschluss über einen symmetrischen Leistungsteiler mit Relais-Bypass am selben Dipol

Diese Lösung wurde von Hugo HB9AFH im Jahre 2005 mit Erfolg getestet [1]. Mit ihr können beide OP mit ihren Empfängern gleichzeitig hören und beim Senden entsteht kein Leistungsverlust. Allerdings hört der zweite OP nichts mehr, sobald der erste OP sendet und umgekehrt. Gleichzeitiges Senden ist ebenfalls nicht möglich. Es ist also eine Koordination nötig, ein völlig unabhängiger Betrieb ist ausgeschlossen.

4. Anschluss der beiden TRX über einen Diplexer (Frequenzweiche) am selben Dipol

Da CW- und SSB-Betrieb in zwei verschiedenen Segmenten (3510 - 3560 kHz für CW, 3600 - 3650 kHz für SSB) durchgeführt wird, bietet sich der Einsatz einer Frequenzweiche an. Sie verspricht einen völlig unabhängigen Betrieb und weist zumindest theoretisch (beim Einsatz idealer Spulen und Kondensatoren) keinen Verlust auf. Allerdings liegen die beiden Subbänder nah beieinander, die Lücke dazwischen beträgt bloss 40 kHz.

Diese Lösung wurde für den NMD 2018 ausgewählt und wird in den folgenden Abschnitten beschrieben. Offen ist an dieser Stelle, wie viel Isolation zwischen den beiden TRX für störungsfreien

Betrieb nötig ist resp. wie gravierend die gegenseitigen Störungen bei einer gegebenen Isolation ausfallen; ferner ist von zentralem Interesse, wie gross die Einfügedämpfung zwischen den beiden TRX und der Antenne mit realen Bauteilen ausfällt.

Schaltungs-Design und Simulation

Diplexer (Frequenzweichen) lassen sich mit verschiedenen Bauteilen und in verschiedenen Topologien realisieren. Während für UKW-Relais zur Trennung von Up- und Downlink Koaxialresonatoren (Topfkreise) als selektive Elemente verwendet werden, kommen für die vergleichsweise tiefen Frequenzen im 80 m-Band praktisch nur Spulen und Kondensatoren in Frage. Quarze scheiden aus, da sie die Sendeleistungen von 5 W und mehr nicht überstehen würden.

Schaltungstechnisch wurden zunächst Hochpass-Tiefpass-Diplexer sowie zusammengeschnittene Bandpässe untersucht. Hier zeigte sich, dass für eine ausreichende Isolation sehr hohe Ordnungen nötig sind, also sehr viele Bauteile verbaut werden müssen. Zudem ist der Abgleich der einzelnen Komponenten für den Nichtfilterfachmann eine Herausforderung.

Als gangbare Lösung erwiesen sich Kaskaden von Sperrkreisen mit zusätzlicher Parallelresonanz, die mittels Lambda-Viertel-Leitungen zusammengeschnitten werden. Die einfachstmögliche Schaltung mit je einem Sperrkreis zeigt Fig. 1.

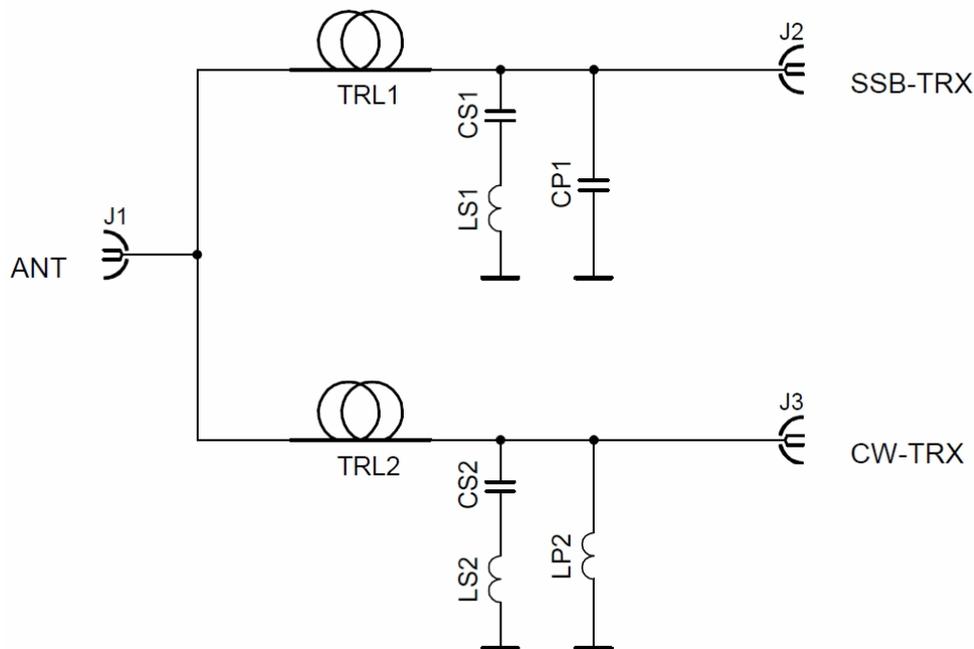


Fig. 1 Einfachstmögliche Diplexerschaltung ($TRL1/2 = 90^\circ$ lange $50\ \Omega$ -Leitungen)

Die Wirkungsweise ist wie folgt:

Der Serienschwingkreis LS1-CS1 erzeugt ein Dämpfungsmaximum im CW-Bandsegment (Sperrkreis; z. B. bei 3530 kHz), LS2-CS2 erzeugt eines im SSB-Band (z. B. bei 3630 kHz).

Der Parallelschwingkreis CP1 erzeugt zusammen mit dem CW-Sperrkreis LS1-CS1 eine höher liegende Parallelresonanz im SSB-Band (Durchlass; z. B. bei 3630 kHz), während LP2 zusammen mit LS2-CS2 eine tiefer liegende Parallelresonanz im CW-Band erzeugt (z. B. 3530 kHz).

Die beiden Lambda-Viertel-Leitungen TRL1 und TRL2 sind bei der Mittenfrequenz etwa 90° lang und dienen dazu, die durch die Sperrkreise bei den Sperrfrequenzen erzeugten Kurzschlüsse in Leerläufe zu transformieren. Sie werden also nur für die impedanzrichtige Zusammenschaltung der beiden Pfade am Antennenanschluss benötigt. Ihre genaue Länge ist wenig kritisch und sie können ohne weiteres durch eine konzentrierte Ersatzschaltung (pi-Netzwerk) ersetzt werden (s. weiter unten).

Bei den Sperrkreisen besteht ein Freiheitsgrad: Bei gegebenen Sperrfrequenzen kann z. B. der Wert der Spulen vorgewählt werden. Alle übrigen Bauteilwerte ergeben sich dann aus den gewählten Sperr- und Durchlassfrequenzen. Wählt man LS1 und LS2 eher klein, ergibt sich bei gegebener Spulengüte eine hohe Sperrdämpfung, jedoch auch eine hohe Einfügedämpfung im benachbarten Durchlassbereich. Bei grossen Werten für LS1 und LS2 ist es umgekehrt. Als guter Kompromiss wurde $LS1 = LS2 = 22 \mu\text{H}$ gewählt.

Für eine hohe Sperrdämpfung (als Ziel wurde willkürlich ein Wert von 60 dB angestrebt) werden je drei Sektionen benötigt. Die resultierende Schaltung zeigt Fig. 2, die für die Simulation verwendeten Werte der Bauteile Tab. 1. Um die Schaltung übersichtlich zu halten, sind die Lambda-Viertel-Leitungen weiterhin als Leitungen gezeichnet; für die Simulation und den physischen Aufbau wurden sie durch sechs identische pi-Glieder ersetzt (s. Fig. 2 unten links).

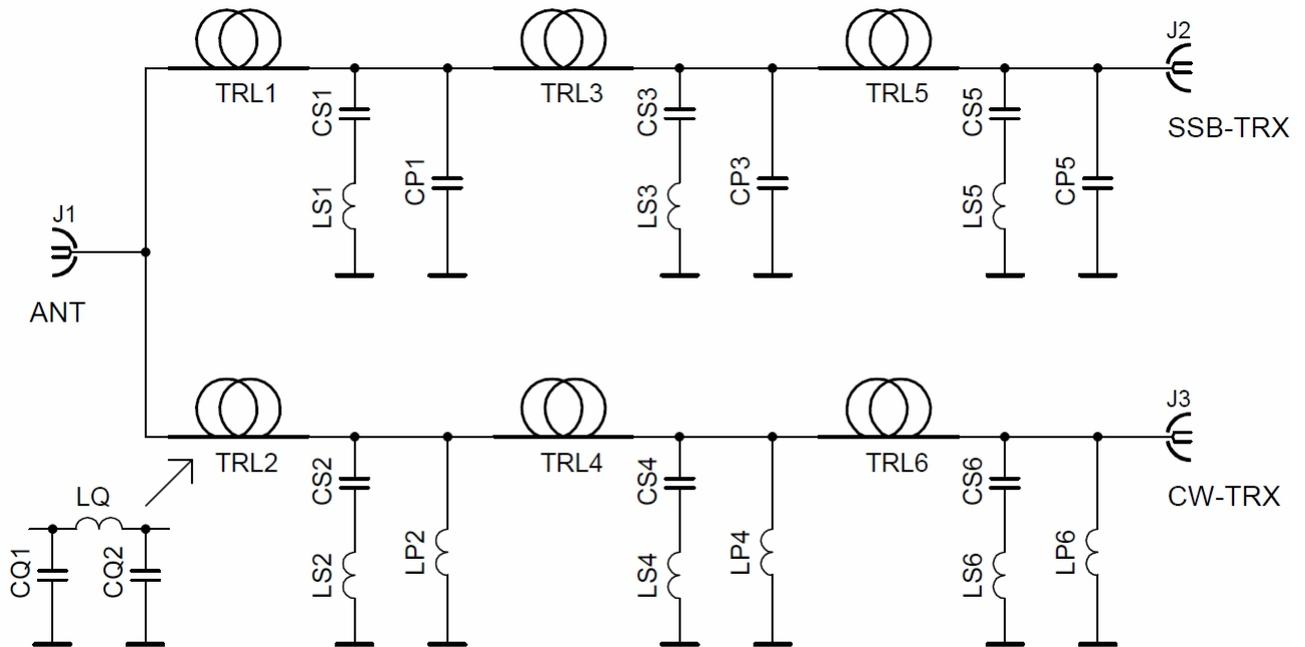


Fig. 2 Diplexerschaltung mit je drei Sektionen

Bauteil	Wert	Bemerkungen
LS1 ... LS6	22.5 μH	Sperrkreisspulen; alle LSx gleich
CS1, CS3, CS5	90.3 pF	Sperrkreiskondensatoren SSB-Pfad
CS2, CS4, CS6	85.4 pF	Sperrkreiskondensatoren CW-Pfad
CP1, CP3, CP5	1.5 nF	Parallelkondensatoren SSB-Pfad
LP2, LP4, LP6	1.3 μH	Parallelsulen CW-Pfad
CQ1, CQ2	889 pF	Kondensatoren der $\lambda/4$ -Nachbildung (pi-Glied)
LQ	2.22 μH	Spule der $\lambda/4$ -Nachbildung (pi-Glied)
QLS	230	Güte der Sperrkreisspulen
QLQ, QLP	150	Güte der übrigen Spulen

Tab. 1 Werte der Elemente von Fig. 2

Mit den gewählten Werten für die Seriiekondensatoren liegen alle Dämpfungspole je Pfad auf derselben Frequenz, 3530 kHz für den SSB- und 3630 kHz für den CW-Pfad. Auch die durch die Parallelelemente verursachten Parallelresonanzen sind je Pfad gleich.

Das mit Ansoft Designer SV [2] simulierte Verhalten zeigt Fig. 3. Die Kondensatoren wurden als ideal (verlustlos) angenommen, die Güten der Spulen entsprechen jenen der Tab. 1. Hierbei handelt es sich um realistische Werte, die mit Eisenpulverkernen von Amidon Associates der Grösse T80 resp. T50 erreicht werden können (Material #2 rot); s. hierzu auch [3].

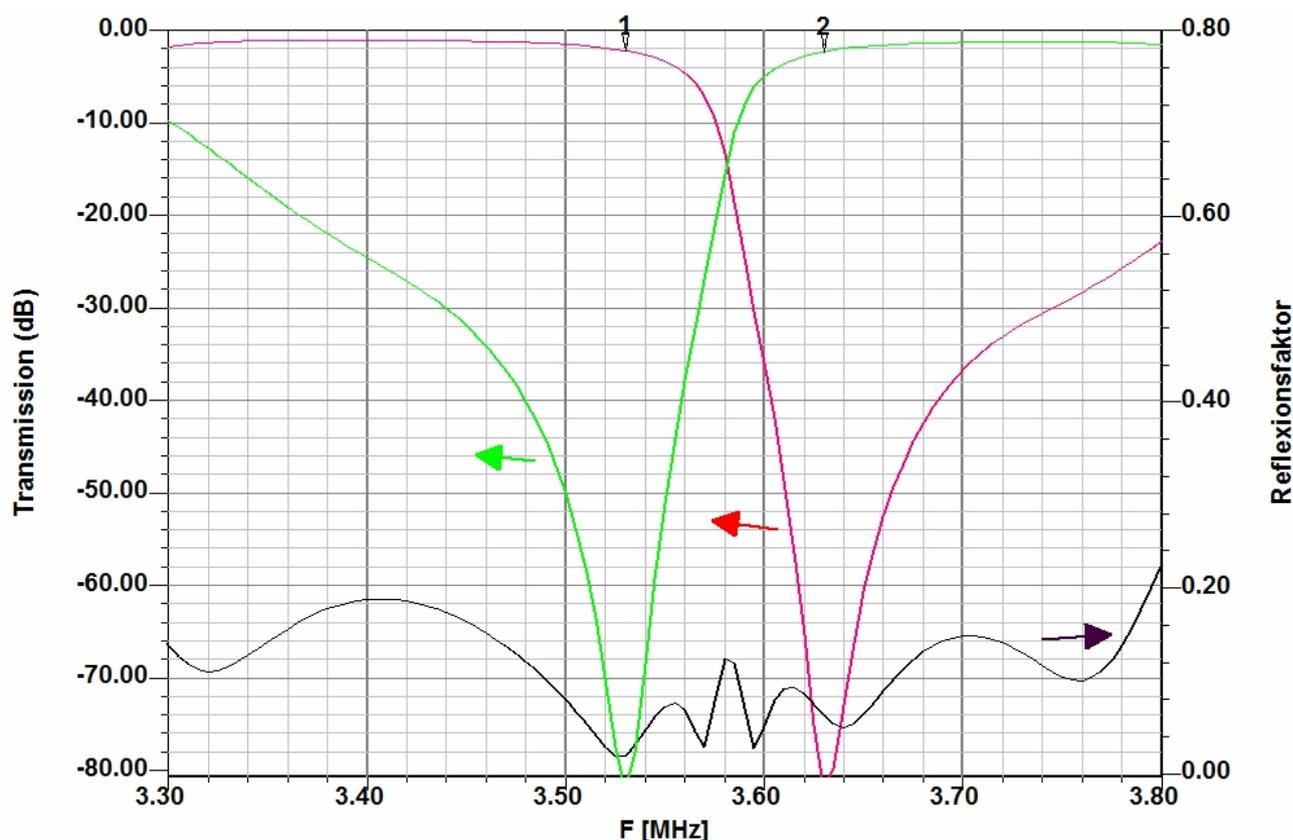


Fig. 3 Transmission vom Antennenanschluss zum SSB-TRX (grün) und zum CW-TRX (rot), Anpassung am Antennenanschluss (Reflexionsfaktor, schwarz); Werte gemäss Tab. 1

Die Einfügedämpfungen liegen in der Mitte der beiden Bandsegmente bei gut 2 dB, an den nahen Enden (3560 und 3600 kHz) steigt sie auf etwas über 4 dB an. Die Isolation ist über die grössten Teile der Bandsegmente >50 dB, bloss an den nahen Enden fällt sie auf rund 40 dB ab.

Aufbau, Tuning und Messresultate

Der Diplexer gemäss vorangehendem Abschnitt wurde auf einer selbst geätzten einseitigen Leiterplatte der Grösse 160 x 100 mm² schrittweise aufgebaut, abgestimmt und getestet. Für die Sperrkreisspulen wurden Ringkerne T80-2 (rot) verwendet, für die übrigen T50-6 (gelb, da keine #2 zur Verfügung standen). Die Kondensatoren sind vom Typ ATC100B (500 V), für einzelne sehr kleine Werte wurden bedrahtete Scheibenkondensatoren eingesetzt (ebenfalls 500 V).

Das Vorgehen dabei ist Folgendes:

1. Zuerst werden alle sechs Sperrkreisspulen gewickelt. Mit einem RLC-Meter wird überprüft, dass alle ungefähr dieselbe Induktivität haben (gut 20 μ H; die Abstimmung der genauen Sperrfrequenzen erfolgt später mit den Seriendensatoren CS_x). Anschliessend werden die Wicklungen mit Araldit fixiert.
2. Dann werden die Sperrkreisspulen mit Heisskleber auf der Leiterplatte befestigt und die Seriendensatoren CS_x hinzugefügt. Die Messung und Abstimmung der Resonanzfrequenz jedes Sperrkreises erfolgt in der definitiven Anordnung, d.h. Serie-LC zwischen durchgehender Leitung und Masse, s. Fig. 4. Die Frequenz, bei der die gemessene Übertragung minimal ist (Notch), ist die gewünschte Resonanzfrequenz. Um diese hinreichend genau zu treffen, sind bis zu drei parallel geschaltete Kondensatoren nötig (CS_A, CS_B und CS_C in Fig. 4). Für diese Messungen eignet sich grundsätzlich jede Kombination von durchstimmbarer Signalquelle und Pegelmessung; steht ein Netzwerkanalysator zur Verfügung, kann aus der Tiefe des Notches in dB auf die Güte des Serie-

kreises geschlossen werden, ein Excel-Sheet für die Berechnung kann unter [4] heruntergeladen werden.

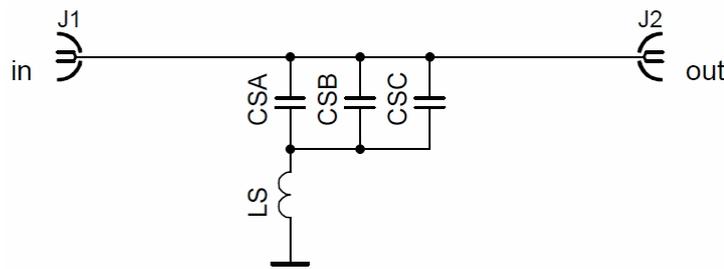


Fig. 4 Anordnung zum Abstimmen der einzelnen Sperrkreise

Bei der Auswahl der Kondensatoren CSx für die Sperrkreise ist Vorsicht geboten: Viele Kondensatoren, auch solche mit NP0-Dielektrikum, weisen eine zu geringe Güte auf. Auch billige Folien-trimmer (parallel zu je einem 82 pF ATC100B-Kondensator) können die Güte der Sperrkreise verschlechtern, weshalb hier die aufwändige Variante mit bis zu drei Festkondensatoren gewählt wurde. Die verwendeten Kondensatoren der Serie ATC 100B weisen eine Güte von >10000 bei 1 MHz auf.

3. Stimmen die Resonanzfrequenzen der einzelnen Sperrkreise, können die Parallelelemente CPx und LPx hinzugefügt werden. Dies geht am leichtesten mit einer Reflexionsmessung (mit Netzwerkanalysator oder Antennen-Analyzer) bei abgeschlossenem zweitem Anschluss (Fig. 5).

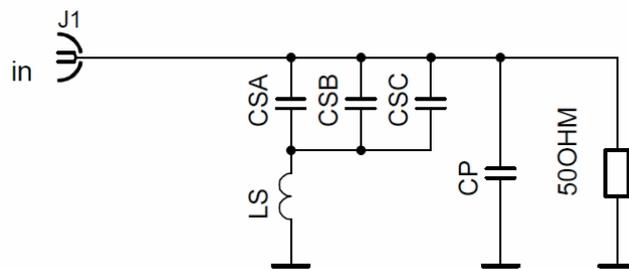


Fig. 5 Anordnung zum Abstimmen der einzelnen Parallelelemente (CP oder LP)

Der Wert des Parallelelementes wird so eingestellt, dass bei der gewünschten Durchlassfrequenz die Reflexion minimal ist; im Falle eines 3530 kHz-Sperrkreises wird CPx so gewählt, dass die Reflexion (VSWR oder Reflexionsfaktor) bei 3630 kHz minimal wird, bei den 3630 kHz-Sperrkreisen werden die LPx auf minimale Reflexion bei 3530 kHz eingestellt. Diese Abstimmung ist viel weniger empfindlich als die der Sperrkreiskondensatoren, eine Parallelschaltung von maximal zwei Kondensatoren reicht auf jeden Fall aus; im Fall der LPx wickelt man zu viele Windungen auf die Kerne und nimmt anschliessend einzelne Windungen ab oder man drückt die Wicklung zusammen oder zieht sie auseinander.

4. Jetzt werden noch die pi-Glieder aus den CQ1/2 und LQ, welche die Lambda-Viertel-Leitungen nachbilden, hinzugefügt, um die einzelnen Sperrkreise untereinander und mit den drei Buchsen zu verbinden. Wir hatten die elektrischen Längen der einzelnen pi-Glieder mit einem Netzwerkanalysator auf 90° elektrische Länge optimiert, dies dürfte aber unnötig sein; eine Genauigkeit von $\pm 10^\circ$ ist völlig ausreichend.

Die resultierende Hardware zeigt Fig. 6, die gemessenen Eigenschaften Fig. 7 und Fig. 8. Die Einfügedämpfung ist erwartungsgemäss mit rund 1.5 dB am unteren Ende des CW-Segments und am oberen Ende des SSB-Segments am geringsten. Die Rückflussdämpfung am SSB-Port ist >15 dB, entsprechend einem VSWR <1.43 , am CW-Port ist sie am oberen Ende des Bandsegments schlechter. Die Isolation zwischen den beiden TRX ist über den grössten Teil der Segmente >50 dB.

Der Diplexer mitsamt drei BNC-Buchsen und Abstandshaltern zum Aufstellen wiegt 160 g.

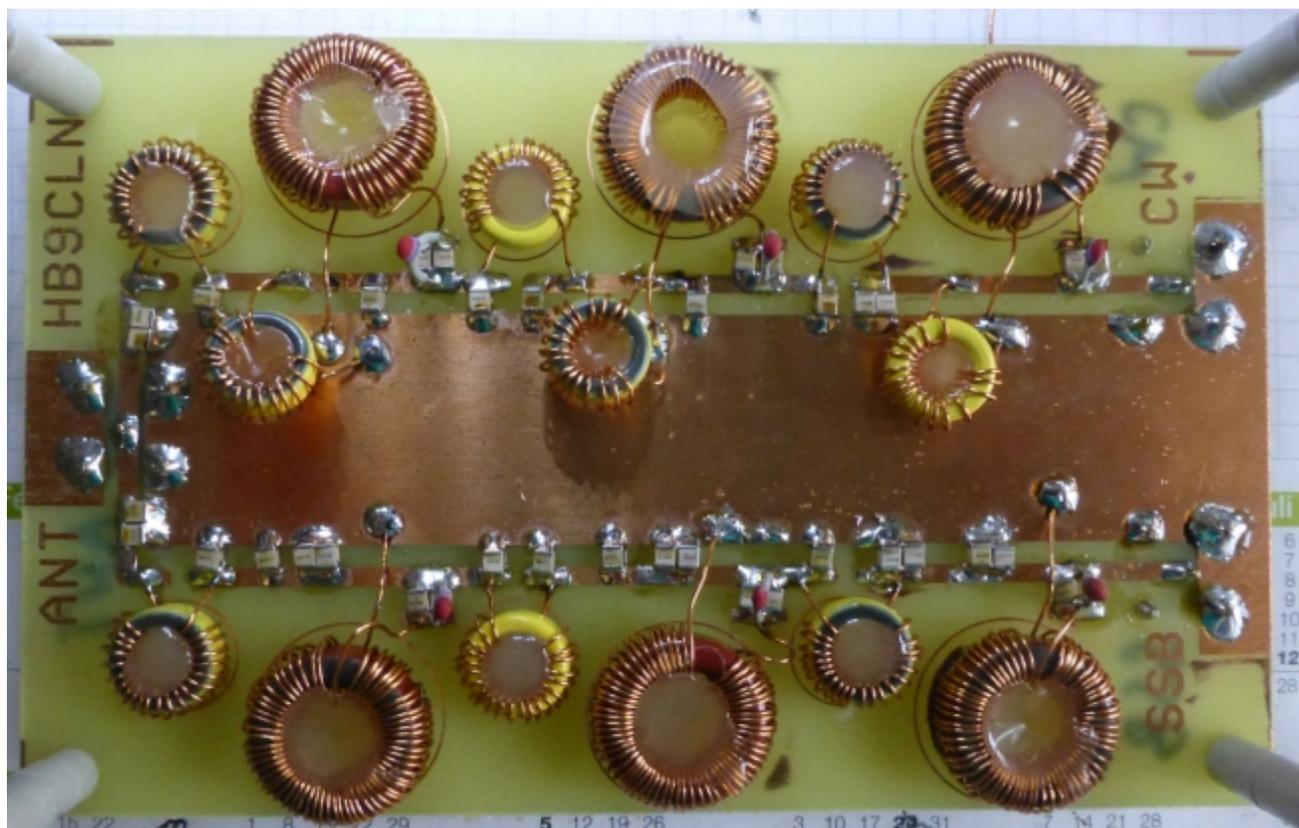


Fig. 6 Fertig aufgebauter und abgestimmter Diplexer, Grösse 160×100 mm²

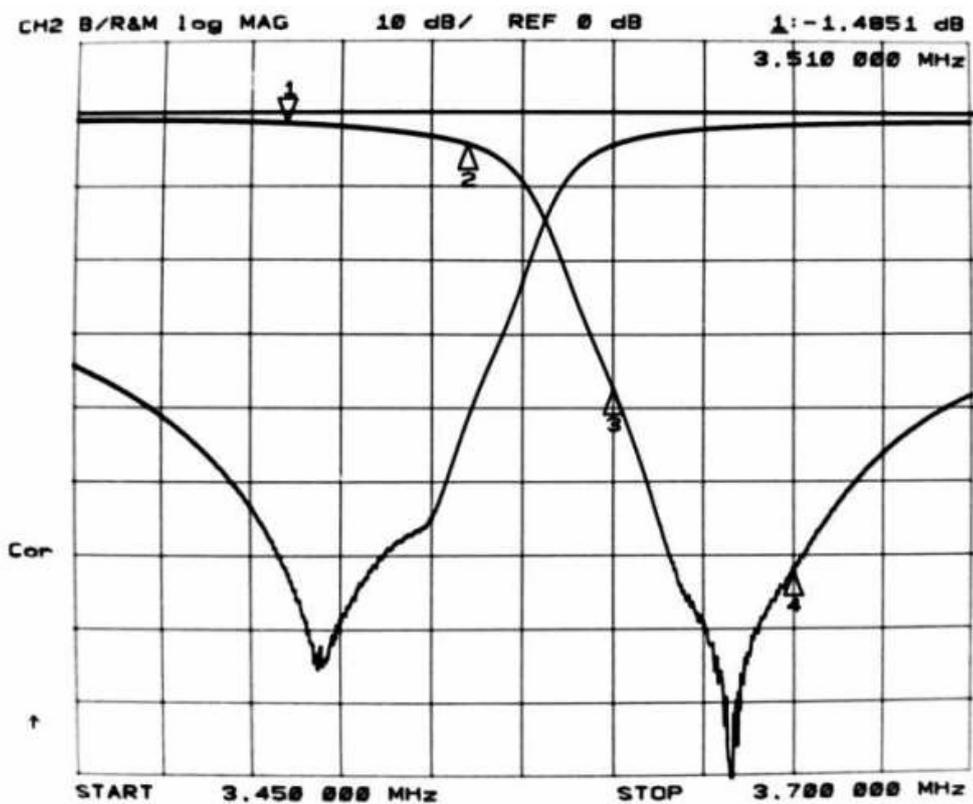


Fig. 7 Gemessene Übertragung vom CW-TRX (Spur mit Markern) resp. vom SSB-TRX (Spur ohne Marker) zur Antenne; horiz. 25 kHz/Div., vert. 10 dB/Div., Marker bei 3.51, 3.56, 3.60 und 3.65 kHz

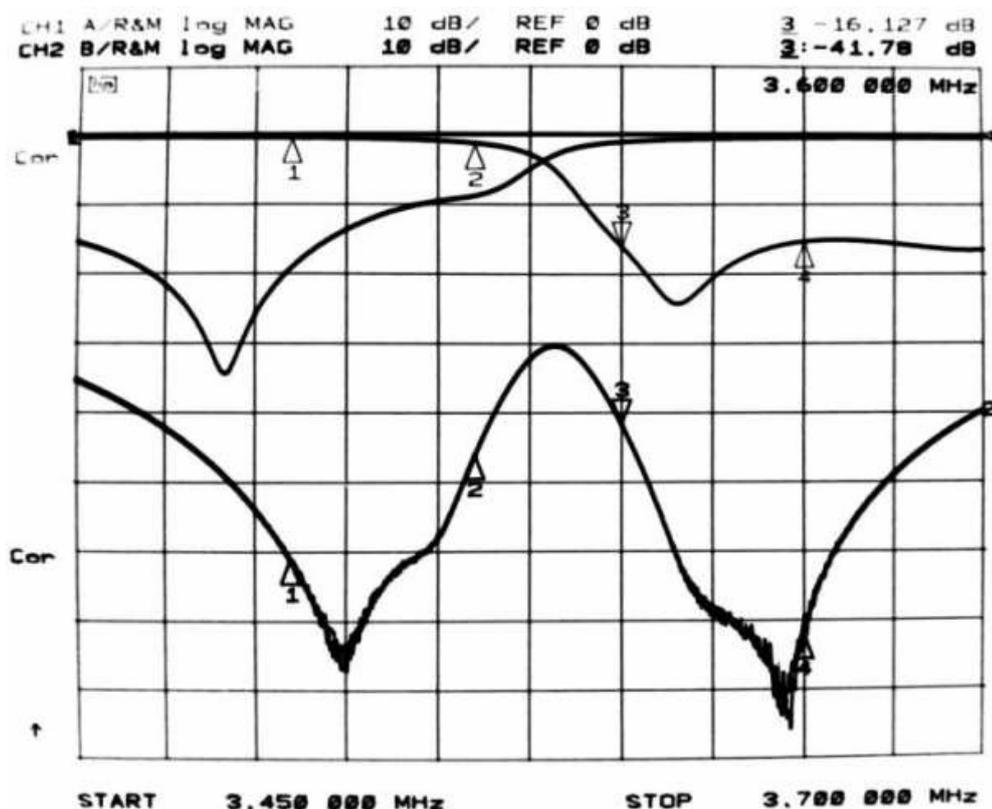


Fig. 8 Reflexion am SSB- und CW-Anschluss (obere Spuren) sowie Isolation zwischen den beiden TRX-Anschlüssen (untere Spur); horiz. 25 kHz/Div., vert. 10 dB/Div., Marker wie bei Fig. 7

Betriebserfahrungen

Der Diplexer wurde während des ganzen NMD 2018 erfolgreich für simultanen SSB- und CW-Betrieb eingesetzt.

Als SSB-TRX kam ein FT-817ND zum Einsatz, Ausgangsleistung 5 W, RX-Abschwächer aktiviert (OP HB3YMQ), als CW-TRX ein Eigenbau ähnlich K2, Ausgangsleistung 15 W, 10 dB-RX-Abschwächer aktiviert (OP HB9CLN). Die Netto-Sendeleistungen lagen also zwischen 2.0 und 3.5 W in SSB und zwischen 6 und 10 W in CW.

Die Antenne war ein Halbwellendipol (Inverted-V) aus 0.8 mm-Sonneriedraht, aufgehängt in ca. 15 m Höhe am Aussichtsturm auf dem Moron (1329 m über Meer, SOTA HB/BE-101) und gespeist über 25 m RG58-Kabel und einen Balun. Das VSWR des Dipols war ca. 2.0 bei 3.50 und 3.65 MHz, dazwischen tiefer.

Während des ganzen Contests wurden auf beiden Seiten keinerlei Störungen wahrgenommen, dies trotz des tiefen QRN-Pegels am gewählten Standort; also kein Kratzen während der SSB-Sendungen und kein getastetes Rauschen während der CW-Sendungen, auch keine wahrnehmbare Desensibilisierung der Empfänger. Die Isolation zwischen den beiden TRX von rund 50 .. 60 dB ist unter den gegebenen Bedingungen (TX-Leistungen, aktivierte RX-Abschwächer) also völlig ausreichend.

Die einzige Störung während des Betriebs war akustischer Natur, so dass für den CW-Betrieb ein Kopfhörer mit aktiver Geräuschunterdrückung eingesetzt wurde.

Es konnten ein 2. Platz unter den Nur-SSB-Teilnehmern und ein 13. Platz in CW in der Gesamtrangliste erzielt werden.

Ausblick und Zusammenfassung

Mit grösseren Ringkernen (z. B. T106-2 für die Sperrkreise) lassen sich höhere Spulengüten realisieren, allerdings steigt das Gewicht der Kerne sehr viel rascher an als die Güte. Mit einem T106-2 kann bei 20 μ H eine Güte von 320 erwartet werden, das Gewicht eines einzelnen Kerns (ohne Draht) beträgt 22 g. Mit einem T200-2 wird eine Güte von 360 erwartet, das Kerngewicht beträgt bereits 82 g (Schätzungen der Güten gem. einer älteren Publikation von Amidon Associates). Auf der anderen Seite sinkt die Einfügedämpfung mit einer Güte von 360 für die Sperrkreisspulen und 230 für die übrigen Spulen auf rund 1.5 dB in der Mitte der Bandsegmente. Bei 3.56 und 3.60 MHz liegt sie immer noch geringfügig über 3 dB.

Noch höhere Güten lassen sich mit Luftspulen aus 2 mm-Aludraht bei potenziell geringem Gewicht realisieren. Eine solche Spule mit 19 Windungen, 80 mm Durchmesser und 72 mm Länge verspricht eine Güte von 550 bei lediglich 41 g Drahtgewicht [5].

Anstatt die Einfügedämpfung des Diplexers zu verringern liesse sich natürlich auch die Sendeleistung erhöhen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass an den Sperrkreiskondensatoren CSx eine beträchtliche Spannung anliegt: Bei 15 W Sendeleistung in der Mitte des CW-Segments beträgt diese bereits 550 VRMS. Damit wurde mit den hier verwendeten Kondensatoren der Serie 100B von ATC die maximale Belastbarkeit am NMD 2018 auf dem Moron bereits erreicht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der beschriebene Diplexer zum Betrieb zweier QRP-Transceiver in verschiedenen Bandsegmenten des 80 m-Bandes an derselben Antenne durchaus tauglich ist, solange der frequenzabhängige Leistungsverlust von 1.5 .. 4 dB verkraftet werden kann. Der Einsatz mit Sendern deutlich höherer Leistung und eine wesentliche Reduktion des Leistungsverlustes erfordern aber erhebliche Anstrengungen beim Aufbau der Spulen und bei der Auswahl geeigneter Kondensatoren.

Referenzen

- [1] Hugo Huber HB9AFH, Anwendungsbericht des -3dB KOMBINER für 3.5...3.8Mhz von HB9AFR - www.htc.ch/index.php/de/downloads/category/25-technik?download=113:combiner-anwendung-hb9afr
- [2] <http://www.gunthard-kraus.de/Ansoft%20Designer%20SV/index.html>
- [3] www.amidoncorp.com/product_images/specifications/1-18.pdf
- [4] <http://www.hochfrequenzelektronik.ch/HBRadio/Serie-LC.xls>
- [5] Peter Niklaus HB9MEY, Coil Analysis Tool CAT, Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW (Java-Programm, entstanden im Rahmen einer Semesterarbeit)