Mobil-Portabel auf 80 m- Wo bleibt die HF ? (*)

*** mobil-portabel: mobil weil Antenne am Auto -portabel weil Auto nicht fahrtüchtig "Stand-Mobil"**

von Rolf Schick, DL3AO

Die handelsüblichen und gegenüber einer Wellenlänge von 80 m sehr kurzen Mobilantennen weisen typisch Strahlungswiderstände im Bereich von 1 Ohm auf**.** Diese Werte sind wesentlich kleiner gegenüber den in Serie dazu liegenden ohm`schen Verlustwiderständen. Ein Verlustfaktor bildet die Verlängerungs- oder Ladespule, welche zur Resonanz den durch die Strahlerverkürzung entstehenden kapazitiven Blindanteil im Speisepunkt der Antenne eliminieren muss. Die Antennenspeisung erfolgt wie immer zweipolig. Die "Stromrückführung" in dem Stromkreis erfolgt über das Strahlungsfeld der Antenne im Raum und über heterogen verteiltes, weitmaschiges Feld ohm'scher Widerstände. Das letztere enthält eine gut leitende, doch für das Strahlungsfeld der Antenne meist ungenügend ausgedehnte Autokarosserie und einen Erdboden mit oft, in der Energiebilanz "Abstrahlung-Verluste", nicht vernachlässigbarer Bodenleitfähigkeit. Die Folge sind Antennenwirkungsgrade um 1 % oder darunter (z.B. FA, 7-2019, S. 624ff)

Im nichtfahrenden Betrieb können Antennenkonstruktionen mit einem deutlich höheren Wirkungsgrad eingesetzt werden. Im praktischen Betrieb sind Vertikalantennen am Auto vorteilhaft. Ein Grund ist der Wegfall von seitlichen Auslagen, wie sie z.B. bei Dipolantennen, oder inv V benötigt werden. Die Vertikalantenne beschränkt sich auf einen kleinen seitlichen Raum, "nur der Himmel ist die Grenze". Der Betreiber ist in der Aufstellung weitgehend autark.
Bild 1 zeigt zwei Antennenkonstruktionen, welche sich bei mir nach zahlreichen anderen Bauarten aus den vergangenen Jahren als günstig herausgestellt haben. Die Beschreibung konzentriert sich auf das 80 m Band, welches in Bezug auf den Wirkungsgrad in der Abstrahlung am kritischsten ist.
Der Aufbau links entspricht speziell dem Betrieb für die Bänder 40 m bis 10 m. Für 20 m bis 10 m setze ich einen Viertelwellenstab aus Teilstäben zusammen, so dass die Ladespule entfallen kann.
Für kritischen Betrieb auf 80 m und leisen Signalen wähle ich die Konstruktion rechts. Wie gezeigt wird, erhöht sich der Wirkungsgrad um 6 dB.

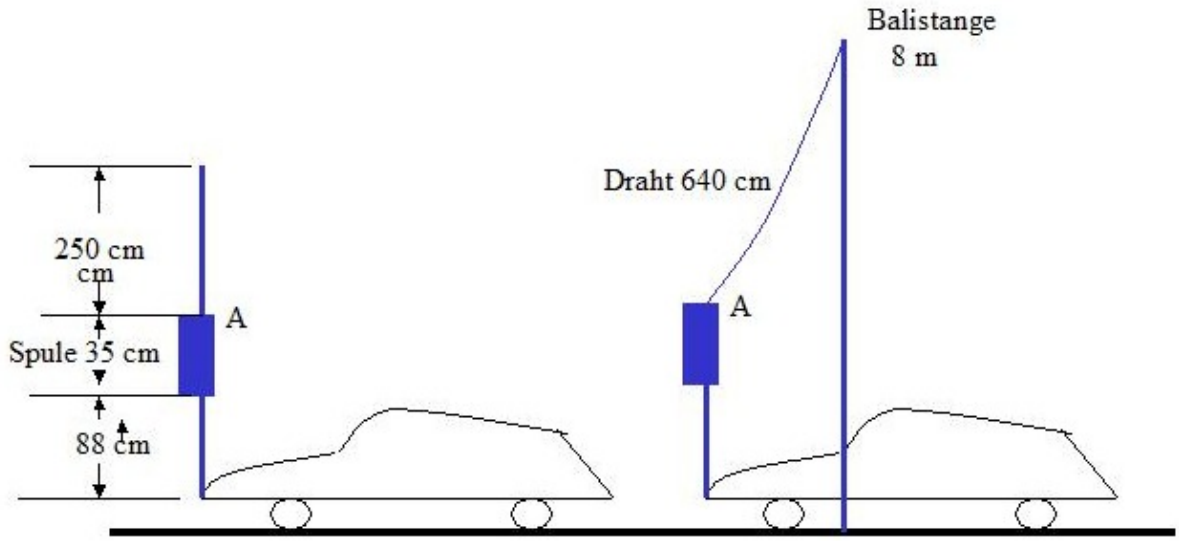

Bild 1

Das Zeichnung links in Bild 1 stellt die klassische Konstruktion einer Mobilantenne dar, im folgenden als "Stabantenne" bezeichnet. Ein Vertikalstab genügender Länge trägt bei etwa einem Drittel der Länge die Ladespule.
Als mechanischer Halter für den Antennenstab und als elektrischer Gegenpol, also als "Masseanschluss", dient der vordere Abschlepphaken des Autos (Hier ein Opel-Corsa). Gewählt wurde die Vorderseite des Wagens, weil die kapazitive Belastung der Karosserie parallel zum Antennenstab geringer ist als bei dem steileren Wagenheck. Der fest eingeschraubte Abschlepphaken ergibt eine stabile mechanische Halterung und lässt eine gegenüber anderen "Massepunkten" gute elektrische Ankopplung an das elektrisch als Antennengegengewicht dienende Autochassis erwarten. Bild 6 zeigt den Trägerwinkel, welcher mit einer Platte und eine durch die Hakenöffnung gehenden M8 Schraube über dem Abschlepphaken festgeklemmt wird. [1)]

Bild 2 : Die "klassische" Mobilantenne

Bild 2 zeigt die Stabantenne an der Vorderseite des Autos. Die Verlängerungsspule (Bild 5) liegt in etwa einem Drittel der Stabhöhe. Der Speisepunkt befindet sich am Haltepunkt (Bild 6). Eine versuchsweise Montierung der Spule direkt über dem Speisepunkt zeigte trotz 10 cm Abstand einen merkbaren Einfluss des Wagenblechs und schied aus. Nach "allgemeiner Ansicht" (z.B. Janzen, Kurze Antennen, Franckh Verl., 1986) ist die Drittelhöhe der Spule ein Optimum zwischen Stromverlauf auf dem Antennenstab und den eingehenden Spulenverlusten.

Bild 3: Die Bali-Antenne

Die Aussage "Je länger, je besser" gilt zwar nicht für alle Antennenformen, für Mobilantennen ist sie jedoch meist nicht falsch. Die Stabantenne mit Ladespule (Bild 2) ist bei der Halterung am Abschlepphaken und einer Länge von fast 4 m in der Windempfindlichkeit ausgereizt und in dieser Form nicht verlängerbar. Mit ausziehbaren Glasfaserstangen ("Balistange" [2]) ist eine Antennenverlängerung mit Draht leicht möglich. Die 8 m lange Balistange wird mit einer Spanngurte am Aussenspiegel des Wagens festgezurrt [3]. Ein Draht von 6.4 m führt von der Mastspitze zur Ladespule. (Bilder 3,4).

Bild 4: Haltestab, Ladespule und Verlängerungsdraht

Bild 5

Verlängerungs- oder Ladespule. Hersteller Fa. HEATH, Baujahr ca. 1958. Mit dem Schieber und einem an den Drahtwindungen einrastbaren Rädchen ist die Induktivität verstellbar. Die Spulengüte Q beträgt, lt. Rechnung und Messung, um 250.

Bild 6: Trägerwinkel mit Anschlussbuchsen und Un-Un Impedanzwandler
Zur Messung angeschlossen ein vektorieller Antennenanalysator FA-VA4

Der Befestigungswinkel enthält zwei SO239-Anschlussbuchsen: Eine Buchse führt direkt an das Antennenende, die andere Buchse wird über einen "Lüsterklemmenschalter" und einen Un-Un Transformator mit dem Impedanzverhältnis 1:2.25 angeschlossen [4)] . Im Wechselspiel zwischen abnehmenden Strahlungswiderstand und steigenden Verlustwiderständen weisen speziell die Antennen für 40 m und 80 m vorwiegend Speisewiderstände im Bereich von 20 Ohm auf. Die Transformation auf 50 Ohm kann mit einem LC-Transformationsglied unter Einbeziehung einer leicht vergrösserten Induktivität der Ladespule erfolgen, oder wie hier mit einem Breitbandtransformator.

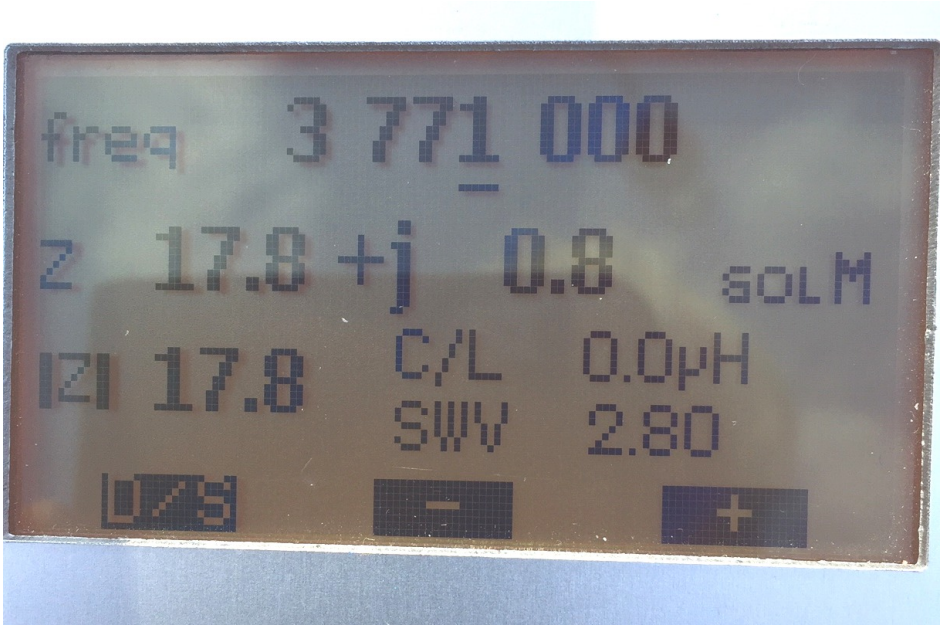

Bild 7: Beispiel Impedanz Stabantenne

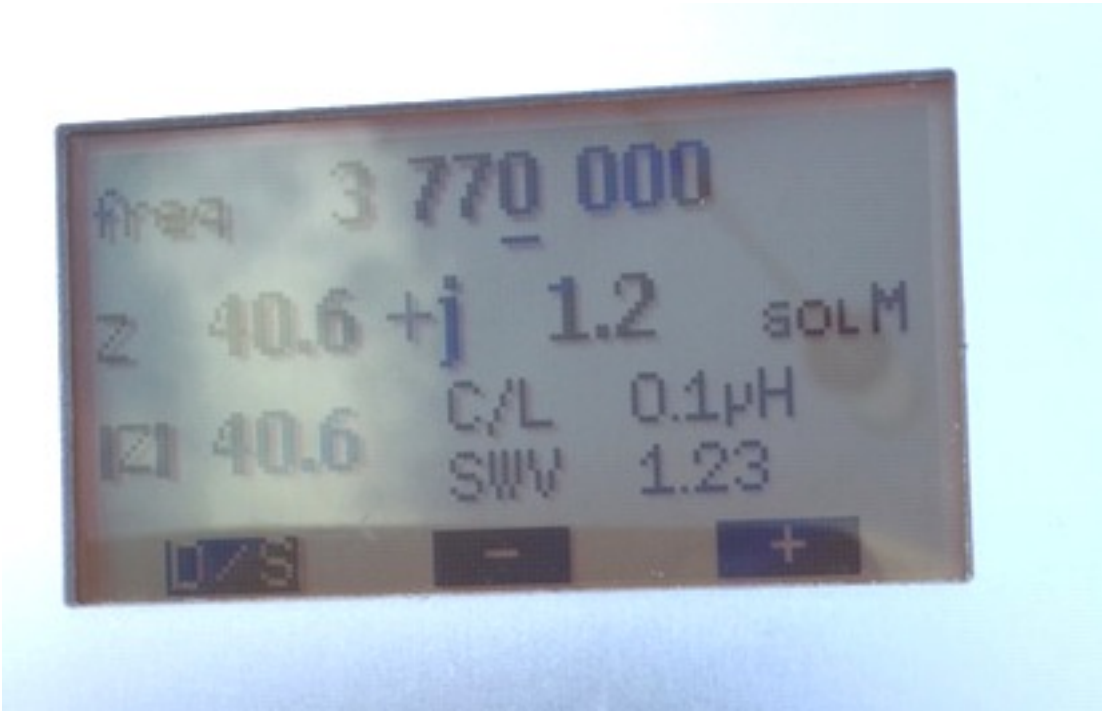

Bild 8: Beispiel Impedanz Stabantenne am Ausgang Un-Un Trafo

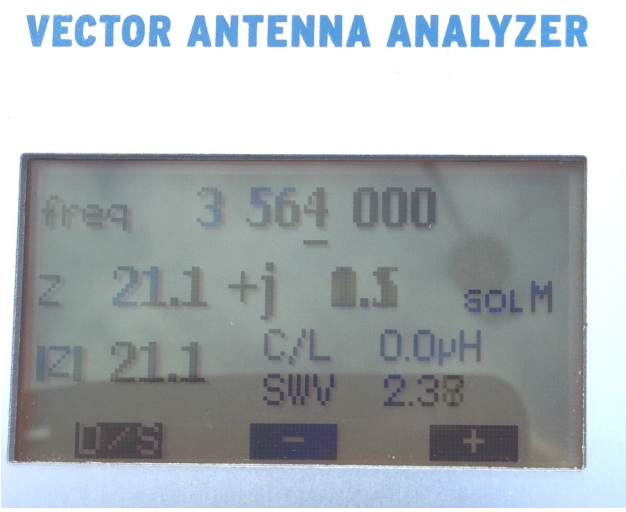

Bild 9: Beispiel Impedanz Bali-Antenne

Bild 10: Beispiel Impedanz Bali-Antenne am Ausgang Un-Un Trafo

Leistungsbilanzen

Jeder Mobilist (und nicht nur der!) wird mit der Frage konfrontiert: "Wie gut ist deine Antenne" ? Die Antwort ist oft wenig aussagekräftig und subjektiv. Besser wäre die Frage: " Wie verlustreich ist deine Antenne?". Mobilantennen sind Vertikalantennen, und die "ideale" Vertikalantenne ist die Marconi-Antenne. Nachdem bei der Marconi-Antenne ein (azimutaler) Richtungsgewinn ausscheidet müssen somit alle Unterschiede im Wirkungsgrad verschiedener Mobilantennen durch unterschiedliche Verluste sowohl im Antennensystem selber, wie auch im benachbarten Umfeld ("Gegengewicht zum Strahler") herrühren.
Der naheliegendste und letztendlich überzeugendste Vergleich zweier Antennen liegt im Signalvergleich bei genügender Entfernung TX-RX. Die Fallstricke und Unzulänglichkeiten bei diesen Messungen sind jedoch allgemein bekannt.

Der Wirkanteil im Speisewiderstand einer Mobilantenne liefert einen leicht zugänglichen und informativen Hinweis zum Wirkungsgrad der Antenne. Diese Messungen sind mit den heute zur Verfügung stehenden Analysatoren mit ausreichender Genauigkeit möglich [5)].
Referenzwert ist der Strahlungs=Speisewiderstand einer Marconi-Antenne von 36 Ohm. Die Marconi-Antenne ist eine verlustfreie Viertelwellen- Vertikalantenne über ideal leitfähigem, horizontalem und ebenem Untergrund.

Für die Bänder 20 m und höher in der Frequenz setze ich meinen Mobilstrahler aus Segmenten zu je 50 cm (Feinregulierung mit kleinem Teleskopstab) zusammen. Für 20 m wird der Strahler 5 m lang. Zu dem "idealen" Strahlungswiderstand von 36 Ohm addiert sich im Fusspunkt ein Verlustwidertand, vor allem bedingt durch den Ersatz einer unendlich ausgedehnten, ideal leitfähigen Ebene durch ein asymmetrisch angekoppeltes Autochassis ungenügender Ausdehnung. In meinem Fall bekomme ich für die Bänder 20 m- 10 m Speisewiderstände von 42-47 Ohm. Damit ist eine ausreichende Anpassung des TCVR ohne zusätzliche Transformation möglich. Der Wirkungsgrad für die Abstrahlung liegt leicht über 90%.
Anders sieht es auf 80 m und 40 m aus. Die folgende Diskussion bezieht sich auf 80 m.

Stabantenne:

In erster Näherung ist der Strahlungswiderstand einer Marconi-Antenne proportional dem Quadrat der Strahlerlänge [5)]. Mit dem Antennen-Modellierprogramm 4NEC2 ergibt sich für den Strahlungswiderstand einer 3.73 m langen Stabantenne (Bild 1, die Spulenlänge geht in die Stablänge ein) über elektrisch idealem Untergrund ein Wert von R_s = 1.2 Ohm. Demgegenüber steht nach Kompensation des kapazitiven Blindanteils ein gemessener Fusspunktwiderstand von R_f = 17.8 Ohm. R_f setzt sich additv zusammen aus

$$R_f = R_s + R_{sp} + R_u \quad (1)$$

Dabei ist R_s der Strahlungswiderstand
R_{sp} der Widerstand der Ladespule
R_u der Widerstand der Umgebung. Der Umgebungswiderstand rührt daher, dass die Feldlinien der Antenne zu einem nicht geringen Teil am verlustbehafteten Erdboden enden was Verluste im "Rückstrom" zum Speisepunkt ergibt.

R_{sp} ergibt sich aus der Frequenz von 3771 KHz, der Induktivität der Ladespule mit L= 67 uHy und der Spulengüte von Q=250, woraus folgt:

R_{sp} =X/Q= 2*pi*omega*L/Q = 6 Ohm.

Mit Glg (1) wird R_u = 10.6 Ohm

Die auf den Speisepunkt der Antenne abgegebene Leistung teilt sich im Verhältnis der Widerstände 1.2 : 6 : 10.6 auf.

Bei 100 W Leistung entfallen dann 6.7 W auf die Antennenstrahlung, 33.7 W auf Verluste in der Spule und 59.6 W auf Verluste vornehmlich durch die Ströme im Erdboden.

Baliantenne:

Die Gesamtlänge der Baliantenne beträgt 7.63 m. Bei einer Frequenz von 3564 KHz beträgt der Strahlungswiderstand einer entsprechend verkürzten Marconi-Antenne R_s = 5.8 Ohm. Gemessen wurde, nach Kompensation des kapazitiven Blindanteils mit einer Ladespule von L= 37 uHy, ein Fusspunktwiderstand von 21.1 Ohm (Bild 10).

Eine vergleichende Rechnung wie bei der Stabantenne angewandt ergibt:

Bei 100 W Leistung entfallen 27.5 W auf die Antennenstrahlung, 15.6 W auf Verluste in der Spule und 56.9 W auf Verluste vornehmlich durch Ströme im Erdboden.

Diskussion und Schlussfolgerungen:

Die Verdopplung der wirksamen Antennenlänge von der Stab- zur Baliantenne um den Faktor 2 hat den Wirkungsgrad der Antenne, also die abgegebene Strahlungsleistung vervierfacht.

Die für die beiden Konstruktionen ermittelten Wirkungsgrade von 6.7 % und 27.5 % für 80 m Betrieb sind wesentlich höher als bei den kommerziellen Allband-Mobilantennen. Sie beschränken jedoch den Betrieb auf "Stand-Mobil" und verlangen etwas Zeit für Auf- und Abbau. Für den QSO-Betrieb mit Entfernungen bis einigen 100 km, wie er auf 80 m typisch ist, würde ich bei gegebener Möglichkeit allerdings eine an der Balistange angebrachte und gewichtsarme inv Vee oder inv L Antenne, mit horizontaler Polarisation und Steilstrahlung, dem Vertikalstrahler vorziehen. Wie schon erwähnt, entsteht jedoch ein Problem in dem benötigten, vom Auto seitlich um 10 m oder mehr versetzten Abspannpunkt. Diesen zu setzen ist in unserem dicht besiedelten Gebiet oft nicht möglich. (Z.B. bei /p -Betrieb im qrx, während die xyl einkauft !)

Mit zunehmender Länge der Antenne gehen die Verluste der Ladespule weniger negativ in die Leistungsbilanz ein. Überhöht grosse und eindrucksvolle Ladespulen, mit einem superhohen Q, dienen manchmal mehr der Dekoration und zur Bewunderung als zu einer signifikanten Feldstärkeerhöhung.
Die gemessenen Induktivitäten der Ladespulen weichen nur wenige Prozent von den Rechenwerten aus 4NEC2 ab. Die Verlustwiderstände enthalten wenig Blindanteil.

In den zwei beschriebenen Fällen verursacht offenbar das "Gegengewicht" die dominierenden Verluste. Die Karosserie des Kleinwagens mit nur wenigen Metern Ausdehnung und von einer ebenen Struktur abweichend ist nicht mit der unendlich ausgedehnten, ideal leitenden "Erde" der als Referenz dienenden Marconi-Antenne zu vergleichen. Dazu ist die Antenne noch asymmetrisch angebracht. Vergleiche mit an grösseren Strukturen, z.B. an Wohnwagen

mit Alu-Wänden, befestigten Mobilantennen könnten interessante vergleichende Hinweise geben. Darüber hinaus möchte ich die Messungen an Standorten mit unterschiedlich leitfähigem Untergrund ergänzen. Die geschilderten Werte beruhen auf einem trockenen Standort mit lehmig-tonigem Untergrund.

Anhang.

1) Bis vor etwa 50 Jahren besass jeder PKW, vorne und hinten, stabile Stossstangen aus Stahl mit einem Überzug aus Chrom. Die Stossstangen waren von der Karosserie etwas abgesetzt, wurden mehr alsStoss- und Schmutzfänger angesehen und waren so nicht unmittelbar in die "Unverletzlichkeit" des PKW Angesichts eingeschlossen. Damit bot sich den Funkamateuren eine meist wenig bescholtene Gelegenheit, hier Befestigungslöcher für Antennenfüsse anzubringen.

2) Die "Balistangen" sind teleskopartig ausziehbare Fiberglasstangen hoher Biegesteifigkeit. Preiswert erhältlich bis zu Längen von 8 m. Der Name "Bali" rührt daher, weil sie vornehmlich als Träger von "Balifahnen" verwendet werden. ("GFK Teleskop-Balifahnenstangen" in GOOGLE führt zu verschiedenen Händlern). Nach Stangen ohne Rundbögen suchen.

3) Den Hinweis, die Balistange mit einem Gurt (Fahrradspanner) am Aussenspiegel zu befestigen, bekam ich von Saki, DD5XX. Funktioniert bestens ! Bei weichem Boden fixiere ich den Fuss der Stange gegen Wegrutschen mit einem Zelthering. Bei Hartböden (Asphalt) reicht eine kleine Holzplatte mit einer Bohrung , in welcher die Stange eindringt, aus.

4) Der Un-Un Transformator wurde nach Angaben von Sevick, Transmission Line Transformers, Noble. Pub. Corp, 2001, Ch. 7-2, gewickelt. Kupferlackdraht 1 mm, trifilar, 5 Wdgn.

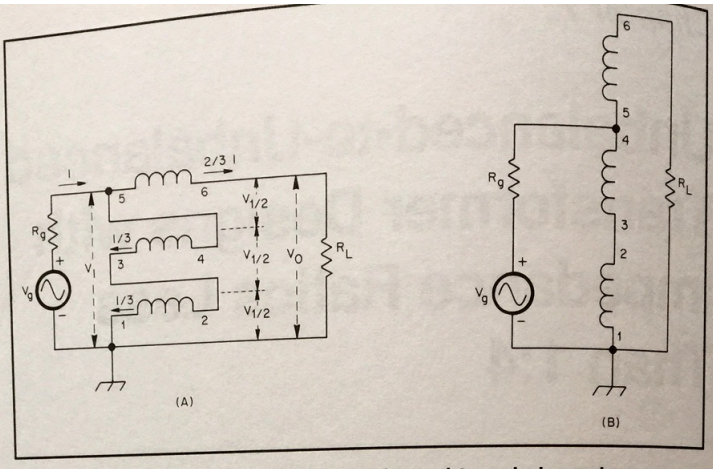

Fig 7-1—Schematics for the 1:2.25 unbalanced-to-unbalanced transformer: (A) high-frequency model and (B) low-frequency model.

The operation of these single-core, higher-order (trifilar, quadrifilar, and so on) winding transformers can be explained, briefly, by the 1:2.25 unun shown in Fig 7-1. The high-frequency schematic of Fig 7-1A assumes that the characteristic impedance of the two transmission lines (the center winding being common) is at the optimized value of R_L / 3 and that the reactance of the coiled transmission line is much greater than R_L / 3. Fig 7-1A shows the output voltage to be the sum of two direct voltages of V_1 / 2 and one delayed voltage of V_1 / 2. This leads, in the midband, to V_o = 3/2 V_1 and therefore an impedance ratio of 1:2.25. The top winding carries 2/3 I and the bottom two windings, 1/3 I. Thus, the flux in the core is essentially canceled out. Since the windings are in series-aiding (100% mutual coupling), as shown in Fig 7-1B, fewer trifilar turns are required in comparison to the bifilar (1:4) model of Fig 2-1A in order to have the same low-frequency response. Thus, with fewer turns, and hence shorter transmission lines, plus the fact that two direct voltages are added to one delayed voltage, these transformers are capable of much higher frequency responses than the regular 1:4 Ruthroff transformer (Fig 1-3A). It can be shown that the high-frequency improvement is on the order of 2.25 times. The top winding can also be easily tapped, giving a broadband impedance ratio near 1:2. In a way, this transformer is a combination of the methods of Ruthroff and Guanella. Two-thirds of the output voltage is tied directly

5) Bei Marconi- und bei Dipolantennen hängt der Strahlungswiderstand (Endlich ein Widerstand, der nützlich ist !) in einer ersten Näherung in quadratischer Form von der Strahlerlänge ab.

Jedes aus der Antenne heraus genommene Drahtstück erzeugt in grosser Entfernung und senkrecht zu seiner Richtung eine Feldstärke welche proportional dem Produkt aus der Stromstärke und der Elementlänge ist,

(Strom I) * (Elementlänge l) =I* (delta)l

(Bei den Rundfunksendern früherer Zeit mit ihren grossen Vertikalantennen wurde die "effektive Antennenhöhe" in Ampere * Meter angegeben)

Nachdem der Strom sich entlang der Antenne ändert , werden die einzelnen Teilprodukte zur Gesamtstrahlung einfach addiert. Ist der Strom entlang der Antenne konstant (bzw. ändert er

sich wenig, was man bei kurzen Antennen z. B. durch Toploading annähert), so lässt sich (gegenüber einer Integralglg vereinfacht)schreiben

$$I_1 * l_1 = I_2 * l_2$$

Und unter der Annahme gleicher Leistungszufuhr zum Speisepunkt,

$$I_1^2 * R_1 = I_2^2 * R_2$$

woraus folgt $R_1/R_2 = l_1^2 / l_2^2$

Die Speisewiderstände ändern sich mit dem Quadrat der Antennenlänge. Das Problem einer effektiven Abstrahlung ist weniger eine verkürzte Antennenlänge, sondern der für den benötigten höheren Antennenstrom verbundene kleinere Strahlungswiderstand. Der Antennenkonstrukteur hat die Aufgabe, vor allem gegen die in Serie dazu liegenden "Verbrauchswiderstände" möglichst viel Leistung in den Strahlungswiderstand zu bringen.