

Loop-Antennen weiterentwickelt – optimierter Lowband-Empfang (1)

Dr.-Ing. CHRISTOPH KUNZE – DK6ED

Wer im Mittel-, Grenz- und unteren Kurzwellenbereich DX-Verbindungen machen will, braucht eine spezielle Empfangsantenne. Sendeantennen nehmen wegen ihrer gering ausgeprägten Richtcharakteristik so viele Störungen aus dem Nah- und Fernfeld auf, dass leise Stationen in diesem Störpegel untergehen. Um Störungen auszublenden, sollte eine Empfangsantenne daher einen möglichst kleinen horizontalen und vertikalen Öffnungswinkel und ein möglichst großes Vor-Rück-Verhältnis haben.

Die bekannteste und sicherlich auch beste Antenne für diese Zwecke ist die Beverage-Antenne. Leider muss sie jedoch eine mechanische Länge von mindestens 1λ der längsten genutzten Wellenlänge haben. Nur bei solchen Längen ergibt sich das für den Empfang gewünschte Strahlungsdiagramm mit Richtwirkung und Rückwärtsdämpfung laut Bildern 2 bis 4. Bei diesem Antennentyp handelt es sich um eine Wanderwellenantenne, sie hat also keine Resonanz. Folglich lässt sich eine solche Antenne nicht mithilfe einer Spule elektrisch verlängern.

Antenne schneidet etwas günstiger ab, außerdem ist sie unabhängig von den Erdverhältnissen – sie muss im Gegensatz zur K9AY nicht geerdet werden. Inzwischen gibt es auch einen Vorschlag, wie man aus einer Pennant ein Einfach-Loop-System für den Empfang aus verschiedenen Richtungen herleiten kann, ohne dass die Antenne jeweils abgebaut werden muss [5]. Das Strahlungsdiagramm eines Einfach-Loop-Systems Bild 7 geht aus den Bildern 5 und 6 hervor. Auf den ersten Blick fällt eine Richtungsumkehr gegenüber der Beverage-



Bild 1: Endgültige Ausführung einer kleinen Doppel-Loop; der genaue Aufbau wird in der nächsten Ausgabe beschrieben.

Foto: DK6ED

Es gibt allerdings inzwischen eine Möglichkeit, dieses Ziel durch eine Zweiteilung des Systems und mithilfe einer Phasenverschiebung zwischen beiden Hälften zu erreichen. So ist eine Halbierung der erforderlichen Länge möglich [1]. Um alle Empfangsrichtungen abzudecken, sind zwei Systeme im Winkel von 90° erforderlich. Damit wächst also der Flächenbedarf weiter. Stehen nur kleinere Flächen zur Verfügung, kommen oftmals Schleifenantennen (im Folgenden verwende ich die verbreitete englischsprachige Bezeichnung *Loop*) zum Einsatz. Die sicherlich bekanntesten Vertreter dieses Antennentyps sind die K9AY- [2], [3] und die Pennant-Antennen [4]. Beide haben ein gutes Vor-Rück-Verhältnis, leider jedoch einen sehr großen Öffnungswinkel. Die Pennant-

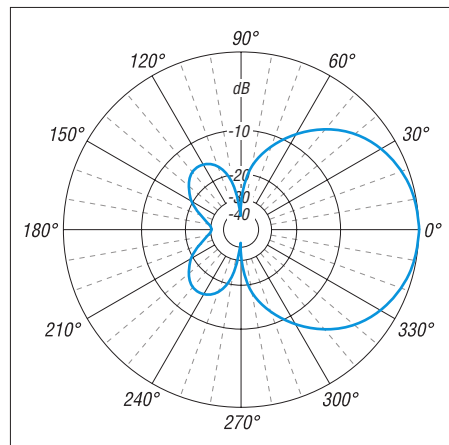


Bild 2: Über realem Grund mittlerer Leitfähigkeit ($\sigma = 0,005 \text{ S/m}$, $\epsilon_r = 13$) simuliertes horizontales Richtdiagramm einer Beverage-Antenne gemäß Bild 4 auf 1,85 MHz

Antenne auf, auch wenn sich der Speisepunkt jeweils am gleichen Ende der Antenne befindet. Die Beverage-Antenne empfängt Signale, die aus Richtung des Abschlusswiderstands eintreffen, eine Loop-Antenne empfängt aus Richtung des Übertragers T am Speisepunkt. Im Hinblick auf das Vor-Rück-Verhältnis sind die Ergebnisse der Einfach-Loop-Antenne grundsätzlich überzeugend. Es gilt jedoch, einen Weg zu finden, das System im Hinblick auf den breiten Öffnungswinkel des Strahlungsdiagramms zu optimieren.

■ Funktion von Loop-Antennen

Um die Maßnahmen zur Verbesserung des Strahlungsdiagramms der Einfach-Loop verstehen zu können, befassen wir uns zunächst mit dem Grundprinzip dieses Antennentyps: Die vom Sender ausgehende elektromagnetische Strahlung kann in ihre elektrische (E-) und magnetische (H-) Komponente aufgeteilt werden. Kleine (etwa $U \leq \lambda/10$) Loop-Antennen nehmen überwiegend die magnetische Komponente auf. Das bietet unter anderem den Vorteil, dass atmosphärische Störungen kaum empfangen werden und die von elektrischen Geräten ausgehende elektromagnetische Strahlung teilweise reduziert wird [6].

Loops mit einem Umfang von mehr als einer Wellenlänge ($U > 1\lambda$) reagieren überwiegend auf die elektrische Komponente der Strahlung. Die hier zu untersuchenden Antennen liegen aufgrund ihrer Abmessungen zwischen diesen Eckpunkten. Zum Verständnis ihrer Funktionsweise sind also die elektrische und die magnetische Komponente zu berücksichtigen. Dazu stellt man sich die Antenne vor, als sei sie in viele differenziell kleine Elemente unterteilt. In jedem dieser Teile entlang der geneigten Drähte einer stehenden Loop erzeugt die elektrische Komponente der Strahlung eine Spannung. Dazu kommt aus dem magnetischen Feld eine Spannung in allen Drähten,

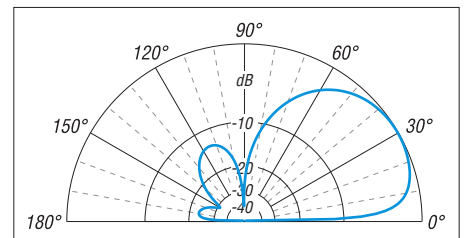


Bild 3: Über realem Grund mittlerer Leitfähigkeit simuliertes vertikales Richtdiagramm einer Beverage-Antenne gemäß Bild 4

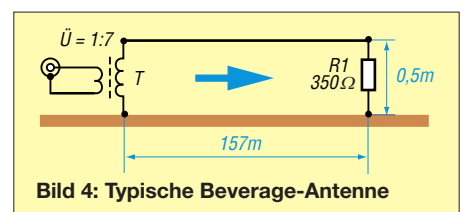


Bild 4: Typische Beverage-Antenne

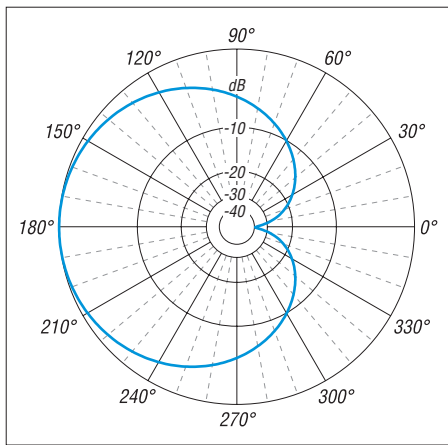


Bild 5: Simuliertes horizontales Richtdiagramm einer Einfach-Loop-Antenne auf 1,85 MHz gemäß Bild 7

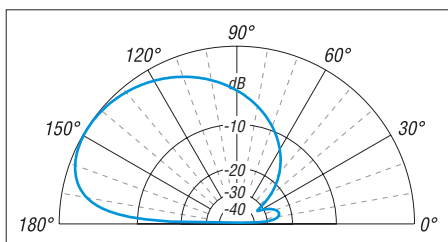


Bild 6: Simuliertes vertikales Richtdiagramm einer Einfach-Loop-Antenne gemäß Bild 7

wenn ein Signal in der Ebene der Loop auftritt. Der größere, durch diese H-Komponente hervorgerufene Strom ist stets so gerichtet, dass er seiner Ursache entgegenwirkt. Damit erzeugt ein aus der Richtung des Übertragers auftreffendes Signal einen Strom in Richtung des Übertragers. Die

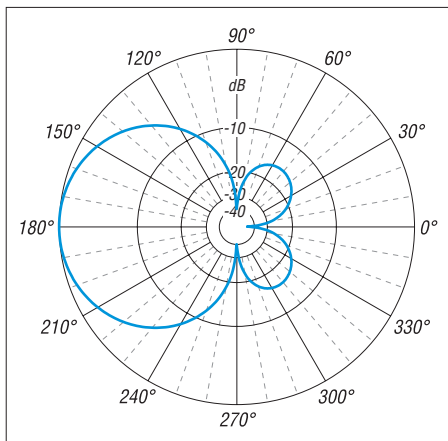


Bild 8: Simuliertes horizontales Richtdiagramm einer Doppel-Loop-Antenne auf 1,85 MHz gemäß Bild 10

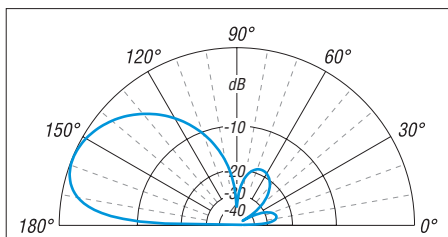
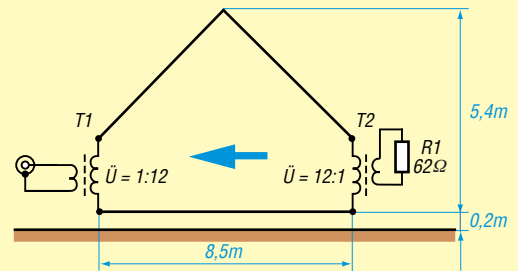


Bild 9: Simuliertes vertikales Richtdiagramm einer Doppel-Loop-Antenne gemäß Bild 10

Bild 7: Prinzipskizze einer einfachen Loop-Antenne, nicht maßstäblich; die Strahlungsrichtung ist gegenüber einer Beverage-Antenne umgekehrt.



Ströme der beiden Komponenten, die in den differenziell kleinen Elementen induziert werden, addieren sich unter Einfluss einer Phasenverschiebung auf beiden Seiten der Loop auf – das Signal wird empfangen.

Trifft ein Signal aus Richtung des Abschlusswiderstands auf die Loop, fließen die durch die magnetische Komponente des Feldes induzierten Ströme in Richtung des Widerstands. Es ist nun möglich, den Widerstand so zu bemessen, dass eine fast vollständige Kompensation aller über die untere und die obere Loop-Hälfte dort eintreffenden Ströme erfolgt. Damit lässt sich das Vor-Rück-Verhältnis der Antenne erklären. Je genauer der Abschlusswiderstand bemessen ist, umso besser ist die Auslöschung, sodass sich ein Vor-Rück-Verhältnis von 35 dB bei einer Elevation von 30° bis 40° erzielen lässt.

Treffen Signale im rechten Winkel auf die Loop, muss nur die elektrische Komponente berücksichtigt werden, die magnetische Komponente hat keine Auswirkung. Die Folge ist allerdings, dass das Signal

EZNEC+ V 5.0 [7] über realem Grund mittlerer Leitfähigkeit ($\sigma = 0,005 \text{ S/m}$ und $\epsilon_r = 13$) gewonnen. Die Simulationsergebnisse sind in Tabelle 1 auf der übernächsten Seite übersichtlich zusammengestellt.

■ Kopplung von zwei Loops

Um den Öffnungswinkel einer Loop zu verkleinern, gilt es also, den Einfluss der elektrischen Komponente auf die Antenne zu eliminieren. Vom Grundsatz habe ich die Idee, wie bei der Optimierung der Beverage-Antenne zwei hintereinanderliegende Antennen zu nutzen, auch bei der Optimierung der Einfach-Loop-Antenne beibehalten.

Die elektrische Komponente einer weiteren Loop-Antenne wird um 180° phasenverschoben mit der der ersten Antenne verkoppelt, es bleibt dann lediglich die magnetische Komponente beider Antennen. Dabei sind dann aber der Einfluss der Kopplung auf die magnetischen Anteile zu berücksichtigen und die Abschlusswiderstände neu zu berechnen. Die Ausgangs-

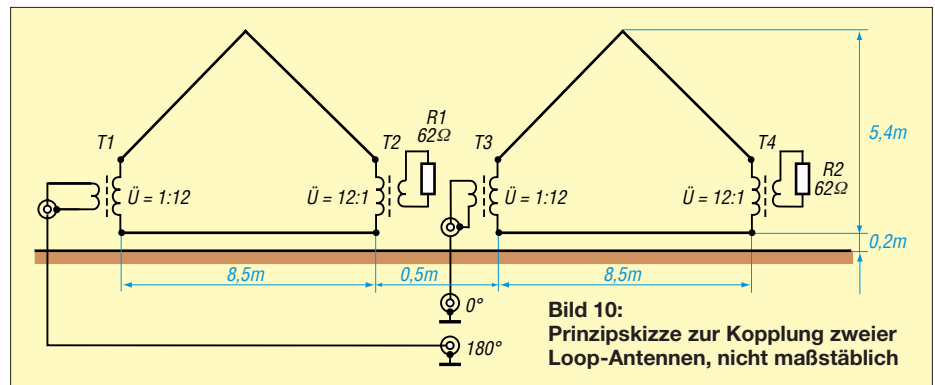


Bild 10: Prinzipskizze zur Kopplung zweier Loop-Antennen, nicht maßstäblich

über die elektrische Komponente weiterhin empfangen wird. Diese Tatsache erklärt den unerwünscht großen Öffnungswinkel von Loop-Systemen.

Für alle anderen Richtungen gelten entsprechende Überlegungen, die Vorgänge sind allerdings schwieriger dazustellen, da es sich hier um eine Kombination von E- und H-Komponenten in Verbindung mit einer Phasenverschiebung auf den Antennendrähten handelt. Hier hilft eine Simulation mit EZNEC oder einem anderen Programm weiter.

Die in diesem Beitrag besprochenen Richtdiagramme wurden durch Simulation mit

spannung des neuen Systems wird infolge der Kompensation der elektrischen Anteile geringer sein.

Ein solches gekoppeltes System ist in Bild 10 dargestellt. Das simulierte Ergebnis Bild 8 und 9 wurde durch eine Phasenverschiebung um 180° zwischen den Speisepunkten beider Antennen erzielt. Damit lassen sich die theoretischen Überlegungen bestätigen. Vergleicht man das Ergebnis der Simulation von zwei gekoppelten Loop-Antennen mit dem einer Beverage-Antenne, so überzeugt das Strahlungsdiagramm. Hinsichtlich dessen können beide Antennen als gleichwertig angesehen wer-

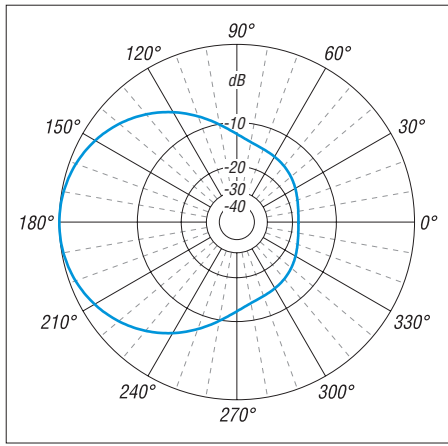


Bild 11: Simuliertes horizontales Richtdiagramm einer Doppel-Loop-Antenne mit parallelen Schenkeln gemäß Bild 13

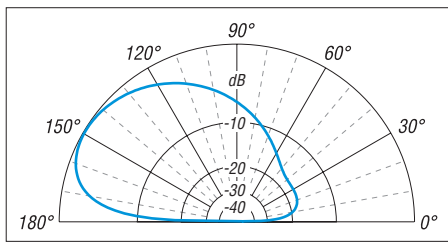
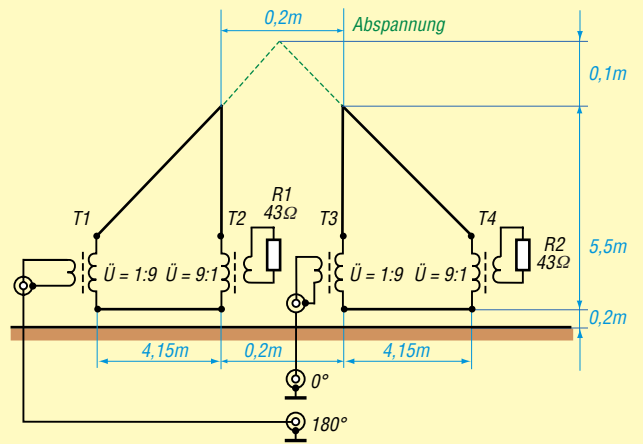


Bild 12: Simuliertes vertikales Richtdiagramm einer Doppel-Loop-Antenne mit parallelen Schenkeln gemäß Bild 13

den, allerdings ist die Länge der Antenne von 157 m auf 17,5 m zurückgegangen! Der wesentliche Unterschied besteht in der deutlich reduzierten Ausgangsspannung der hintereinander angeordneten Loops. Ein Vergleich zwischen der einfachen und der doppelten Loop-Antenne bestätigt den Einfluss der Phaseverschiebung und der sich dadurch ergebenden Auslöschung der mit gleicher Phasenlage von den beiden Antennen am Speisepunkt eintreffenden Signale. Die Ausgangsspannung des Systems wird wie bereits begründet deutlich reduziert. Ein weiterer Grund der im Vergleich zu einer Beverage-Antenne deutlich zurück-

Bild 13: Prinzipskizze einer Doppel-Loop-Antenne mit parallelen Schenkeln, nicht maßstäblich; durch diese Bauweise kommt man mit einem Mast in der Mitte aus. Die beiden Loops haben jedoch durch die beiden in nur 0,2 m Abstand verlaufenden parallelen Schenkel eine zu starke Verkopplung, was die Werte verschlechtert.



gehenden Ausgangsspannung liegt in der stark reduzierten Drahtlänge eines solchen Loop-Systems. Es wird deutlich weniger Strahlung aufgenommen. Dieser Nachteil lässt sich jedoch über einen Verstärker ohne Schwierigkeiten ausgleichen.

■ Experimente mit Doppel-Loops

Der Aufbau der Doppel-Loop-Antenne ist im Vergleich zur Einfach-Loop-Antenne bedingt durch die zwei Masten aufwendiger geworden. Zwar hat auch die weit verbreitete EWE-Antenne [8] zwei Masten, trotzdem suchte ich nach einer Vereinfachung. Dazu wird das System laut Bild 13 mit einem Mast simuliert. Die Ergebnisse Bild 11 und 12 zeigen, dass die wesentlichen Eigenschaften der hintereinanderliegenden Loops erhalten bleiben, nämlich die verbesserte Richtwirkung und das deutliche Vor-Rück-Verhältnis. Die Werte vermindern sich allerdings dadurch, dass die beiden Loops infolge der parallelen Drähte entlang des Mastes eine enge Verkopplung haben. Diese gegenseitige Beeinflussung reduziert den Einfluss der Phasenverschiebung an den Speisepunkten und verschlechtert u. a. das Vor-Rück-Verhältnis.

Um diesen gegenseitigen Einfluss zu vermindern, wählte ich die Konstruktion laut Bild 14 als Kompromiss. Das Strahlungsdiagramm Bilder 16 und 17 erfüllt weitgehend alle Anforderungen, leider fallen dabei beide Loops noch etwas kleiner aus, sodass die Ausgangsspannung der Antenne abermals absinkt.

Interessant scheint abschließend die Frage, bis zu welchem Grad man das System weiter verkleinern kann. Bild 15 zeigt das Ergebnis. Die simulierten Richtdiagramme sind denen in den Bildern 16 und 17 sehr ähnlich und deswegen hier nicht extra abgebildet. Das verdeutlicht, dass alle Maße einer Doppel-Loop linear vergrößert oder verkleinert werden können, abhängig von dem zur Verfügung stehenden Mast oder der Basislänge. Wird die gewählte Form beibehalten, müssen keine Veränderungen an den Übertragern und den Abschlusswiderständen vorgenommen werden.

■ Phasenverschiebung

Man ist in der Antennentechnik gewohnt, die erforderliche Phasenverschiebung von 180° über eine Umwegleitung herzustellen. Eine solche Leitung für eine Frequenz von 1,85 MHz aus RG58-Koaxialkabel hätte

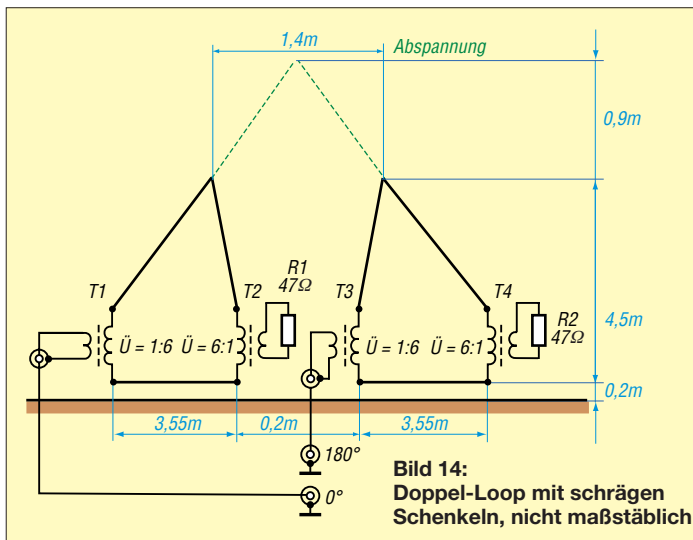


Bild 14: Doppel-Loop mit schrägen Schenkeln, nicht maßstäblich

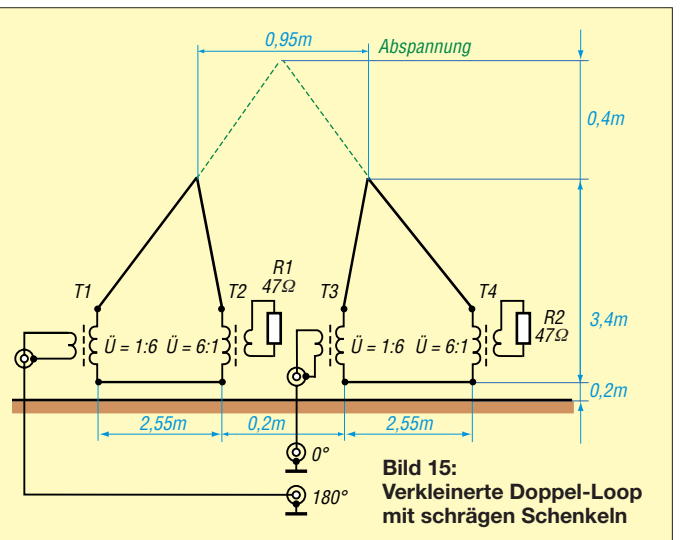


Bild 15: Verkleinerte Doppel-Loop mit schrägen Schenkeln

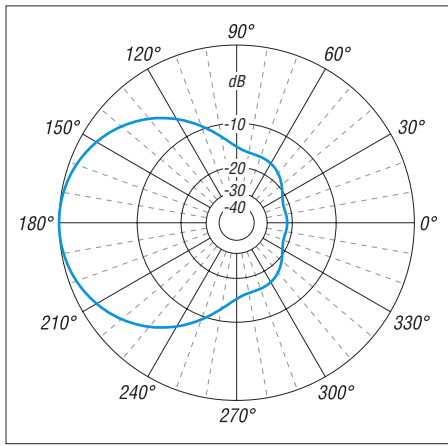


Bild 16: Simuliertes horizontales Richtdiagramm einer Doppel-Loop-Antenne mit schrägen Schenkeln gemäß Bild 14

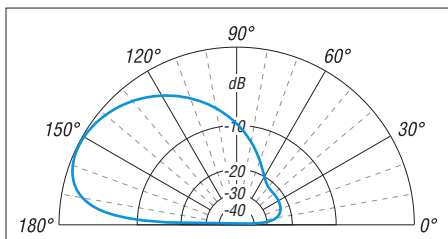


Bild 17: Simuliertes vertikales Richtdiagramm einer Doppel-Loop-Antenne mit schrägen Schenkeln gemäß Bild 14

eine Länge von 53,5 m und wäre außerdem nur für dieses Amateurband bemessen. Eine Breitbandanwendung der Antenne schied somit aus. Deshalb erschien mir die Alternative zweckmäßiger, mit einem Breitbandübertrager zu arbeiten. Vom Grundsatz her sind, wie in Bild 18 a dargestellt, auf einen Ferrit-Ringkern drei Wicklungen aufzubringen, eine einseitig geerdete Wicklung zum Anschluss des Empfängers, eine weitere Wicklung ist auf der entgegengesetzten Seite geerdet, so entsteht eine Phasenverschiebung zwischen den beiden Wicklungen von 180°. Die dritte Wicklung hat die gleiche Phase wie die erste Wicklung, da sie am gleichen Wicklungsende geerdet ist wie die erste. Eine vereinfachte Lösung ist in Bild 18 b dargestellt. Der in Bild 18 c dargestellte Koppler erfordert zwar einen etwas größeren Aufwand, gewährleistet jedoch nach Messungen von DC4KU eine Entkopplung der beiden Zweige von rund 40 dB [9], daher fand diese Version auch beim endgültigen Aus-

bau Verwendung. Aus Gründen der Vereinfachung kamen jedoch Ferritdoppellockkerne BN 73-202 zum Einsatz.

Es gibt noch eine Vielzahl von Varianten, die man im Internet unter dem Begriff *Splitter* findet, z. B. bei [10]. Im Unterschied zu dem hier vorgestellten Problem wird bei einem Splitter lediglich ein Signal auf zwei Ausgänge aufgeteilt. Es handelt sich also um genau den umgekehrten Fall, doch lässt sich ein passiver Splitter auch „rückwärts“ betreiben und wird dann zum Summierer, engl. *Combiner*.

Im abschließenden zweiten Teil geht es um den praktischen Aufbau inklusive Richtungsumschaltung sowie einen großsignalfesten Vorverstärker.

(wird fortgesetzt)

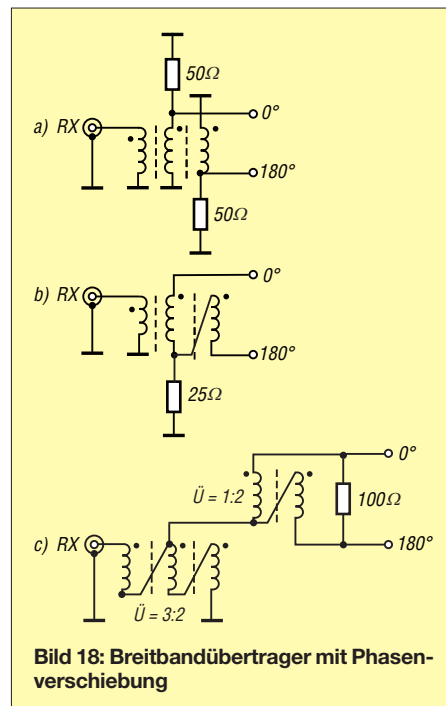


Bild 18: Breitbandübertrager mit Phasenverschiebung

Literatur und Bezugsquellen

[1] Kunze, C., DK6ED: New Results on Shortening Beverage Antennas. QEX No. 273 (2012) Jul./Aug., pp. 26–32
 [2] Breed, G. A., K9AY: The Terminated Loop – A Compact, Directional Receiving Antenna. QST 81 (1997) No. 9, pp. 43–49
 [3] Barthels, E., DM3ML: 160-m-DX aus dem Garten. FUNKAMATEUR 57 (2008) H. 4, S. 414–417
 [4] Connelly, M., WA1ION: Remotely controlled Pennant antenna. www.hard-core-dx.com/nordicdx/antenna/loop/flag/connelly.html

[5] Kunze, C., DK6ED: Empfang mit optimiertem Vor/Rück-Verhältnis. CQDL 84 (2012) H. 10, S. 716–719
 [6] Wikipedia: Loop antenna. http://en.wikipedia.org/wiki/Loop_antenna
 [7] Lewallen, R., W7EL: EZNEC+ V 5.0.61. P.O. Box 6658, Beaverton, OR 97007, USA; www.eznc.com
 [8] Koontz, F., WA2WVL: Is THIS EWE for You? QST 79 (1995) No. 2, pp. 31–33
 [9] Schnorrenberg, W., DC4KU: Power-Splitter und Power-Combiner in Theorie und Praxis. FUNKAMATEUR 52 (2003) H. 10, S. 1007–1009; H. 11, S. 1115–1117. s. a. www.mydarc.de/dc4ku/Power_Splitter.pdf
 [10] Bryant, J.; Bowers, B.: Rolling Your Own: Building antenna splitters that perform better than most commercial units. www.dxing.info/equipment/rolling_your_own_bryant.pdf

Nachlese

Passive Frequenzverdopplung FA 6/13, S. 626–629

Die Gleichung auf S. 629 muss korrekt $\sin^2(\omega t) = 0,5 - 0,5 \cdot \cos(2\omega t)$ lauten.

Können Radiowellen Krebs auslösen? FA 7/13, S. 724–727

Die 2. Gleichung in der mittleren Spalte auf S. 727 muss korrekt $f = W/h = \dots$ lauten (W groß für Energie).

Leistungsfähige Antenne für 2-m- und 70-cm-Handfunkgeräte FA 9/13, S. 934

In der Tabelle muss die Wicklungslänge der Spule für 70 cm richtig 7,5 mm lauten.

MLA-T: Magnetantenne für 100 W FA 10/13, S. 1062–1063

Bei „Aufbau und Ausstattung“ muss der Frequenzbereich im 80-m-Band richtig 3500 kHz bis 3800 kHz lauten.

Zudem sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Brücken zum Bandwechsel außen am Antennengehäuse bzw. am Rahmen direkt zugänglich sind. Ein Öffnen des Antennengehäuses ist für einen Bandwechsel also nicht nötig.

Güte von Luftspulen FA 10/13, S. 1080–1084

Bei der zeichnerischen Umsetzung des Bildes 4 hat sich ein Fehler eingeschlichen. Im Current-Sheet-Modell wird das aufgewickelte Metallband zu den beiden Enden (unten) hin schmaler, sodass die Spulenlänge in diesem Modell oben und unten gleich ist und die äußeren Umrisse ein Rechteck bilden. Das korrigierte Bild befindet sich bei den zum Download auf www.funkamateure.de angebotenen Dateien.

Des Weiteren ist bei Formel (19) das Quadratzeichen bei π zu viel. Ergänzt sei in diesem Zusammenhang, dass die Optimierung auf minimales nominales Volumen gemäß dem Current-Sheet-Modell mit Durchmesser D und Länge l_s gemäß Bild 4 erfolgt.

Die Formel (16) für den Proximity-Faktor Φ ist als Näherung selbststredend mit einem Fehler behaftet. Dieser beträgt für $\alpha = (0,2 \dots 1)$ und $\eta = (0,3 \dots 0,8) \pm 3,6\%$ und steigt außerhalb dieser Bereiche deutlich an. Das muss ggf. bei Anwendung dieser Näherung beachtet werden.

Tabelle 1: Vergleich der Empfangsantennen für 1,85 MHz

	Öffnungswinkel horizontal [°]	Vor-Rück-Verhältnis [dB]	Elevation [°]	Öffnungswinkel vertikal [°]	Gewinn [dBi]
Beverage	79	29,6	30	56,4	-15,4
Einfach-Loop	147	34,8	32	67,4	-32,6
zwei Loops, Bild 10	79	40,8	23	41,5	-45,8
Doppel-Loop, Bild 13	90,4	17,2	29	60,7	-57,1
Doppel-Loop mit schrägen Schenkeln	80,4	22,3	27	52,6	-59,1
Doppel-Loop klein	82,6	29	27	54,3	-70,7