

ANTENNEPATRONEN METEN MET BEHULP VAN DE NABLIJE-VELD METHODE

ir. M.H.A. Paquay

Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO

Near Field Measurement: a new method to determine Antenna Radiation Patterns. To determine the radiation patterns, the Antenna Under Test has to be exposed to a plane electromagnetic wave. The classical approaches are treated shortly, followed by an explanation of a more recent developed method, called Near Field Measurement. In this method, the plane wave is composed in a synthetic way by a small probe antenna in the vicinity of the Antenna Under Test. By means of a Fourier Transformation the measured Near Field is transformed into the Far Field Radiation Pattern. The advantages and disadvantages as well as some aspects concerning the accuracy are treated.



Antennes worden over het algemeen gebruikt om elektrische signalen over te dragen over grote afstanden. Het stralingspatroon bepaalt hoe geschikt een antenne voor een bepaalde toepassing is. Het klinkt triviaal om te eisen van een antenne dat hij zoveel mogelijk energie straalt in de richting van het doelgebied en zo weinig mogelijk daarbuiten. In de praktijk is dat nog niet zo eenvoudig. Denk maar eens aan een TV-satelliet waarvan men wenst dat die slechts een bepaald land bedient. Het grondstation mag maar 1 satelliet zien en vooral niet diens buurman die dezelfde frequentie gebruikt. Bij radar wenst men alleen de doelen te belichten en niet het zee- of landoppervlak. Bij deze laatste voorbeelden is het ook duidelijk dat gevoeligheid in andere richtingen stoorsignalen oplevert.

Om het stralingspatroon op grote afstand te bepalen ligt het voor de hand om dit ook op grote afstand te meten. In de praktijk staan communicatie-antennes enkele tientallen tot duizenden kilometers van elkaar verwijderd. De uitgezonden golven, die zich in principe bolvormig verspreiden, zijn ter plaatse van de ontvangstantenne zo goed als vlak. D.w.z. ze hebben een vlak fasefront loodrecht op de voortplantingsrichting en ook een uniforme amplitude. Deze situatie zal bij het meten van het stralingspatroon zo goed mogelijk nabootst moeten worden. Overigens zijn vrijwel alle passieve antennes reciprook en maakt het niet uit of ze in de zend- of ontvangstmode bemeten worden. De stralingspatronen zijn in beide situaties identiek. Alhoewel dit al langer werd aangenomen op basis van experimenten is dit pas in 1974 ook theoretisch aangetoond en wel door prof. de Hoop uit Delft [1]. Voor actieve antennes, zoals PHARUS en APAR, geldt dit overigens niet, maar dit komt dan door de elektronica die geïntegreerd is met de straler.

Bij antennemetingen kan de genoemde vlakke-golfbenadering op verschillende manieren gerealiseerd worden. Klassiek is de zgn. Verre Veld Range. Men plaatst de te testen antenne (Eng. Antenna Under Test, AUT) en de meetantenne dan inderdaad ver uit elkaar. Deze afstand is in de praktijk enkele honderden meters. Dit is uiteraard slechts een benadering van de communicatieafstanden van enkele tientallen tot duizenden kilometers maar de fout is acceptabel. Als vuistregel voor de minimumafstand R tussen de antennes neemt men

$$R > 2D^2/\lambda$$

(1)

waarbij D de afmeting van de antenne is en λ de gebruikte golflengte. De maximale fasefout t.o.v. een echte vlakke golf is dan $\lambda/16 = 22,5^\circ$. Hansen [2] laat echter zien dat deze afstand niet toereikend is voor lage zijlusantennes. Voor dergelijke systemen dient de afstand vergroot te worden. Tabel 1 geeft een overzicht van de dan vereiste afstanden, als men het zijlusniveau met een maximale fout van 1 dB wil bepalen.

Tabel 1

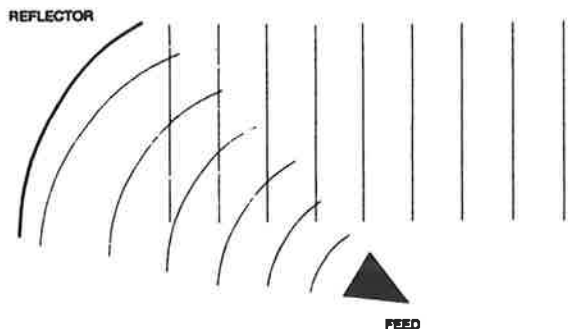
Zijlus-niveau	verre veld afstand	maximale fasefout
-20 dB	$2D^2/\lambda$	$22,5^\circ$
-30 dB	$4D^2/\lambda$	$11,2^\circ$
-40 dB	$6D^2/\lambda$	$6,1^\circ$

Daarbij komt de eis dat stoorsignalen nog eens ca. 25 dB onder het zijlusniveau moeten liggen. De voornaamste stoorbron vormt de omgeving daar deze voor ongewenste reflecties zorgt. Nu bestaat er wel Radar Absorberend Materiaal (RAM) maar het is in de praktijk ondoenlijk en onbetaalbaar om een meetbaan van enkele hectaren af te dekken met RAM. Als men dan verder nog denkt aan de wisselende weersomstandigheden en de invloed van stoorbronnen zoals scheepsraders en vonkende pantografen van trams en treinen, dan is de behoefte aan metingen binnenshuis wel duidelijk.

De antennemeetkamers zijn voorbeelden van Verre Veld Ranges die zich in gebouwen bevinden. De kamers bestaan meestal uit een metalen omhulling (kooi van Faraday) om de straling van externe bronnen te weren. Van binnen zijn deze kamers geheel bekleed met RAM. Een verre veld afstand van 7,5 m is al groot voor een kamer terwijl de antennes op bv. 10 GHz dan toch nog niet groter mogen zijn dan ca. 35 cm. Deze faciliteiten zijn dus alleen geschikt voor kleine antennes, zoals de belichtingshoorn (feed) van reflectorantennes of een basiselement van een array antenne. Deze onderdelen van een groter systeem dienen vaak wel goed gekarakteriseerd of geoptimaliseerd te worden alvorens ze in het grotere systeem toegepast kunnen worden.

Als eerste alternatief voor grotere antennes heeft men de Compact Range bedacht. Men maakt hier gebruik van het geometrisch principe dat een bolvormige golf na reflectie tegen een (omwentelings) parabool een vlakke golf is als het middelpunt van de bol en het brandpunt van de parabool samenvallen. Figuur 1 illustreert dit. Dit geldt uiteraard slechts voor een gebied zo groot als de parabool. Op

deze wijze bereikt men de vlakke golf benadering al na een relatief korte afstand en kan de hele meetfaciliteit tamelijk compact blijven en daardoor binnen worden gebouwd.



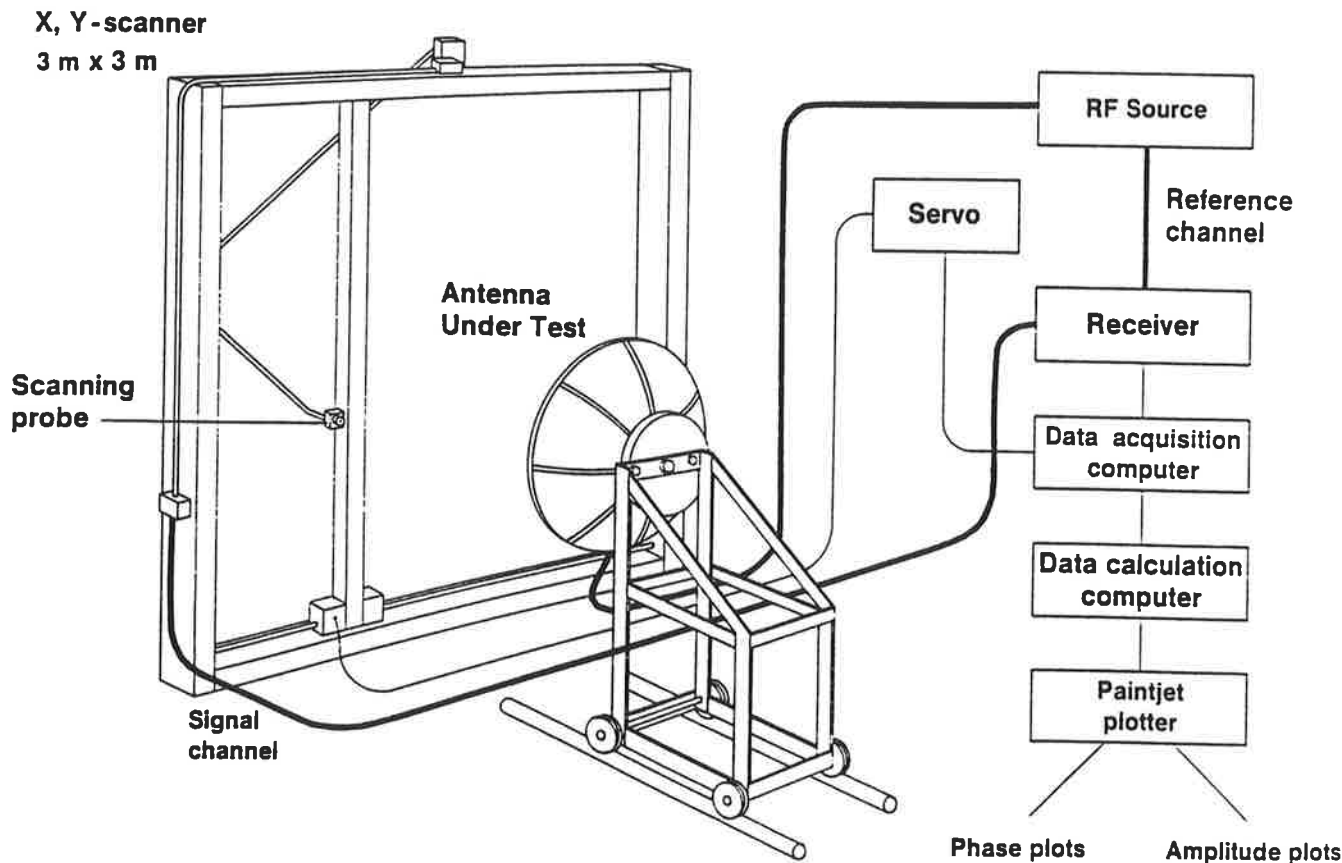
Figuur 1 Principe van een Compact Range

De kwaliteit van zo'n Compact Range hangt nu o.a. af van de nauwkeurigheid van de parabolische reflector en de kwaliteit van het RAM aan de wanden. Verder vormen de randen van de reflector nog een foutenbron maar deze invloed bestrijdt men door de randen een getande vorm te geven. In Nederland zijn er diverse van deze hoogwaardige meetfaciliteiten, waarbij de faciliteit bij ESTEC, Noordwijk qua afmetingen er met kop en schouders boven uitsteekt. Met reflectoren van ca. 15 x 15 meter betekent "Compact" toch alles behalve klein.

Het is tegenwoordig modern om alles kunstmatig te doen of te simuleren. Zo is het ook mogelijk om met een rij gelijktijdig zendende puntbronnen ook lokaal een vlakke golf op te wekken. Deze vlakke golf is ongeveer zo groot als het puntbronnengebied. Deze vlakke golf dient tenminste het blikveld van de AUT te omvatten. Hoe korter we dus de AUT kunnen naderen, des te kleiner hoeft het puntbronnengebied te zijn. Kort bij de antenne bevinden zich echter ook niet-propagerende veldcomponenten. Deze zullen nooit in het verre veld terecht komen en dienen dus ook niet gemeten te worden. In de praktijk blijkt dat de afstand AUT-puntbronnen minimaal 3 golflengtes dient te zijn. Uiteraard is dat gebied nog steeds het nabije veld van de AUT.

Alhoewel hierboven is uitgegaan van een rij gelijktijdig zendende puntbronnen kan dit in de praktijk ook gerealiseerd worden door 1 puntbron achtereenvolgens op de verschillende posities te laten zenden. Volgens het superpositiebeginsel mogen alle responsies bij elkaar worden opgeteld om hetzelfde resultaat te krijgen. In de praktijk ziet zo'n nabije veldfaciliteit er dan ook uit als een uit de kluiten gewassen verticaal X-Y-schrijver waar i.p.v. een pen een kleine antenne wordt verplaatst. Om verwarring met de AUT te voorkomen wordt deze kleine antenne verder de probe genoemd. De X-Y-"schrijver" zal verder worden aangeduid als de scanner. Bij het Fysisch en Elektronisch Laboratorium (FEL) van TNO werd al in de jaren 70 een scanner van 3 x 3 m gebouwd (zie figuur 2). Hiermee was het FEL een van de eersten, zeker in Europa. In de loop der jaren zijn er voortdurend modificaties en verbeteringen aangebracht, een onvermijdelijk gevolg van vooroplopen.

Near-field system



Figuur 2 De nabije veldfaciliteit van het TNO-FEL

Terug naar de theorie. Als de probe op alle punten een veld met gelijke fase uitzendt, ontstaat er synthetisch een vlakke golf evenwijdig aan de scanner, dus met een voortplantingsrichting loodrecht op de scanner. De samengestelde responsie correspondeert dan ook met de ontvangstgevoeligheid van de AUT in die richting. Een golf met een andere voortplantingsrichting kan gesynthetiseerd worden door de probe met toenemende fase per meetpunt te laten uitzenden, in feite dezelfde techniek als waarmee een phased array antenne zijn bundel kan laten scannen. Het is echter ook mogelijk om de eerste set responsies te nemen, van de meting met gelijke fases, en er softwarematig een faseverloop op aan te brengen. Dit kan herhaald worden voor iedere richting van de invallende golf. Dus één set meetpunten is voldoende om het stralingsdiagram in alle richtingen te berekenen. De relatie tussen het gemeten nabije veld en het verre veld blijkt een Fourier-transformatie te zijn. Voor diegenen die zich verder in de theorie willen verdiepen is een zeer heldere publicatie van J.J. Wang aan te bevelen [3]. Overigens vormt dit artikel een onderdeel van een speciaal nummer betreffende nabije veldmetingen [4]. Door toepassing van Fast Fourier Transform (FFT) algoritmen kan op een moderne PC het totale verre veld in alle θ en ϕ richtingen, of zo U wilt azimut en elevatie, in enkele minuten berekend worden. Dit is een van de grote voordelen van deze methode.

Andere voordelen zijn dat ook deze metingen binnen zijn uit te voeren en dat de AUT tijdens de metingen stil blijft staan in zijn natuurlijke positie. Als men op een Verre Veld Range of een Compact Range het elevatiepatroon wil meten, dan roteert men de AUT 90° om zijn normaalrichting en tijdens de meting draait men hem dan om de verticale as. De feedhoorn van een reflectorantenne kan door deze onnatuurlijke positie van plaats veranderen en dus niet meer in het brandpunt staan. Het moge duidelijk zijn dat het aldus gemeten elevatiepatroon niet overeenstemt met de werkelijkheid. Een ander belangrijk voordeel van een Nabije Veldmeting is dat het gemeten nabije veld een goede afspiegeling is van het veld in de apertuur van de AUT. Als er defecten optreden, zoals deuken of roestplekken bij een reflectorantenne of defecte elementen bij een array antenne, dan is dit uit de nabije velddata te halen, inclusief een plaatsindicatie. Deze diagnosemogelijkheid is zeer nuttig bij onderhoud, reparatie en afregeling van een antenne.

Natuurlijk zijn er ook nadelen. De meetinstallatie en de software zijn een stuk complexer dan bij de conventionele meetranges. Verder is er geen quick-look mogelijkheid. Als voordeel is genoemd dat na een scan het veld in alle richtingen bekend is, maar daartegenover staat dat ook een volledige scan moet worden uitgevoerd om het veld in één richting te bepalen. Maar over het algemeen is de meettijd van 2 à 3 uur relatief gering t.o.v. de tijd die nodig is om de antenne op een range te plaatsen en uit te richten. Een ander nadeel is de beperkte afmeting van de scanner. Die vangt dus niet het veld op in alle richtingen. De resultaten zijn maar geldig tot bv. $\pm 70^\circ$. Omnidirectionele antennes kunnen dus voor een planaire (vlakke) scanner niet worden doorgemeten. Hiervoor zijn de zgn. cilindrische en sferische nabije veldscanners ontwikkeld die het veld respectievelijk op een cylinder en een bol rondom de AUT meten. Deze installaties zijn een stuk gecompliceerder dan de planaire methode. Als laatste nadeel zou ik willen wijzen op de mogelijk optredende meer-voudige reflecties tussen de AUT en probe die aardig roet in het eten kunnen gooien.

De nauwkeurigheid van de Nabije Veldmethode is zeer groot. Ter vergelijking een getallenvoorbeeld. In tabel 1 staat dat voor een 40 dB zijlusantenne de fasefout maximaal 6° mag zijn. Bij 10 GHz is de golflengte 30 mm dus de positiefout van de scanner mag maximaal 0,5 mm zijn. Meestal zijn de scanners een stuk nauwkeuriger. Als voorbeeld de 3 x 3 m scanner van het FEL. Deze is een factor 5 - 10 nauwkeuriger. Tegenwoordig is het gebruikelijk om bij grote scanners de positie van de probe m.b.v. laserinterferometers te bepalen en in de dataprocessing voor de afwijking te corrigeren. Ook de signaal-ruis verhouding neemt met zo'n 30 dB toe doordat geïntegreerd wordt over tienduizenden meetpunten. Ongecorrleerde fouten mid-delen daardoor grotendeels uit.

Conclusies

Door het nabije veld van een antenne te meten kan het verre veld zeer nauwkeurig berekend worden. Mede daardoor, en door enkele andere inherente voordelen, wint deze methode snel aan populariteit ondanks de hoge kosten. Soms zelfs blijken conventionele meet-ranges niet mogelijk of minstens even duur als men dezelfde kwaliteit wil halen.

Referenties

- [1] A.T. De Hoop, "Power reciprocity in antenna theory", Proc. IEE, Vol. 121, no. 10, October 1974, pp 1051-1056
- [2] R.C. Hansen, "Measurement Distance Effects on Low Sidelobe Patterns", IEEE Trans. AP., Vol. 32, June 1984, pp 591-594
- [3] J.J.H. Wang, "An Examination of the Theory and Practices of Planar Near-Field Measurement", IEEE Trans. AP., Vol. 36, June 1988, pp 746-753
- [4] Special issue on near-field scanning techniques, IEEE Trans. AP., Vol. 36, June 1988

Voordracht gehouden tijdens de 421e werkvergadering