

Polarisatie van EME-signalen

door Frank Veldhuijsen PA4EME

De laatste jaren is het maken van verbindingen via de maan (EME) een stuk eenvoudiger geworden. Met de komst van JT44 en zijn opvolger JT65, is een modaal VHF of UHF station in staat om EME verbindingen te maken. Maar toch wil het niet altijd lukken. Een van de belangrijkste redenen daarvoor is de draaiing van de polarisatie van het signaal bij zijn passage door de aardatmosfeer. In combinatie met de reeds aanwezige afwijking in polarisatie, door de verschillende geografische posities van de twee stations op aarde, kan een QSO mogelijk of onmogelijk zijn gedurende een bepaalde periode. Kennis hiervan is essentieel om meer succes te hebben.

Voor het maken van EME-verbindingen op 50 MHz, 144 MHz en 432 MHz worden lineair gepolariseerde antennes gebruikt. Deze polarisatie is over het algemeen horizontaal omdat dit te combineren is met de traditionele vormen van radiopropagatie op deze banden. De polarisatie kan echter ook vertikaal zijn.

Buiten de enorme trajectdemping (ongeveer 251.5 dB tijdens perigee en ongeveer 253.4 dB tijdens apogee) zijn er nog een aantal verschijnselen die invloed hebben op de sterkte en kwaliteit van het via de maan te ontvangen signaal. Met name noemen we hier libratie, scintillatie, Faraday rotatie en, niet onbelangrijk, geografische rotatie. De trajectdemping kunnen we ondervangen door gebruik te maken van grote antennesystemen, voorversterkers met een laag ruisgetal, eindtrappen en verliesarme coaxkabels.

Met behulp van computers zijn wij heden ten dage in staat signalen te decoderen welke zeker 20 dB zwakker zijn dan de zwakste telegrafiesignalen die wij kunnen horen. Het zijn echter de aanvullende verschijnselen waar we nauwelijks invloed op hebben en juist deze zijn in hoge mate verantwoordelijk voor het slagen, of juist niet, van een verbinding. Laten we eerst even in het kort kijken naar wat libratie en scintillatie precies is en daarna naar de Faraday rotatie en de geografische rotatie. De combinatie van de laatste twee zal van grote invloed blijken te zijn.

Libratie

In CQ-PA no. 11 van 2007 (blz. 352 en 353) heb ik al eens een stukje geschreven over libratie. Het verschijnsel dat de maan tijdens zijn omloop om de aarde een beetje wankelt, noemt men libratie. Dit zorgt ervoor dat, tijdens het doorlopen van deze 28-daagse omloopbaan, er meer van het oppervlak van de maan te zien is dan de te verwachten 50% en wel 59%. Strikt geno-

men bestaan er drie verschillende soorten libratie en daarvoor verwijs ik naar de uitleg in dat specifieke nummer van CQ-PA. Libratie heeft invloed op een signaal dat tegen het maanoppervlak reflecteert; er treden wisselingen in signaalsterkten op (we noemen dit libratie fading) die ontstaan door de verschillende afstanden die het te ontvangen signaal moet afleggen. Het maanoppervlak is immers beslist niet vlak en bezaaid met kraters en rotsen en de maan wankelt in zijn baan. Het golffront dat het maanoppervlak raakt wordt dus niet gelijkmatig gereflecteerd en daardoor in fase verschoven. Deze faseverschuivingen kunnen elkaar versterken of uitdoven. Het resultaat is een libratie fading die ongeveer 4 seconden duurt op 144 MHz en één seconde op 432 MHz.

Deze libratie fading zorgt er voor dat signalen, die voldoende sterk zijn, toch moeilijk te nemen zijn. De in CW uitgezonden strepen worden soms in stukken gehakt en lijken wel punten te worden. Wan-



Op deze foto is duidelijk te zien wat het effect van libratie is op het voor ons zichtbare gedeelte van de maan.

neer men gebruik maakt van JT65, zal het programma niet of nauwelijks decoderen. Signaalsterkten kunnen door libratie 6 tot 10 dB variëren.

Scintillatie

Het verschijnsel scintillatie kennen we allemaal, al zullen velen het niet onder deze naam kennen. Wel kennen we het verschijnsel dat bij heldere hemel de sterren kunnen flonkeren. Dit flonkeren ontstaat door temperatuurverschillen in de aardatmosfeer en de verschillen in afstanden die het licht van de ster door de atmosfeer dient af te leggen om het aardoppervlak te bereiken.

Ook het golffront (het vlak waarin alle signalen dezelfde fase hebben) van een elektromagnetische golf wordt beïnvloed door onregelmatigheden in de ionisatiedichtheid van de ionosfeer en verschillen in de radiorefractie index van de atmosfeer. Hierdoor kan het signaal focuseren of defocuseren en het resultaat is een scintillatie fading die kan oplopen tot wel 10 dB.

Faraday rotatie

Faraday rotatie treedt op wanneer een lineair gepolariseerd signaal zich door de ionosfeer voortplant. In de praktijk zal dit veelal horizontaal of vertikaal zijn. De elektromagnetische golf wordt beïnvloed door de in de ionosfeer aanwezige geladen deeltjes en de aanwezigheid van het magnetisch veld van de aarde. De polarisatie wordt daardoor gedraaid.

Het is echter tot op heden niet mogelijk om vooraf te berekenen hoeveel draaiing er optreedt; je zult het moeten nemen zoals het is. Wat de zaak echter nog gecompliceerder maakt is dat het signaal niet alleen draait wanneer het de ionosfeer verlaat, maar ook wanneer het signaal na reflectie tegen het oppervlak van de maan, weer terug op aarde komt.

Je zou verwachten dat het signaal, omdat het van de andere kant komt, weer teruggedraait. Dat is echter niet het geval en de polarisatie draait in de zelfde richting door. Oorzaak hiervan is het anisotropische karakter van de ionosfeer, waarmee bedoeld wordt dat de eigenschappen van de ionosfeer veranderen met de richting waarmee hij doorsneden wordt. Omdat de aarde draait verandert deze continue.

Het golffront draait, omdat de aarde nu eenmaal altijd de zelfde kant uit draait, ook in dezelfde richting door. Faraday rotatie is dus niet omkeerbaar.

In de literatuur spreekt men van non-reciprocity. Een uitgezonden signaal dat voor het eerst de ionosfeer doorkruist en 45 graden gedraaid wordt zal dus op de terugweg wederom 45 graden draaien. En zo kan het dus gebeuren dat de polarisatie in zijn totaliteit 90 graden draait en dat een horizontaal gepolariseerd signaal uiteindelijk als vertikaal gepolariseerd signaal bij het tegenstation aankomt. In dat

geval treedt er een signaalverlies ongeveer 20 dB op. Het signaal kan + 90 en - 90 graden in polarisatie draaien. In werkelijkheid kan de totale rotatie meerdere totale omwentelingen bedragen.

De mate waarin Faraday optreedt, is afhankelijk van de lengte van het traject dat het signaal door de ionosfeer dient af te leggen. Hoe langer, hoe meer rotatie. Daaruit volgt dat Faraday rotatie het meeste optreedt tijdens moonrise en moonset. Omdat de ionosfeer overdag meer geïoniseerd is dan gedurende de nacht is de mate waarin Faraday rotatie optreedt, overdag ongeveer 10 x zo groot.

Bovendien zijn lagere frequenties meer onderhevig aan Faraday rotatie dan hogere frequenties. De verhouding bedraagt $1/f^2$. Zo treedt Faraday rotatie op 144 MHz ongeveer negen keer zo snel op als op 432 MHz.

Hoewel dit in eerste instantie nadelig lijkt, zit er aan dit effect ook een positieve kant. Wanneer er door onregelmatigheden in de ionosfeer Faraday rotatie optreedt, kun je op 144 MHz wachten tot het signaal dusdanig draait dat het weer juist gepolariseerd is. Op 432 MHz duurt dit dus aanzienlijk langer en kunnen de omstandigheden de hele dag slecht blijven (maar dus ook de hele dag goed blijven).

Soms komt het voor dat de ionosfeer dermate verstoord is (bijvoorbeeld door een uitbarsting op de zon waardoor er enorme hoeveelheden energie in de aardatmosfeer worden gepompt en er aurora zou kunnen optreden) dat het signaal bijna circulair gepolariseerd lijkt; in de praktijk betekent dit een extra verlies van 3 dB. Omdat dit vrijwel altijd gepaard gaat met een verhoogde absorptie van het signaal door deze sterk verstoorde ionosfeer, zijn de signalen aanzienlijk zwakker dan gebruikelijk.

Geografische rotatie (spatial offset)

EME-verbindingen worden wereldwijd gemaakt en derhalve bevinden de stations zich vrijwel altijd op verschillende lengtegraden. Dit heeft als gevolg dat er polari-

satieverschil ontstaat tussen de zend- en ontvangstantenne.

Wanneer men de linkse zijde van figuur 2 bekijkt, dan ziet men dat station A (laten we aannemen dat deze staat opgesteld op de Greenwich meridiaan ofwel 0 graden ooster- of westerlengte) horizontaal gepolariseerd is en uitgericht op de maan. Station B staat ergens op 90 graden westerlengte en ook deze antenne is gericht naar de maan. Door de bolvorm van de aarde lijkt het alsof deze antenne 90 graden in polarisatie is gedraaid.

Het door station A uitgezonden signaal naar de maan wordt door station B ontvangen met 90 graden verschil ofwel met 20 dB signaal verlies. Uiteraard treedt dit effect ook op wanneer station B op 90 graden oosterlengte ligt. De rechtse zijde lijkt hetzelfde, maar geeft nader bekeken niet de polarisatie van de antenne weer maar de polarisatie van het signaal.

Wanneer in Nederland de maan ongeveer op 180 graden staat (precies in het zuiden dus), dan zal een horizontaal gepolariseerd signaal op 90 graden westerlengte (dat is grofweg het aantal graden westerlengte dat geldt voor W5UN) op een vertikaal gepolariseerd signaal lijken.

In werkelijkheid bevinden de antennes zich echter nooit op de posities zoals deze zijn afgebeeld in figuur 2 en wordt het moeilijker om de geografische rotatie te berekenen. Toevoeging van elevatie maakt het nog gecompliceerder. Om dan toch in staat te zijn om de geografische rotatie te berekenen dient men een referentiepunt te nemen waarmee men kan gaan rekenen. In dit geval gebruikt men de aardas als referentie en de formule om de geografische rotatie te berekenen t.o.v. de aardas luidt dan als volgt:

$$P = \text{ArcTan}((\sin L * \cos E - \cos L * \cos A * \sin E) / \cos L * \sin A)$$

waarbij:

L = lengtegraad van het station

A = azimut van de antenne

E = elevatie van de antenne

P = polarisatiehoek t.o.v. de aardas

Wanneer men deze berekeningen uitvoert voor beide stations, dan is de geografische rotatie tussen deze stations heel eenvoudig het verschil tussen de twee berekende hoeken. We gaan dit aanduiden met de term spatial offset. Voor de duidelijkheid wordt geadviseerd om de berekening aan te passen zodat met binnen een hoek blijft van 180 graden. De reden hiervoor is, dat wanneer men een antenne 180 graden draait, men weer bij de oorspronkelijke polarisatie uitkomt. Getallen tussen de -90 en +90 worden derhalve gebruikt.

Signaalverliezen ten gevolge van afwijkingen in de polarisatie

Naarmate de afwijking tussen de polarisatie van het te ontvangen signaal en de ontvangstantenne toeneemt, nemen de verliezen ten gevolge van deze afwijking ook toe. Deze verliezen zijn maximaal bij +90 of -90 graden. In theorie zou het signaalverlies nagenoeg oneindig groot zijn, in de praktijk bedragen deze verliezen ongeveer 20 dB. Belangrijkste reden is dat een ideale antenne in theorie wel bestaat maar in de praktijk niet.

De formule om deze signaalverliezen te kunnen berekenen luidt als volgt:

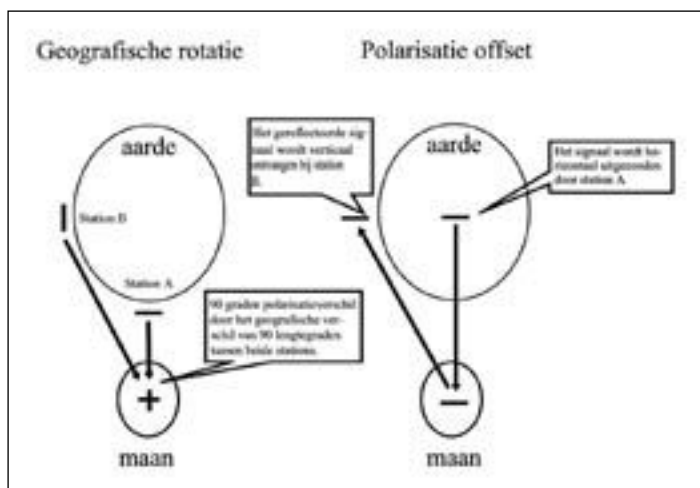
$$\text{verlies (dB)} = 20 \log(\cos(\text{verschilhoek}))$$

We kunnen dus gaan berekenen welke signaalverliezen er optreden door de spatial offset tussen twee stations. Door de relatieve positie van de maan veranderen deze verliezen gedurende de periode dat beide stations de maan kunnen zien. Derhalve is het dus mogelijk om een bepaald tijdvenster te kiezen voor het maken van een verbinding waarbij het verlies zo klein mogelijk is.

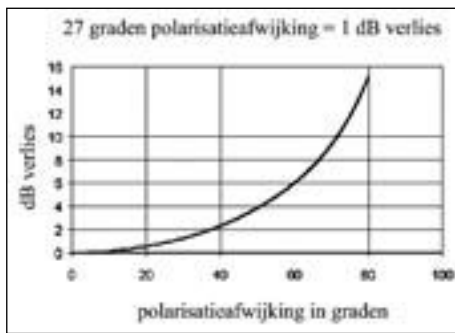
Maar daarmee zijn we er nog niet. We kennen nu de signaalverliezen welke optreden door de spatial offset, maar deze worden beïnvloed door de Faraday rotatie. De verliezen kunnen dus groter of kleiner worden. We hadden echter al vastgesteld dat Faraday rotatie niet te voorspellen is en we kunnen de verliezen niet meenemen in eventuele berekeningen die gemaakt worden voor het kiezen van het meest gunstige tijdvenster.

Combinatie van spatial offset en Faraday rotatie

In het voorgaande hebben we gezien dat, zeker in de huidige tijd met computers, het eenvoudig is om real time of van tevoren te berekenen welke signaalverliezen we kunnen verwachten ten gevolge van de spatial offset. In sommige computerprogramma's die gebruikt worden om de maan te volgen, of om van tevoren te kunnen vaststellen of er sprake is van een common-window tussen beide stations, wordt de spatial offset dan ook aangegeven. De vraag die zich echter oproept is wat de waarde daarvan is; immers de Fa-



Figuur 2 Vereenvoudigde weergave van de oorzaken van geografische rotatie en het daaruit voortvloeiende verschil in polarisatie.



Tabel 1. Grafische weergave van de verliezen bij toenemende afwijkingen van de polarisatie.

Verliezen ten gevolge van polarisatieverschillen

0°	0	50°	3.84
10°	0.13	60°	6.02
20°	0.54	70°	9.32
30°	1.25	80°	15.2
40°	2.31	90°	∞

raday rotatie laat zich alleen in de praktijk vaststellen en niet vooraf. Hieruit volgt dat, door de combinatie van spatial offset en Faraday rotatie, perioden welke gunstig lijken, ongunstig kunnen uitvallen. Het omgekeerde, een ongunstig moment kan door de aanvullende Faraday rotatie plotseling heel goed uitvallen.

In het verleden zijn er een aantal mensen geweest welke zich intensief met dit probleem hebben bezig gehouden. Een eerste publicatie verscheen in een artikel genaamd "Taking a closer look at Faraday rotation", geschreven door C.H. Hustig in de "432 and above EME Newsletter. November 1984". Een paar jaar later hield Tim Pettis, KL7WE, een lezing hierover tijdens de 22e Conference of The Central States VHF Society (Lincoln, Nebraska, 1988).

In de tussenliggende periode had C.H. Hustig zijn formules aangepast om de elevatie van de antenne mee te kunnen nemen in de berekeningen. Het zijn pittige werken en er is geprobeerd om de bevindingen van beide heren weer te kunnen geven in een vereenvoudigde vorm. Het initiatief daartoe is genomen door Paul N.

Kelly, N1BUG. Allereerst heeft Paul het vrijwel oneindig aantal mogelijke combinaties van spatial offset en Faraday rotatie beperkt tot 25. Hij heeft dit gedaan door te gaan rekenen met polarisatieverschillen van -90°, -45°, 0°, +45° en 90°.

Wanneer men dit in een matrix uitzet (5x5) en de gevolgen van elke combinatie bekijkt, zal men ontdekken dat er uiteindelijk 5 mogelijke situaties ontstaan waarmee het mogelijk is om vast te stellen of een verbinding goede kans van slaagen heeft. Uitdrukkelijk dient vermeld te worden, dat wanneer men de tabel bekijkt, men zich moet realiseren dat Faraday rotatie altijd dezelfde richting uitdraait. Bij de bespreking van tabel 2 nemen we aan dat de Faraday rotatie zich altijd met de wijzers van de klok mee beweegt. Voor de goede orde: O = oost, W = west.

Spatial offset van 0°

- Faraday 0°: er is geen rotatie van de polarisatie in welke richting dan ook en beide stations kunnen elkaar horen;
- Faraday 45°: wanneer station A naar station B zendt, draait de polarisatie 45°. Wanneer we hier de formule op los laten die we kunnen gebruiken om het

verlies ten gevolge van polarisatieverschillen te berekenen, komen we op een verlies van 3 dB. Het zelfde geldt wanneer station B naar station A gaat zenden; het signaal draait 45° en het verlies bedraagt 3 dB;

- Faraday 90°: ongeacht wie naar wie zendt (A naar B of B naar A), de polarisatie zal 90° draaien en de verliezen zullen aan beide zijden meer dan 20 dB zijn.

Samengevat kunnen we concluderen dat bij een geografische rotatie van 0° tussen beide stations, de verliezen aan beide zijden even groot zijn omdat beide evenveel last hebben van de Faraday rotatie.

Spatial offset van 45° (geografische rotatie bij station A 0°, bij station B 45°)

- Faraday 0°: er is geen rotatie van de polarisatie in welke richting dan ook en beide stations zullen alleen het verlies ondervinden ten gevolge van de spatial offset. 45° verschil is 3 dB verlies en dit aan beide zijden;
- Faraday 45°: wanneer station A naar B zendt, draait de polarisatie 45° en het signaal arriveert dus precies onder de juiste hoek bij station B (0° + 45° = 45°) en dat is precies de geografische rotatie van station B. Er is dus geen signaalverlies. Maar wanneer station B naar station A gaat zenden treedt een vervelend effect op. Het signaal van B wordt uitgezonden vanaf een plaats waar de geografische rotatie 45° bedraagt en het signaal ondervindt door het Faraday effect een rotatie van 45°. Het komt dus onder een geografische rotatiehoek van 90° aan (45° + 45° = 90°). Het signaal van station B ondervindt dus een signaalverlies van ruim 20 dB. Station B hoort station A wel, maar station A kan station B niet horen! We spreken van one-way condities of soms ook wel diode condities;
- Faraday 90°: wanneer station A naar station B zendt, draait de polarisatie 90° en het signaal arriveert dus onder een hoek van 45° bij station B. Dit resulteert in een verlies van 3 dB. Wanneer station B naar station A zendt, vertrekt het signaal met een geografische rotatie van 45°. Wanneer wij daar de 90° draaiing door de Faraday rotatie bij optellen, dan komt het signaal onder een hoek van 135° aan bij station B. 135° betekent in de praktijk een afwijking van 45° ten opzichte van de polarisatie van station A (180° - 135° = 45°) en dus een verlies van 3 dB.

Bij de gegeven geografische posities van beide stations is er dus minimaal een verlies van 3 dB. De Faraday rotatie hoeft maar 15° te bedragen of de verliezen nemen al zo'n 5 dB toe, hetgeen de kans op een verbinding minimaliseert. Het is zelfs mogelijk dat station A door B gehoord wordt maar omgekeerd B niet door A!

		Spatial offset				
		combinatie geografische rotatie en maanpositie				
		-90	-45	0	+45	+90
Faraday rotatie	+90	O hoort W W hoort O	O hoort W W hoort O	one-way traffic	O hoort W W hoort O	O hoort W W hoort O
	+45	O hoort W W hoort O	O hoort W W hoort O	O hoort W W hoort O	one-way traffic	O hoort W W hoort O
	0	one-way traffic	O hoort W W hoort O	O hoort W W hoort O	O hoort W W hoort O	one-way traffic
	-45	O hoort W W hoort O	O hoort W W hoort O	O hoort W W hoort O	O hoort W W hoort O	O hoort W W hoort O
	-90	O hoort W W hoort O	O hoort W W hoort O	one-way traffic	O hoort W W hoort O	O hoort W W hoort O

Schematische weergave van bruikbare, minder bruikbare en onbruikbare combinaties van spatial offset en Faraday rotatie. De tabel geldt voor stations met een vaste horizontale polarisatie.

weinig verlies
 one-way traffic
 3 dB verlies
 geen traffic
 > 20 dB verlies

Tabel 2.

Spatial offset van 90° (geografische rotatie bij station A 0°, bij station B 90°)

- Faraday 0°: er is geen rotatie van de polarisatie in welke richting dan ook en beide stations zullen alleen het verlies ondervinden ten gevolge van de spatial offset. Deze is echter 90° en derhalve treedt er een verlies op van ruim 20 dB aan beide zijden;
- Faraday 45°: wanneer station A naar station B zendt, draait de polarisatie 45° en bereikt station B onder een hoek van 45° ofwel een verlies van 3 dB. Wanneer station B naar station A zendt, vertrekt het signaal met een geografische rotatie van 90°. Wanneer wij daar de 45° draaiing door de Faraday rotatie bij optellen, dan komt het signaal onder een hoek van 135° aan bij station B. 135° betekent in de praktijk een afwijking van 45° ten opzichte van de polarisatie van station A ($180^\circ - 135^\circ = 45^\circ$) en dus een verlies van 3 dB;
- Faraday 90°: wanneer station A naar station B zendt, draait de polarisatie 90° (0° geografische rotatie + 90° Faraday) en komt dus precies onder de juiste hoek bij station B aan. Wanneer station B naar station A zendt draait de polarisatie vanuit 90° naar 180°. Wij hebben al gezien dat 180° polarisatieverschil gelijk staat aan 0° en dat is dus de juiste hoek. Beide stations ondervinden geen verlies ofwel 0 dB.

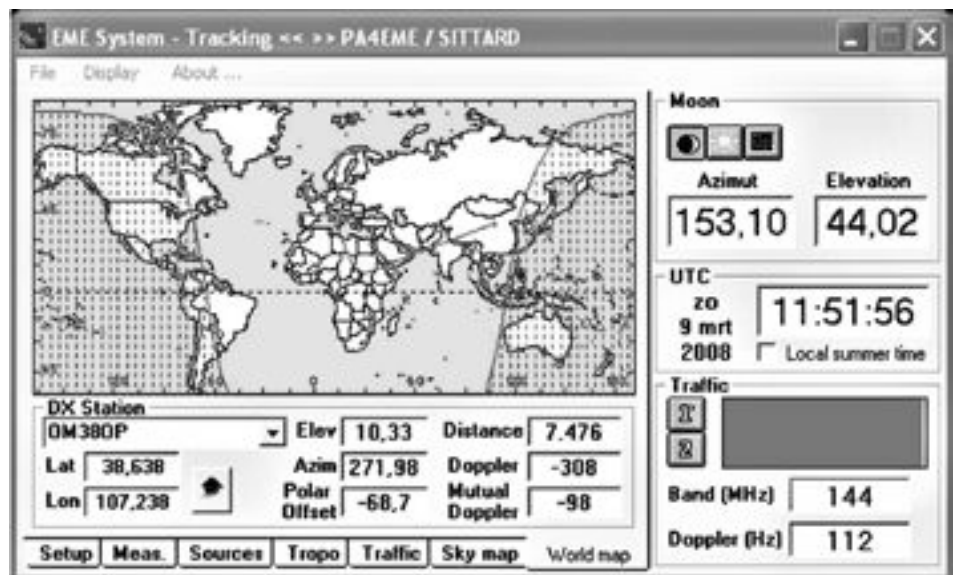
Oplettende lezers zullen opmerken dat deze situatie de gespiegelde variant is van de situatie bij 0° spatial offset.

Een goede voorbereiding is meer kans op succes

We hebben gezien wat de gevolgen zijn van het gecombineerde effect van spatial offset en Faraday rotatie. Duidelijk is dat bepaalde combinaties meer succes opleveren en andere minder.

Analyses bevestigen dat er meer verbindingen worden gemaakt wanneer de spatial offset in de buurt van 0° of 90° ligt dan wanneer de spatial offset in de buurt van de 45° ligt. Een verdere analyse van de verbindingen tussen stations met een spatial offset van ongeveer 45° laat zien dat de meeste verbindingen worden gemaakt wanneer de spatial offset (die zoals we eerder gezien hebben gedurende een common window veranderlijk is) in de buurt van de 0° of 90° komt.

En hieruit volgt dat er binnen de totale common window die er tussen twee stations bestaat, een kleiner tijdvenster is waar de spatial offset het dichtste bij de 0° en de 90° ligt. De Faraday rotatie kan dan over een relatief grote hoek draaien alvorens er een onoverbrugbaar verlies optreedt. Het is dus aan te bevelen over een goed computerprogramma te beschikken dat in staat is de spatial offset te berekenen tussen twee stations en waarmee je vooruit kunt



Het programma EME System V6 van F1EHN laat alles zien wat je nodig hebt. Je ziet of er een common window is, de spatial offset (hier polar offset genoemd), azimut en elevatie van jezelf en het tegenstation, en de te verwachten doppler. Bovendien houdt het programma de zend- en ontvangstperiodes netjes bij, kan de antennes uitrichten enzovoorts... handig in de late uren.

plannen. Zelf gebruik ik een freeware programma van F1EHN: EME system V6.

Het kan voorkomen dat gedurende de totale common window de spatial offset in de buurt van de 45° blijft hangen. We kunnen dus alvast een verlies van 3 dB verwachten. De Faraday rotatie hoeft dan echter maar 15 graden te zijn en het verlies bedraagt al 6 dB. Het bruikbare tijdvenster wordt dan steeds korter.

Planning is dus de sleutel tot het succes. Wanneer op een dag geen geschikt tijdvenster blijkt te zijn, probeer het dan eens op een andere dag of wanneer de maan hoger aan de horizon staat (lees: een hoge declinatie) heeft. Je zal merken dat er gedurende de totale 28 daagse maancyclus altijd een meest optimaal moment zal zijn. Je kunt de berekening vervolgens uitbreiden met de achtergrondruis maar dat valt buiten het bestek van dit artikel.

Faraday rotatie: boosdoener of weldoener?

Het voorgaande gelezen hebbende lijkt het alsof Faraday rotatie de grote boosdoener is. We moeten ons echter realiseren dat voor stations die een relatief ongunstige spatial offset ten opzichte van elkaar hebben, het juist Faraday rotatie is die het merendeel van de verbindingen mogelijk maakt. De Faraday rotatie draagt dan in positieve zin bij om het polarisatieverschil tussen de stations te verkleinen.

Wellicht dat we in de toekomst in staat

zijn om het gecombineerde effect van spatial offset en Faraday rotatie real time te berekenen. Zolang dat niet mogelijk is kunnen we alleen trachten het meest geschikte moment te vinden met behulp van de beschikbare kennis. Hoe kleiner het station, hoe groter de noodzaak om skeds te maken of om QRV te zijn tijdens de berekende optimale tijdvensters binnen het common window.

Bronvermelding, literatuurverwijzingen

- [1] WSJT, Joseph J. Taylor, K1JT, URL: <http://physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/>
- [2] <http://www.df5ai.net/ArticlesDL/Faraday.pdf>
- [3] http://www.df5ai.net/ArticlesDL/EME_Physics2/EMEscatter.html
- [4] <http://www.ifwtech.co.uk/g3sek/eme/pol4.html>
- [5] <http://www.nitehawk.com/sm5bsz/polarity/emepol.htm>
- [6] <http://www.g1ogy.com/www.n1bug.net/#propagation>
- [7] "Spatial Polarization and Faraday Rotation"; Tim Pettis, KL7WE. Proceedings of the 22nd Conference of The Central States VHF Society (Lincoln, Nebraska 1988)
- [8] "Taking a Closer Look at Faraday"; C.H. Hustig, MSEE. 432 And Above EME News, November 1984.
- [9] Make more 432 MHz EME contacts by polarization rotation"; DUBUS 3/1996, door G3SEK.
- [10] <http://www.f1ehn.org/>

**Bezoek www.vrza.nl
voor het laatste VRZA-nieuws!**