

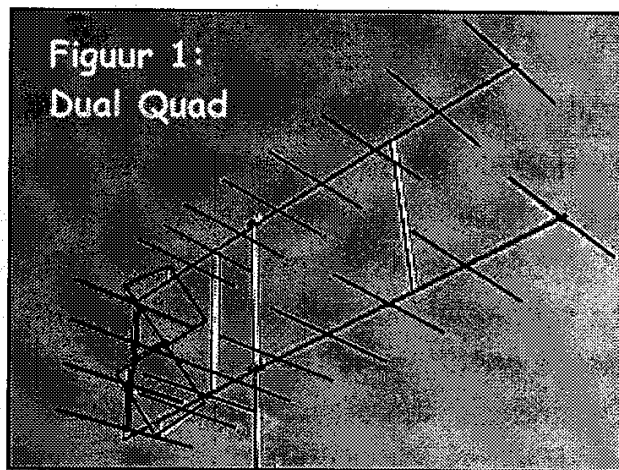
## Metingen aan antennes voor 2 meter.

Jan Osinga  
PAoEMO

### Inleiding.

Waarom begin je aan zulke moeilijke metingen waarvoor je in wezen professionele meetapparatuur en meetopstelling nodig hebt. Dat komt omdat ik als VHF contester altijd op zoek ben naar zoveel mogelijk dB's in je antenne mast bij zo gering mogelijke afmetingen. En dan echte dB's en niet papieren. Specs van de fabrikanten/leveranciers willen nogal eens verschillen vertonen met de werkelijkheid. Zo kwam ik in

Funk Amateur een advertentie tegen van BAZ Spezial Antennen waarin een z.g. Dual Quad (DQ) antenne (zie figuur 1) werd gemeld met een antennewinst van 15 dB. Daar had ik wel oren naar. Maar de afmetingen van 3,30 x 1,50 m waren bijna gelijk aan mijn 8 over 8 skeleton slot die volgens de boeken 12,5 dBd zou moeten leveren. Dus BAZ per e-mail gevraagd of zij die 15 dB konden onderbouwen en garanderen met meetresultaten.



Geen antwoord. Dan maar Funk Amateur gevraagd naar wat zij er van vonden. Binnen een dag had ik antwoord van de hoofdredacteur DL2RD Werner Hegewald. Hij gaf aan dat op basis van de theorie het niet mogelijk zou zijn bij die opgegeven gegevens.

### Theorie.

Er zijn twee formules bruikbaar om de theoretisch maximale antennewinst van een Yagi te berekenen. Voor Yagi's met een boamlengte van  $\geq 1,5 \lambda$  luidt de formule: waarin  $G$  de winst in dBd en  $B$  de boamlengte in  $\lambda$  is.

$$G = 10 \times \log(5,4075 \times B + 4,25)$$

Omdat de Dual Quad geen enkele Yagi is kan deze formule op de D.Q. niet toegepast worden. Daarvoor is wel de volgende formule bruikbaar.

$$G = 10 \log 25203 / \Theta_E \times \Theta_H$$

waarin  $\Theta_E$  de horizontale openingshoek is en  $\Theta_H$  de verticale.

Laten we deze formule los op de DQ en vullen de gegevens van BAZ voor de horizontale openingshoek 42, en 38 graden voor de verticale openingshoek in, dan is de uitkomst 11,98 dBd. Dat is andere koek dan 15 dB!

Niet iedere fabrikant is zo slordig. Neem de 9 element Yagi van Flexa, de FX217 waarvoor 11 dB wordt aangegeven, met een boom lengte van 1,7  $\lambda$ . Gebruiken we de eerste formule dan is de uitkomst 11,3 dBd als maximum. Dat is dus netjes gespecificeerd. Met het antwoord van Funk Amateur had ik genoeg kunnen nemen, maar de formules houden mogelijk geen rekening met de winst van de quad straler.

Er zat dus niets anders op dan te bouwen en te meten.

### Meetmethode en meetapparatuur

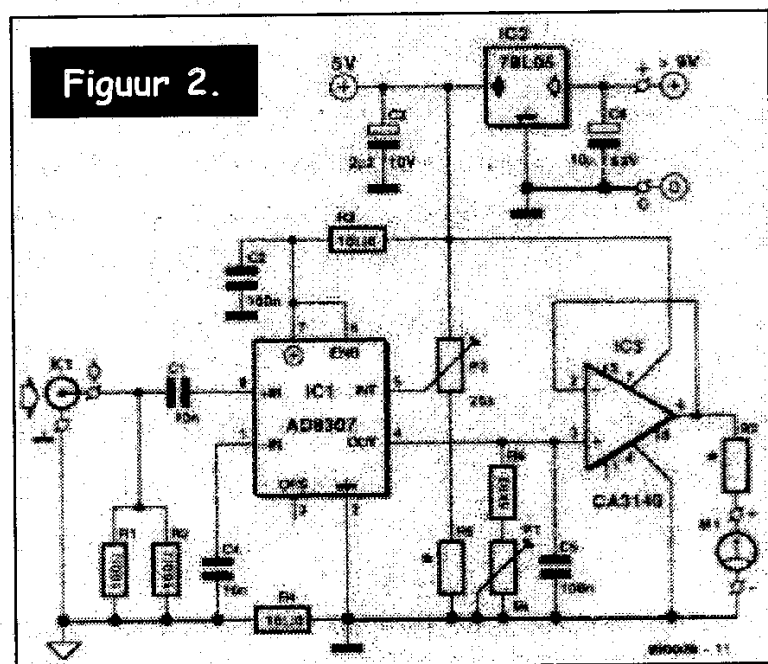
Ik had nog twee gevouwen dipolen die met een balun een SWR van beter dan 1,1 : 1 hadden. Eén in de mast gemonteerd en met een coax relais verbonden. Het coax relais wordt vanuit de shack bedient om van te meten antenne om te schakelen naar de referentie dipool.

Beide antennes krijgen dus het zelfde signaal.

De andere dipool werd op een aluminium buis bevestigd om er mee het veld in te lopen. Maar nu had ik nog een portabele veldsterktemeter nodig.

Die heb ik niet dus moest er iets gemaakt worden. Mijn oog viel op een IC van Analog Devices de AD8307. Dit IC geeft een lineaire DC output over 90 dB van DC tot 500MHz. De uitgangsspanning geeft 10 mV bij 10 dB input verandering. De schakeling kwam uit Elektuur januari 1999 ( zie figuur 2).

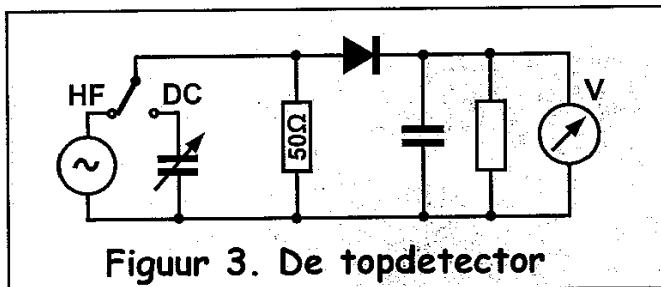
Dit is natuurlijk geen veldsterkte meter want hij is niet selectief. Aan de uitgang een digitale voltmeter met een 4,5 digit uitlezing en je hebt 0,1 dB resolutie. Om de schakeling te kalibreren heb ik een topdetector gebruikt (zie figuur 3). Het voordeel van deze schakeling is dat deze zowel met gelijkspanning als wisselspanning is aan te sturen.



Met een HF signaal aan de ingang meten we een bepaalde gelijkspanning op de voltmeter en noteren deze waarde. Daarna vervangen we het HF signaal door een regelbare gelijkspanning. Deze spanning regelen we op tot op de gelijkspanningvoltmeter dezelfde waarde als bij de HF spanning wordt gemeten. Deze waarde is  $U_{top}$ . De effectieve waarde v/d HF spanning is nu:

$$U_{eff} = \frac{1}{2} \sqrt{2} \times U_{top} = 0,707 U_{top}.$$

Ik heb een tweede identieke top detector gemaakt met identiek geselecteerde diodes, waarbij tussen beide uitgangen een voltmeter als nuldetector wordt gebruikt. Daarmee wordt het bewerkelijke omschakelen van HF naar DC en daarmee eventueel verloop door bijvoorbeeld opwarming voorkomen. Zo heb ik een oscillator op 9 MHz gemeten en dit signaal aan de



AD 8307 schakeling toegevoerd. Hiermee werd deze afgeregeld op een uitgangsspanning van 1,143 V (volgens beschrijving) bij een ingangsniveau van + 8 dBm. Daarmee was de schakeling in absolute zin afgeregeld. Nu moest

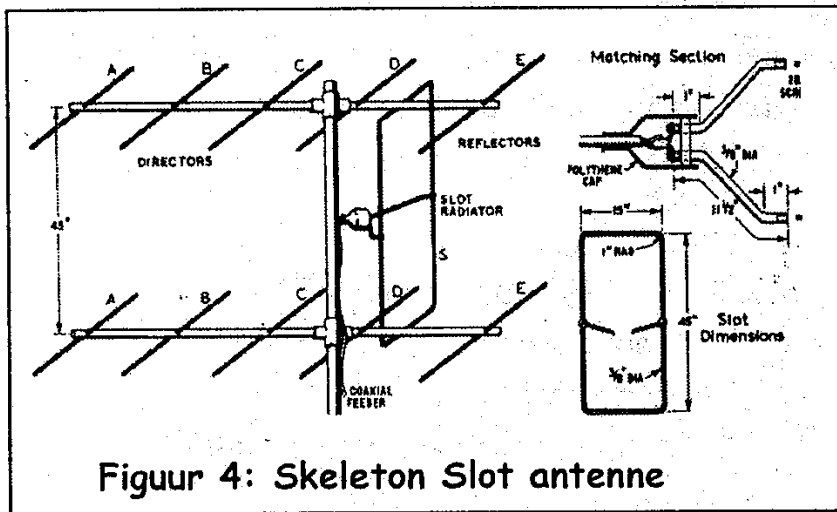
nog bekeken worden of de lineairiteit over een zeker gebied constant is. Daarvoor heb je eigenlijk een echte gekalibreerde stappen verzwakker nodig met een nauwkeurigheid van beter dan 0,1 dB. Die zijn voor een amateur niet betaalbaar. In het verleden had ik al eens een verzwakker met standen van 1, 2, 4, 8, 10, 20 en twee maal 40 dB gemaakt zodat over een behoorlijk gebied kon worden gemeten. Die liet een redelijke correlatie met de AD 8307 zien. Eigenlijk was ik de verzwakker aan het kalibreren met de AD8307. Later heb ik de gegevens gecontroleerd met een vaste 10 dB verzwakker van Minicircuits (gekocht bij Funk Amateur) die een onzekerheid heeft van 0,05 dB. Goed genoeg voor mijn doel.

Immers ik moet verschillen in antenne winst van om en nabij 10 dB meten met een zekerheid van 0,1 dB en dat doet de schakeling.

### Metingen

Nu was de meetapparatuur gereed en kon het meten beginnen. Eerst power op de referentie dipool en met de veldsterktemeter het veld in. Op een afstand van c.a. ± 50m van de mast een waarde vastgesteld. Terug naar de shack en met de coax schakelaar de power omgeschakeld naar de te meten antenne.

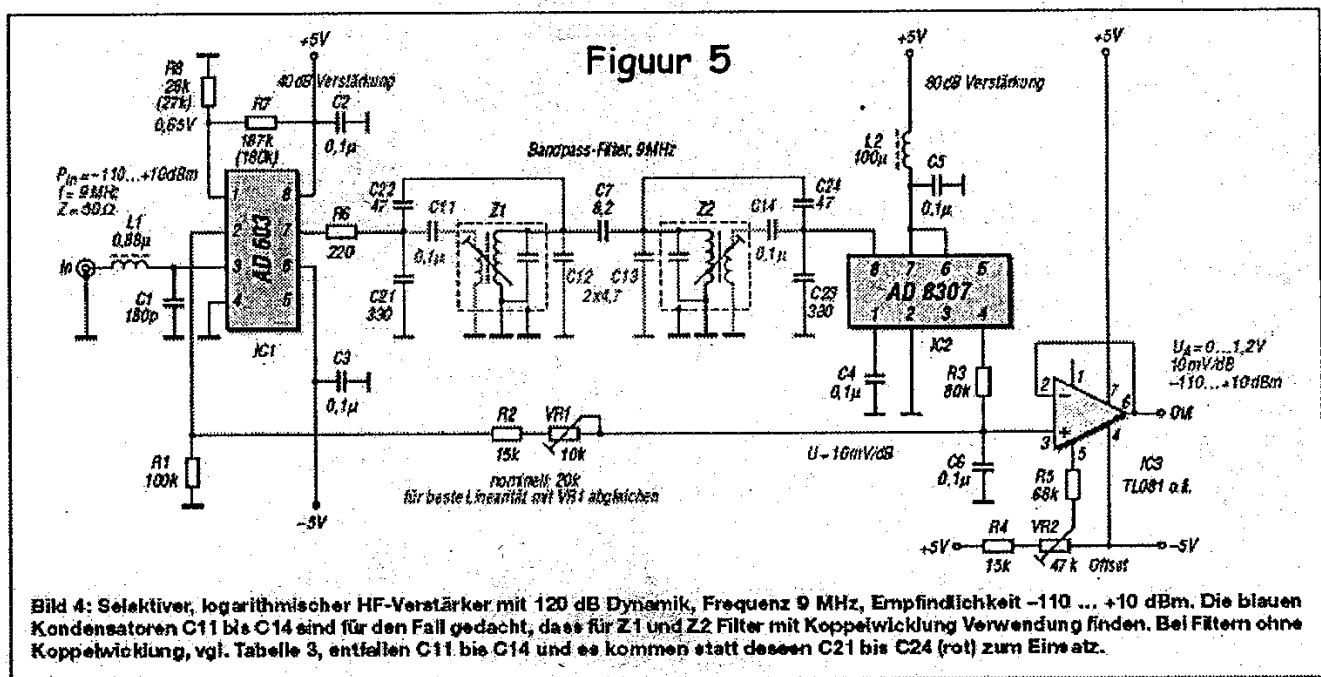
In mijn geval een 8over8 Skeleton Slot antenne (figuur 4 laat een 6over6 versie zien) die een antenne winst moet geven van 12,5dBd. Weer het veld in en meten. Deceptie alom! Een verschil van 8 dB i.p.v. 12,5 dB.



Figuur 4: Skeleton Slot antenne

Dat leek mij wat te veel verschil. Terug naar de boeken. Daarin wordt gewaarschuwd voor grond reflecties. Bovendien is een dipool vrij breedbandig, heeft een breed stralings-diagram en meet ik ook nog met de AD8307 breedbandig.

Kortom: er wordt veel meer opgevangen dan bedoeld en dus is het meetresultaat onbetrouwbaar. Een andere meetmethode was nodig en nu uitgaande van de ontvangst van een externe zender (immers, antennes zijn reciproque voor zenden en ontvangen) op voldoende afstand en selectief gemeten. Dat laatste gaat het best met een spectrum analyzer met een nauwkeurige aflezing. Die heb ik niet en kan daar ook niet anderszins over beschikken. Geen nood: elke ontvanger is in wezen een spectrum analyzer maar zwaait niet over de band.



Figuur 5

Bild 4: Selektiver, logarithmischer HF-Verstärker mit 120 dB Dynamik, Frequenz 9 MHz, Empfindlichkeit -110 ... +10 dBm. Die blauen Kondensatoren C11 bis C14 sind für den Fall gedacht, dass für Z1 und Z2 Filter mit Koppelwicklung Verwendung finden. Bei Filtern ohne Koppelwicklung, vgl. Tabelle 3, entfallen C11 bis C14 und es kommen statt dessen C21 bis C24 (rot) zum Einsatz.

Nadeel: de S-meter van de RX is erg onnauwkeurig en instabiel. Maar Funk Amateur hielp mij weer. Daar stond een schakeling in beschreven (F.A. jan. 2005) van een S-meter met een bereik van 120 dB (zie figuur 5) met een output van 10 mV/dB gebaseerd op de AD 8307 met een AD 603 MF versterker. Deze schakeling werd gebouwd en in een oude 2 meter FM ontvanger opgenomen met de input na het kristalfilter en eerste MF versterker. De AVC moet uitgeschakeld. De meetapparatuur was gereed.

### Nu nog een goede referentie antenne.

Daarvoor kom je uit bij DK7ZB die zich heeft bezig gehouden met simulatie programma's voor VHF/UHF antennes en de optimalisering daarvan (zie zijn website met een keur aan informatie).

Zijn resultaten zijn goed gedocumenteerd en leveren uitstekende en betrouwbaar na te bouwen antennes op.

Zijn optimalisering van alle parameters van een Yagi, zoals gain, bandbreedte, V/A verhouding, zijlobben en stralingsdiagram levert een straler op die een Ohmse stralingsweerstand heeft van minder dan 10 Ohm.

Hij heeft gekozen voor een 28 Ohm systeem als werkbaar compromis.

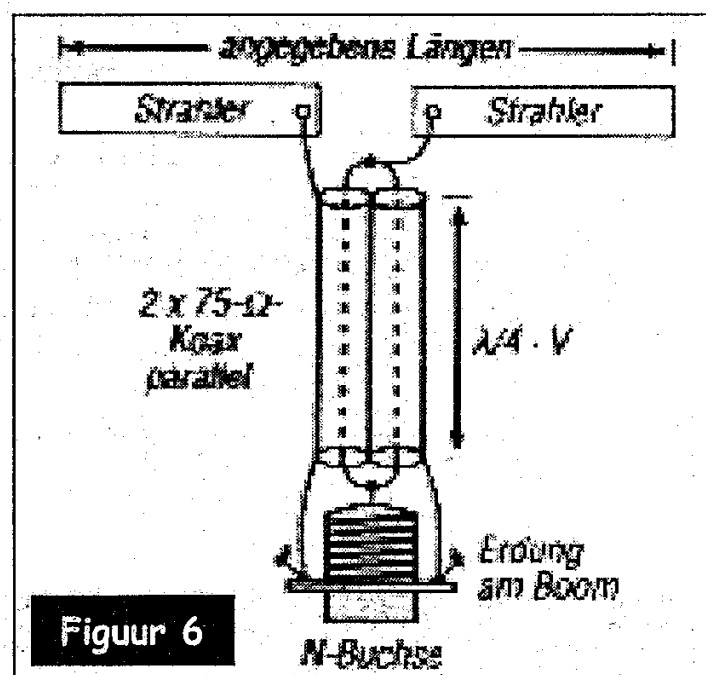
12,5 Ohm kan ook en geeft wat meer gain maar een slechtere bandbreedte en stralingsdiagram. Ik heb voor zijn 28 Ohm systeem gekozen en een 4 elements Yagi gemaakt. Deze heeft een antennewinst van 6.30 dBd volgens DK7ZB. Om de antenne aan te passen aan 50 Ohm is een  $\lambda/4$  stub nodig.

De impedantie van de stub wordt bepaald door de formule:

$$Z_x = \sqrt{Z_1 \times Z_2} = \sqrt{28 \times 50} = 37,4 \Omega.$$

Die maak je het eenvoudigst door twee gelijke stukken coax kabel van 75 Ohm parallel te schakelen (zie figuur 6).

De lengte wordt bepaald door de formule  $L = n \cdot \lambda / 4 \cdot VF$  waarin n een oneven getal is en VF de verkortingsfactor die voor RG59 0,667 bedraagt.



**Figuur 6**

Bepalend voor de lengte is de afstand tussen de uiteinden van de buitenmantel. Er moet wel voor worden gewaakt dat  $n$  niet te groot wordt genomen, 5 á 7 omdat anders fouten in de elektrische lengte kunnen optreden die misaanpassing veroorzaakt. De aldus gemaakte stub transformeert niet alleen de impedantie maar symetreert ook.

Om eventuele onderlinge beïnvloeding te voorkomen wordt de referentie antenne onder de te meten antenne geplaatst maar loodrecht op de stralingsrichting van de te meten antenne.

Nadeel is dat je steeds de antenne 90 graden moet draaien.

Nu nog een stevig referentie signaal in de lucht. Eerst gedacht aan een portabel zendertje en daarmee mijn vrouw het veld in te sturen, maar die had daar weinig oren naar. Bij nader inzien hoeft dat ook niet want er zijn altijd wel signalen in de lucht, namelijk bakenzenders. Met S8 en stabiel komt bij mij binnen PI7HVN uit Heerenveen op 144,423 MHz op c.a.30km afstand, dus geen last van grondreflecties. Nadeel is natuurlijk dat je op maar één frequentie meet. Dat is geen bezwaar als je antenne maar breedbandig genoeg is. Een ander nadeel is dat de bakens elke minuut hun identificatie uitzenden. Dan kun je niet meten. Dus geduld hebben !  
Klaar voor de meting. Als eerste antenne kwam aan de orde de 8 over 8 skeleton slot die toch al in de mast zat. Vele metingen gedaan met als resultaat: 11,3 dBd. Dus niet zoals de boeken vermelden 12,5 dBd !!

Inmiddels hadden vandalen onder het Dronrijpse vogelbestand enige elementen van mijn skeleton slot geruïneerd zodat ik wel een nieuwe antenne moest maken. Ik heb gekozen voor een 7 elements DK7ZB Yagi in 28 Ohm techniek. Volgens DK7ZB heeft die een antennewinst van 11,03 dBd. Waarom 7 elements komt straks aan de orde. Veel metingen gedaan. Resultaat: 11,0 dBd ! Je gelooft het haast niet. Maar veel twijfel is er niet want als de referentieantenne geen 6,3 maar bijv. 5,5 dBd zou geven dan zou ik voor de 7 elements 11,8 dB meten en dat is onwaarschijnlijk. Of de antennes zouden precies hetzelfde minder moeten geven en dat is ook onwaarschijnlijk.

**Als tussenconclusie kan gesteld worden dat het reproduceerbare metingen zijn met een onzekerheid van 0,1 dB, de meetmethode goed is en dat DK7ZB antennes betrouwbaar zijn na te bouwen. Nadeel: gemeten bij één frequentie maar dat is met een bevriende amateur ook te ondervangen.**

Nu werd het zaak meer dB's in de mast te maken dus nog een 7 elements gemaakt om de twee te stapelen. De vraag is dan: wat mag je verwachten met het stapelen van twee Yagi's. Daarvoor heeft DL6WU reeds in het grijze verleden een grafiek gemaakt (zie figuur 7) die de winst in dB geeft t.o.v. de verhouding  $D/D_{opt}$ . Is de afstand  $D$  tussen de twee Yagi's groter dan de optimale afstand  $D_{opt}$  voor die Yagi dan boek je meer dan 2,8 dB winst. Is  $D$  kleiner dan  $D_{opt}$  dan neemt de winst sterk af.  $D_{opt}$  bereken je met de volgende formule.

$$D_{opt} = \lambda / 2 \sin \Theta_H / 2$$

waarin  $\Theta_H$  de verticale openingshoek is. Bij de openingshoek van de 7 elements Yagi ( $46^\circ$ ) bedraagt  $D_{opt}$  2,66. Aangezien ik maar 1,7 m ruimte in de mast heb wordt de verhouding  $D/D_{opt} = 0,64$ .

Volgens de grafiek mag ik dan een winst van 1,8 dB verwachten.

Nu nog de twee Yagi's in de mast plaatsen en koppelen.

Dat laatste kan op twee manieren.

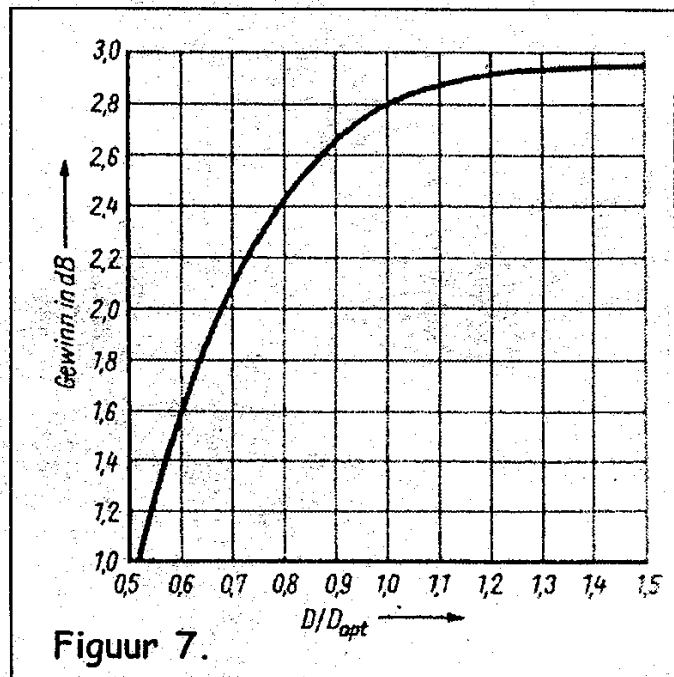
Twee even lange coax kabels van 50 Ohm aan de antennes en in het midden deze aan elkaar verbinden. Dat levert 25 Ohm op die we weer met een  $\lambda/4$  aanpassing van  $2 \times 75$  Ohm kabel parallel, dus 37,5 Ohm naar 50  $\Omega$  brengen.

De andere methode is een 75 Ohm kabel met een lengte van

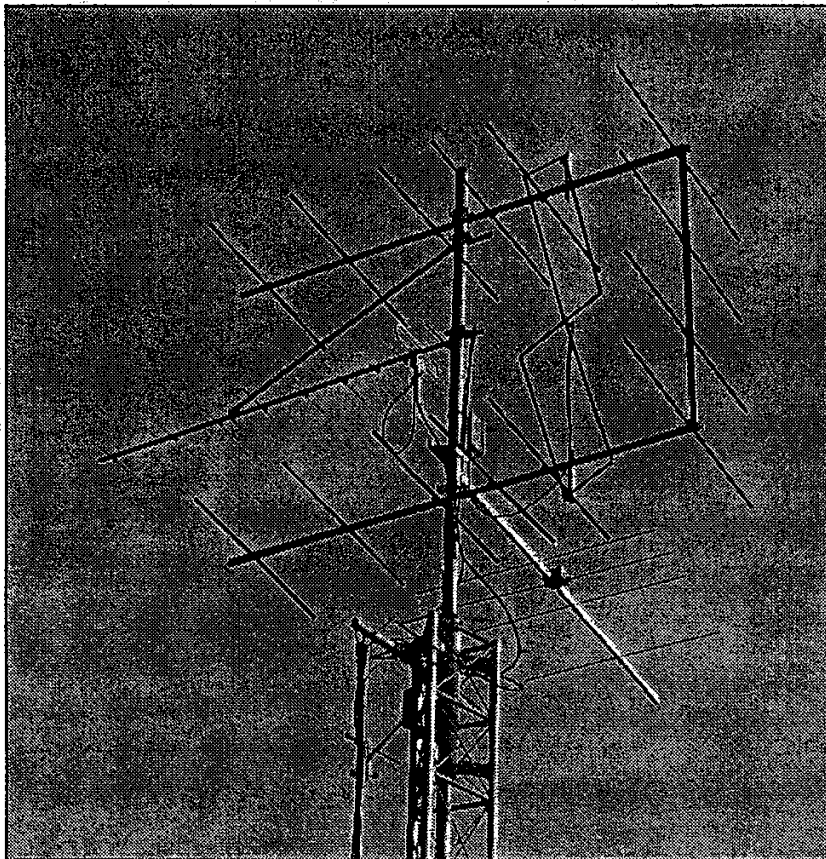
$L = n \times \lambda / 4 \times VF$  zoals hiervoor al is aangegeven, tussen de antennes en het voedingspunt te monteren. Deze kabel brengt de impedantie op 100 Ohm, dus parallel weer 50 Ohm. Ik heb voor de laatste methode gekozen.

Scheelt een vochtvrij te maken 37,5 Ohm aanpassing. Nu maar meten. Resultaat: 12,9 dBd dus 1,9 dB meer. Iets meer dan de theorie aangeeft. Kan dat? Ja, want de grafiek van DL6WU is gebaseerd op niet-geoptimaliseerde antennes. Met geoptimaliseerde antennes kun je zelfs iets meer dan 3 dB winst maken. Maar dat gaat wel ten koste van het stralingsdiagram.

Nu ik toch twee geoptimaliseerde Yagi's had wilde ik weten wat de winst zou zijn als je deze twee zou monteren als een skeleton slot, dus de twee dipolen vervangen door een slot als straler.



Resultaat van de meting: 10,7 dBd. Dus niets beter dan de skeleton slot of een enkele 7 elements Yagi. Datzelfde heb ik ook met een Quad straler gedaan. Dat gaf maar 9,6 dBd. Ik had dat kunnen weten want DK7ZB geeft in zijn artikelen aan dat elke andere geometrie van de straler zoals vierkant of rond geen winst oplevert. Dat is hiermee maar weer bewezen.



Figuur 8.

Dus werd het tijd de Quad's voor gaats te halen. Ik had geen goede gegevens van de 15 dB versie. Maar er bestaat ook een 13,5 dB versie. Daarvan vind je op de site van BAZ een foto van PD2KMD. Die gevraagd om afmetingen maar hij beantwoordde mijn e-mail niet. Geen nood: de foto is duidelijk genoeg om met de lengte en hoogte afmetingen die wel op de site staan de positie en afmetingen van de elementen te bepalen.

Zo kon ik de 13,5 dB versie bouwen en meten (zie figuur 8 waarbij de D.Q. en de referentie antenne loodrecht op de DQ te zien is; in de doos zit het coax relais; in het midden mijn 70 cm antenne). 11,7 dBd heb ik gemeten. Iets beter dan de skeleton slot maar met de afmeting van 1,5 x 1,8 m wel veel kleiner en dus zou ik kunnen overwegen de slot hierdoor te vervangen.

Toch maar ook de 15 dB versie meten. Gebouwd op basis van de uitbouw van de 13,5 dB versie, de theorie van DL6WU en de afmetingen van een identieke versie in het antenne handboek van Rothammel die ook aangeeft dat de winst 15 dB zal zijn. Het resultaat: 12,7 dBd !!. Dat is wel 2,3 dB minder dan aangegeven.



Ik heb de meetmethode, meetapparatuur en resultaten voorgelegd aan de redactie van Funk Amateur om commentaar. DL2RD heeft dat op zijn beurt aan DK7ZB voorgelegd die binnen twee dagen heeft geantwoord. Dat liet niets te wensen over. Hij vond het geheel realistisch alsook de resultaten.

Volgens hem zijn alle toevoegingen van meer dan twee elementen aan een quad straler weg gegooid geld en biedt een simpele Yagi veel meer voor minder geld. Hij noemt de Doppel-Quad Quatsch!

***We kunnen tot slot concluderen dat:***

- = de meetmethode goed is.
- = betrouwbare en reproduceerbare metingen tot op 0,1dB realiseerbaar.
- = de meetapparatuur voor de radio amateur eenvoudig en goed na te bouwen is.
- = DK7ZB antenne ontwerpen zeer betrouwbaar en nabouwbaar zijn.
- = zelfbouw loont.
- = niet alle antenne bouwers geloofwaardig zijn.

Ik heb uiteindelijk gekozen voor twee maal de 7 elements Yagi's in de mast. Meer elementen heeft geen zin want de verticale openingshoek wordt kleiner en daarmee de stapelingsafstand  $D_{opt}$  groter. De grafiek in fig.7 laat zien dat de winst door stapeling dan zeer snel daalt als je niet de ruimte hebt om optimaal te stapelen. Bovendien neemt bij langere Yagi's ook de horizontale openingshoek af wat voor contest werk een nadeel is. Ook de windbelasting van lange Yagi's is groter.

Al met al ben ik niet ontevreden met de resultaten.

Het was wel een omvangrijke klus en vermoeiend.

Steeds bij elke verandering de antennemast naar beneden en kantelen, naar boven naar de shack om b.v. de SWR te meten en de boel weer omhoog zetten.

Maar ik heb wel veel plezier beleefd aan de experimenten.

En daar staat tenslotte de E voor in VERON.



***73 Jan PAoEMO***