

Stocken von UKW-Yagi-Antennen

MARTIN STEYER – DK7ZB

Offensichtlich bereitet die Fragestellung, wie man Antennen im UKW-Bereich zu Gruppen zusammenschalten kann, vielen Funkamateuren doch einiges Kopfzerbrechen.

Mit theoretischen Überlegungen allein ist hier niemandem gedient, der Praktiker möchte konkrete Anleitungen in die Hand bekommen. Dabei geht es prinzipiell um zwei verschiedene Probleme: Das eine ist die Frage, welches denn der richtige Stockungsabstand sei, das andere die nach der praktischen Ausführung des Zusammenschaltens.

An die Fragestellung „Welches ist der richtige Stockungsabstand?“ muß wohl im Sinne von Radio Eriwan herangegangen werden, denn „den richtigen“ Abstand gibt es eigentlich nicht. Es läßt sich lediglich für bestimmte Fälle bzw. Zwecke der korrekte Abstand bestimmen. Dabei sollte man zwei Grenzzustände unterscheiden, die sich schon bei zwei Antennen deutlich herauskristallisieren und entsprechend auch für das Zusammenschalten zu umfangreichen Gruppen gelten.

Möchte man den maximal möglichen Stockungsgewinn von annähernd 3 dB, so wird der Abstand relativ groß und demzufolge kompliziert auch die Mechanik, zudem entstehen gegenüber der Einzelyagi verstärkt Nebenzipfel, jedoch auch Nullstellen im vertikalen Richtdiagramm.

Für eine optimale Unterdrückung der Nebenkeulen, wie es für Sonderanwendungen wie EME sinnvoll ist, sinkt der erreichbare Gewinn bei erheblich geringerem Abstand der Antennen andererseits auf 1,5 bis 1,8 dB.

Ein Beispiel soll die Abhängigkeiten deutlich machen: Die in [1] beschriebene 7-Element-Yagi mit 10,5 dBd Gewinn und 3-m-Boom für das 2-m-Band soll vertikal zu einer Zweiergruppe gestockt werden. Dabei ändert sich in der Horizontalebene das Strahlungsdiagramm nicht, wohl aber in der Vertikalen. Bild 1 zeigt das Richtdiagramm in der H-Ebene (vertikal) im Vergleich zu einer Einzelantenne. Erkennbar sind deutliche Nebenzipfel, die auch bei sehr guten Yagis auftreten und sich nur bei drastischer Gewinnreduzierung verringern lassen.

Fall 1: Der Abstand beträgt 3,12 m. Hier tritt der maximale Stockungsgewinn auf, die Gruppe hat 13,9 dBd. Auffällig sind die $\pm 30^\circ$ über und unter der Hauptstrahlrichtung liegenden und nur um 8 dB unterdrückten Nebenkeulen (Bild 2).

Fall 2: Der Abstand wird auf 2,46 m verringert. Die Dämpfung der Nebenzipfel sinkt auf $> 12,5$ dB, gleichzeitig fällt aber auch der Gewinn auf 13,5 dBd. Dies erscheint noch als günstiger Kompromiß (Bild 3).

Fall 3: Das Richtdiagramm zeigt nun eine geradezu traumhafte Unterdrückung der Nebenzipfel im Bereich um 40 dB! Der Abstand beträgt 1,14 m. Hier tritt der maximale Stockungsgewinn auf, die Gruppe hat 12 dBd. Auffällig sind die $\pm 30^\circ$ über und unter der Hauptstrahlrichtung liegenden und nur um 8 dB unterdrückten Nebenkeulen (Bild 4).

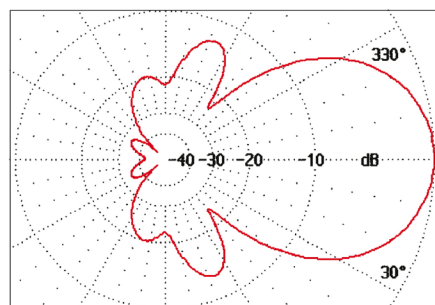


Bild 1: Richtdiagramm in der Vertikalebene (H-Ebene) einer 7-Element-Yagi nach DK7ZB (Gewinn 10,5 dBd)

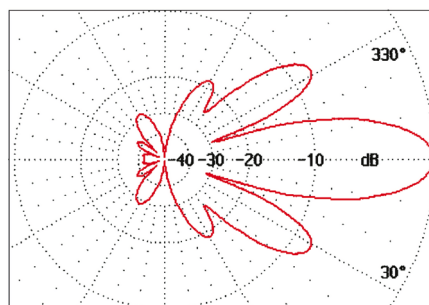


Bild 2: Richtdiagramm in der Vertikalebene (H-Ebene) bei zwei mit 3,12 m gestockten 7-Element-Yagis (Gewinn 13,9 dBd)

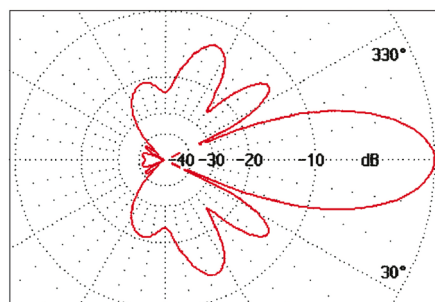


Bild 3: Richtdiagramm in der Vertikalebene (H-Ebene) bei zwei mit 2,46 m gestockten 7-Element-Yagis (Gewinn 13,5 dBd)

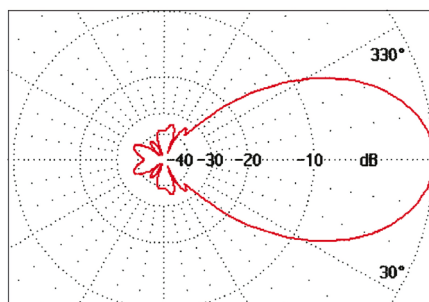


Bild 4: Richtdiagramm in der Vertikalebene (H-Ebene) bei zwei mit 1,14 m gestockten 7-Element-Yagis (Gewinn 12 dBd)

stand beider Antennen schrumpfte auf handliche 1,14 m. Allerdings ist der Gewinn auf 12 dBd abgefallen, und es taucht die Frage auf, ob sich die Mühe und die Verdopplung des Materialaufwands überhaupt gelohnt haben (Bild 4). An dieser Stelle sei kurz auf die Berechnung der Abstände eingegangen. Kennt man den 3-dB-Öffnungswinkel der Antenne, so kann man durch Einsetzen des entsprechenden Wertes in die Gleichung

$$A = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin(\alpha/2)}$$

den für den maximalen Gewinn notwendigen Abstand bestimmen [2]. In der Formel ist α der 3-dB-Öffnungswinkel in der Vertikalebene in Grad.

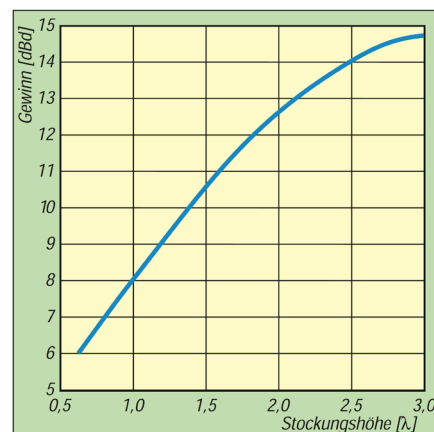
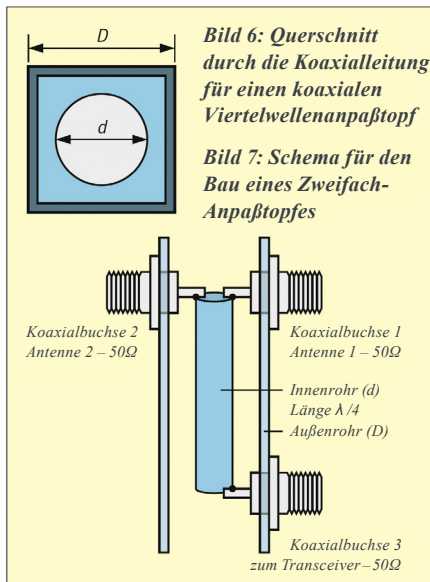


Bild 5: Diagramm für Länge/Stockungsabstand bei optimal dimensionierten Yagis für maximalen Gewinn

Dabei wird von einer idealen Strahlungskeule ohne Nebenzipfel ausgegangen. Berücksichtigt man letztere, so ergeben sich relativ komplizierte Interferenzen zwischen den Feldern, die sich nur per Computersimulation genauer bestimmen lassen. Bei geschickter Ausnutzung dieses Effekts kann sich bei weiter schmaler werdender Strahlungskeule sogar ein höherer Gewinn als der theoretische Maximalwert von 3 dB für das Verdoppeln der Wirkfläche einstellen. Das führt zu den 13,9 dB im geschilderten Fall 1, allerdings um den Preis starker Nebenzipfel.

■ H nicht nur mechanisch problematisch

Bei vertikaalem Stocken macht sich dies in der Praxis nicht nachteilig bemerkbar. Der gleiche Effekt tritt jedoch auch beim horizontalen Zusammenschalten auf und führt zu einer extrem schmalen Hauptkeule. Aus diesem Grund sollte immer zunächst das vertikale Zusammenschalten den Vorzug



Durchmesser für koaxiale Anpaßtopfe nach Bild 6

2 Antennen Z = 35,4 Ω		4 Antennen Z = 25,0 Ω	
D [mm]	d [mm]	D [mm]	d [mm]
10	6	7	5
15	9	14	10
20	12	21	15
25	15	24	17
30	18	28	20

D – Innenmaß des quadratischen Außenleiters
d – Außendurchmesser des runden Innenleiters

erhalten; vier Antennen übereinander sind in der Praxis weit besser als vier Stück im H-Kreuz, denn bei dem Kreuz werden die mechanischen Probleme schnell so groß, daß man diese Konstruktion schon für Antennen mit einer Länge von $1,5 \lambda$ meist nicht mehr umsetzen kann.

Neben der komplizierteren mechanischen Konstruktion kann dabei auch das hohe sogenannte Flächenträgheitsmoment der H-Konfiguration stören. Das Flächenträgheitsmoment verhält sich bei der Drehbewegung zum Drehmoment wie die Masse zur Kraft bei der linearen Bewegung. Da das Flächenträgheitsmoment mit dem Abstand der in Drehbewegung zu versetzenden Masse vom Drehpunkt bzw. der Drehachse des Systems steigt, ist leicht einzusehen, daß (auch symmetrisch) außermittig angebrachte Antennen ein viel größeres Flächenträgheitsmoment als vertikal gestockte mit ihrem Schwerpunkt etwa im Drehpunkt aufweisen.

Wer schon einmal versucht hat, bei einem Portabeinsatz eine größere Yagigruppe in H-Konfiguration per Hand zu drehen, wird wissen, daß das im Vergleich zu den-selben einfach übereinander montierten Antennen ein gewaltige Quälerei ist und schon aus diesem Grunde zu der einfach vertikal gestockten Anordnung zurückkehren wollen. Es dauert beim H einfach zu lange, um es in Bewegung zu bringen, um jeder Situation gerecht werden zu können.

Entsprechendes gilt beim stationären Einsatz selbstverständlich auch für den Rotor. Er hat (nicht nur) während das Beschleunigungs und Bremsens beim H ganz erheblich größere Torsionskräfte aufzunehmen, die bei einem kleineren Typ schnell das Zulässige überschreiten.

■ Vertikales Stocken meist günstiger

Zurück zu den Richtdiagrammen: Der Vergleich der Diagramme 1 und 2 verdeutlicht den oben angesprochenen Effekt:

Durch die Interferenzen zwischen den Nebenneulen tritt eine Verstärkung bzw. tiefere Absenkung beim Zusammenschalten auf. Eine deutlich vergrößerte Fläche der Nebenneulen kann das Aufnehmen von Störungen und terrestrischem Rauschen bedeuten. Aus diesem Grund sollte man bei EME-Anlagen auf optimale Diagramme bei den Einzelantennen achten, weil schlechte Nebenzipfelunterdrückung in weit verstärktem Maße zu unerwünschten Keulen bei einer Gruppe führt. Dieser Effekt macht sich natürlich nicht nur in der H-Ebene, sondern bei nebeneinander angeordneten Yagis auch in der E-Ebene bemerkbar. Hier sei lediglich die Empfehlung gegeben, daß es meist am sinnvollsten ist, zwei lange Antennen vertikal gestockt als Zweiergruppe einzusetzen. Eine Vierergruppe bei H-Anordnung mit kürzeren Yagis hat zwar nominell den gleichen Gewinn, der erheblich reduzierte horizontale Öffnungswinkel schränkt die Gebrauchsfähigkeit für terrestrischen Verkehr jedoch meist stark ein. Ein sehr geringer vertikaler Öffnungswinkel ist im Normalfall vorzuziehen, weil man dann einen möglichst hohen Strahlungsanteil in Richtung Horizont bündeln möchte. Eine Ausnahme machen nur Satellitenfunk oder MS bzw. Aurora über

kürzere Distanzen, bei denen ein höherer Erhebungswinkel vorteilhaft sein kann. Für den Praktiker, der den Öffnungswinkel seiner Antenne meist nicht kennt, habe ich für diverse (gute!) Antennen durchgerechnet, welcher Stockungsabstand sich für zwei Yagis in der Vertikalen für maximalen Gewinn ergibt. Setzt man voraus, daß die Elementbelegung und der Gewinn einer Langyagi nahezu optimal sind, ergibt sich eine klare Abhängigkeit zwischen Antennen-gewinn und Stockungsabstand.

Dabei differieren die Öffnungswinkel langer Antennen nur noch so wenig, daß man den Abstand als Funktion des Gewinns ansehen kann. Diesen Zusammenhang habe ich grafisch aufgetragen (Bild 5). Dabei zeigt sich, daß man mit den angegebenen Werten innerhalb einer Toleranz von 0,2 dB um das Maximum der Gewinnzunahme liegt.

■ Praxis beim Zusammenschalten von Yagi-Antennen

In den meisten Fällen erfolgt die Lösung von Anpassungsproblemen auf UKW mit Hilfe von Viertelwellen-Transformationsgliedern. Hier soll nur auf koaxiale Technik eingegangen werden, obwohl es beim Zusammenschalten sehr großer Gruppen mit langen Antennen nicht unbedingt ratsam ist, als Verbindungsleitungen Koaxialkabel zu verwenden. Sie können in ihrer Gesamtheit schnell die Länge von einigen ...zig Metern mit entsprechender Zusatzdämpfung erreichen.

Bild 8:
Selbstgebaute
Vierfachverteiler für
das 70-cm-Band



Bild 9:
Blick in einen
Vierfachverteiler



Zudem sind dämpfungsarme Kabel schwer und bringen einen nicht unerheblichen Massezuwachs mit sich. Aus diesen Gründen verwenden Spezialisten in großen EME-Anlagen selbstgebaute Zweidrahtleitungen, die wesentlich leichter und dämpfungsarm sind. Man muß sich dabei allerdings bei Feuchtigkeit auf ein Ansteigen des SWR einstellen, und bei Vereisung oder Rauhreif geht nichts mehr.

■ Koaxiale Anpaßtopfe

Koaxiale Anpaßtopfe nutzen die Tatsache, daß der Wellenwiderstand koaxialer Leitungen vom Verhältnis der Durchmesser von

Innen- und Außenleiter abhängig ist. Auch die Eigenschaften des Dielektrikums, hier Luft, spielen eine Rolle.

Im Grunde ist dabei die Querschnittsform der Leiter beliebig, deshalb darf der Querschnitt des Außenleiters auch bei rundem Innenleiter quadratisch sein (Bild 6). Das hat den Vorteil, daß man so bequem Koaxial-Flanschbuchsen anschrauben kann, was bei Rundleitern nicht so ohne weiteres gelingt. Bild 7 zeigt den schematischen Aufbau eines solchen Anpaßtopfes für zwei Antennen. Das Verhältnis D/d bestimmt den Wellenwiderstand der Anordnung. Er läßt sich mit folgender Näherungsformel [3] bestimmen:

$$Z = 138 \log D/d + 3,54.$$

Die errechneten Maße müssen relativ genau eingehalten werden, nur haben leider handelsübliche Rohre und Profile meist nicht die richtigen Durchmesser. Nach Berechnungen von DC9NL in [4] sind einige mögliche Werte für D und d in der Tabelle zusammengestellt. Für einen Vierfachverteiler gibt es leicht zu beschaffendes Aluminium-Vierkantprofil $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ mit einem Innenmaß von $21 \text{ mm} \times 21 \text{ mm}$, das mit einem 15-mm-Innenrohr aus Kupfer (Standardmaß für Heizungsrohre) den notwendigen Wellenwiderstand von 25Ω ergibt.

Bild 8 zeigt einen nach diesem Prinzip für das 70-cm-Band gebauten Koaxialverteiler. Dazu feilt man an den Enden des Kupferinnenrohrs Kerben ein, in die danach die Innenstifte der Buchsen ragen, so daß man sie haltbar einlöten kann (Bild 9). Damit der Flansch der N-Buchsen auf das Außenprofil paßt, habe ich die Ecken der Buchsen an zwei Seiten abgefeilt. Die Innenrohr-längen betragen für das 70-cm-Band 172 mm so-wie für das 2-m-Band 515 mm. Die Öffnungen lassen sich mit PVC-Tischbein-füßen (Bau-markt) als Stopfen verschließen.

Koaxialkabel als Transformationsglieder

Bild 10 zeigt einen industriell hergestellten, koaxialen Vierfachverteiler (Fa. Andes). Er ist für das 23-cm-Band dimensioniert und weist dementsprechend recht handliche Abmessungen auf.



Bild 10:
Kommerzieller Vierfachtopf für das 23 cm-Band (Fa. Andes)

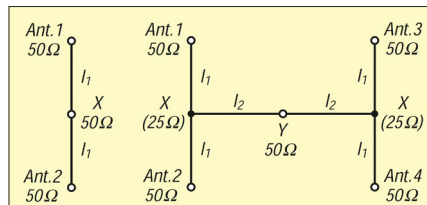


Bild 11: Stocken zur Zweiergruppe mit 70-Ω-Koaxialkabeln. $I1 = n \cdot \lambda \cdot v/4$ mit $n = 1, 3, 5, 7, \dots$

Bild 12: Zusammenschalten von vier Antennen mit Koaxialkabeltechnik. $I1$ beliebige (aber gleiche) Länge 50-Ω-Kabel; $I2 = n \cdot \lambda \cdot v/4$ mit $n = 1, 3, 5, 7, \dots$, 75-Ω-Kabel

In der Regel dürfte man für Zweier- oder Vierergruppen im 2-m- und 70-cm-Band aber eher Koaxialkabel verwenden, die zu einer recht einfachen Mechanik führen. Auch ich ziehe zumindest für 144 MHz wegen der unhandlichen Länge von Rohrkonstruktionen die Kabelanpassung vor. Ein wenig Mathematik und handelsübliche Kabelnormen machen es möglich, im Selbstbau äußerst preisgünstige Lösungen zu verwirklichen!

Vertikales Stocken von zwei Antennen

Beschäftigen wir uns zuerst mit dem Fall von zwei Antennen und wenden uns Bild 11 zu. Am Punkt X muß bei jeder der beiden von den Antennen herangeführten Leitungen eine Impedanz von 100Ω vorliegen, damit bei Parallelschaltung die für das ableitende Koaxialkabel notwendige Impedanz von 50Ω entsteht. Dazu errechnet sich der Wellenwiderstand des Transformationskabels nach der Beziehung

$$Z = \sqrt{Z_A \cdot Z_E}$$

zu $70,7 \Omega$. Ein Wellenwiderstand von 70Ω ergibt also perfekte Anpassung, jedoch ist es nicht mehr leicht, solche früher gefertigte Kabel zu beschaffen. Nimmt man ein geringfügig höheres SWR von 1,13 in Kauf, so ist es ohne weiteres möglich, auch 75-Ω-Kabel zu verwenden. Die Länge muß ein ungeradzahliges Vielfaches von $\lambda/4$ sein, damit die Transformationsbedingung erfüllt wird. Zusätzlich gilt es, den Verkürzungsfaktor zu berücksichtigen, der je nach Dielektrikum des Isoliermaterials unterschiedlich ausfällt. Bei Voll-Polyethylenkabeln ist $v = 0,667$, bei Kabeln mit hohem Luftanteil (H 500, H 100, Air-com, u. ä.) liegt er höher, meist zwischen 0,78 und 0,85. Die Angaben des Herstellers sind also zu beachten. Aus diesen Gründen wird man in der Praxis je nach Stockungsabstand Kabellängen von $5 \lambda/4$, $7 \lambda/4$ oder $9 \lambda/4$ einsetzen.

Für die Verschaltung ist es wichtig, daß man die Anschlußleitungen möglichst kurzhält und bei der Längenberechnung die Abschir-

mung (mit der Abschirm-länge eventuell eingesetzter Stecker!) berücksichtigt. Die nutzbare Bandbreite geht auf jeden Fall über die Grenzen des 2-m- bzw. des 70-cm-Bandes hinaus, so daß eine Dimensionierung für Bandmitte völlig ausreicht.

Zusammenschalten von vier Antennen in H-Anordnung

Noch einfacher kommt man mit dem Verschalten von vier Antennen zurecht, da man lediglich 50-Ω-Koaxialkabel benötigt. Dazu machen wir uns die Verhältnisse mit Hilfe von Bild 12 deutlich: Die von jeder Antenne zu den Punkten X führenden Leitungen bestehen aus Kabel mit 50Ω Wellenwiderstand. Die Längen $I1$ sind beliebig, aber alle Kabel müssen identische aufweisen. Durch die Parallelschaltung an den Punkten X liegt dort eine Impedanz von 25Ω vor. Die Kabelstücke $I2$ transformieren sie auf 100Ω am Punkt Y, damit dort nach Parallelschaltung wieder 50Ω auftreten. Ein Nachrechnen ergibt, daß Viertelwellenleitungen mit 50-Ω-Kabel diese Aufgabe erfüllen. Alle Leitungen können also aus demselben Kabeltyp bestehen, lediglich die Längen $I2$ müssen genau berechnet und zugeschnitten werden. Analog lassen sich nach dieser Methode Untergruppen zu größeren Gruppen zusammenschalten.

Vertikales Stocken von vier Antennen übereinander

Gelingt es, die vertikale Stockung von vier Antennen mechanisch in den Griff zu bekommen (Einzelstockung mit 3 m Abstand bei 2-m-Antennen führt schon zu einer Gesamthöhe der Antennengruppe von 9 m!), so erhält man eine von der Strahlungscharakteristik her optimale Anordnung: sehr kleiner vertikaler Erhebungswinkel und größere horizontale Strahlungskeule. Vor allem für 70 cm ergeben sich so noch recht handliche Gruppen mit hervorragenden Richtcharakteristiken. Zur Zusammenschaltung ist im Grunde dieselbe Technik wie bei der H-Gruppe mit 50-Ω-Kabeln geeignet.

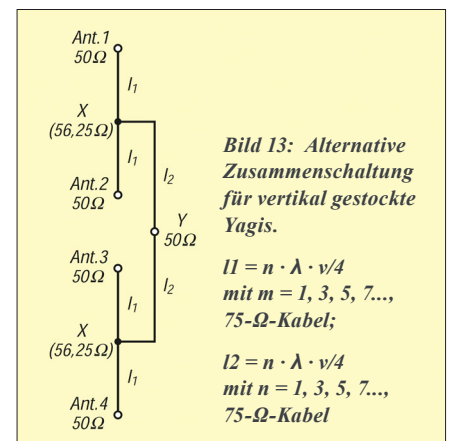


Bild 13: Alternative Zusammenschaltung für vertikal gestockte Yagis.

$$I1 = n \cdot \lambda \cdot v/4 \text{ mit } n = 1, 3, 5, 7, \dots, 75\text{-}\Omega\text{-Kabel;} \\ I2 = n \cdot \lambda \cdot v/4 \text{ mit } n = 1, 3, 5, 7, \dots, 75\text{-}\Omega\text{-Kabel}$$



Bild 14: Anschlußdose für eine Zweiergruppe



Bild 15: Selbstgebaute Abschlußwiderstand 50 Ω zum Messen der Anpassung

Da bei dieser Anordnung aber längere Kabelstücke als bei der H-Anordnung erforderlich sind, bringt die Verwendung von 75- Ω -Kabeln Vorteile, denn sie haben bei gleichen Außenmaßen eine geringere Dämpfung als 50- Ω -Kabel. Bild 13 enthält dazu eine empfehlenswerte Lösung.

Nur zum Vergleich: Bei einem Vierfachverteiler müssen alle Kabel dieselbe Länge aufweisen und sich am größten Abstand orientieren. Noch aufwendiger wäre der Einsatz von drei Zweifachverteilern. Die Einzelantennen A1 bis A4 mit je 50 Ω werden mit 75- Ω -Transformationskabeln derselben Länge II versehen. An den Punkten X erscheinen dann je 112,5 Ω , die bei Parallelschaltung 56,25 Ω ergeben. Nun erfolgt mit 75- Ω -Kabeln (12) wieder eine Transformation auf 100 Ω am Punkt Y. Nach Parallelschaltung kann man dann am Verbindungspunkt das normale 50- Ω -Verbindungskabel zur Station anschließen.

■ Bau der koaxialen Anpaßleitungen

Man beginnt mit dem Anlöten der Koaxialstecker an die Kabel; dann werden vom Ende der Abschirmung die errechnete Länge abisoliert und der Innenleiter freigelegt. Für Voll-PE mit $v = 0,67$ ergeben sich bei 145 MHz je Viertelwellenlänge 345 mm Kabel (Länge der Abschirmung). An den T-Stücken kommt es auf gute Masseverbindung und kurze Innenleiterstücke an (Bild 14). Befindet sich dort keine Buchse, so kann man T-Stücke (Fittings) aus Kupferrohr für Heizungs- und Wasserinstallationen verwenden, die einen stoßstellen-freien Übergang des masseseitigen Geflechts ermöglichen.

Aufschlußreich ist ein Test mit selbstgebasteten induktionsarmen Abschlußwiderständen (2×100 - Ω -Metalloxid-Schichtwiderstände parallel, Bild 15), ehe man die Antennen anschließt. Man prüft, ob die Anpassung ein SWR von 1,1 ergibt. Steht ein im Frequenzbereich erweitertes Handfunkgerät zur Verfügung, gestattet es, zwischen 140 und 150

MHz zu messen, ob das SWR-Minimum tatsächlich bei 145 MHz erscheint. Ist letzteres nach oben oder unten verschoben, müssen die Kabellängen entsprechend korrigiert werden. Bei sorgfältiger Beachtung der Anleitungen dürfte das aber unnötig sein. Analog geht man mit Kabeln für 70 cm vor.

Ein auf diese Weise erstelltes Aufstockkabel für den Portaleinsatz zweier 2-m-Yagis ist in Bild 16 zu sehen.

■ Anordnung der Antennen und praktischer Aufbau

Ein weiterer wichtiger Punkt verdient noch Beachtung: Die Anordnung der Antennen muß so erfolgen, daß alle Strahlerelemente gleichphasig erregt werden. Das bedeutet, daß Gammaleitungen, Innenleiter von Halbwellenbalun-Kabeln und Koaxialkabel für die DK7ZB-Speisung bei allen Antennen auf derselben Seite (und jeweils unten!) liegen müssen.



Bild 16: Fertiges Aufstockkabel für den Portaleinsatz



Bild 17: Mechanische Realisierung der Verbindungsstellen bei Rohren für ein H-Kreuz mit Aluminiumwinkeln / Fotos: DK7ZB

Für das 2-m-Band lohnen sich Anpaßtöpfe nicht, wenn man saubere Lötverbindungen bei den Anpaßkabeln hinkommt. Für 70 cm dürften Kabeltransformationsglieder geringfügig höhere, aber noch tragbare Zusatzverluste aufweisen. Auf 23 cm sind ausschließlich koaxiale Anpaßtöpfe zu empfehlen. Grundsätzlich liegen die theoretischen Werte für den Gewinn höher als man sie dann wirklich erzielt, denn Kabel, Stecker und Verbindungsleitungen mit Lötstellen

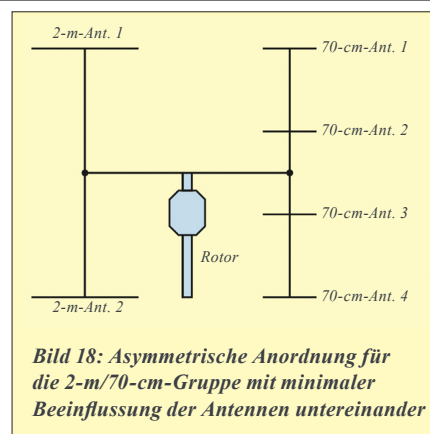


Bild 18: Asymmetrische Anordnung für die 2-m/70-cm-Gruppe mit minimaler Beeinflussung der Antennen untereinander

bringen immer unvermeidbare Verluste mit sich. Ihnen sollte man deshalb besondere Aufmerksamkeit widmen.

Auch bei der Mechanik der Verbindungsstellen bei Rohren für ein H-Kreuz lassen sich durch Selbstbau hohe Ausgaben vermeiden. Ich will dem Leser eine wiederholte Beschreibung der Winkelaluminium/Auspuffschellen-Technik ersparen, die sich auch für Kurzwellenyagis als Element-oder Tragrohrbefestigung bewährt hat. Bild 17 zeigt sie anschaulich. Nach der Endmontage sollte ein zusätzlicher Korrosionsschutz durch mehrmaliges Einsprühen mit Kunststoffspray erfolgen. Schließlich noch ein Vorschlag für eine leistungsfähige Kombination 2 m/70 cm. Zwei Yagis für 2 m und vier Yagis für 70 cm werden in einem H-Kreuz nach Bild 18 miteinander kombiniert. Bei geschickter Mechanik läßt sich trotz Asymmetrie eine annähernde Balance erreichen. Hierbei sind die gegenseitigen Beeinflussungen fast Null, ganz im Gegensatz zu zwei ineinandergeschachtelten H-Gruppen mit je vier Antennen.

Zum Schluß noch ein Wort zu den Kosten: Der Materialpreis für eine Vierergruppe der 10-Element-Yagis für 2 m aus [1] mit allen Teilen und Anpaßleitungen inklusive H-Kreuz liegt lediglich bei knapp über 300 DM; dabei hat die Anordnung etwa 19 dBd Antennengewinn. Wenn man bedenkt, daß dies anderenorts für eine einzige 3- λ -Yagi verlangt wird, rechnet sich ein Selbstbau auf jeden Fall. Zusätzlich wirkt eine Beschreibung im QSO „Yagi-Gruppe, komplett Eigenbau“ doch auch entsprechend auf die Einschätzung durch den Partner und das Selbstwertgefühl des Erbauers, oder?



Literatur

- [1] Steyer, M., DK7ZB: Hochleistungsyagi für das 2-m-Band in 28- Ω -Technik, FUNKAMATEUR 46 (1997), H. 1, S. 72
- [2] Hoch, G., DL6WU: Optimale Stockung von Richtantennen, UKW-Berichte (1978), H. 4, S. 235
- [3] Weiner, K., DJ9HO: UHF-Unterlage, Teil I, S. 110
- [4] Weiner, K., DJ9HO: UHF-Unterlage, Teil III, S. 571

Stacking of VHF Yagi antennas

MARTIN STEYER – DK7ZB

Obviously, the question of how to connect VHF antennas to form groups causes many radio amateurs a lot of headaches. Theoretical considerations alone are of little use to anyone; practitioners want to be given concrete instructions. In principle, this involves two different problems: One is the question of the correct stacking distance, the other is the practical implementation of the connection.

The question „What is the correct stacking distance?“ can only be answered as ‘It depends’. There is actually no such thing as the „correct“ distance. It is only possible to determine the correct distance for certain cases or purposes. A distinction should be made between two limits, which are already clearly visible when using only two antennas and also apply accordingly to connection to form extensive groups.

If you want the maximum possible gain of approximately 3 dB, the distance is relatively large and the mechanics are therefore complicated; in addition, there are more side lobes compared to the single lobes, but also zeros in the vertical directional diagram.

For best suppression of the side lobes, as it is preferable for applications such as EME, the achievable gain decreases to 1.5 to 1.8 dB, at much lower stacking distances.

An example should make the dependencies clear: The 7-element Yagi with 10.5 dBd gain and 3 m boom for the 2 m band de-

scribed in [1] is to be stacked vertically to form a group of two. The radiation pattern does not change in the horizontal plane, but it does in the vertical plane. Figure 1 shows the radiation pattern in the H-plane (vertical) compared to a single antenna. Strong side lobes are visible. These side lobes also occur with very good Yagis and can only be reduced by drastically reducing the gain.

Case 1: The distance is 3.12 m. This gives the maximum stacking gain, the group has 13.9 dBd. Noticeable are the side lobes at $\pm 30^\circ$ above and below the main beam direction, they are suppressed by only 8 dB (Fig. 2).

Case 2: The distance is reduced to 2.46 m. The attenuation of the side lobes increases to > 12.5 dB, but at the same time the gain drops to 13.5 dBd. This still appears to be a favourable compromise (Fig. 3).

Case 3: The directivity diagram now shows an almost dreamlike suppression of the sidelobes in the range of 40 dB! The distance between the two antennas has shrunk to a manageable 1.14 metres. However, the gain

has dropped to 12 dBd, and the question arises as to whether the effort and the duplication of material costs were worthwhile at all (Fig. 4). At this point, we would like to briefly discuss the calculation of the distances. If you know the 3 dB opening angle of the antenna, the corresponding value can be inserted into the equation

$$A = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin(\alpha/2)}$$

determine the distance required for the maximum gain [2]. In the formula, α is the 3-dB opening angle in the vertical plane in degrees.

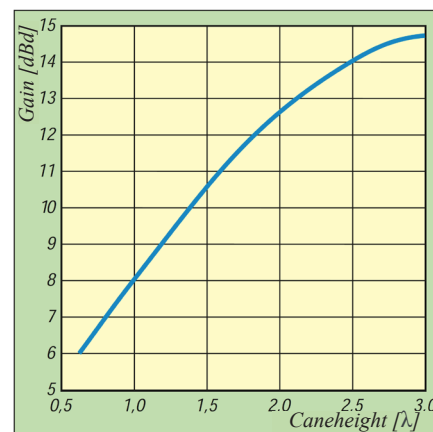


Figure 5: Diagram for length/spacing with optimally dimensioned yagis for maximum gain

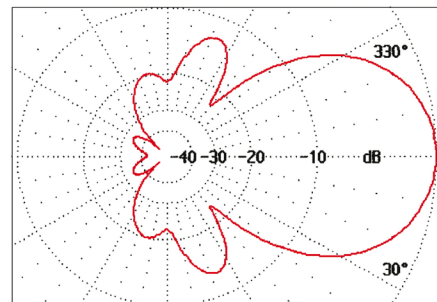


Figure 1: Directional diagram in the vertical plane (H-plane) of a 7-Element Yagi according to DK7ZB (gain 10.5 dBd).

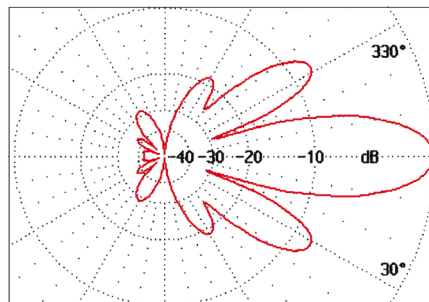


Figure 2: Directional diagram in the vertical plane (H-plane) for two 7-element yagis stacked at 3.12 m (gain 13.9 dBd)

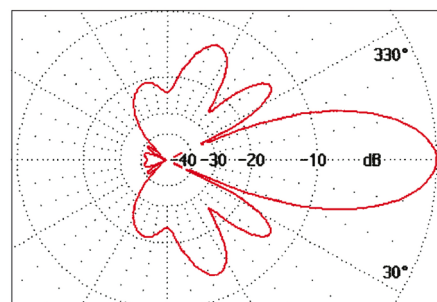


Figure 3: Directional diagram in the vertical plane (H-plane) for two 7-element yagis stacked at 2.46 m (gain 13.5 dBd)

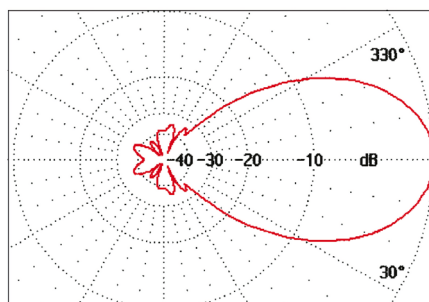
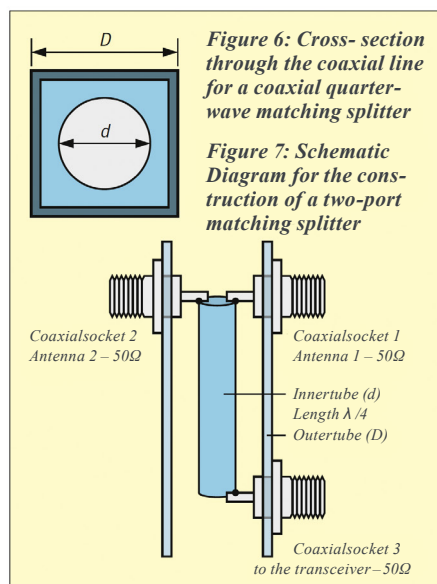


Figure 4: Directional diagram in the vertical plane (H-plane) for two 7-element yagis stacked at 1.14 m (gain 12 dBd)

This assumes an ideal radiation pattern without side lobes. If the side lobes are taken into account, relatively complicated interferences between the fields arise, which can only be determined more precisely by computer simulation. If this effect is skilfully exploited, a higher gain than the theoretical maximum value of 3 dB for doubling the effective area can even be achieved as the beam becomes narrower. This leads to the 13.9 dB in case 1 described above, albeit at the cost of strong peaks.

■ H not only mechanically problematic

In practice, this is not detrimental in the case of vertical stacking. However, the same effect also occurs with horizontal positioning and leads to an extremely narrow main lobe. For this reason, one should prefer vertical stacking.



Diameter for coaxial matching splitters according to Fig. 6

2 antennas $Z = 35,4 \Omega$		4 antennas $Z = 25,0 \Omega$	
D [mm]	d [mm]	D [mm]	d [mm]
10	6	7	5
15	9	14	10
20	12	21	15
25	15	24	17
30	18	28	20

D - inner dimension of the square outer conductor
d - outer diameter of the round inner conductor

In practice, four antennas on top of each other are far better than four antennas in an H-arrangement, because the mechanical problems with the “H” quickly become so great that this design can usually no longer be implemented for antennas with a length of 1.5 λ .

In addition to the more complicated mechanical design, the high so-called surface moment of inertia of the H configuration can also be a problem. The surface moment of inertia relates to the torque in rotary motion in the same way as the mass relates to the force in linear motion.

Since the surface moment of inertia increases with the distance of the rotating mass from the axis of rotation, it is easy to see that (even symmetrically) eccentrically mounted antennas have a much greater surface moment of inertia than vertically stacked antennas with their centre of gravity approximately at the centre of rotation. Anyone who has ever tried to turn a larger Yagi group in H configuration by hand will know that this requires much larger forces compared to the same antennas simply mounted on top of each other. For this reason alone, most people will revert to the simple vertically stacked arrangement. It simply takes too long to get the H moving to be useful able to cope with every situation.

The same naturally also applies to the rotor at home. It has to absorb (not only) considerably greater torsional forces during acceleration and braking with the H, which quickly exceed the permissible limits of smaller rotators.

Vertical stacking usually more favourable

Back to the directional diagrams: The comparison of diagrams 1 and 2 illustrates the effect mentioned above:

The interference between the side lobes results in amplification or lower attenuation when antennas are stacked. A significantly increased area of the side lobes can result in interference and terrestrial noise being picked up. For this reason, care should be taken to optimise the diagrams of the individual antennas in EME systems, because poor sidelobe suppression leads to undesirable lobes in an antenna group to a much greater extent. Of course, this effect is not only noticeable in the H-plane, but also in the E-plane if the Yagi antennas are arranged side by side to each other.

The only recommendation here is that it is usually best to use two long antennas vertically stacked as a group of two. A group of four in an H arrangement with shorter Yagis has nominally the same gain, but the considerably reduced horizontal aperture angle usually severely restricts the usability for terrestrial traffic.

A very low vertical aperture angle is normally preferable because the aim is to focus as much radiation as possible towards the horizon. The only exceptions are satellite radio or Meteor Scatter or Aurora over shorter distances, where a higher elevation angle can be advantageous.

Figure 8: Self-built quadruple distributor for the 70 cm band



Figure 9: View into a quadruple distributor



For the radio amateur, who often does not know the aperture angle of his antenna, I have calculated for various (good!) antennas which stacking distance results for two Yagis in the vertical for maximum gain. Assuming that the element positioning and the gain of a long yagi are almost optimal, there is a clear dependency between antenna gain and stacking distance.

The opening angles of long antennas only differ so little that the distance can be seen as a function of the gain. I have plotted this relationship graphically (Fig. 5). It can be seen that the specified values lie within a tolerance of 0.2 dB around the maximum gain increase.

Practical hints when stacking Yagi antennas

In most cases, matching problems on VHF are solved with the aid of quarterwave transformation elements.

Only coaxial technology will be discussed here, although it is not necessarily advisable to use coaxial cables as connecting lines when connecting very large groups with long antennas. In their entirety, they can quickly reach a length of several tens of metres with corresponding additional attenuation. Low-attenuation cables are also heavy and add a considerable amount of mass. For these reasons, specialists in large EME systems use self-made two-wire transmission lines, which are considerably lighter and have low attenuation. However, you have to be prepared for an increase in SWR under wet weather conditions, and even worse in freezing temperatures.

Coaxial 3 splitterdB

Coaxial matching splitters utilise the fact that the characteristic impedance of coaxial lines depends on the ratio of the diameters of the coaxial lines of the inner and outer conductors. The properties of the dielectric, in this case air, also play a role.

Basically, the cross-sectional shape of the conductors is arbitrary, which is why the cross-section of the outer conductor can be square even if the inner conductor is round (Fig. 6). This has the advantage that coaxial

AMATEUR RADIO TECHNOLOGY

flange sockets can be easily installed, which is not so easy with round conductors. Fig. 7 shows the schematic structure of such a matching splitter for two antennas. The ratio D/d determines the impedance of the arrangement. It can be determined using the following approximation formula [3]:

$$Z = 138 \log D/d + 3.54.$$

The calculated dimensions must be adhered to relatively precisely, but unfortunately standard commercial pipes and profiles usually do not have the correct diameters. According to calculations by DC9NL in [4], some possible values for D and d are summarised in the table. For a four-way splitter, there is an easily procurable aluminium square profile $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ with an internal dimension of $21 \text{ mm} \times 21 \text{ mm}$, which, with a 15 mm inner tube made of copper (standard dimension for heating pipes), provides the necessary characteristic impedance of 25Ω .

Fig. 8 shows a model based on this principle for coaxial distributor built for the 70 cm band. To do this, file notches into the ends of the copper inner tube into which the pins of the sockets then protrude so that they can be soldered in place (Fig. 9). I filed the corners of the bushings on two sides so that the flange of the N-bushings fits on the outer profile. The inner tube lengths are 172 mm for the 70 cm band and 515 mm for the 2 m band. The openings can be closed with PVC plugs as they are used for furniture (DIY store).

Coaxial cable as transformation elements

Figure 10 shows an industrially manufactured, coaxial four-way antenna distributor (Andes). It is designed for the 23 cm band and therefore has very manageable dimensions.



Figure 10: Commercial four-way splitter for the 23 cm band (Andes)

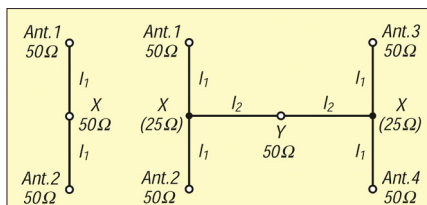


Figure 11: Stacking of two with 70Ω coaxial cables. $l_1 = n \cdot \lambda - v/4$ with $n = 1, 3, 5, 7, \dots$

Figure 12: Connection of four antennas with coaxial cable technology. l_1 any (but equal) length of $50\text{-}\Omega$ cable; $l_2 = n \cdot \lambda - v/4$ with $n = 1, 3, 5, 7, \dots$, $75\text{-}\Omega$ cable

As a rule, however, coaxial cables are more likely to be used for groups of two or four in the 2 m and 70 cm bands, which result in fairly simple mechanics. I also prefer cable matching, at least for 144 MHz , because of the unwieldy length of tube constructions. A little maths and commercially available cable standards make it possible to realise extremely inexpensive solutions when building your own!

Vertical stacking of two antennas

Let us first consider the case of two antennas and turn to Fig. 11. At point X, an impedance of 100Ω must be present for each of the two lines fed in by the antennas, so that the impedance of 50Ω required for the coaxial cable is created when connected in parallel. For this purpose, the characteristic impedance of the transformation cable is calculated according to the relationship

$$Z = \sqrt{Z_A \cdot Z_E}$$

to 70.7Ω . A characteristic impedance of 70Ω therefore results in a perfect match, but it is no longer easy to procure such cables manufactured earlier. If one accepts a slightly higher SWR of 1.13, it is easily possible to use 75Ω cables.

The length must be an odd multiple of $\lambda/4$ in order to fulfil the transformation condition. In addition, the shortening factor must be taken into account, which varies depending on the dielectric of the insulating material. For solid polyethylene cables, $v = 0.667$, for cables with a high air content (H 500, H 100, Aircom, etc.) it is higher, usually between 0.78 and 0.85. The manufacturer's specifications must therefore be observed. For these reasons, cable lengths of $5 \lambda/4$, $7 \lambda/4$ or $9 \lambda/4$ are used in practice, depending on the distance to the floor.

For the wiring it is important that you keep the connecting cables as short as possible and takes into account the shielding (with

the shielding length of any connectors used!). In any case, the usable bandwidth exceeds the limits of the 2 m or 70 cm band, so that dimensioning for the centre of the band is completely sufficient.

Interconnection of Four antennas in H-arrangement

Connecting four antennas is even easier, as only 50Ω coaxial cables are required. To do this, we can visualise the relationships with the help of Fig. 12: The lines leading from each antenna to the points X consist of cables with 50Ω characteristic impedance. The lengths l_1 are arbitrary, but all cables must be identical. Due to the parallel connection at points X, an impedance of 25Ω is present there. The cable sections l_2 transform it to 100Ω at point Y so that 50Ω occurs there again after paralleling. A recalculation shows that quarter-wave lines with 50Ω cable fulfil this task. All lines can therefore consist of the same cable type, only the lengths l_2 must be precisely calculated and cut to size. Similarly, subgroups can be interconnected to form larger groups using this method.

Vertical stacking of four antennas on top of each other

If it is possible to mechanically control the vertical stacking of four antennas (single stacking at a distance of 3 m with 2 m antennas already leads to a total height of the antenna group of 9 m), the result is an optimum arrangement in terms of radiation characteristics: very small vertical elevation angle and larger horizontal radiation lobe. For 70 cm in particular, this results in quite manageable arrays with excellent directional characteristics. The same technology as for the H group with 50Ω cables is basically suitable for interconnection. Since with this arrangement longer cables are required, the use of 75Ω cables has advantages, as they have a lower attenuation than 50Ω cables with the same external dimensions.

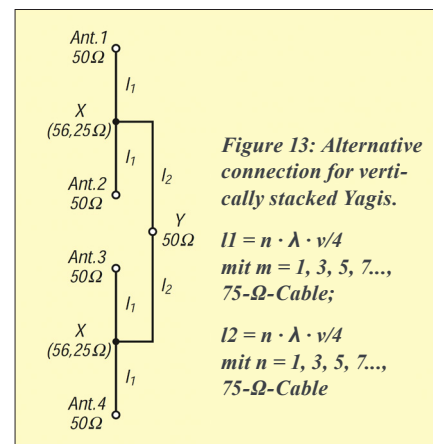


Figure 13: Alternative connection for vertically stacked Yagis.

$l_1 = n \cdot \lambda \cdot v/4$
mit $m = 1, 3, 5, 7, \dots$,
 $75\text{-}\Omega$ -Cable;
 $l_2 = n \cdot \lambda \cdot v/4$
mit $n = 1, 3, 5, 7, \dots$,
 $75\text{-}\Omega$ -Cable



Figure 14: Junction box for a group of two



Figure 15: Home-brew 50 Ω terminating resistor for measuring the matching elements

Figure 13 shows a recommended solution. Just for comparison: With a four-way distributor, all cables must be the same length and orientated to the largest distance. The use of three two-way distributors would be even more complex.

The individual antennas A1 to A4 with 50 Ω each are provided with 75 Ω transformation cables of the same length 11 . 112.5 Ω then appear at points X, which result in 56.25 Ω when connected in parallel. Now a transformation to 100 Ω at point Y follows again with 75 Ω cables (12). After parallel connection, you can then connect the normal 50 Ω connection cable to the station at the connection point.

Construction of the coaxial matching cables

Start by soldering the coaxial connectors to the cables; then strip the calculated length from the end of the shielding and expose the inner conductor. For full PE with $v = 0.67$, this results in 345 mm of cable (length of the shielding) for each quarter wavelength at 145 MHz. A good earth connection and short inner conductor pieces are important at the T-connectors (Fig. 14). If there is no socket there, you can use T-pieces (fittings) made of copper pipe for heating and water installations, which enable a joint-free transition of the braid on the earth side.

A test with self-built low-inductance terminating resistors ($2 \times 100 \Omega$ metal oxide film resistors in parallel, Fig. 15) is informative before connecting the antennas. Check whether the matching results in an SWR of 1.1. If a handheld radio with an extended frequency range is available, the SWR minimum can be determined between 140 and 150 MHz, allowing you to measure whether the SWR minimum actually appears at 145 MHz. If the latter is

shifted upwards or downwards, the cable lengths must be corrected accordingly. However, if the instructions are followed carefully, this should not be necessary. Proceed in the same way with cables for 70 cm. An extension cable created in this way for the portable use of two 2 m Yagis is shown in Fig. 16.

Antenna arrangement and practical design

Another important point deserves attention: The arrangement of the antennas must be such that all radiating elements are excited in phase. This means that gamma lines, inner conductors of half-wave balun cables and coaxial cables for the DK7ZB feed must be on the same side (and at the bottom!) of all antennas.



Fig. 16: Finished extension cable for use with the panel



Figure 17: Mechanical realisation of the connection points for pipes for an H-shaped cross with aluminium brackets Photos: DK7ZB

Matching pots are not worthwhile for the 2 m band if you can get clean solder connections for the matching cables. For 70 cm, cable transformers should have slightly higher but still acceptable additional losses. For 23cm only the use of coaxial matching splitters are recommended. In principle, the theoretical values for the gain are higher than one would expect. This is because cables, plugs and connecting cables with soldered joints always involve unavoidable losses. Special attention should therefore be paid to them.

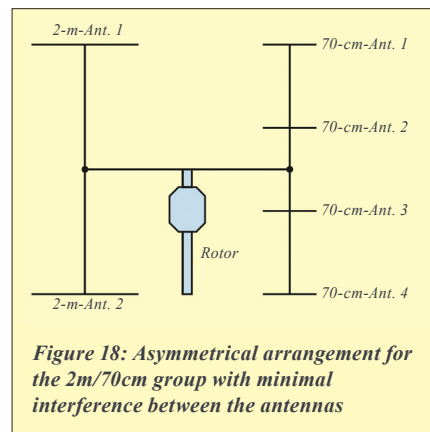


Figure 18: Asymmetrical arrangement for the 2m/70cm group with minimal interference between the antennas

You can also avoid high costs for the mechanics of the connection points for tubes for an H-cross by building it yourself. I will spare the reader a repeated description of the angled aluminium/ exhaust clamp technique, which has also proved its worth for short-wave yagis as an element or support tube attachment. Figure 17 shows it clearly. After final assembly, additional corrosion protection should be provided by spraying several times with plastic spray.

Finally, a suggestion for a powerful 2 m/70 cm combination. Two yagis for 2 m and four yagis for 70 cm are combined in an H-cross as shown in Fig. 18. With skilful mechanics, an approximate balance can be achieved despite the asymmetry. The mutual influences are almost zero, in contrast to two nested H-groups with four antennas each.

Last but not least, a word about the costs: The material price for a group of four 10-element Yagis for 2 m from [1] with all parts and matching lines including H-cross is only just over 300 DM; the arrangement has an antenna gain of about 19 dBd. If you consider that this is required elsewhere for a single 3-λ-Yagi, a self-build is definitely worthwhile. In addition, a description in the QSO „Yagi group, completely self-built“ also has a corresponding effect on the assessment by the partner and the builder's sense of self-worth, doesn't it?



Literature

- [1] Steyer, M., DK7ZB: High performance yagis for the 2 m band using 28 Ω technology, FUNKAMATEUR 46 (1997), H. 1, p. 72
- [2] Hoch, G., DL6WU: Optimum stabilisation of directional antennas, UKW-Berichte (1978), H. 4, p. 235
- [3] Weiner, K., DJ9HO: UHF Unterlage, Part I, p. 110
- [4] Weiner, K., DJ9HO: UHF Unterlage, Part III, p. 571

Antenas Yagi apiladas para VHF

MARTIN STEYER – DK7ZB

Evidentemente, la cuestión de cómo conectar antenas VHF para formar grupos enfados causa muchos dolores de cabeza a los radioaficionados. Las consideraciones teóricas por sí solas no son de mucha utilidad; los constructores quieren recibir instrucciones concretas. En principio, esto implica dos problemas diferentes: Uno es la cuestión de la distancia de apilamiento correcta, y el otro es la implementación práctica de la conexión.

La pregunta „¿Cuál es la distancia de apilamiento correcta?“ solo puede responderse con „Depende“. En realidad, no existe una distancia „correcta“ como tal. Solo es posible determinar la distancia correcta para ciertos casos o propósitos. Se debe hacer una distinción entre dos límites, que ya son claramente visibles al usar solo dos antenas y también se aplican de manera correspondiente a la conexión para formar grupos extensos

Si deseas obtener la ganancia máxima posible de aproximadamente 3 dB, la distancia es relativamente grande y, por lo tanto, la mecánica es complicada; además, hay más lóbulos secundarios en comparación con los lóbulos simples, pero también ceros en el diagrama direccional vertical.

Para una mejor supresión de los lóbulos secundarios, como es preferible en aplicaciones como EME, la ganancia alcanzable disminuye a 1.5 a 1.8 dB, con distancias de apilamiento mucho menores.

Un ejemplo debería aclarar las dependencias: La Yagi de 7 elementos con una ganancia de 10.5 dBd y un mástil de 3 m para la

banda de 2 m descrita en [1] debe apilarse verticalmente para formar un grupo de dos. El patrón de radiación no cambia en el plano horizontal, pero sí en el plano vertical. La Figura 1 muestra el patrón de radiación en el plano H (vertical) en comparación con una antena individual. Se pueden ver fuertes lóbulos secundarios. Estos lóbulos secundarios también ocurren con muy buenas Yagis y solo pueden reducirse drásticamente disminuyendo la ganancia.

Caso 1: La distancia es de 3.12 m. Esto proporciona la ganancia máxima de apilamiento, el grupo tiene 13.9 dBd. Son notables los lóbulos secundarios a $\pm 30^\circ$ por encima y por debajo de la dirección del lóbulo principal, que están suprimidos solo en 8 dB (Fig. 2).

Caso 2: La distancia se reduce a 2.46 m. La atenuación de los lóbulos secundarios aumenta a > 12.5 dB, pero al mismo tiempo la ganancia disminuye a 13.5 dBd. Esto todavía parece ser un compromiso favorable (Fig. 3).

Caso 3: El diagrama de directividad ahora muestra una supresión casi perfecta de los lóbulos secundarios en el rango de 40 dB. La

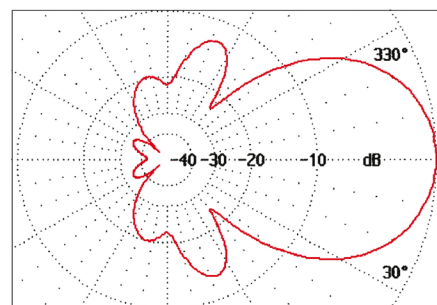


Figura 1: Diagrama direccional en el plano vertical (plano H) de una Yagi de 7 elementos y 28 Ω según DK7ZB (ganancia de 10.5 dBd)

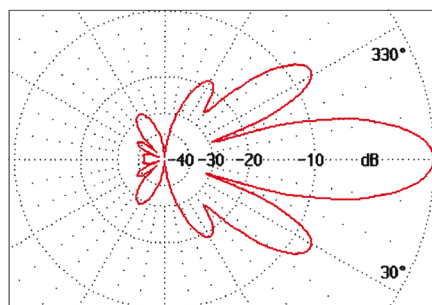


Figura 2: Diagrama direccional en el plano vertical (plano H) para dos yagis de 7 elementos apilados a 3.12 m (ganancia de 13.9 dBd)**

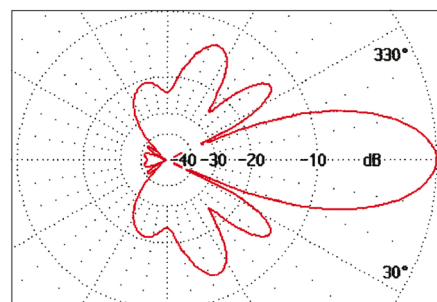


Figura 3: Diagrama direccional en el plano vertical (plano H) para dos yagis de 7 elementos apilados a 2.46 m (ganancia de 13.5 dBd)

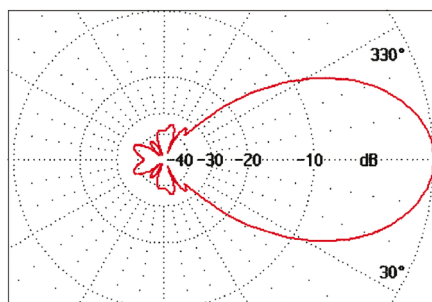


Figura 4: Diagrama direccional en el plano vertical (plano H) para dos yagis de 7 elementos apilados a 1.14 m (ganancia de 12 dBd)

distancia entre las dos antenas se ha reducido a unos manejables 1.14 metros. Sin embargo, la ganancia ha disminuido a 12 dBd, y surge la pregunta de si el esfuerzo y la duplicación de los costos del material valieron la pena (Fig. 4). En este punto, nos gustaría discutir brevemente el cálculo de las distancias. Si conoces el ángulo de apertura de 3 dB de la antena, el valor correspondiente se puede insertar en la ecuación.

$$A = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin(\alpha/2)}$$

determina la distancia requerida para la ganancia máxima [2]. En la fórmula, α es el ángulo de apertura de 3 dB en el plano vertical, en grados.

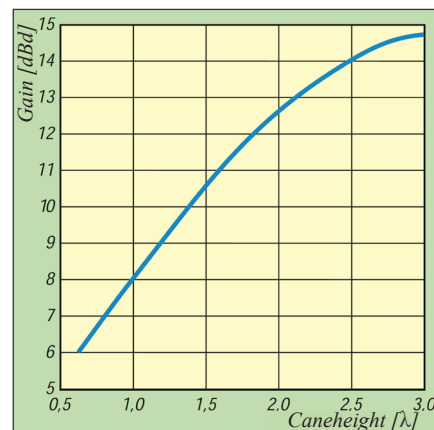
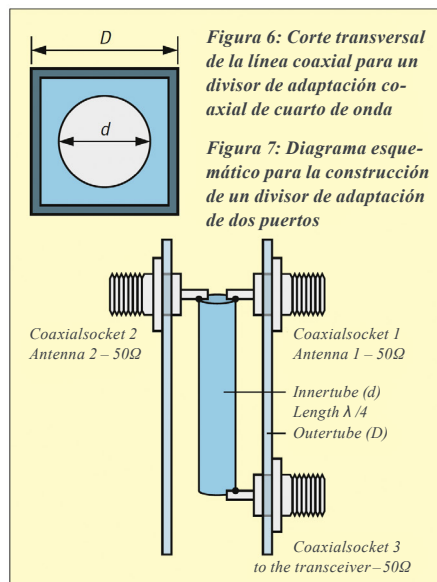


Figura 5: Diagrama de longitud/espaciado con yagis dimensionados de manera óptima para la ganancia máxima

Esto supone un patrón de radiación ideal sin lóbulos secundarios. Si se tienen en cuenta los lóbulos secundarios, surgen interferencias relativamente complicadas entre los campos, que solo se pueden determinar con mayor precisión mediante simulaciones por computadora. Si se explota hábilmente este efecto, es posible lograr una ganancia superior al valor teórico máximo de 3 dB por duplicar el área efectiva, a medida que el haz se vuelve más estrecho. Esto lleva a los 13.9 dB en el caso 1 descrito anteriormente, aunque a costa de picos fuertes.

■ H no es sólo problemático mecánicamente

En la práctica, esto no es perjudicial en el caso del apilamiento vertical. Sin embargo, el mismo efecto también ocurre con la disposición horizontal y lleva a un lóbulo principal extremadamente estrecho. Por esta razón, se debe preferir el apilamiento vertical.



Diámetro para divisores de adaptación coaxial según la Fig. 6

2 antenas $Z = 35,4 \Omega$		4 antenas $Z = 25,0 \Omega$	
D [mm]	d [mm]	D [mm]	d [mm]
10	6	7	5
15	9	14	10
20	12	21	15
25	15	24	17
30	18	28	20

D - dimensión interior del conductor exterior cuadrado
d - diámetro exterior del conductor interior redondo

En la práctica, cuatro antenas apiladas una sobre otra son mucho mejores que cuatro antenas dispuestas en forma de „H“, ya que los problemas mecánicos con el diseño en „H“ se vuelven rápidamente tan grandes que este diseño generalmente ya no se puede implementar para antenas con una longitud de 1.5λ .

Además del diseño mecánico más complicado, el alto llamado momento de inercia superficial de la configuración en „H“ también puede ser un problema. El momento de inercia superficial se relaciona con el par en el movimiento rotatorio de la misma manera que la masa se relaciona con la fuerza en el movimiento lineal.

Dado que el momento de inercia superficial aumenta con la distancia de la masa rotatoria con respecto al eje de rotación, es fácil ver que las antenas montadas excéntricamente (incluso simétricamente) tienen un momento de inercia superficial mucho mayor que las antenas apiladas verticalmente, con su centro de gravedad aproximadamente en el centro de rotación. Cualquiera que haya intentado girar un grupo de Yagis grande en configuración en „H“ a mano sabrá que esto requiere fuerzas mucho mayores en comparación con las mismas antenas simplemente montadas una encima de la otra. Por esta razón, la mayoría de las personas optará por la simple disposición apilada verticalmente. Simplemente lleva demasiado tiempo poner en movimiento la configuración en „H“ para que sea útil en todas las situaciones.

Lo mismo se aplica, por supuesto, al rotor en casa. Este tiene que soportar (no sólo) fuerzas torsionales considerablemente mayores durante la aceleración y el frenado con la configuración en „H“, que rápidamente superan los límites permisibles de los rotores más pequeños.

El apilamiento vertical es usualmente el más conveniente

Volviendo a los diagramas direccionales: La comparación de los diagramas 1 y 2 ilustra el efecto mencionado anteriormente.

La interferencia entre los lóbulos secundarios resulta en una amplificación o menor atenuación cuando las antenas están apiladas. Un área significativamente aumentada de los lóbulos secundarios puede resultar en la recepción de interferencias y ruido terrestre. Por esta razón, se debe prestar atención a la optimización de los diagramas de las antenas individuales en los sistemas EME, ya que una mala supresión de los lóbulos secundarios lleva a la aparición de lóbulos no deseados en un grupo de antenas en mayor medida. Por supuesto, este efecto no solo es notable en el plano H, sino también en el plano E si las antenas Yagi están dispuestas una al lado de la otra.

La única recomendación aquí es que, por lo general, es mejor usar dos antenas largas apiladas verticalmente como un grupo de dos. Un grupo de cuatro en una disposición en „H“ con Yagis más cortas tiene nominalmente la misma ganancia, pero el ángulo de apertura horizontal considerablemente reducido suele limitar severamente la utilidad para el tráfico terrestre.

Un ángulo de apertura vertical muy bajo es normalmente preferible porque el objetivo es enfocar la mayor cantidad de radiación posible hacia el horizonte. Las únicas excepciones son

los comunicados por satélites, el Meteor Scatter o la Aurora a distancias más cortas, donde un ángulo de elevación mayor puede ser ventajoso.

Para el radioaficionado, que a menudo no conoce el ángulo de apertura de su antena, he calculado para varias (buenas!) antenas qué distancia de apilamiento resulta en la ganancia máxima para dos Yagis en vertical. Suponiendo que la disposición de los elementos y la ganancia de una Yagi larga son casi óptimas, existe una clara dependencia entre la ganancia de la antena y la distancia de apilamiento.

Los ángulos de apertura de las antenas largas solo difieren tan poco que la distancia puede considerarse una función de la ganancia. He representado gráficamente esta relación (Fig. 5). Se puede observar que los valores especificados se encuentran dentro de una tolerancia de 0.2 dB alrededor del aumento máximo de ganancia.

Consejos prácticos para apilar antenas Yagi

En la mayoría de los casos, los problemas de adaptación en VHF se resuelven con la ayuda de elementos de transformación de cuarto de onda. Solo se discutirá la tecnología coaxial aquí, aunque no siempre es aconsejable utilizar cables coaxiales como líneas de conexión cuando se conectan grupos muy grandes con antenas largas. En su totalidad, estos cables pueden alcanzar rápidamente longitudes de varios decenas de metros, con la correspondiente atenuación adicional. Los cables de baja atenuación también son pesados y añaden una cantidad considerable de masa. Por estas razones, los especialistas en sistemas grandes de EME utilizan líneas de transmisión de dos hilos hechas a mano, que son considerablemente más ligeras y tienen

Figura 8: Splitter cuádruple casero para la banda de 70cm



Figura 9: Vista interior del splitter casero



baja atenuación. Sin embargo, debes estar preparado para un aumento en el SWR en condiciones de humedad y, aún peor, en temperaturas bajo cero.

Splitter de 3 dB coaxial

Los splitters coaxiales utilizan el hecho de que la impedancia característica de las líneas coaxiales depende de la relación entre los diámetros de los conductores interno y externo de la línea coaxial. Las propiedades del dieléctrico, en este caso el aire, también juegan un papel importante.

Básicamente, la forma transversal de los conductores es arbitraria, por lo que el conductor exterior puede tener una sección transversal cuadrada incluso si el conductor interior es redondo (Fig. 6). Esto tiene la ventaja de que se pueden instalar fácilmente enchufes coaxiales, lo que no es tan sencillo con conductores redondos. La Fig. 7 muestra la estructura esquemática de un divisor de adaptación de este tipo para dos antenas. La relación D/d determina la impedancia del arreglo. Esta puede determinarse usando la siguiente fórmula de aproximación [3]:

$$Z = 138 \log D/d + 3.54.$$

Las dimensiones calculadas deben mantenerse relativamente precisas, pero desafortunadamente los tubos y perfiles comerciales estándar generalmente no tienen los diámetros correctos. Según cálculos de DC9NL en [4], algunos valores posibles para D y d se resumen en la tabla.

Para un divisor de cuatro vías, se puede utilizar un perfil de aluminio cuadrado de 25 mm × 25 mm × 2 mm con una dimensión interna de 21 mm × 21 mm, que, con un tubo interno de cobre de 15 mm (dimensión estándar para tuberías de calefacción), proporciona la impedancia característica necesaria de 25 Ω. La Fig. 8 muestra un modelo basado en este principio para un distribuidor coaxial construido para la banda de 70 cm. Para ello, se realizan muescas en los extremos del tubo interno de cobre en las que luego sobresalen los pines de los enchufes para que puedan ser soldados en su lugar (Fig. 9). Limé las esquinas de los casquillos en dos lados para que la brida de los casquillos tipo N encaje en el perfil exterior. Las longitudes de los tubos internos son de 172 mm para la banda de 70 cm y de 515 mm para la banda de 2 m. Las aberturas se pueden cerrar con tapones de PVC como los que se utilizan para muebles (comprado en una tienda de manualidades).

■ Cable Coaxil como transformador

Figure 10 shows an industrially manufactured, coaxial four-way antenna distributor (Andes). It is designed for the 23 cm band and therefore has very manageable dimensions.



Figura 10 muestra un splitter de antena coaxial de cuatro salidas fabricado industrialmente (Andes). Está diseñado para la banda de 23 cm y, por lo tanto, tiene dimensiones muy manejables

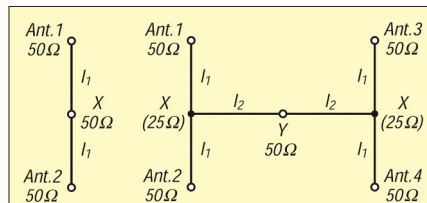


Figure 11: Stacking of two with 70 Ω coaxial cables. $l1 = n \cdot \lambda - v/4$ with $n = 1, 3, 5, 7, \dots$

Figure 12: Connection of four antennas with coaxial cable technology. $l1$ any (but equal) length of 50-Ω cable; $l2 = n \cdot \lambda - v/4$ with $n = 1, 3, 5, 7, \dots$, 75-Ω cable

Como regla general, sin embargo, los cables coaxiales se utilizan más a menudo para grupos de dos o cuatro en las bandas de 2 m y 70 cm, lo que resulta en mecánicas bastante simples. También prefiero la adaptación mediante cables, al menos para 144 MHz, debido a la incómoda longitud de las construcciones con tubos. Un poco de matemáticas y los estándares de cables disponibles comercialmente permiten realizar soluciones extremadamente económicas al construir soluciones propias.

■ Stacking vertical de dos antenas

Consideremos primero el caso de dos antenas y vayamos a la Fig. 11. En el punto X, se debe presentar una impedancia de 100 Ω para cada una de las dos líneas alimentadas por las antenas, de modo que se obtenga la impedancia de 50 Ω requerida para el cable coaxial cuando se conectan en paralelo. Para ello, la impedancia característica del cable de transformación se calcula según la relación

$$Z = \sqrt{Z_A \cdot Z_E}$$

que resulta en 70.7 Ω. Por lo tanto, una impedancia característica de 70 Ω proporciona un ajuste perfecto, aunque ya no es fácil conseguir cables fabricados con esa especificación. Si se acepta un SWR ligeramente mayor de 1.13, es posible utilizar cables de 75 Ω.

La longitud debe ser un múltiplo impar de $\lambda/4$ para cumplir con la condición de transformación. Además, se debe tener en cuenta el factor de acortamiento, que varía dependiendo del dieléctrico del material aislante. Para cables de polietileno sólido, $v=0.667v = 0.667v=0.667$; para cables con alto contenido de aire (H 500, H 100, Aircom, etc.), es mayor, generalmente entre 0.78 y 0.85. Por lo tanto, se deben observar las especificaciones del fabricante. Por estas razones, en la práctica se utilizan longitudes de cable de $5 \lambda/4$, $7 \lambda/4$ o $9 \lambda/4$ dependiendo de la distancia al suelo.

Para el cableado, es importante que mantengas los cables de conexión lo más cortos posible y tengas en cuenta el apantallamiento (incluyendo la longitud del apantallamiento de los conectores utilizados). En cualquier caso, el ancho de

banda utilizable supera los límites de la banda de 2 m o 70 cm, por lo que el dimensionamiento para el centro de la banda es completamente suficiente.

■ Interconexión de cuatro antenas en disposición en H

Conectar cuatro antenas es aún más sencillo, ya que solo se requieren cables coaxiales de 50 Ω. Para ello, podemos visualizar las relaciones con la ayuda de la Fig. 12: Las líneas que van desde cada antena hasta los puntos X consisten en cables con una impedancia característica de 50 Ω. Las longitudes $l1$ son arbitrarias, pero todos los cables deben ser idénticos.

Debido a la conexión en paralelo en los puntos X, allí se presenta una impedancia de 25 Ω. Los tramos de cable $l2$ la transforman a 100 Ω en el punto Y, de modo que se obtienen nuevamente 50 Ω después de la conexión en paralelo. Un nuevo cálculo muestra que las líneas de cuarto de onda con cable de 50 Ω cumplen con esta tarea. Por lo tanto, todas las líneas pueden consistir en el mismo tipo de cable; solo las longitudes $l2$ deben ser calculadas y cortadas con precisión. De manera similar, los subgrupos pueden interconectarse para formar grupos más grandes utilizando este método.

■ Apilamiento vertical de cuatro antenas una encima de la otra

Si es posible controlar mecánicamente el apilamiento vertical de cuatro antenas (un apilamiento único a una distancia de 3 m con antenas de 2 m ya da lugar a una altura total del grupo de antenas de 9 m), se obtiene una disposición óptima en términos de características de radiación: un ángulo de elevación vertical muy pequeño y un lóbulo de radiación horizontal más grande. Para 70 cm, en particular, esto resulta en arreglos bastante manejables con excelentes características direccionales. La misma tecnología que para el grupo en „H“ con cables de 50 Ω es básicamente adecuada para la interconexión. Dado que con esta disposición se requieren cables más largos, el uso de cables de 75 Ω tiene ventajas, ya que tienen una menor atenuación que los cables de 50 Ω con las mismas dimensiones externas.

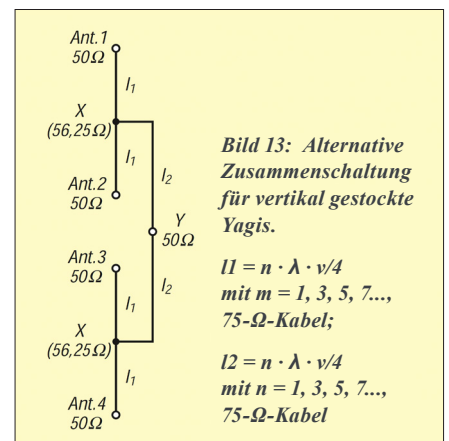




Figure 14: Junction box for a group of two



Figure 15: Home-brew 50 Ω terminating resistor for measuring the matching elements

La Figura 13 muestra una solución recomendada. Sólo para comparación: con un splitter de cuatro salidas, todos los cables deben tener la misma longitud y orientarse a la distancia más grande. El uso de tres divisores de dos salidas sería aún más complejo.

Las antenas individuales A1 a A4, con 50 Ω cada una, están equipadas con cables de transformación de 75 Ω de la misma longitud l1. En los puntos X aparecen 112.5 Ω, que resultan en 56.25 Ω cuando se conectan en paralelo. Luego, se realiza una transformación a 100 Ω en el punto Y con cables de 75 Ω (l2). Después de la conexión en paralelo, se puede conectar el cable de conexión normal de 50 Ω a la estación en el punto de conexión.

Construcción de los cables de adaptación coaxiales

Empieza soldando los conectores coaxiales a los cables; luego, pela la longitud calculada del extremo del apantallamiento y expón el conductor interno. Para un cable con dieléctrico de PE completo con $v=0.67$, esto resulta en 345 mm de cable (longitud del apantallamiento) para cada cuarto de onda a 145 MHz. Una buena conexión a tierra y tramos cortos del conductor interno son importantes en los conectores en T (Fig. 14). Si no hay un enchufe allí, puedes usar piezas en T (accesorios) de tubo de cobre para calefacción o plomería, que permiten una transición sin juntas del trenzado en el lado de tierra. Una prueba con resistores de terminación de baja inductancia autoconstruidos ($2 \times 100 \Omega$ resistores de película de óxido metálico en paralelo, Fig. 15) brinda información útil antes de conectar las antenas. Verifica si la adaptación resulta en un SWR de 1.1. Si tienes un radio portátil con un rango de frecuencia extendido, el mínimo de SWR puede determinarse entre 140 y 150 MHz, lo que te permite medir si el mínimo de SWR aparece realmente a 145 MHz. Si este se desplaza hacia arriba o hacia abajo, las longitudes de los cables deben corregirse en consecuencia. Sin embargo, si se siguen cuidadosamente las instrucciones, esto no debería ser necesario. Procede de la misma manera con los cables para 70 cm. Un cable

de extensión creado de esta manera para el uso portátil de dos Yagis de 2 m se muestra en la Fig. 16.

Disposición de antenas y diseño práctico

Otro punto importante merece atención: La disposición de las antenas debe ser tal que todos los elementos radiantes estén excitados en fase. Esto significa que las líneas gamma, los conductores internos de los cables balun de media onda y los cables coaxiales para el alimentador DK7ZB deben estar en el mismo lado (¡y en la parte inferior!) de todas las antenas. Los pots de adaptación no valen la pena para la banda de 2 m si puedes obtener conexiones de soldadura limpias para los cables de adaptación. Para 70 cm, los transformadores de cable pueden tener pérdidas adicionales ligeramente mayores pero aún aceptables. Para 23 cm, solo se recomienda el uso de divisores de adaptación coaxiales.



Fig. 16: Cable de extensión terminado para uso con el panel



Figure 17: Mechanical realisation of the connection points for an Hshaped cross with aluminium brackets Photos: DK7ZB

En principio, los valores teóricos para la ganancia son mayores de lo que se esperaría. Esto se debe a que los cables, enchufes y cables de conexión con juntas soldadas siempre implican pérdidas inevitables. Por lo tanto, se debe prestar especial atención a estos elementos.

También puedes evitar altos costos para la conexión mecánica de los puntos en una cruz en H construyéndola tú mismo. Me ahorraré al lector una descripción repetida de la técnica de ángulo de aluminio/abrazadera de

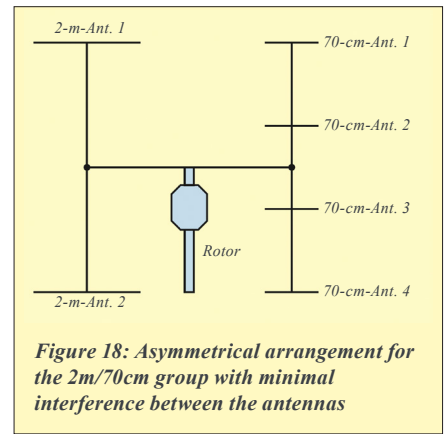


Figure 18: Asymmetrical arrangement for the 2m/70cm group with minimal interference between the antennas

escape, que también ha demostrado su valía para la fijación de elementos o tubos de soporte en yagis de onda corta. La Figura 17 lo muestra claramente. Después del montaje final, se debe proporcionar una protección adicional contra la corrosión mediante varias capas de spray plástico.

Finalmente, una sugerencia para una combinación potente de 2 m/70 cm. Dos yagis para 2 m y cuatro yagis para 70 cm se combinan en una cruz en H, como se muestra en la Fig. 18. Con una mecánica hábil, se puede lograr un equilibrio aproximado a pesar de la asimetría. Las influencias mutuas son casi nulas, a diferencia de dos grupos en H anidados con cuatro antenas cada uno.

Por último, una palabra sobre los costos: El precio del material para un grupo de cuatro Yagis de 10 elementos para 2 m de [1], con todas las partes y líneas de adaptación, incluida la cruz en H, es de poco más de 300 DM; la disposición tiene una ganancia de antena de aproximadamente 19 dBd. Si consideras que esto es lo que se requiere en otros lugares para una sola Yagi de 3 longitudes de onda, construirla uno mismo definitivamente vale la pena. Además, una descripción en el QSO „Stack Yagi, completamente artesanal“ también tiene un efecto correspondiente en la valoración por parte del compañero y en el sentido de autoestima del constructor, ¿verdad?



Referencias

- [1] Steyer, M., DK7ZB: High performance yagis for the 2 m band using 28 Ω technology, FUNKAMATEUR 46 (1997), H. 1, p. 72
- [2] Hoch, G., DL6WU: Optimum stabilisation of directional antennas, UKW-Berichte (1978), H. 4, p. 235
- [3] Weiner, K., DJ9HO: UHF Unterlage, Part I, p. 110
- [4] Weiner, K., DJ9HO: UHF Unterlage, Part III, p. 571

Couplage d'antennes VHF

MARTIN STEYER – DK7ZB

Il est évident que la question de savoir comment connecter les antennes VHF pour former des groupements cause de nombreux maux de tête à de nombreux radioamateurs. Les considérations théoriques à elles seules ne sont d'aucune utilité pour quiconque ; les pratiquants veulent recevoir des instructions concrètes. En principe, cela implique deux problèmes différents : l'un est la question de la distance d'empilage correcte, l'autre est la mise en œuvre pratique de la connexion.

À la question « Quelle est la bonne distance de couplage ? » on ne peut répondre que par « Cela dépend ». En réalité, la distance « correcte » n'existe pas. Il n'est possible de déterminer la distance correcte que dans certains cas ou objectifs. Il convient de distinguer deux limites qui sont déjà clairement visibles en cas d'utilisation de seulement deux antennes et qui s'appliquent également en cas de connexion pour former des groupes étendus.

Si l'on souhaite le gain maximum possible d'environ 3 dB, la distance est relativement grande et la mécanique est donc compliquée ; de plus, il y a plus de lobes latéraux par rapport aux lobes simples, mais aussi des zéros dans le diagramme directionnel vertical.

Pour une meilleure suppression des lobes secondaires, comme cela est préférable pour des applications telles que l'EME, le gain réalisable diminue à 1,5 à 1,8 dB, à des distances d'empilement beaucoup plus faibles.

Un exemple devrait clarifier les dépendances : une Yagi à 7 éléments avec un gain de 10,5 dBd et un boom de 3 m pour la bande de 2 m décrite dans [1] doit être empilée vertica-

lement pour former un groupement de deux antennes. Le diagramme de rayonnement ne change pas dans le plan horizontal, mais il change dans le plan vertical. La figure 1 montre le diagramme de rayonnement dans le plan H (vertical) par rapport à une antenne unique. De forts lobes latéraux sont visibles. Ces lobes secondaires surviennent également avec de très bonnes yagis et ne peuvent être réduits qu'en réduisant drastiquement le gain.

Cas 1 : La distance est de 3,12 m. Cela donne le gain d'empilement maximum, le groupe a 13,9 dBd. On remarquera les lobes latéraux $\pm 30^\circ$ au-dessus et en dessous de la direction du faisceau principal, ils sont supprimés de seulement 8 dB (Fig. 2).

Cas 2 : La distance est réduite à 2,46 m. L'atténuation des lobes secondaires augmente jusqu'à $> 12,5$ dB, mais en même temps le gain chute à 13,5 dBd. Cela semble toujours être un compromis favorable (Fig. 3).

Cas 3 : Le diagramme de directivité montre désormais une suppression presque onirique des lobes secondaires dans la plage de 40 dB

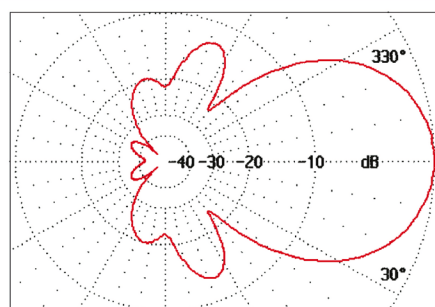


Figure 1: Diagramme directionnel dans le plan vertical (plan H) d'un yagi 7-El.-28-Ω selon DK7ZB (gain 10.5 dBd).

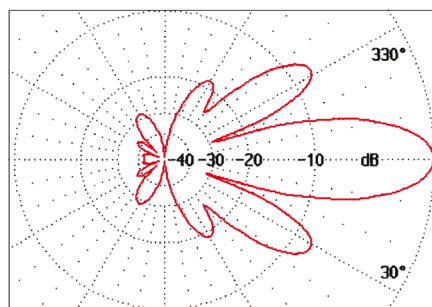


Figure 2: Diagramme directionnel dans le plan vertical (plan H) pour deux yagis à 7 éléments empilées à 3,12 m (gain 13.9 dBd)

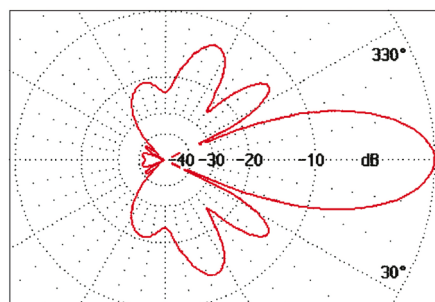


Figure 3: Diagramme directionnel dans le plan vertical (plan H) pour deux yagis à 7 éléments empilés à 2,46 m (gain 13,5 dBd)

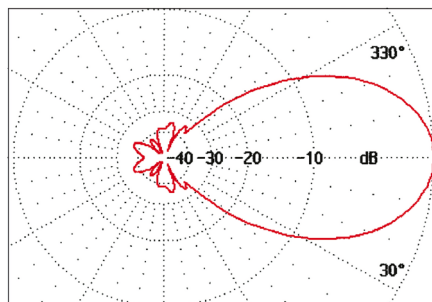


Figure 4: Diagramme directionnel dans le plan vertical (plan H) pour deux yagis à 7 éléments empilés à 1,14 m (gain 12 dBd)

! La distance entre les deux antennes a été réduite à 1,14 m, ce qui est gérable. Cependant, le gain est tombé à 12 dBd et la question se pose de savoir si les efforts et la duplication des coûts matériels en valent alors la peine (Fig. 4). À ce stade, nous aimerions discuter brièvement du calcul des distances. Si vous connaissez l'angle d'ouverture de 3 dB de l'antenne, la valeur correspondante peut être insérée dans l'équation

$$A = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin(\alpha/2)}$$

pour déterminer la distance requise pour le gain maximum [2]. Dans la formule, α est l'angle d'ouverture de 3 dB dans le plan vertical en degrés.

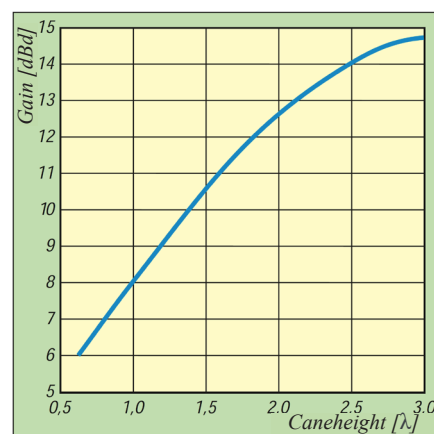
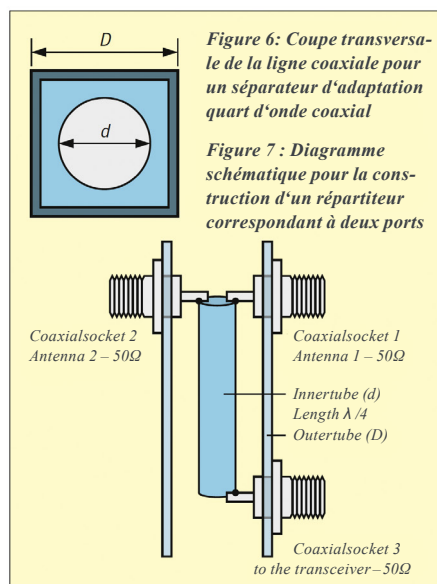


Figure 5: Diagramme de longueur/espace avec des yagis dimensionnés de manière optimale pour un gain maximal

Cela suppose un diagramme de rayonnement idéal sans lobes secondaires. Si l'on tient compte des lobes secondaires, des interférences relativement compliquées entre les champs apparaissent, qui ne peuvent être déterminées plus précisément que par simulation informatique. Si cet effet est habilement exploité, un gain supérieur à la valeur maximale théorique de 3 dB pour doubler la surface effective peut même être obtenu lorsque le faisceau devient plus étroit. Cela conduit aux 13,9 dB du cas 1 décrit ci-dessus, mais au prix de forts pics.

■ H non seulement problématique mécaniquement

En pratique, ceci n'est pas pénalisant dans le cas d'un empilement vertical. Cependant, le même effet se produit également avec un positionnement horizontal et conduit à un lobe principal extrêmement étroit. Pour cette raison, il faut préférer l'empilement vertical.



Diamètre pour splitter coaxial d'après la Fig. 6

2 antennes Z = 35,4 Ω		4 antennes Z = 25,0 Ω	
D [mm]	d [mm]	D [mm]	d [mm]
10	6	7	5
15	9	14	10
20	12	21	15
25	15	24	17
30	18	28	20

D - dimension intérieure du conducteur extérieur carré
d - diamètre extérieur du conducteur interne rond

En pratique, quatre antennes superposées valent bien mieux que quatre antennes disposées en H, car les problèmes mécaniques avec le « H » deviennent rapidement si importants que cette conception ne peut généralement plus être mise en œuvre pour des antennes d'une longueur de 1,5 λ.

Outre la conception mécanique plus complexe, le moment d'inertie élevé de la configuration H peut également constituer un problème. Le moment d'inertie de surface est lié au couple en mouvement rotatif de la même manière que la masse est liée à la force en mouvement linéaire.

Étant donné que le moment d'inertie augmente avec la distance de la masse en rotation par rapport à l'axe de rotation, il est facile de voir que les antennes montées de manière excentrique (même symétriquement) ont un moment d'inertie beaucoup plus grand que les antennes empilées verticalement avec leur centre de gravité approximativement au centre de rotation. Quiconque a déjà essayé de faire tourner à la main un groupe de Yagis plus grand en configuration H sait que cela nécessite des forces beaucoup plus importantes que les mêmes antennes simplement montées les unes sur les autres. Pour cette seule raison, la plupart des gens reviendront à la simple disposition empilée verticalement. Il faut tout simplement trop de temps pour faire bouger le H afin qu'il soit utile et capable de faire face à toutes les situations.

Il en va naturellement de même pour le rotor à la maison. Il doit absorber (pas seulement) des forces de torsion considérablement plus importantes lors de l'accélération et du freinage avec le H, qui dépassent rapidement les limites autorisées des rotors plus petits.

■ L'empilement vertical est généralement plus favorable

Retour aux diagrammes directionnels : La comparaison des diagrammes 1 et 2 illustre l'effet évoqué ci-dessus :

L'interférence entre les lobes latéraux entraîne une amplification ou une atténuation moindre lorsque les antennes sont empilées. Une zone considérablement accrue des lobes latéraux peut entraîner la captation d'interférences et de bruits terrestres. C'est pourquoi il convient de veiller à optimiser les diagrammes des antennes individuelles dans les systèmes EME, car une mauvaise suppression des lobes secondaires conduit dans une bien plus grande mesure à des lobes indésirables dans un groupe d'antennes. Bien entendu, cet effet n'est pas seulement perceptible dans le plan H, mais également dans le plan E si les antennes Yagi sont disposées côte à côte.

La seule recommandation ici est qu'il est généralement préférable d'utiliser deux longues antennes empilées verticalement en groupe de deux. Un groupe de quatre dans une disposition en H avec des Yagis plus courtes a nominale-ment le même gain, mais l'angle d'ouverture horizontal considérablement réduit restreint généralement sévèrement l'utilisabilité pour le trafic terrestre.

Un angle d'ouverture vertical très faible est normalement préférable car le but est de concentrer le plus de rayonnement possible vers l'horizon. Les seules exceptions sont la trans-

mission via satellite, la transmission via météorites ou les aurores sur des distances plus courtes, pour lesquelles un angle d'élévation plus élevé peut être avantageux.

Pour le radioamateur, qui ne connaît souvent pas l'angle d'ouverture de son antenne, j'ai calculé pour différentes (bonnes !) antennes quelle distance d'empilement résulte pour deux Yagis couplées verticalement pour un gain maximum. En supposant que le positionnement des éléments et le gain d'une yagi longue soient presque optimaux, il existe une nette dépendance entre le gain de l'antenne et la distance d'empilement.

Les angles d'ouverture des antennes Yagi longues diffèrent si peu que la distance peut être considérée comme une fonction du gain. J'ai tracé cette relation graphiquement (Fig. 5). On constate que les valeurs spécifiées se situent dans une tolérance de 0,2 dB autour de l'augmentation maximale du gain.

■ Conseils pratiques pour empiler les antennes Yagi

Dans la plupart des cas, les problèmes de couplage en VHF sont résolus à l'aide d'éléments de transformation quart d'onde. Seule la technologie coaxiale sera abordée ici, même s'il n'est pas nécessairement conseillé d'utiliser des câbles coaxiaux comme lignes de connexion lors de la connexion de très grands groupes dotés de longues antennes. Dans leur ensemble, ils peuvent atteindre rapidement une longueur de plusieurs dizaines de mètres avec une atténuation supplémentaire correspondante. Les câbles à faible atténuation sont également lourds et ajoutent une masse considérable. C'est pour ces raisons que les spécialistes des grands systèmes EME utilisent des lignes de transmission à

Figure 8: Self-built quadruple distributor for the 70 cm band



Figure 9: View into a quadruple distributor



deux fils fabriquées par eux-mêmes, qui sont considérablement plus légères et présentent une faible atténuation. Cependant, vous devez vous préparer à une augmentation du ROS par temps humide, et encore pire lors de période de gel..

■ Répartiteur coaxial 3 dB

Les séparateurs d'adaptation coaxiaux utilisent le fait que l'impédance caractéristique des lignes coaxiales dépend du rapport entre les diamètres des lignes coaxiales des conducteurs internes et externes. Les propriétés du diélectrique, en l'occurrence de l'air, jouent également un rôle. Fondamentalement, la for-

me de la section transversale des conducteurs est arbitraire, c'est pourquoi la section transversale du conducteur externe peut être carrée même si le conducteur interne est rond (Fig. 6). Cela présente l'avantage que les embases coaxiales peuvent être facilement installées, ce qui n'est pas si simple avec des conducteurs ronds. La figure 7 montre la structure schématique d'un tel séparateur adapté pour deux antennes. Le rapport D/d détermine l'impédance du dispositif. Il peut être déterminé à l'aide de la formule d'approximation suivante [3] :

$$Z = 138 \log D/d + 3.54.$$

Les dimensions calculées doivent être respectées de manière relativement précise, mais malheureusement les tubes et profilés courants du commerce n'ont généralement pas les diamètres corrects. Selon les calculs de DC9NL dans [4], certaines valeurs possibles pour D et d sont résumées dans le tableau.

Pour un répartiteur à quatre voies, il existe un profilé carré en aluminium de 25 mm × 25 mm × 2 mm facilement disponible avec une dimension intérieure de 21 mm × 21 mm qui, avec un tube intérieur de 15 mm en cuivre (dimension standard pour le chauffage tuyaux), fournit l'impédance caractéristique nécessaire de 25 Ω. La figure 8 montre un modèle basé sur ce principe pour un distributeur coaxial construit pour la bande de 70 cm. Pour ce faire, faites des encoches aux extrémités du tube intérieur en cuivre dans lesquelles dépassent ensuite les broches des embases afin de pouvoir les souder en place (Fig. 9). J'ai limé les angles des embases sur deux côtés afin que la bride des embases N s'adapte au profil extérieur. Les longueurs des conducteurs intérieurs sont de 172 mm pour la bande de 70 cm et de 515 mm pour la bande de 2 m. Les ouvertures peuvent être fermées avec des bouchons PVC car elles sont utilisées pour du mobilier (magasin de bricolage).

■ Câble coaxial comme éléments de transformation

La figure 10 montre un distributeur d'antenne coaxial à quatre voies, fabriqué industriellement (Andes). Il est conçu pour la bande des 23 cm et a donc des dimensions très maniables.



Figure 10: Répartiteur commercial à quatre voies pour la bande de 23 cm (Andes)

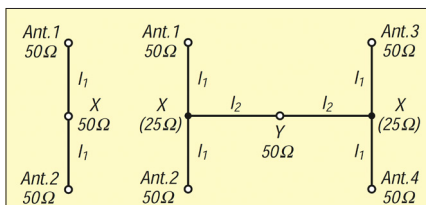


Figure 11: Couplage de 2 avec des câbles coaxiaux de 70 Ω. $l1 = n \cdot \lambda - v/4$ with $n = 1, 3, 5, 7, \dots$

Figure 12: Connexion de 4 antennes avec du câble coaxial.

$l1$ longueurs quelconques (mais identiques) de câble de 50-Ω cable; $l2 = n \cdot \lambda - v/4$ avec $n = 1, 3, 5, 7, \dots$, câbles de 75-Ω

Toutefois, en règle générale, les câbles coaxiaux sont plutôt utilisés par groupes de deux ou quatre dans les bandes de 2 m et 70 cm, ce qui aboutit à une mécanique assez simple. Je préfère également l'adaptation par câbles, au moins pour 144 MHz, en raison de la longueur encombrante des constructions de tubes. Un peu de calcul et les normes de câbles disponibles dans le commerce permettent de réaliser des solutions extrêmement peu coûteuses lors de la construction de la vôtre !

■ Empilement vertical de deux antennes

Considérons d'abord le cas de deux antennes et passons à la Fig. 11. Au point X, une impédance de 100 Ω doit être présente pour chacune des deux lignes alimentées par les antennes, de sorte que l'impédance de 50 Ω requise pour le câble coaxial est créé lorsqu'il est connecté en parallèle. A cet effet, l'impédance caractéristique du câble de transformation est calculée selon la relation

$$Z = \sqrt{Z_A \cdot Z_E}$$

à 70,7 Ω. Une impédance caractéristique de 70 Ω permet donc une adaptation parfaite, mais il n'est plus facile de se procurer de tels câbles fabriqués auparavant. Si l'on accepte un ROS légèrement supérieur de 1,13, il est facilement possible d'utiliser des câbles 75 Ω.

La longueur doit être un multiple impair de $\lambda/4$ afin de remplir la condition de transformation. De plus, il faut tenir compte du facteur de raccourcissement, qui varie en fonction du diélectrique du matériau isolant. Pour les câbles pleins en polyéthylène, $v = 0,667$, pour les câbles à forte teneur en air (H 500, H 100, Aircom, etc.) il est plus élevé, généralement entre 0,78 et 0,85. Les spécifications du fabricant doivent donc être respectées. Pour ces raisons, des longueurs de câble de $5 \lambda/4$, $7 \lambda/4$ ou $9 \lambda/4$ sont utilisées en pratique, en fonction de la distance au sol.

Pour le câblage, il est important que les câbles de connexion soient aussi courts que possible et qu'il soit tenu compte du blindage (avec la longueur de blindage des connecteurs utilisés !). Dans tous les cas, la bande passante utilisable dépasse les limites de la bande de 2 m ou

70 cm, de sorte qu'un dimensionnement pour le centre de la bande est tout à fait suffisant.

■ Interconnexion de quatre antennes en disposition en H

La connexion de quatre antennes est encore plus simple, car seuls des câbles coaxiaux de 50 Ω sont nécessaires. Pour ce faire, on peut visualiser les relations à l'aide de la Fig. 12 : Les lignes menant de chaque antenne aux points X sont constituées de câbles d'impédance caractéristique de 50 Ω. Les longueurs $l1$ sont arbitraires, mais tous les câbles doivent être identiques.

En raison de la connexion parallèle aux points X, une impédance de 25 Ω y est présente. Les tronçons de câble $l2$ le transforment à 100 Ω au point Y pour que 50 Ω y réapparaissent après mise en parallèle. Un nouveau calcul montre que les lignes quart d'onde avec câble 50 Ω remplissent cette tâche. Toutes les lignes peuvent donc être constituées du même type de câble, seules les longueurs $l2$ doivent être calculées avec précision et découpées sur mesure. De même, les sous-groupes peuvent être interconnectés pour former des groupes plus grands en utilisant cette méthode.

■ Empilage vertical de quatre antennes les unes sur les autres

S'il est possible de contrôler mécaniquement l'empilement vertical de quatre antennes (un seul empilement à une distance de 3 m avec des antennes de 2 m conduit déjà à une hauteur totale du groupe d'antennes de 9 m), on obtient une disposition optimale en termes de caractéristiques de rayonnement : très petit angle d'élévation vertical et lobe de rayonnement horizontal plus grand. Pour 70 cm en particulier, cela donne des réseaux tout à fait maniables avec d'excellentes caractéristiques directionnelles. La même technologie que celle du groupe H avec câbles 50 Ω est fondamentalement adaptée à l'interconnexion. Étant donné qu'avec cette disposition, des câbles plus longs sont nécessaires, l'utilisation de câbles de 75 Ω présente des avantages, car ils ont une atténuation inférieure à celle des câbles de 50 Ω avec les mêmes dimensions extérieures.

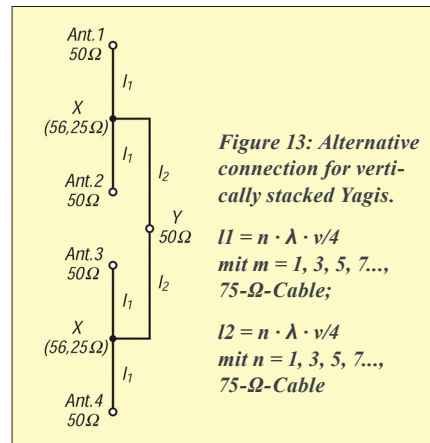


Figure 13: Alternative connection for vertically stacked Yagis.

$l1 = n \cdot \lambda \cdot v/4$
mit $m = 1, 3, 5, 7, \dots$,
75-Ω-Cable;
 $l2 = n \cdot \lambda \cdot v/4$
mit $n = 1, 3, 5, 7, \dots$,
75-Ω-Cable



Figure 14: Boîte de jonction pour 2 antennes



Figure 15: Résistance de terminaison maison de 50 Ω pour mesurer les éléments correspondants

La figure 13 montre une solution recommandée. Juste à titre de comparaison : avec un répartiteur quadridirectionnel, tous les câbles doivent être de la même longueur et orientés sur la plus grande distance. L'utilisation de trois répartiteurs bidirectionnels serait encore plus complexe.

Les antennes individuelles A1 à A4 de 50 Ω chacune sont munies de câbles de transformation de 75 Ω de même longueur 11. 112,5 Ω apparaissent alors aux points X, ce qui donne 56,25 Ω lorsqu'il est connecté en parallèle. Maintenant, une transformation à 100 Ω au point Y s'ensuit à nouveau avec des câbles de 75 Ω (12). Après la connexion en parallèle, vous pouvez ensuite connecter le câble de connexion normal de 50 Ω à la station au point de connexion.

■ Construction des câbles coaxiaux correspondants

Commencez par souder les connecteurs coaxiaux aux câbles ; puis dénudez la longueur calculée de l'extrémité du blindage et exposez le conducteur interne. Pour du PE avec $v = 0,67$, cela donne 345 mm de câble (longueur du blindage) pour chaque quart de longueur d'onde à 145 MHz. Une bonne connexion à la terre et des conducteurs intérieurs courts sont importants au niveau des connecteurs en T (Fig. 14). S'il n'y a pas de connecteur à cet endroit, vous pouvez utiliser des pièces en T (raccords) en tube de cuivre pour les installations de chauffage et d'eau, qui permettent une transition sans joint de la tresse côté terre. Un test avec des résistances de terminaison à faible inductance auto-construites ($2 \times 100 \Omega$ résistances à film d'oxyde métallique en parallèle, Fig. 15) est informatif avant de connecter les antennes. Vérifiez si la correspondance donne un ROS de 1,1. Si une radio portable avec une gamme de fréquences étendue est disponible, le ROS minimum peut être déterminé entre 140 et 150 MHz, vous permettant de mesurer si le ROS minimum apparaît réellement à 145 MHz.

Si ce dernier est décalé vers le haut ou vers le bas, les longueurs de câble doivent être cor-

rigées en conséquence. Cependant, si les instructions sont scrupuleusement suivies, cela ne devrait pas être nécessaire. Procédez de la même manière avec des câbles sur 70 cm. Une rallonge ainsi créée pour l'utilisation portable de deux Yagis de 2 m est illustrée à la Fig. 16.

■ Disposition des antennes et conception pratique

Another important point deserves attention: The arrangement of the antennas must be such that all radiating elements are excited in phase. This means that gamma lines, inner conductors of half-wave balun cables and coaxial cables for the DK7ZB feed must be on the same side (and at the bottom!) of all antennas. Un autre point important mérite attention : la disposition des antennes doit être telle que tous les éléments rayonnants soient excités en phase. Cela signifie que les lignes gamma, les conducteurs internes des câbles balun demi-onde et les câbles coaxiaux pour l'alimentation du DK7ZB doivent se trouver du même côté (et en bas !) de



Fig. 16: Câble d'extension fini à utiliser avec le panneau



Figure 17: Réalisation mécanique des points de raccordement des tubes pour une croix en H avec équerres en aluminium Photos : DK7ZB

toutes les antennes.

Les répartiteurs coaxiaux ne valent pas la peine pour la bande de 2 m si vous pouvez réaliser des connexions soudées propres pour les câbles correspondants. Pour 70 cm, les transformateurs à câble devraient avoir des pertes supplémentaires légèrement plus élevées mais toujours acceptables. Pour 23 cm, seule l'utilisation de répartiteurs coaxiaux correspondants est recommandée.

En principe, les valeurs théoriques du gain sont

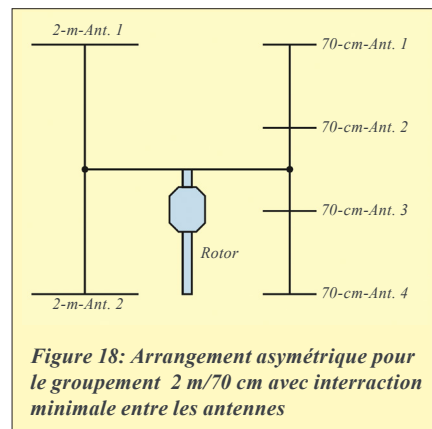


Figure 18: Arrangement asymétrique pour le groupement 2 m/70 cm avec interaction minimale entre les antennes

supérieures à ce à quoi on pourrait s'attendre. En effet, les câbles, fiches et câbles de connexion avec joints soudés entraînent toujours des pertes inévitables. Une attention particulière doit donc leur être accordée.

Vous pouvez également éviter des coûts élevés pour la mécanique des points de connexion des tubes d'une croix en H en la construisant vous-même. J'épargnerai au lecteur une description répétée de la technique du collier d'échappement/aluminium coudé, qui a également fait ses preuves pour les yagis à ondes courtes comme fixation d'élément ou de tube support. La figure 17 le montre clairement. Après l'assemblage final, une protection supplémentaire contre la corrosion doit être assurée en pulvérisant plusieurs fois un spray plastique.

Enfin, une suggestion pour une combinaison performante sur 2 m/70 cm. Deux yagis pour le 2 m et quatre yagis pour le 70 cm sont combinés dans une croix en H comme le montre la figure 18. Avec une mécanique habile, un équilibre approximatif peut être atteint malgré l'asymétrie. Les influences mutuelles sont presque nulles, contrairement à deux groupes H imbriqués comportant chacun quatre antennes. Enfin, un mot sur les coûts : le prix du matériel pour un groupe de quatre Yagis à 10 éléments pour le 2 m de [1] avec toutes les pièces et lignes correspondantes, y compris la croix en H, n'est qu'à un peu plus de 300 DM ; le dispositif présente un gain d'antenne d'environ 19 dBd. Si l'on considère que cela est nécessaire ailleurs pour une seule yagi de longueur 3- λ , une auto-construction en vaut vraiment la peine. De plus, une description lors de QSO „Groupement de Yagi, entièrement auto-construit“ a également un effet correspondant sur l'évaluation par le partenaire et l'estime de soi du constructeur, n'est-ce pas ?

Littérature

- [1] Steyer, M., DK7ZB: High performance yagis for the 2 m band using 28 Ω technology, FUNKAMATEUR 46 (1997), H. 1, p. 72
- [2] Hoch, G., DL6WU: Optimum stabilisation of directional antennas, UKW-Berichte (1978), H. 4, p. 235
- [3] Weiner, K., DJ9HO: UHF Unterlage, Part I, p. 110
- [4] Weiner, K., DJ9HO: UHF Unterlage, Part III, p. 571

Allineamento di antenne Yagi VHF

MARTIN STEYER – DK7ZB

Ovviamente, la questione di come collegare le antenne VHF per formare dei gruppi causa a molti radioamatori molti grattacapi. Le considerazioni teoriche da sole non servono a nessuno; i realizzatori vogliono ricevere istruzioni concrete. In linea di principio, si tratta di due problemi diversi: Uno è la questione della corretta distanza di allineamento, l'altro è l'implementazione pratica del cablaggio.

Alla domanda „Qual è la distanza di allineamento corretta?“ si può rispondere solo „Dipende“. In realtà non esiste una distanza „corretta“. È possibile determinare la distanza corretta solo per determinati casi o scopi. Occorre distinguere tra due limiti, che sono già chiaramente visibili quando si utilizzano solo due antenne e che si applicano di conseguenza anche al collegamento per formare gruppi estesi.

Se si desidera il massimo guadagno possibile di circa 3 dB, la distanza è relativamente grande e la meccanica è quindi complicata; inoltre, ci sono più lobi laterali rispetto ai lobi singoli, ma anche zeri nel diagramma direzionale verticale.

Per una migliore soppressione dei lobi laterali, come è preferibile per applicazioni come l'EME, il guadagno ottenibile scende a 1,5-1,8 dB, a distanze di allineamento molto inferiori.

Un esempio dovrebbe chiarire le dipendenze: la Yagi a 7 elementi con guadagno di 10,5 dBd e boom di 3 m per la banda dei 2 m descritta in [1] deve essere allineata verticalmente per formare un gruppo di due.

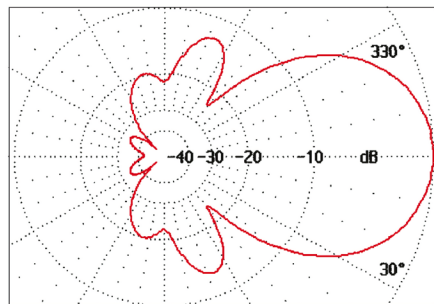


Figura 1: Diagramma direzionale nel piano verticale (piano H) di una yagi 7-Elementi a 28 MHz secondo DK7ZB (guadagno 10,5 dBd).

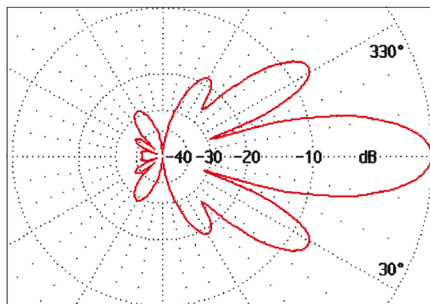


Figura 2: Diagramma direzionale nel piano verticale (piano H) per due yagi a 7 elementi impilate a 3,12 m (guadagno 13,9 dBd)

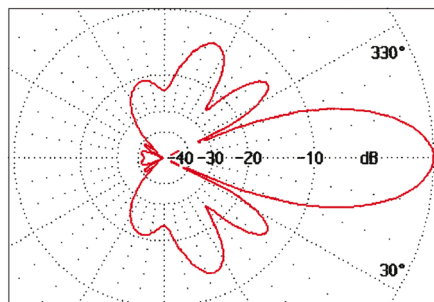


Figura 3: Diagramma direzionale nel piano verticale (piano H) per due yagi a 7 elementi sovrapposte a 2,46 m (guadagno 13,5 dBd)

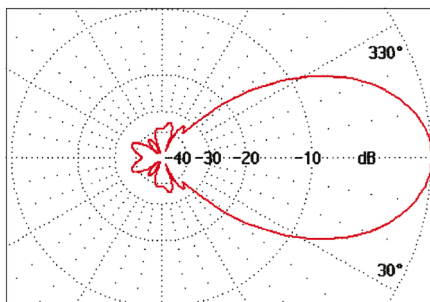


Figura 4: Diagramma direzionale nel piano verticale (piano H) per due yagi a 7 elementi sovrapposte a 1,14 m (guadagno 12 dBd)

costi del materiale siano valsi la pena (Fig. 4). A questo punto, vorremmo discutere brevemente il calcolo delle distanze. Se si conosce l'angolo di apertura a -3 dB dell'antenna, il valore corrispondente può essere inserito nell'equazione

$$A = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin(\alpha/2)}$$

determinare la distanza necessaria per ottenere il massimo guadagno [2]. Nella formula, α è l'angolo di apertura di 3 dB sul piano verticale, espresso in gradi.

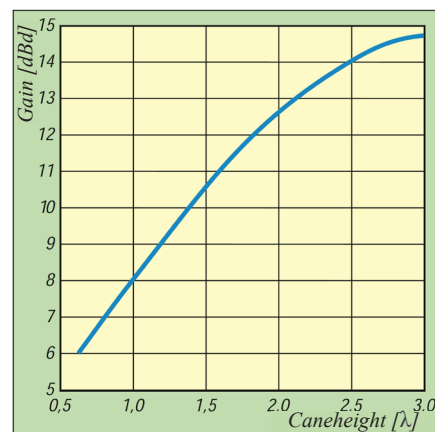
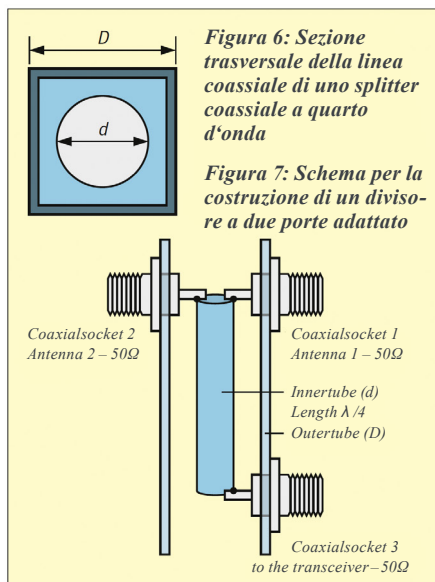


Figura 5: Diagramma per la lunghezza/spazio con yagi di dimensioni ottimali per il massimo guadagno

Questo presuppone un modello di radiazione ideale senza lobi laterali. Se si tiene conto dei lobi laterali, si verificano interferenze relativamente complicate tra i campi, che possono essere determinate con maggiore precisione solo con una simulazione al computer. Se questo effetto viene abilmente sfruttato, è possibile ottenere un guadagno superiore al valore massimo teorico di 3 dB per il raddoppio dell'area efficace, man mano che il fascio si restringe. Questo porta ai 13,9 dB del caso 1 descritto sopra, anche se a costo di forti picchi.

■ H non solo problematico dal punto di vista meccanico

In pratica, questo non è deteriore nel caso di allineamento verticale. Tuttavia, lo stesso effetto si verifica anche con l'allineamento sul piano orizzontale e porta a un lobo principale estremamente stretto. Per questo motivo, si dovrebbe preferire l'allineamento verticale (sovrapposizione).



Diameter for coaxial matching splitters according to Fig. 6

2 antennas $Z = 35,4 \Omega$		4 antennas $Z = 25,0 \Omega$	
D [mm]	d [mm]	D [mm]	d [mm]
10	6	7	5
15	9	14	10
20	12	21	15
25	15	24	17
30	18	28	20

D - inner dimension of the square outer conductor
d - outer diameter of the round inner conductor

In pratica, quattro antenne sovrapposte sono di gran lunga migliori di quattro antenne in una disposizione ad H, perché i problemi meccanici con la „H“ diventano rapidamente così grandi che di solito questo design non può più essere implementato per antenne con una lunghezza di $1,5 \lambda$.

Oltre alla maggiore complessità del progetto meccanico, anche l'elevato momento d'inerzia superficiale della configurazione ad H può rappresentare un problema. Il momento d'inerzia superficiale si riferisce alla coppia nel moto rotatorio come la massa si riferisce alla forza nel moto lineare.

Poiché il momento d'inerzia superficiale aumenta con la distanza della massa rotante dall'asse di rotazione, è facile capire che le antenne montate in modo eccentrico (anche se simmetrico) hanno un momento d'inerzia superficiale molto maggiore rispetto alle antenne impilate verticalmente con il loro centro di gravità approssimativamente vicino al centro di rotazione. Chiunque abbia mai provato a ruotare manualmente un gruppo Yagi più grande in configurazione H sa che questo richiede forze molto maggiori rispetto alle stesse antenne montate semplicemente l'una sull'altra. Anche solo per questo motivo, la maggior parte delle persone ritorna alla semplice disposizione in verticale. Ci vuole semplicemente troppo tempo per far muovere l'H per essere utile in ogni situazione.

Lo stesso vale naturalmente anche per il rotore di casa. Durante l'accelerazione e la frenata con la disposizione a „H“ si devono assorbire forze torsionali (e non solo) notevolmente maggiori, che superano rapidamente i limiti consentiti dai rotori più piccoli.

■ L'allineamento verticale è di solito più favorevole

Torniamo ai diagrammi direzionali: Il confronto tra i diagrammi 1 e 2 illustra l'effetto di cui sopra:

L'interferenza tra i lobi laterali determina un'amplificazione o una minore attenuazione quando le antenne sono sovrapposte. Un aumento significativo dell'area dei lobi laterali può causare interferenze e rumore di terre. Per questo motivo, è necessario prestare attenzione a ottimizzare i diagrammi delle singole antenne nei sistemi EME, poiché una scarsa soppressione dei lobi laterali porta a lobi indesiderati in un gruppo di antenne in misura molto maggiore. Naturalmente, questo effetto non si nota solo nel piano H, ma anche nel piano E se le antenne Yagi sono disposte una accanto all'altra.

L'unica raccomandazione è che di solito è meglio usare due antenne lunghe impilate verticalmente come un gruppo di due. Un gruppo di quattro in una disposizione ad H con Yagi più corte ha nominalmente lo stesso guadagno, ma l'angolo di apertura orizzontale considerevolmente ridotto limita di solito fortemente l'utilizzabilità per il traffico terrestre.

Un angolo di apertura verticale molto basso è di norma preferibile perché l'obiettivo è quello di concentrare la maggior quantità possibile di radiazioni verso l'orizzonte. Le uniche eccezioni sono le comunicazioni satellitari o il Meteor Scatter o l'Aurora su distanze più brevi, dove

un angolo di elevazione più alto può essere vantaggioso.

Per i radioamatori, che spesso non conoscono l'angolo di apertura della propria antenna, ho calcolato per varie antenne (buone!) quale distanza di allineamento risulta per due yagi in verticale per ottenere il massimo guadagno. Supponendo che il posizionamento degli elementi e il guadagno di una yagi lunga siano quasi ottimali, esiste una chiara dipendenza tra il guadagno dell'antenna e la distanza di allineamento. Gli angoli di apertura delle antenne lunghe differiscono così poco che la distanza può essere vista come una funzione del guadagno. Ho tracciato questa relazione in forma grafica (Fig. 5). Si può notare che i valori specificati rientrano in una tolleranza di 0,2 dB intorno all'aumento massimo del guadagno.

■ Suggerimenti pratici per l'allineamento delle antenne Yagi

Nella maggior parte dei casi, i problemi di accoppiamento in VHF vengono risolti con l'ausilio di elementi di trasformazione a quarto d'onda. In questa sede si parlerà solo della tecnologia coassiale, anche se non è necessariamente consigliabile utilizzare i cavi coassiali come linee di connessione quando si collegano gruppi molto grandi con antenne lunghe. Nella loro interezza, infatti, possono raggiungere rapidamente una lunghezza di diverse decine di metri con una corrispondente attenuazione aggiuntiva. I cavi a bassa attenuazione sono anche pesanti e aggiungono una notevole quantità di massa. Per questi motivi, gli specialisti dei grandi sistemi EME utilizzano linee di trasmissione bifilari autocostruite, che sono notevolmente più

Figura 8: Accoppiatore quadruplo autocostruito per la banda dei 70 cm



Figura 9: Vista di un accoppiatore quadruplo



leggere e hanno una bassa attenuazione. Tuttavia, bisogna essere preparati a un aumento dell'SWR in condizioni di tempo umido, e ancora peggio in caso di temperature rigide.

■ Divisore coassiale da 3 dB

I divisori di accoppiamento coassiali sfruttano il fatto che l'impedenza caratteristica delle linee coassiali dipende dal rapporto fra i diametri delle linee coassiali dei conduttori interni ed esterni. Anche le proprietà del dielettrico, in questo caso l'aria, svolgono un ruolo importante.

In sostanza, la forma della sezione trasversale dei conduttori è arbitraria, per cui la sezione trasversale del conduttore esterno può essere quadrata anche se il conduttore interno è rotondo (Fig. 6). Questo ha il vantaggio di poter installare facilmente le prese coassiali a flangia, cosa che non è altrettanto facile con i conduttori rotondi. La Fig. 7 mostra la struttura schematica di un tale splitter di accoppiamento per due antenne. Il rapporto D/d determina l'impedenza del dispositivo. Può essere determinato con la seguente formula di approssimazione [3]:

$$Z = 138 \log D/d + 3.54.$$

Le dimensioni calcolate devono essere rispettate con relativa precisione, ma purtroppo i tubi e i profili commerciali standard di solito non hanno i diametri corretti. Secondo i calcoli di DC9NL in [4], alcuni possibili valori per D e d sono riassunti nella tabella.

Per uno splitter a quattro vie, è facilmente reperibile un profilo quadrato in alluminio di 25 mm × 25 mm × 2 mm con una dimensione interna di 21 mm × 21 mm che, con un tubo interno di 15 mm in rame (dimensione standard per i tubi di riscaldamento), fornisce la necessaria impedenza caratteristica di 25 Ω. La Fig. 8 mostra un modello basato su questo principio per un distributore coassiale costruito per la banda dei 70 cm. A tal fine, è necessario limare gli intagli alle estremità del tubo interno di rame in cui sporgono i pin delle prese per poterli saldare in posizione (Fig. 9). Ho limato gli angoli delle boccole su due lati in modo che la flangia delle boccole N si inserisca nel profilo esterno. Le lunghezze dei tubi interni sono 172 mm per la fascia da 70 cm e 515 mm per quella da 2 m. Le aperture possono essere chiuse con tappi in PVC come quelli utilizzati per i mobili (negozio di bricolage).

■ Cavo coassiale come elemento di trasformazione

La Figura 10 mostra un distributore d'antenna coassiale a quattro vie di produzione industriale (Andes). È stato progettato per la banda dei 23 cm e quindi ha dimensioni molto maneggevoli.



Figura 10: Splitter commerciale a quattro vie per la banda dei 23 cm (Andes)

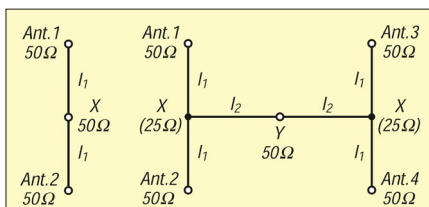


Figura 11: allineamento di due cavi coassiali da 70 Ω. $l_1 = n \cdot \lambda - v/4$ con $n = 1, 3, 5, 7, \dots$

Figura 12: Collegamento di quattro antenne con la tecnologia del cavo coassiale. Il lunghezza qualsiasi (ma uguale) del cavo da 50-Ω; $l_2 = n \cdot \lambda - v/4$ con $n = 1, 3, 5, 7, \dots$, cavo da 75-Ω

In generale, tuttavia, i cavi coassiali tendono ad essere utilizzati per gruppi di due o quattro nelle bande dei 2 m e 70 cm, il che comporta una meccanica abbastanza semplice. Preferisco anche l'adattamento dei cavi, almeno per i 144 MHz, a causa della lunghezza ingombrante delle costruzioni a tubo. Un po' di matematica e gli standard dei cavi disponibili in commercio rendono possibile realizzare soluzioni estremamente economiche quando si costruisce da soli!

■ allineamento verticale di due antenne

Consideriamo dapprima il caso di due antenne e passiamo alla Fig. 11. Nel punto X deve essere presente un'impedenza di 100 Ω per ciascuna delle due linee alimentate dalle antenne, in modo da creare l'impedenza di 50 Ω richiesta per il cavo coassiale quando è collegato in parallelo. A questo scopo, l'impedenza caratteristica del cavo di trasformazione viene calcolata in base alla relazione

$$Z = \sqrt{Z_A \cdot Z_E}$$

a 70,7 Ω. Un'impedenza caratteristica di 70 Ω risulta quindi in una corrispondenza perfetta, ma non è più facile procurarsi cavi di questo tipo prodotti in precedenza. Se si accetta un SWR leggermente superiore, pari a 1,13, è possibile utilizzare cavi da 75 Ω.

La lunghezza deve essere un multiplo dispari di $\lambda/4$ per soddisfare la condizione di trasformazione. Inoltre, è necessario tenere conto del fattore di accorciamento, che varia a seconda del dielettrico del materiale isolante. Per i cavi solidi in polietilene, $v = 0,667$, mentre per i cavi ad alto contenuto d'aria (H 500, H 100, Aircom, ecc.) è più alto, di solito tra 0,78 e 0,85. È quindi necessario rispettare le specifiche del produttore. Per questi motivi, nella pratica si utilizzano cavi di lunghezza pari a $5 \lambda/4$, $7 \lambda/4$ o $9 \lambda/4$, a seconda della distanza dal pavimento.

Per il cablaggio è importante che i cavi di collegamento siano il più corti possibile e che si tenga conto della schermatura (con la lunghezza della schermatura di eventuali connettori utilizzati!). In ogni caso, la larg-

hezza di banda utilizzabile supera i limiti della banda di 2 m o 70 cm, per cui il dimensionamento per il centro della banda è del tutto sufficiente.

■ Interconnessione di quattro antenne con disposizione ad H

Il collegamento di quattro antenne è ancora più semplice, poiché sono necessari solo cavi coassiali da 50 Ω. A tale scopo, possiamo visualizzare le relazioni con l'aiuto della Fig. 12: le linee che conducono da ciascuna antenna ai punti X sono costituite da cavi con impedenza caratteristica di 50 Ω. Le lunghezze l_1 sono arbitrarie, ma tutti i cavi devono essere identici.

A causa del collegamento in parallelo nei punti X, è presente un'impedenza di 25 Ω. Le sezioni del cavo l_2 la trasformano in 100 Ω nel punto Y, in modo che dopo il parallelo si verifichi nuovamente un'impedenza di 50 Ω. Un nuovo calcolo mostra che le linee a quarto d'onda con cavo da 50 Ω soddisfano questo compito. Tutte le linee possono quindi essere costituite dallo stesso tipo di cavo, solo le lunghezze l_2 devono essere calcolate con precisione e tagliate a misura. Allo stesso modo, i sottogruppi possono essere interconnessi per formare gruppi più grandi utilizzando questo metodo.

■ allineamento verticale di quattro antenne una sopra l'altra

Se è possibile controllare meccanicamente l'allineamento verticale di quattro antenne (un singolo allineamento a 3 m di distanza con antenne da 2 m porta già a un'altezza totale del gruppo di antenne di 9 m), il risultato è una disposizione ottimale in termini di caratteristiche di radiazione: angolo di elevazione verticale molto piccolo e lobo di radiazione orizzontale più ampio. In particolare, per i 70 cm si ottengono array abbastanza gestibili con eccellenti caratteristiche direzionali. La stessa tecnologia del gruppo H con cavi da 50 Ω è fondamentalmente adatta per l'interconnessione. Poiché con questa disposizione sono necessari cavi più lunghi, l'uso di cavi da 75 Ω presenta dei vantaggi, in quanto hanno un'attenuazione inferiore rispetto ai cavi da 50 Ω con le stesse dimensioni esterne.

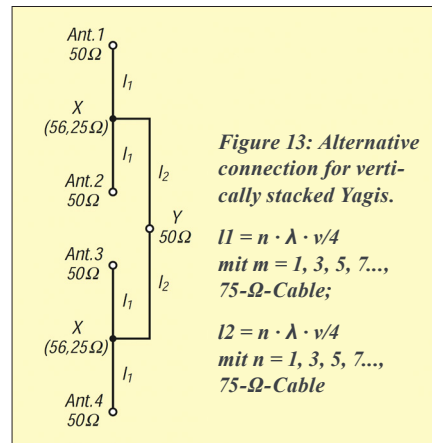


Figure 13: Alternative connection for vertically stacked Yagis.

$$l_1 = n \cdot \lambda \cdot v/4 \text{ mit } n = 1, 3, 5, 7, \dots, 75\text{-}\Omega\text{-Cable;} \\ l_2 = n \cdot \lambda \cdot v/4 \text{ mit } n = 1, 3, 5, 7, \dots, 75\text{-}\Omega\text{-Cable}$$



Figura 14: Scatola di derivazione per un gruppo di due antenne



Figura 15: Resistenza di terminazione da 50 Ω fatta in casa per la misurazione degli elementi di accoppiamento

La Figura 13 mostra una soluzione consigliata. A titolo di confronto: Con un distributore a quattro vie, tutti i cavi devono essere della stessa lunghezza e orientati alla massima distanza. L'uso di tre distributori a due vie sarebbe ancora più complesso.

Le singole antenne da A1 ad A4 da 50 Ω ciascuna sono dotate di cavi di trasformazione da 75 Ω della stessa lunghezza 11. Nei punti X compaiono quindi 112,5 Ω, che risultano in 56,25 Ω se collegati in parallelo. Segue ora una trasformazione a 100 Ω nel punto Y con cavi da 75 Ω (12). Dopo il collegamento in parallelo, è possibile collegare il normale cavo di collegamento da 50 Ω alla stazione nel punto di collegamento.

Realizzazione dei cavi coassiali di adattamento

Iniziare saldando i connettori coassiali ai cavi; quindi spogliare la lunghezza calcolata dall'estremità della schermatura ed esporre il conduttore interno. Per il PE completo con $v = 0,67$, si ottengono 345 mm di cavo (lunghezza della schermatura) per ogni quarto di lunghezza d'onda a 145 MHz. Un buon collegamento di massa e tratti di conduttore interno corti sono importanti in corrispondenza dei connettori a T (Fig. 14). Se non ci sono connettori, si possono usare raccordi a T in tubo di rame per impianti di riscaldamento e acqua, che consentono una transizione senza giunzioni della treccia sul lato massa. Prima di collegare le antenne, è consigliabile effettuare un test con resistenze di terminazione a bassa induttanza autocostruite (2 resistenze a film di ossido metallico da 100 Ω in parallelo, Fig. 15). Verificare se l'accoppiamento produce un SWR di 1,1. Se si dispone di una radio portatile con una gamma di frequenza estesa, è possibile determinare il minimo di SWR tra 140 e 150 MHz, consentendo di misurare se il minimo di SWR appare effettivamente

te a 145 MHz. Se quest'ultimo è spostato verso l'alto o verso il basso, le lunghezze dei cavi devono essere corrette di conseguenza. Tuttavia, se si seguono attentamente le istruzioni, ciò non dovrebbe essere necessario. Procedere allo stesso modo con i cavi da 70 cm. Un cavo di prolunga così realizzato per l'uso portatile di due Yagi da 2 m è illustrato nella Fig. 16.

Disposizione dell'antenna e progettazione pratica

Un altro punto importante merita attenzione: La disposizione delle antenne deve essere tale che tutti gli elementi radianti siano eccitati in fase. Ciò significa che le linee gamma, i conduttori interni dei cavi balun a mezza onda e i cavi coassiali per l'alimentazione del DK7ZB devono trovarsi sullo stesso lato (e in basso!) di tutte le antenne.



Fig. 16: Cavo di prolunga finito da utilizzare con il pannello



Figura 17: Realizzazione meccanica dei punti di collegamento dei tubi per una croce ad H con staffe in alluminio Foto: DK7ZB

Le transizioni di accoppiamento non sono convenienti per la banda dei 2 m se è possibile ottenere connessioni a saldare pulite per i cavi di accoppiamento. Per i 70 cm, i trasformatori di cavo dovrebbero avere perdite aggiuntive leggermente superiori, ma comunque accettabili. Per i 23 cm si raccomanda l'uso di divisori coassiali.

In linea di principio, i valori teorici del guadagno sono meno alti di quanto ci si aspetterebbe. Questo perché i cavi, le spine e i cavi di collegamento con giunzioni saldate comportano sempre perdite inevitabili. Occorre quindi prestare particolare attenzione a queste ultime.

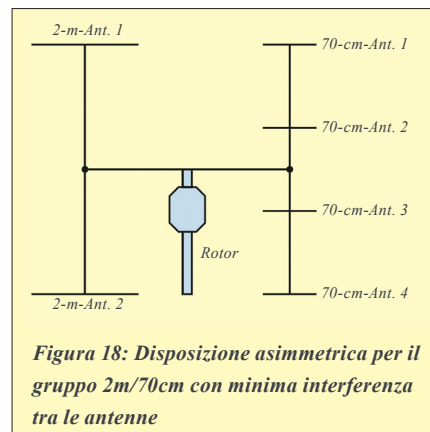


Figura 18: Disposizione asimmetrica per il gruppo 2m/70cm con minima interferenza tra le antenne

È inoltre possibile evitare costi elevati per la meccanica dei punti di collegamento dei tubi per una croce ad H costruendola da soli. Risparmierò al lettore una ripetuta descrizione della tecnica del morsetto angolato in alluminio/scarico, che si è dimostrata valida anche per gli yagi a onde corte come elemento o attacco per il tubo di supporto. La Figura 17 la mostra chiaramente. Dopo l'assemblaggio finale, è necessario fornire un'ulteriore protezione dalla corrosione spruzzando più volte dello spray plastico.

Infine, un suggerimento per una combinazione performante su i 2 m/70 cm. Due yagi da 2 m e quattro yagi da 70 cm sono combinati in un supporto ad H come mostrato nella Fig. 18. Con un'abile meccanica, si può ottenere un equilibrio approssimativo nonostante l'asimmetria. Le influenze reciproche sono quasi nulle, a differenza di due gruppi H anidati con quattro antenne ciascuno.

Infine, ma non meno importante, una parola sui costi: Il prezzo del materiale per un gruppo di quattro Yagi a 10 elementi per 2 m da [1] con tutte le parti e le linee di accoppiamento, compreso l'incrocio ad H, è di poco superiore a 300 DM; la disposizione ha un guadagno d'antenna di circa 19 dBd. Se si considera che questa cifra è richiesta altrove per una singola Yagi da 3λ , un'autocostruzione vale sicuramente la pena. Inoltre, la descrizione durenate un QSO „Gruppo Yagi, completamente autocostruito“ ha anche un effetto importante sulla valutazione da parte del senso di autostima del corrispondente e del costruttore, non è vero?



Letteratura

- [1] Steyer, M., DK7ZB: High performance yagis for the 2 m band using 28 Ω technology, FUNKAMATEUR 46 (1997), H. 1, p. 72
- [2] Hoch, G., DL6WU: Optimum stabilisation of directional antennas, UKW-Berichte (1978), H. 4, p. 235
- [3] Weiner, K., DJ9HO: UHF Unterlage, Part I, p. 110
- [4] Weiner, K., DJ9HO: UHF Unterlage, Part III, p. 571