

Endgespeiste Drähte

Berechnung des Wirkwiderstandes eines Drahtes

Arthur Wenzel, DL7AHW

Nach meinem Beitrag über den HF-Spannungsverlauf auf einem Draht (CQ DL 1/07), war ich sehr überrascht, dass dieser Artikel bei so vielen Newcomern und auch Oldtimern gut angekommen ist. Viele Dankeschreiben an meine E-Mail-Adresse und auch die positiven Gespräche über Funk haben mich dazu bewegt, noch etwas weiter auszuholen.

Ein Thema ist immer wieder der Wirkwiderstand (R_w) eines endgespeisten Drahtes als Antenne. In der Fachliteratur findet man nur die Hinweise Messungen vorzunehmen. Warum ist eine Berechnung vom R_w so kompliziert, habe ich mich gefragt? Die Antwort

konnte ich mir selber geben, nachdem ich einen Draht bis 360° (Lambdaganze) einmal ausgemessen habe und die Messdaten in ein Diagramm darstellte. Bei $\lambda/4$ (90°) lag der Wirkwiderstand (R_w) bei etwa $30\text{--}35\ \Omega$ und bei $\lambda/2$ (180°) $3000\text{--}4000\ \Omega$ (Bild 1).



Zur Person

Dipl. Ing. Arthur Wenzel, DL7AHW
 Jahrgang 1949, Funkamateur seit 1982. Abitur und Studium in Berlin mit den Fachrichtungen Elektronik und Wirtschaft. Interessen: Miniantennen für die Kurzwelle, HF-Technik, QRP, Musik produzieren, Wassersport

Anschrift:
 Schillerstraße 71
 12305 Berlin
 Tel. 0176-29102205
<http://mydarc.de/dl7ahw/>

dl7ahw@web.de

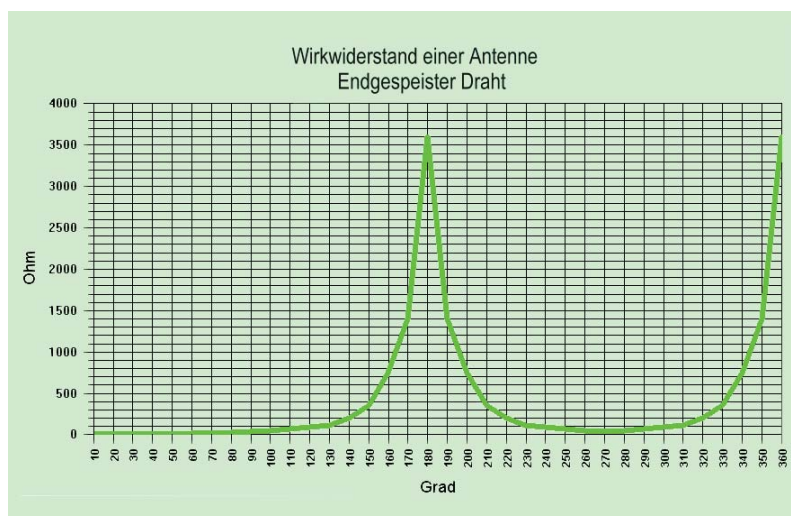


Bild 1:
 Kurvendiagramm
 Wirkwiderstand am
 endgespeisten Draht

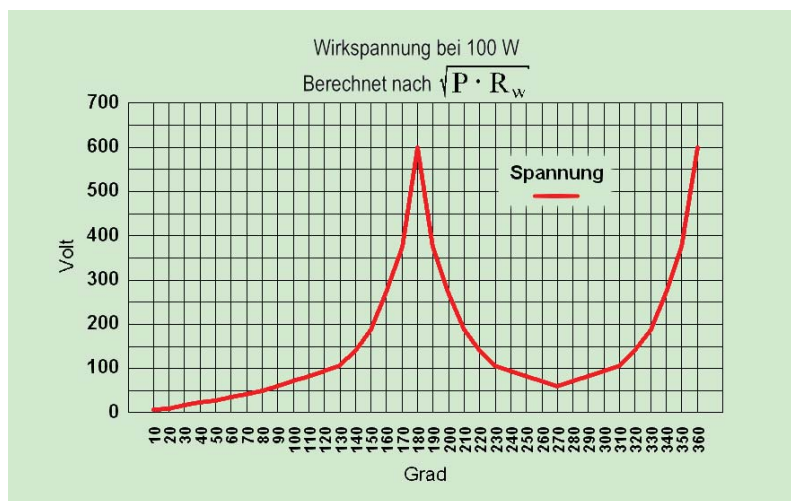


Bild 2:
 Wirkspannung
 bei einer Leistung
 von 100 W

Die Kurve von R_w hat einen Verlauf, der sich nach 180° wiederholt und somit mathematisch bestimmbar sein muss. Von 0° bis 180° ist der Verlauf nur ansteigend und nach 180° bis 360° fallend und wieder steigend. Der Verlauf sieht dann aus wie ein U. Ich hatte keine vergleichbare Kurve gefunden, die eine mathematische Formel dafür hergibt. Wie kommt man also einfach an eine bekannte Kurvenform, die uns die Entwicklung einer Formel ermöglicht? Die Antwort ist recht einfach. Nach dem Ohmschen Gesetz ist $P = U \cdot I$;

$$P = U \cdot (U/R_w)$$

R_w wurde gemessen, für die Leistung P nimmt man 100 W an und kann so auf einfachste Art und Weise die Spannung am Wirkwiderstand berechnen:

$$U = \sqrt{P \cdot R_w}$$

Die in eine Kurvenform gebrachte Gleichung sieht dann so aus wie in Bild 2. Jeder der mal Mathematik in der Schule hatte, erkennt sofort, dass hier eine quadratische Gleichung vorliegt. Nur für die Berechnung bis 180° weicht die Funktion ab, da bei 0° auch die Spannung 0 V sein muss.

Um nun wieder an den R_w zu kommen, rechnet man die Spannungswerte bei 100 W einfach wieder zurück:

$$R_w = U^2/P$$

Mit einer Kurvendiskussion kann man nun diese Funktion beschreiben. x ist die Gradzahl (λ entspricht 360°), und die Formel für R_w von $10-180^\circ$ Länge lautet:

$$\frac{(0,00012 \cdot x^3 - 0,0045 \cdot x^2 + 0,2 \cdot x + 0,1)^2}{100}$$

Die Formel für R_w von 180° bis 360° aus der Grafik abgeleitet lautet entsprechend:

$$\frac{(0,066766658 \cdot x^2 - 36,0539953 \cdot x + 4929)^2}{100}$$

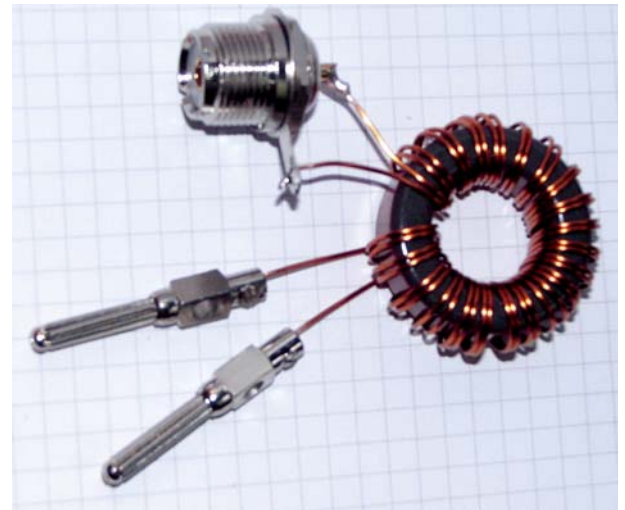
Bei Betrachtungen größer 360° , also bis 540° , 720° , 900° usw. muss jeweils

180° bzw. ein Vielfaches davon von x abgezogen und in die Formel eingesetzt werden. Also R_w von $361-540^\circ$: $x = x-180$, R_w von $541-720^\circ$: $x = x-360$ usw.

Natürlich rechnet man so etwas heute nicht mehr von Hand, sondern schreibt ein kleines Programm, indem nur die Drahtlänge und die Frequenz eingegeben wird.

Auf meiner Webseite <http://www.mydarc.de/dl7ahw/antennenberechnung.htm> befinden sich die Projekte Drahtantennenberechnung für zu kurze (kapazitive) und zu lange (induktive) endgespeiste Drähte und deren Anpassung. Als Zusatz wird der Wirkwiderstand bis 3λ direkt mit ausgewiesen.

Ich wünsche viel Spaß beim Experimentieren mit endgespeisten Drahtantennen.



wa 35Ω , sodass diese Forderung nicht eingehalten war und es bei tiefen Frequenzen gehapert hat.

Die Strombaluns in Beispiel 3 und 4 hatten dieses Problem einer Parallelspeule zum Kabel nicht, daher verlief die SWR-Messung an der künstlichen Antenne auf allen Bändern ohne Beanstandungen. Die zu geringe Induktivität der Baluns spielte hier noch keine Rolle, denn selbst bei Induktivität Null wäre die Anpassung ja noch in Ordnung. Bei der Symmetriemessung dagegen war bei nur 12 bifilaren Windungen die Baluninduktivität selbst auf 20 m noch zu gering. Der DGØSA-Balun hätte bei Verwendung des richtigen Ferritkerns eigentlich gehen müssen. Aber erst beim Test mit der doppelten Windungszahl und dem folglich viermal so hohen Blindwiderstand auf 20 m zeigte der Balun von DJ2YE dann, wie es eigentlich sein sollte.

Fazit: Solche Wickelübungen im OV oder bei anderen Präsentationen sind durchaus eine gute Sache und nehmen die Angst vor etwas, was im Grunde eine recht einfache Handfertigkeit ist. Aber Windungszahlen alleine sind nicht alles. Nicht umsonst gibt es so unterschiedliche Eisenpulver- und Ferritkerne! Man sollte die Quellen also sorgfältig lesen, das, was man nicht so recht versteht hinterfragen und dann alle Einzelheiten richtig zusammentragen. Sonst wird es auch in Zukunft bei Baluns immer noch Überraschungen und Enttäuschungen geben!

Hans-Joachim Brandt, DJ1ZB

Fertig gewickelter Balun für etwa 100 W PEP 1 : 1 (Bild aus [1])

Balun wickeln – ein Nachtrag

Nach dem Lesen des Artikels [1] habe ich mir erst einmal einige Unterlagen zusammengesucht, um zu verstehen, was die „Neanderthaler“ vom OV R09 da eigentlich HF-mäßig gemacht haben. Zunächst sollten Bild 1 und Bild 2 eigentlich identisch sein. Der Unterschied zwischen ihnen ist eigentlich nur, dass der Kern nach Bild 2 trifilar gewickelt wird, während man nach Bild 1 auch mit einem Koaxialkabel und der erwähnten Hilfswicklung wickeln kann. Bild 1 ist dann richtig, wenn die Ziffern 5 und 6 miteinander vertauscht werden. Dann sind die Anschlüsse 1 und 3 der asymmetrische Eingang und 2 und 4 der symmetrische Ausgang.

Bild 2 ist betitelt als ein Balun symmetrisch zu symmetrisch, wäre also eigentlich überflüssig. Gezeichnet ist er aber richtig, wenn a1 und c1 als asymmetrischer Eingang verwendet und c1 geerdet wird, und a2 und c2 als symmetrischer Ausgang.

Nun zu den vier Beispielen, die vor Ort offensichtlich alle mit den ausgeteilten Eisenpulver-Ringkernen vom Typ T130-2 gewickelt worden sind, mit einem A_L -Wert von 11 nH/w^2 . Die Quelle im Rothammel bezieht sich aber auf 12 Windungen auf einem Nickeleisen-Ferritkern mit einem nicht bekannten, aber offensichtlich wesentlich höheren A_L -Wert als beim T130-2. Auf das Ami-

donbeispiel könnte der T130-2 wohl zutreffen, vielleicht mit einem geringen Unterschied im A_L -Wert, weil die meisten mir bekannten Beispiele mit einem T200-2 arbeiten. In Beispiel 3 dagegen bezieht sich DGØSA auf einen Ferritkern FT140-77 mit einem A_L -Wert von 2340 nH/w^2 !

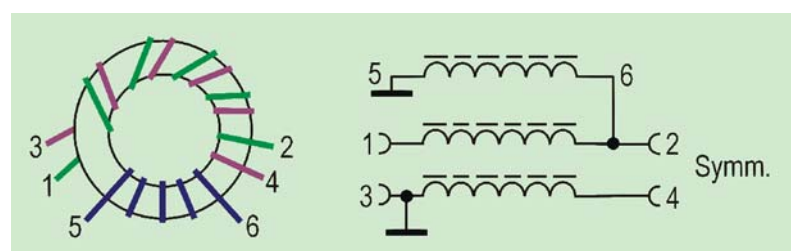
Im Test schnitten die Spannungsbaluns nach Beispiel 1 und 2 besonders

Literatur und Bezugsquellen

- [1] Dr. Karsten Eppert, DK4AS: „Balun wickeln mit Überraschungen“, CQ DL 10/07, S. 720 ff.

schlecht ab. Gründe dafür wären einmal die eventuell falsche Polung der Spule nach Bild 1 und vor allem die Tatsache, dass zwei Wicklungen dieses Baluns parallel zum Kabel liegen.

Für einen Übertrager oder Balun für definierte Impedanzen sollten diese zusammen jedoch auf dem tiefsten Band noch einen Blindwiderstand vom Vierfachen der Kabelimpedanz haben. Aber bei nur 12 Windungen auf einem Kern T130-2 ergibt sich für 80 m pro Einzelspeule nur ein Blindwiderstand von et-



Wickelschema nach Rothammels Antennenbuch mit zwölf Windungen (Bild aus [1])