ELECTRON FEB 2022

VLF-experimentent met grond-lus-antennes

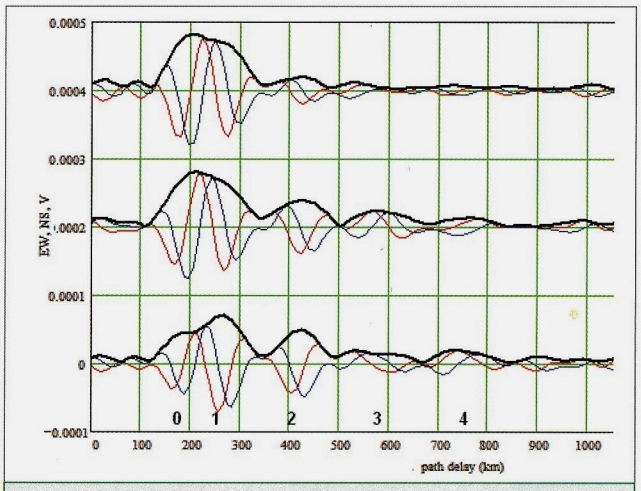
Ik heb in deze rubriek wel eerder gewezen [9] op de fraaie experimenten die enkele amateurs uitvoeren met uitzendingen in het VLF-gebied, onder de 8,3 kHz. Ondanks de zeer geringe efficiëntie van de antennes kunnen, dankzij moderne digitale signaalverwerking, toch grote afstanden worden overbrugd.

Bij de eerdere experimenten werden vooral zo lang en zo hoog mogelijk opgehangen draden als antenne gebruikt. Maar die zijn nog steeds heel kort ten opzichte van de golflengte, zodat een grote spoel nodig is om ze in resonantie te brengen, en spanningen van vele tientallen kilovolts optreden.

Recenter experimenteren een aantal amateurs met grond-lus-antennes of aarde-antennes. Dat zijn antennes die in feite bestaan uit twee aardpennen op een afstand van enige honderden meters. De zender wordt met draden op die aardpennen aangesloten, en de stroom loopt dan door de aarde terug. Afhankelijk van de bodemgesteldheid kan die teruglopende stroom best diep in de grond lopen, zodat effectief een lus wordt gevormd met een groot oppervlak, veel groter dan je met bescheiden middelen bovengronds zou kunnen ophangen. En hoe groter het oppervlak, hoe hoger de stralingsweerstand en dus hoe effectiever de antenne is (tenminste op dit soort frequenties waar de lus altijd nog klein is ten opzichte van de golflengte). Het voordeel is dat je geen afstemspoel nodig hebt en er geen zeer hoge spanningen optreden. Bovendien is de antenne breedbandig.

Om een idee te geven: DK7FC heeft in 2018 ergens in het Paltserwoud een rustige weg gevonden waar her en der stukken vangrail langs staan. Hij parkeert zijn auto ergens halverwege, legt draden naar twee vangrails op 900 m van elkaar en sluit daar z'n zender op aan. De weerstand van de grond tussen beide vangrails was slechts 50 ohm en de zelfinductie was zo'n 3 mH, waaruit DK7FC berekende dat de stroom gemiddeld op een diepte van ca. 100 m terugstroomt, aldus een lus vormend met een oppervlak van ca. 100 000 m^2. (In de vochtige Nederlandse bodem zou de stroom vast minder diep lopen en dus een veel minder effectieve antenne vormen.)

Een paar maanden geleden heeft DL3JMM ook een dergelijke antenne gerealiseerd, met aardpunten 500 m uit elkaar. Gebruikmakend van de breedbandigheid van zo'n antenne heeft hij samen met DF6NM een experiment gedaan waarin na elkaar op frequenties tussen 4025 en 8275 Hz werd gezonden, telkens 20 s lang en dan een stapje van 50 Hz verder. Ontvangen werd dit 172 km verderop op het clubstation van DL0AO. Dit geeft dus informatie over de propagatie tussen DL3JMM en DL0AO in het frequentiedomein. Door vervolgens een inverse Fourier-transformatie hiervan te berekenen, kon DF6NM de respons ook in het tijddomein bepalen: zie de zwarte lijnen in figuur 5. Hierin is duidelijk de grondgolf te zien die als eerste aankomt (gemarkeerd met '0' in de figuur), en een golf die via 1 reflectie aankomt (gemarkeerd met '1', deels overlappend met de grondgolf). Verder zijn met een beetje goede wil nog paden te herkennen die 2, 3 en zelfs 4 keer gereflecteerd zijn tegen de ionosfeer. Later hebben ze dit experiment nog herhaald over een hele dag, op nog lagere frequenties, en met andere ontvangststations.



Figuur 5 | VLF-propagatie tussen DL3JMM en DL0AO in het tijddomein [8]. Bovenste grafiek is voor het elektrisch veld, onderste twee voor het magnetisch veld in twee richtingen.

Vanwege de breedbandigheid kun je met zo'n aardlus-antenne ook gemakkelijk nog veel lagere frequenties proberen. Het hoogtepunt (of is dit een dieptepunt?) tot nu toe is 176,5 Hz geweest, waarmee succesvol 57,6 km is overbrugd; op deze frequentie is dat overigens ongeveer 1/30 golflengte, dus nog in het nabije veld. Een ander extreem is het gebruik van QRP: DK7FC heeft z'n aardlus, inmiddels verlengd tot 1130 m, aangesloten direct op de luidsprekeraansluiting van z'n tablet. Van de 0,6 watt die hij zo op 8270 Hz in de antenne stopte, werd maar een fractie daadwerkelijk uitgezonden, maar dit kon 840 km verderop in Engeland door Paul Nicholson nog wel worden gedetecteerd! Een mooi overzicht van amateur-VLF-prestaties staat op [2].

Sleufantennes

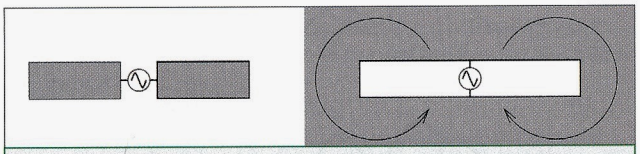
De meeste antennes bestaan uit een of meer geleiders (draden of staven) in een isolerend medium (lucht). Maar het kan ook andersom: een antenne die bestaat uit een stuk isolatie (lucht) in een geleidend medium, namelijk een metalen plaat. Zo'n antenne heet in het Engels 'slot antenna', in het Nederlands 'sleufantenne'.

Dit type antenne wordt vooral op UHF en hoger vaak gerealiseerd door in een verticaal geplaatste golfpijp een reeks sleuven te maken. Elke sleuf werkt als een dipooltje, en samen vormen ze een antenne die verticaal flink bundelt maar horizontaal rondstralend is.

In 1941 heeft Henry Booker een mooi verband bewezen tussen antennes die bestaan uit draden, en antennes die bestaan uit gaten in een geleider. Door de oorlog kon dit pas in 1946 ge-

publiceerd worden [3]. Het verband is als volgt. Een antenne die bestaat uit gaten in een metalen plaat, heeft precies hetzelfde stralingsdiagram als eentje die bestaat juist uit metaal op de plekken van die gaten en vice versa, de z.g. complementaire antenne. Daarbij moet dan wel het volgende in acht worden genomen:
(i) Het elektrisch en het magnetisch veld worden verwisseld; praktisch gezien betekent dit dat de polarisatie 90 graden draait.
(ii) Het voedingspunt wordt 90 graden gedraaid; dat moet wel, want als je metaal door lucht vervangt en vice versa, zou je voedingslijn anders in de lucht eindigen.
(iii) De impedantie wordt omgekeerd: als je begint met een antenne met lage impedantie, dan heeft de complementaire antenne juist een hoge impedantie, en omgekeerd. Net als punt (i) heeft dit ermee te maken dat spanning en stroom a.h.w. verwisseld worden.

Als voorbeeld toont figuur 6 links een gewone halvegolf-dipoolantenne, bestaande uit een metalen strip die halverwege is onderbroken om de zender aan te sluiten. Rechts staat z'n complement: een rechthoekig gat in een oneindig grote metalen plaat, met halverwege de zender aangesloten over de breedte van de sleuf. Punt (ii) is meteen duidelijk: de aansluiting voor de zender is inderdaad 90 graden gedraaid.



Figuur 6 | Halvegolfdipool en z'n complement, een halve golf lange sleuf

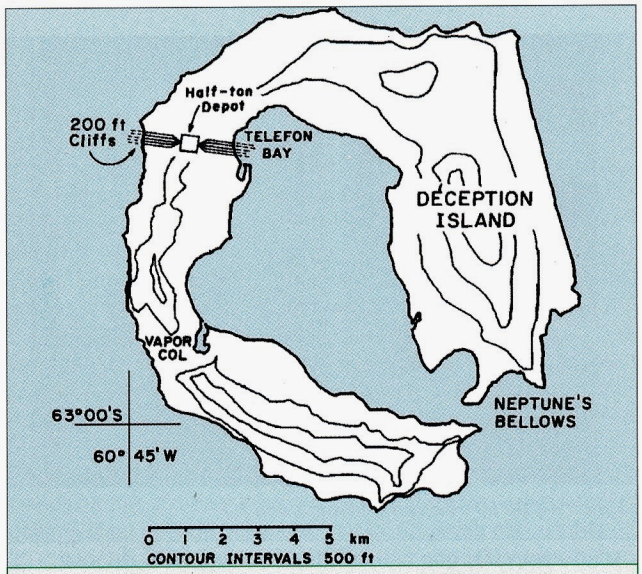
Punt (i) betekent dat terwijl de dipool horizontaal gepolariseerd is, de horizontale sleuf verticaal gepolariseerd werkt. Dat is niet zo gek: de spanning van de zender wordt nu immers verticaal aangeboden. De verwisseling van de rol van het elektrische en het magnetische veld kunnen we ook op andere wijze inzien. In de dipool beweegt zich elektrische lading heen en weer; de linkerhelft is negatief en de rechterhelft positief geladen, en een halve periode later omgekeerd. In de sleufantenne lopen stromen door het metaal, zoals aangegeven door de pijlen: links tegen de klok in en rechts met de klok mee (en een halve periode later natuurlijk omgekeerd). Zo krijgen we links een magnetische noordpool naar ons toe wijzend, en rechts een magnetische zuidpool: de tegenhangers van positieve en negatieve lading op de dipool.

Punt (iii) ten slotte betekent dat terwijl de halvegolf-dipool een lage impedantie heeft, bijv. 67 ohm als de strip 1/200 λ breed is, de sleufstraler juist een vrij hoge impedantie heeft, nl. 530 ohm bij deze zelfde afmetingen. Het product van deze getallen is (afgezien van afronding) 35476 Ω^2. Volgens Booker's berekening is dat altijd zo als je de impedanties van een antenne en z'n complement vermenigvuldigt, ongeacht de vorm en afmetingen van de antenne. Wil je een sleufstraler met een lage impedantie, dan moet ie ongeveer een hele golf lang zijn: 0,925 λ lang en 0,066 λ breed resulteert in precies 50 ohm (getallen uit [4]).

Eiland als antenne

Niet alleen amateurs verzinnen soms gekke dingen, professionals kunnen er ook wat van. Zo is in 1960 prof. Millett Morgan (die overigens ook radioamateur W1HDA was), met het voorstel gekomen om een heel eiland als zendantenne te gebruiken om propagatie van VLF-signalen te onderzoeken [5]. Hij had daarvoor Deception Island, vlakbij Antarctica, op het oog.

Figuur 7 toont een kaart van Deception Island, dat bestaat uit een ringvormig gebergte met in het midden een lagune, die op één plek verbinding heeft met de zee. Op de kaart linksboven is het voedingspunt: vanaf een plek midden op het land worden draden getrokken naar het water aan de 'buitenkant' van het eiland, en naar Telefon Bay in de lagune. Vervolgens zou de stroom door het zeewater links en rechts om het eiland moeten lopen.



Figuur 7 | Deception Island (uit [6])

Aangezien het zeewater een geleidend vlak vormt en het eiland daarin een isolator is, zou dit een natuurlijke sleufantenne vormen. Gezien Booker's theorie zou het stralingsdiagram vergelijkbaar moeten zijn met dat van een rondgebogen horizontale dipool, maar dan verticaal gepolariseerd.

In 1961 zijn daadwerkelijk impedantiemetingen op Deception Island gedaan [6], maar de meetresultaten klopten niet met de verwachtingen. Er zijn meer experimenten gedaan met landtongen in zee als antenne [7]. De conclusie lijkt te zijn dat land simpelweg niet voldoende isoleert, zodat de stroom gewoon onder de voedingslijn terugloopt in plaats van de gewenste omweg via het zeewater te nemen.

Overigens is de naam Telefon Bay in deze context natuurlijk wel opvallend. Deze baai blijkt te zijn genoemd naar een Noors schip dat daar begin vorige eeuw gerepareerd is. Dat schip had ook nog een zusterschip genaamd 'Telegraf'. Met zulke namen zou je wellicht denken dat het kabellegschepen waren, maar nee, ze werden ingezet bij de walvisvaart.

Referenties

[1] https://w140.com/tekwiki/wiki/TU-75B
[2] http://abelian.org/vlf/amateur-radio
[3] H.G. Booker: Slot aerials and their relation to complementary wire aerials (Babinet's principle). *Journal of the IEE* part IIIA, 1946.
[4] J.D. Kraus: Antennas. 1950
[5] M.G. Morgan: An Island as a Natural Very-Low-Frequency Transmitting Antenna. *IRE Tr. on antennas and propagation*, sept. 1960.
[6] M.G. Morgan: Impedance measurements of Deception Island as a natural very-low-frequency antenna. *Radio Science*, feb. 1979.
[7] N.K. Uzunoglu, S.J. Kouridakis: Radiation of Very Low and Extremely Low Frequencies (VLF & ELF) by a Natural Antenna Based on an Island or a Peninsula Structure. *Radio Science Bulletin*, maart 2004.
[8] Markus Vester DF6NM via VLF@groups.io, 1 sept. 2021. https://groups.io/g/VLF/topic/sounding/85056084
[9] Technische notities van PA3FWM, *Electron* 5/2018. ■