

NVIS circulaire polarisatie overdenkingen PA3ECT

Het onderzoek en de publicaties van Jan Simons PAoSIM en van de groep rond Ben Witvliet PE5B over circulaire polarisatie bij NVIS propagatie volgend, blijven er nog veel vragen over dit fenomeen. Ik ben geen wetenschapper, dus heb ik mijn vermoedens en vragen voorgelegd aan Ben Witvliet PE5B.

Dit zijn de publicaties

- 1a "The Importance of Circular Polarization for Diversity Reception and MIMO in NVIS Propagation", European Conference on Antennas and Propagation, Den Haag, april 2014.
- 1b idem, poster.
- 2 "Near Vertical Incidence Skywave (NVIS) Antenna and Propagation Research in The Netherlands" [poster], URSI Benelux Forum, Louvain-la-Neuve, België, november 2014.
- 3 "Near Vertical Incidence Skywave Propagation: Elevation Angles and Optimum Antenna Height for Horizontal Dipole Antennas". IEEE Antennas and Propagation Magazine, februari 2015.
- 4a "Characteristic Wave Diversity in Near Vertical Incidence Skywave Propagation", European Conference on Antennas and Propagation, Lissabon, Portugal, april 2015.
- 4b idem, presentatie.
- 5 "Measuring the Isolation of the Circularly Polarized Characteristic Waves in NVIS Propagation", IEEE Antennas and Propagation Magazine, juni 2015.

De publicaties zijn te vinden via de links in het menu rechtsboven (met **), op de ResearchGate website van B. A. Witvliet en op de website van Agentschap Telecom.

Dit zijn de auteurs

B. A. Witvliet PE5B [1,2], E. van Maanen PA3DES [2], G. J. Petersen PA5G [2], A. J. Westenberg PAoA [2], M. J. Bentum PA3EET [1], R. Schiphorst [1], C. H. Slump [1].

De nummers geven aan waar de auteurs werkzaam zijn:

1 = Universiteit Twente, Faculteit EWI, Postbus 217, Enschede.

2 = Agentschap Telecom, Postbus 450, Groningen..

Eerst wat definities

Near Vertical Incidence Skywave (NVIS): reflectie in de ionosfeer die onder een steile hoek plaatsvindt.

Circulaire polarisatie (CP): een elektromagnetische golf waarvan de polarisatie tijdens de voortbeweging heel snel (linksom of rechtsom) draait: voor elke afgelegde golflengte één volledige cirkel.

Left Hand Circular Polarization (LHCP): linksom draaiend circulair gepolariseerd.

Right Hand Circular Polarisation (RHCP): rechtsom draaiend circulair gepolariseerd.

Rechtsom is daarbij met de bewegingsrichting van de wijzers van de klok meedraaiend, gezien in de richting waarin de golf zich beweegt (IEEE definitie).

Karakteristieke golven: de radiogolven die zich in de ionosfeer verplaatsen: de "ordinary wave" en de "extraordinary wave".

Ordinary wave: opgaand RHCP, neergaand LHCP. Rode curve in grafieken en digisonde.

Extraordinary wave: opgaand LHCP, neergaand RHCP. Groene curve in grafieken en digisonde.

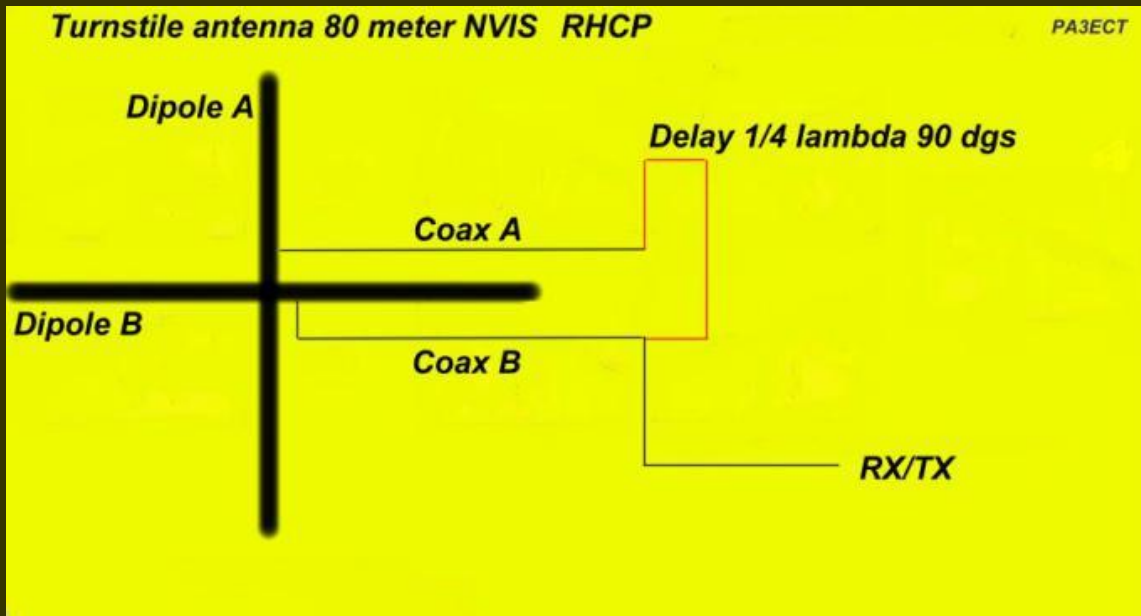
Happy Hour: het tijdsinterval waarin op een bepaalde frequentie alleen de extraordinary wave gereflecteerd wordt. De ontvangen golf is dan circulair gepolariseerd, ook als de zendantenne lineaire polarisatie heeft. Er is een Happy Hour in de ochtend, wanneer de band net opengaat, en in de avond, wanneer de band gaat sluiten.

Turnstile antenne: een antenne bestaand uit twee haaks op elkaar staande halve-golf dipolen die met 90 graden faseverschil worden gevoed. In de richting die loodrecht staat op het vlak van de dipolen is de polarisatie circulair.

Dan de werking van een Turnstile antenne

In het onderstaande plaatje zijn dipool A en dipool B twee halve golf dipool antennes die haaks op elkaar staan en op de zelfde hoogte boven de grond hangen. Beide dipolen worden gevoed met precies even lange voedingslijnen, coax A en coax B.

De vertragsingslijn (delay) zorgt voor 90° fasedraaiing, de lengte is een kwart golflengte maal de verkortingsfactor van de toegepaste voedingslijn. De impedantie op het knooppunt van coax B en de vertragsingslijn moet worden aangepast aan de impedantie van de voedingslijn naar de ontvanger of zender.



Wat gebeurt er bij een inkomende RHCP golf?

Op het plaatje zien we de antenne van bovenaf. Als er een RHCP golf van boven op de antenne invalt, is op enig moment de polarisatie overeenkomstig met die van dipool A. Een kwart periode later – wat overeenkomt met een draaiing van 90° rechtsom – is de polarisatie overeenkomstig met die van dipool B. Omdat de voedingslijn van dipool A verlengd is met een 90° vertragsingslijn zullen beide signalen toch gelijktijdig (in fase) bij elkaar komen in het knooppunt en bij elkaar optellen. Het gezamenlijke signaal gaat naar de ontvanger (RX).

Wat gebeurt er bij een inkomende LHCP golf?

Als er een LHCP golf van boven op de antenne invalt, is op enig moment de polarisatie overeenkomstig met die van dipool A. Een kwart periode later – wat overeenkomt met een draaiing van 90° linksom – is de polarisatie overeenkomstig met die van dipool B, maar nu met omgekeerd polariteit. Het faseverschil is nu 180° groter dan bij RHCP. Beide signalen komen nu dus in tegenfase bij elkaar in het knooppunt en doven elkaar uit. Het resterende signaal dat naar de ontvanger (RX) gaat is nu dus sterk gedempt***.

Omschakelen tussen RHCP en LHCP

Wanneer we de vertragsingslijn van coax A naar coax B verplaatsen, wordt de antenne geschikt voor LHCP. We kunnen ook de vertragsingslijn verlengen van 90° naar 270° .

**** Aanvulling van Ben Witvliet PE5B:*

Om 20 dB isolatie tussen RHCP en LHCP (cross-polarisatie) te krijgen moet het fasenetwerk al behoorlijk goed zijn: het vermogensverschil in beide dipoolantennes mag niet groter zijn dan 0.5 dB en de fasefout mag niet groter zijn dan 5° . Om dat te bereiken moet gebruik worden gemaakt van een goede vermogen-splitter en moeten beide antennes, baluns, etc. zo gelijk mogelijk zijn. De demping van faselijnen en de weglengte van relais moet worden gecompenseerd. Hoe je zelfs 25 dB cross-polarisatie bereikt, met schakelbare polarisatie, is te lezen in publicatie 5.

Overdenkingen en/of vragen van PA3ECT

1. Geen multipath fading tijdens Happy Hour?

In de Happy Hour periode zal er geen uitnulling van het eigen signaal plaatsvinden t.g.v. twee signaalpaden RHCP en LHCP.

Antwoord Ben Witvliet PE5B:

Het is beter om te spreken van de twee signaalpaden van de ordinary wave en de extraordinary wave, want de polarisatie van de overgebleven golf is opwaarts LHCP en neerwaarts RHCP. Het klopt dat er in het Happy Hour geen interferentie optreedt tussen de ordinary en extraordinary wave, er is dus geen polarisatiefading (fading waarbij zowel signaalsterkte als polarisatie snel varieert). Ook al is er geen polarisatie-fading tijdens Happy Hour, is er vaak nog steeds multipath fading doordat er meerdere paden zijn van de zender naar de ontvanger voor de extraordinary wave.

2. Antennewinst door polarisatie-matching?

Met Turnstile antennes is er per antenne 3 dB gain te behalen.

Antwoord Ben Witvliet PE5B:

Dat geldt alleen tijdens Happy Hour, en is eigenlijk geen winst, maar 3 dB minder verlies.

Door aan zenzijde tijdens Happy Hour alleen maar LHCP te zenden gaat er geen vermogen verloren in de ordinary wave, die toch niet op de bestemming aankomt. Door aan ontvangtzijde alleen maar RHCP te ontvangen, wordt al het vermogen van de golf opgevangen, terwijl een lineair gepolariseerde ontvangstantenne maar de helft van het vermogen zou opvangen. Buiten Happy Hour is er geen signaalwinst, maar kan bij slim gebruik van CP wel fading reductie worden bereikt, zie publicatie 4. De antennegain van een Turnstile antenne is hetzelfde als van een enkele dipool boven aarde.

3. Omkering polarisatie tussen zenden en ontvangen?

Als een station zendt met LHCP zal de reflectie RHCP zijn of omgekeerd. De spiegel in de ionosfeer keert ook de draairichting om. Dit zou betekenen dat de stations telkens de antenne polarisatie zouden moeten omschakelen tussen zenden en ontvangen.

Antwoord Ben Witvliet PE5B:

De ionosfeer als een spiegel voor te stellen is een sterk vereenvoudigde voorstelling van de werkelijkheid, die niet echt klopt voor karakteristieke golven. Maar er is inderdaad een omkering van LHCP opwaarts naar RHCP neerwaarts voor de extraordinary wave, en van RHCP opwaarts naar LHCP neerwaarts voor de ordinary wave.

4. Wat als slechts één van de stations circulaire polarisatie heeft?

Als een station met een Turnstile antenne een verbinding maakt met een station dat een dipoolantenne gebruikt, merkt het station met de dipoolantenne niets, maar het station met de Turnstile antenne moet de polarisatie omschakelen tussen zenden en ontvangen.

Antwoord Ben Witvliet PE5B:

Ook als het station met de Turnstile antenne niet schakelt, zullen beide stations elkaar het grootste deel van de dag horen, omdat zowel de ordinary als de extraordinary wave dan propageren. Als hij wel schakelt kan hij de mode (ordinary of extraordinary wave) kiezen die de minste fading of de grootste signaalsterkte oplevert. Die is afhankelijk van de propagatie op dat moment en van de gebruikte frequentieband. Alleen tijdens Happy Hour - wanneer alleen de extraordinary wave propageert - moet het CP-station perse zenden met LHCP en ontvangen met RHCP. Zo niet, is er maar in één richting propagatie.

5. Omzetting van een ordinary wave naar een extraordinary wave?

Als buiten Happy Hour met een Turnstile antenne RHCP wordt gezonden, ontstaat er in de ionosfeer een gereflecteerd LHCP signaal. Ontstaat er dan ook nog een RHCP in de ionosfeer, zoals bij de lineaire gepolariseerde dipool? Of minder? Hoeveel minder?

Antwoord Ben Witvliet PE5B:

Nee, onze metingen laten zien dat de sterkte van de scheiding tussen LHCP en RHCP ten minste 25 dB is. Ons meetsysteem kon niet meer dan 25 dB scheiding meten, maar de gemeten curven doen vermoeden dat de scheiding in de ionosfeer nog veel meer is, waarschijnlijk >32 dB.

Aanvulling Ben Witvliet PE5B:

Bij een lineair gepolariseerde dipoolantenne ontstaan de ordinary wave en extraordinary wave niet bij de reflectie, maar al zodra de opgaande golf in de ionosfeer komt, dus al op ca. 80 km hoogte. Lineair gepolariseerde golven propageren niet in de ionosfeer, circulair gepolariseerde golven wel. Er ontstaan twee circulair gepolariseerde golven met tegenovergestelde draairichting, die opgeteld hetzelfde vermogen en dezelfde polarisatie hebben als de golf had die de ionosfeer binnenging. Elk van die twee karakteristieke golven gaat zijn eigen weg door de ionosfeer, vaak met tientallen kilometers hoogteverschil. De isolatie tussen die golven is groot.

6. Verstoort de grond onder de antenne circulaire polarisatie?

Klopt het dat het omschakelen minder merkbaar is als de aarde goed reflecteert? Door deze reflectie zal ook een omkering van draairichting plaatsvinden en het signaal van onderen weer ontvangen worden? Redenering:

- a) Bij een dipool antenne geeft de lineaire polarisatie bij een kwart golflengte boven het aard oppervlak een reflectie weglengte van een halve golflengte. Het signaal op de antenne is in deze 180° in fase verschoven, dus beide golven zijn in fase. Dit resulteert bij ideale reflectie 3 dB gain daar de beide signalen in fase naar boven gaan.
- b) Bij een Turnstile antenne is bij grondreflectie de draairichting omgekeerd. In dat geval zal het signaal dus nooit in fase zijn met het antennesignaal. Is de draairichting omkering van de aard oppervlak reflectie zo dicht onder de antenne al aanwezig?

Antwoord Ben Witvliet PE5B:

Als dat waar was zou een VHF kruis-Yagi antenne ook niet kunnen werken, vanwege de aanwezigheid van een reflector achter de dipool. Gelukkig is dit een denkfout en werken deze antennes wel.

- a) De voorstelling van de invloed van de aarde op de dipoolantenne is niet correct. De aarde is niet een ideale spiegel zonder verlies en fasedraaiing. En je kunt de antennewinst niet bepalen door de optelling van de directe golf en de gereflecteerde golf in één richting. Je moet bekijken hoe het toegevoerde vermogen over alle richtingen verdeeld wordt, en hoeveel bundeling er dan ontstaat in de voorkeursrichting. De maximale winst van een dipoolantenne boven de grond is 4 tot 5.5 dBd en die ontstaat beslist niet op een kwartgolf hoogte, maar lager, zie publicatie 3.
- b) Een paar pogingen om dit beter uit te leggen:
 - De invloed van de grond onder de antenne kun je niet verklaren vanuit de optica. Het gaat hier niet om een vlakke golf in het verre veld. De stromen in de antenne en in de grond zijn sterk gekoppeld, net als in een 2 elements Yagi antenne met straler en reflector. Beter is het om de dipool en de grond eronder te beschouwen als één antenne, net als de Yagi antenne. Je hebt dus twee haaks op elkaar staande identieke antennes met onderling vrijwel geen koppeling (<-25 dB). Als gevolg van het fasenetwerk zijn de uitgestraalde lineair gepolariseerde velden van beide antennes 90° in fase verschoven. Het opgetelde veld is dan circulair gepolariseerd.
 - Als je toch vanuit een optische reflectie wilt redeneren, bekijk het dan als volgt. Eén dipool bevindt zich boven de aarde en zendt een sinusvormig signaal uit. De grondreflectie komt met een vast faseverschil terug bij de dipool en telt op bij de daar uitgezonden golf. Omdat de directe golf en de gereflecteerde golf allebei sinussen zijn, is de optelling ook een sinus, maar met een andere amplitude en een faseverschuiving. Aangezien de tweede dipool zich op dezelfde hoogte boven de grond bevindt, is de faseverschuiving daarvan precies hetzelfde. De aarde heeft dus geen invloed op de circulaire polarisatie.
 - En ook vanuit de optica geredeneerd: als een Turnstile antenna naar boven LHCP uitzendt, is de polarisatie naar beneden toe RHCP en de reflectie door de grond naar boven weer LHCP. Is deze redenering over de omkering van de draairichting misschien afkomstig van een verwarring met een dergelijk effect bij een circulair gepolariseerde VHF kruis-Yagi antennes die naar de horizon is gericht? Voor NVIS het in ieder geval incorrect.

Alles samen: deze redenering over een versturende grond reflectie is onjuist.

7. Zijn RHCP en LHCP aanwezig tijdens Happy Hour door grondreflectie?

Als de Turnstile antenne RHCP golven uitzendt en de grondreflectie LHCP is, zullen buiten de Happy Hour periode beide signalen aanwezig zijn. Dit geldt ook voor RX. Dus kan er weer QSB ontstaan. Om een scheiding van de ordinary en extraordinary wave te krijgen buiten de Happy Hour periode zou er

eigenlijk geen grondreflectie moeten zijn, als beide stations een Turnstile antenne gebruiken. Een voorzichtige conclusie is dat de hoogste scheiding van LHCP en RHCP buiten Happy Hour met Turnstile antennes te bereiken is als de grond niet reflecteert.

Antwoord Ben Witvliet PE5B:

Nee, onze metingen in december 2014 – waarbij we beurtelings met RHCP en LHCP uitzonden – laten zien dat gedurende de hele NVIS periode de scheiding tussen RHCP en LHCP groter dan 22 dB is, en waarschijnlijk zelfs groter dan 32 dB. Deze waarden zouden niet te bereiken zijn geweest als de grondreflectie de omgekeerde polarisatie zou hebben gehad, want de grondreflectie is hooguit een paar dB zwakker dan de rechtstreekse golf. Deze redenering is dus onjuist.

8. Wat is de ideale hoogte van een Turnstile antenne?

Indien de grondreflectie geen positieve bijdrage levert aan het NVIS signaal is dan de ideale hoogte voor een Turnstile antenne gelijk aan die van een lineaire gepolariseerde dipool antenne?

Antwoord Ben Witvliet PE5B:

De aanname over de negatieve invloed van de grondreflectie is verkeerd. De grondreflectie levert wel degelijk een positieve bijdrage aan het NVIS signaal, en zelfs een antennegain van 4 tot 5.5 dBd, zie publicatie 3. En een crosspolarisatie van >25 dB is haalbaar, zie publicatie 5. Maar inderdaad, de optimum antennehoogte van een dipool en van een Turnstile antenne, bestaande uit twee haaks op elkaar staande dipoolantennes, is hetzelfde.

Aanvulling Ben Witvliet PE5B:

Het leuke van wetenschap en onderzoek is dat er altijd weer een nieuwe horizon opduikt wanneer je denkt dat je al een heel eind gekomen bent. We weten dus echt niet alles, en zijn nog steeds verder aan het onderzoeken en vooral zo nauwkeurig mogelijk aan het meten aan NVIS antennes en NVIS propagatie. Eind dit jaar (2015) hopen we opnieuw precisieingen te doen in Nederland en Spanje, samen met de LaSalle Universiteit van Barcelona. Experimenteren met NVIS-antennes en NVIS-propagatie is heel intrigerend. Onze resultaten publiceren we uiteraard!