



Inhoudsopgave

14	Antennes, transmissielijnen en voortplanting van elektromagnetische golven	14-3
14.1	Wat leer je in dit hoofdstuk.....	14-3
14.2	Inleiding.....	14-3
14.3	Antennes en transmissielijnen	14-4
14.3.1	Elektromagnetisch veld.....	14-4
14.3.2	Elektromagnetische golven: voortplantingssnelheid en golflengte.....	14-5
14.3.3	De halve golf dipoolantenne met voeding in het midden	14-7
14.3.4	Transmissielijnen.....	14-10
14.3.5	Symmetrische en asymmetrische transmissielijnen	14-12
14.3.6	Koppelen van een symmetrische transmissielijn aan de antenne	14-13
14.3.7	Gebruik van coaxiale kabel als transmissielijn; de balun	14-14
14.3.8	De eindgevoede dipoolantenne (“Zeppelin antenne” of “Zepp”)	14-15
14.3.9	De antennetuner en de staande-golf-meter	14-16
14.3.10	Aanpassing van de zender aan transmissielijn en antenne	14-17
14.3.11	Leidingverliezen	14-19
14.4	Propagatie (voortplanting) van elektromagnetische golven.....	14-20
14.4.1	Inleiding.....	14-20
14.4.2	Polarisatierichting van EM-golven.....	14-20
14.4.3	Zichtverbindingen.....	14-20
14.4.4	Directe golf, grondgolf of bodemgolf en ruimtegolf	14-22
14.4.5	Propagatie van VHF- en UHF-golven.....	14-23
14.4.6	Propagatie via de ionosfeer	14-24
14.5	Antennevarianties	14-27
14.5.1	Inleiding.....	14-27
14.5.2	Verticale antennes (groundplane)	14-28
14.5.3	Antennes met parasitaire elementen.....	14-29
14.6	BIJLAGE: FREQUENTIEGEBIEDEN EN AMATEURBANDEN.....	14-31
14.7	Opgaven	14-32
14.7.1	Opgave 14-1	14-32



14.7.2	Opgave 14-2	14-33
14.7.3	Opgave 14-3	14-34
14.7.4	Opgave 14-4	14-35
14.7.5	Opgave 14-5	14-36
14.7.6	Opgave 14-6	14-37
14.7.7	Opgave 14-7	14-38
14.7.8	Opgave 14-8	14-39
14.7.9	Opgave 14-9	14-40
14.7.10	Opgave 14-10	14-41
14.7.11	Opgave 14-11	14-42
14.7.12	Opgave 14-12	14-43
14.7.13	Opgave 14-13	14-44
14.7.14	Opgave 14-14	14-45
14.8	Uitwerkingen van de opgaven	14-46
14.8.1	Uitwerking van Opgave 14-1	14-46
14.8.2	Uitwerking van Opgave 14-2	14-47
14.8.3	Uitwerking van Opgave 14-3	14-48
14.8.4	Uitwerking van Opgave 14-4	14-49
14.8.5	Uitwerking van Opgave 14-5	14-50
14.8.6	Uitwerking van Opgave 14-6	14-51
14.8.7	Uitwerking van Opgave 14-7	14-52
14.8.8	Uitwerking van Opgave 14-8	14-53
14.8.9	Uitwerking van Opgave 14-9	14-54
14.8.10	Uitwerking van Opgave 14-10	14-55
14.8.11	Uitwerking van Opgave 14-11	14-56
14.8.12	Uitwerking van Opgave 14-12	14-57
14.8.13	Uitwerking van Opgave 14-13	14-58
14.8.14	Uitwerking van Opgave 14-14	14-59



14 Antennes, transmissielijnen en voortplanting van elektromagnetische golven

14.1 Wat leer je in dit hoofdstuk

Dit hoofdstuk gaat over de route van zendereindtrap via zendantenne naar ontvangstantenne. Eigenlijk is dit het sluitstuk van onze reis door de radiotechniek. Wel komen er nog vervolghoofdstukken over meetinstrumenten, voorschriften, veiligheid en gedrag in de ether, maar niet meer over de radiotechniek zelf.

We beginnen dit hoofdstuk met elektromagnetische velden en golven, het verband tussen frequentie en golflengte en een basisvorm van een antenne, de halve golf-dipoolantenne. Vanaf de antenne werken we terug naar de zender: hoe komt elektromagnetische energie bij de antenne en hoe zorg je ervoor dat die niet door de verbindinglijn die meestal transmissielijn of voedingslijn heet, al wordt uitgestraald. We verdiepen ons in vormen en eigenschappen van transmissielijnen.

Ook de staande-golf-verhouding en wat die grootheid vertelt over de kwaliteit van de verbinding met de antenne staat ook op het menu. Daarna gaat het over de aanpassing van de zendereindtrap aan het systeem van transmissielijn en antenne.

De daaropvolgende paragraaf gaat over de voortplanting van elektromagnetische golven en de invloed van verschillende lagen van de atmosfeer daarop bij verschillende (groepen van) frequenties. De polarisatierichting wordt besproken en het verschil tussen directe golf, grondgolf en ruimtegolf. Bij de opbouw van de ionosfeer zullen we wat uitvoeriger stilstaan, omdat die van groot belang is voor verre radioverbindingen.

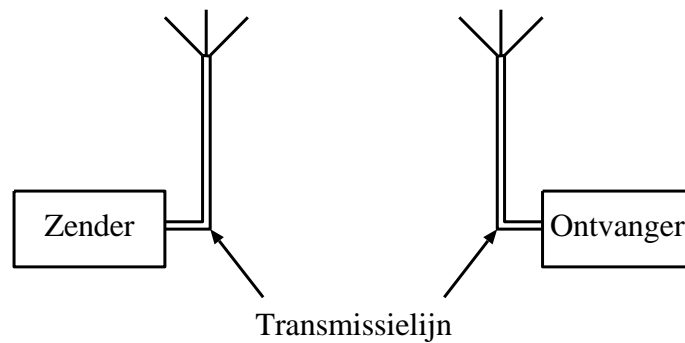
Hierna bekijken we nog twee soorten antennes. Dat zijn de groundplane en antennes met zogenoemde *parasitaire elementen*. We bespreken hun voordelen, zoals antennewinst en richtinggevoeligheid. Dan volgt een bijlage met benamingen van frequentiegebieden en een overzicht van amateurbanden t/m het UHF-gebied. Aan het eind volgen de gebruikelijke oefenopgaven.

14.2 Inleiding

In dit hoofdstuk bekijken we radiocommunicatie van zender tot ontvanger. Dat houdt in:

- Van zender naar zendantenne
- De zendantenne
- Van zend- naar ontvangstantenne
- De ontvangstantenne, gebaseerd op dezelfde theorie als de zendantenne

Figuur 14.2-1 brengt het in beeld.



Figuur 14.2-1. Antennes brengen energie over.

Zend- en ontvangantenne zijn niet zomaar gelijk getekend. In beide gebeurt hetzelfde. Wel is er bij de zender (heel) veel meer vermogen mee gemoeid dan bij de ontvanger.

We beginnen met het eerste: van zender naar antenne. Daarin komen antennes, transmissielijnen en een stukje antennetheorie ter sprake. De hoofdvraag is: hoe krijg ik zoveel mogelijk van mijn zendervermogen de antenne en vervolgens de lucht in?

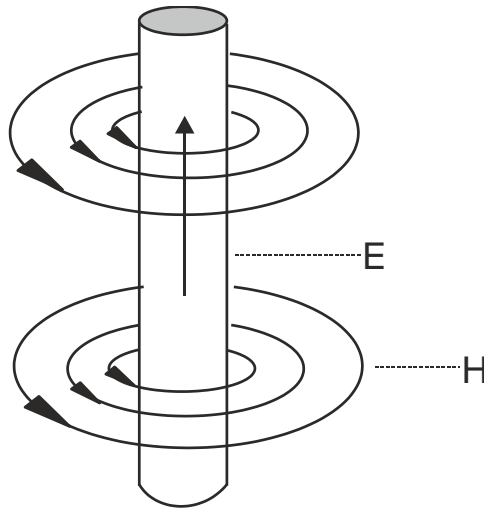
Die vermogensoverdracht is vooral een zaak van de juiste impedantieaanpassing tussen zender, transmissielijn en antenne en van zo min mogelijk verlies aan vermogen.

Dan moet het signaal van zend- naar ontvangstantenne. Dat proces heet ook wel *voortplanting* of *propagatie*. Daarbij spelen verschillende lagen in de atmosfeer een rol, afhankelijk van de frequentie. De soort antenne en zijn opstelling houden verband met propagatie. Daarvan moeten we voldoende weten. We gaan aan de slag.

14.3 Antennes en transmissielijnen

14.3.1 Elektromagnetisch veld

Een radiosignaal plant zich voort door middel van een elektromagnetisch veld. De term “elektromagnetisch” heeft betrekking op het gelijktijdig optreden van een elektrisch en een magnetisch veld. In Hoofdstuk 4 hebben we gezien dat een magnetisch veld ontstaat rondom een stroomvoerende geleider. De veldlijnen liggen in vlakken loodrecht op de geleider, zoals het veld H in Figuur 14.3-1.



Figuur 14.3-1. Magnetisch veld rond een stroomvoerende geleider (cursus 1999).

Een elektrisch veld is het spanningsveld tussen een positieve en een negatieve lading, zoals bijvoorbeeld in een condensator. Het spanningsverloop in de stroomrichting in de geleider veroorzaakt een elektrisch veld E met lijnen evenwijdig aan de geleider (pijl in de geleider in Figuur 14.3-1). De figuur laat zien dat elektrisch en magnetisch veld loodrecht op elkaar staan. **Het magnetische veld is vlak bij de antenne het sterkst waar de grootste stroom loopt, dus langs het midden van de dipool en het elektrische veld is het sterkst waar de hoogste spanning is, dat is op de uiteinden.**

Vervangen we de gelijkspanning over de geleider door een sinusvormige wisselspanning, dan is de stroom een sinusvormige wisselstroom. Het elektrische veld E en het magnetische veld H veranderen volgens hetzelfde sinuspatroon in sterkte en richting. Het magnetisch veld in de directie nabijheid van de geleider geeft door inductie een spanning in de geleider. Het elektrische veld E verandert mee. De veranderende spanning beïnvloedt weer de stroom. Zo ontstaat een energie-uitwisseling tussen elektrisch en magnetisch veld. Door die samenhang heet de combinatie een *elektromagnetisch veld*.

Bij een lage frequentie als 50 Hz is de inductiespanning over een rechte geleider van bijvoorbeeld een meter lang heel laag. Die spanning neemt toe met toenemende frequentie, want $X_L = 2\pi fL$ en elke geleidende draad heeft een zekere zelfinductie.

Wisselspanning over en -stroom door een geleider kunnen worden veroorzaakt door aansturing vanuit een bron, maar ook door een aangestuurde andere geleider in de buurt. Die volgen dan wat er in die andere geleider gebeurt.

Tussen zend- en ontvangantennes gebeurt exact hetzelfde. Voor we daarmee verdergaan, werken we eerst het begrip golflengte en de relatie ervan met frequentie uit.

14.3.2 Elektromagnetische golven: voortplantingssnelheid en golflengte

De afstand waarover iets zich met constante snelheid in een bepaalde tijd verplaatst, volgt uit wat ook voor voetgangers, fietsers en om de zon draaiende planeten geldt:

*Afgelegde afstand = snelheid * tijd*

De snelheid waarmee een elektromagnetisch veld (afgekort: EM-veld) zich uitbreidt, is in vacuüm 299 792 458 m/s, afgerond 300 000 000 m/s of 300 000 km/s. In aardse lucht is die snelheid een heel klein beetje lager dan in vacuüm, maar ook dan is de afronding voor ons goed genoeg. Het symbool voor snelheid in vergelijkingen is c van het Latijnse *celeritas*, (snelheid). Ook licht is EM-straling en dus is c ook de lichtsnelheid.

Het “langskomen” van één EM-golf duurt even lang als één periode van de wisselstroom/spanning die hem veroorzaakt. Dat is de periodeduur T (Hoofdstuk 5). De frequentie f is het aantal perioden in 1 seconde. Dan is f ook het aantal golven in 300 000 km. Daaruit volgt de lengte van een enkele golf, de golflengte. Het symbool is λ , uitgesproken als *labda*, ook wel *lambda*, de Griekse vorm van de letter “l” van lengte.

$$\lambda = c \cdot T \quad (14.3-1)$$

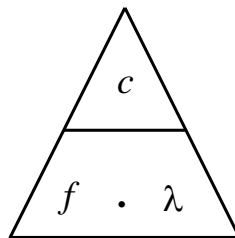
In hoofdstuk 5 leerden we het verband tussen frequentie f en periodeduur T :

$$T = \frac{1}{f} \quad (14.3-2)$$

Als we dat invullen in (14.3-1), krijgen we het verband tussen golflengte en frequentie:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \rightarrow \quad f = \frac{c}{\lambda} \quad (14.3-3)$$

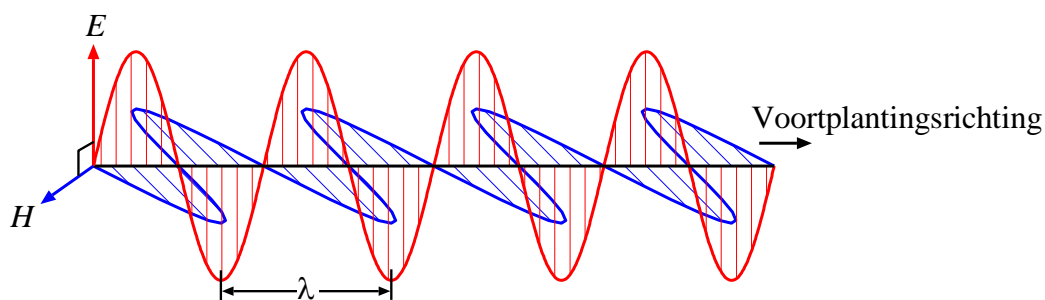
In woorden: golflengte is lichtsnelheid gedeeld door frequentie. Frequentie is lichtsnelheid gedeeld door golflengte. Je kunt er dezelfde driehoek voor gebruiken als voor de wet van Ohm (Figuur 14.3-2).



Figuur 14.3-2. Vermenigvuldig- en deeldriehoek voor vergelijkingen (14.3-3).

Voorbeeld: een frequentie van 100 MHz, dat is in de FM-omroepband, komt overeen met een golflengte van $(300\,000\,000 / 100\,000\,000) \text{ m} = 3 \text{ m}$.

Figuur 14.3-1 liet zien dat het elektrische en het magnetische veld loodrecht op elkaar staan. Figuur 14.3-3 laat zien hoe je dat kunt voorstellen bij een wisselend veld.



Figuur 14.3-3. Richting van het elektrische deel E en het magnetische deel H van een EM-veld.

Tabel 14.3-1 geeft een overzicht van radiofrequentiegebieden en bijbehorende golflengten. In paragraaf 14.6 (bijlage) vind je een uitvoeriger lijst.

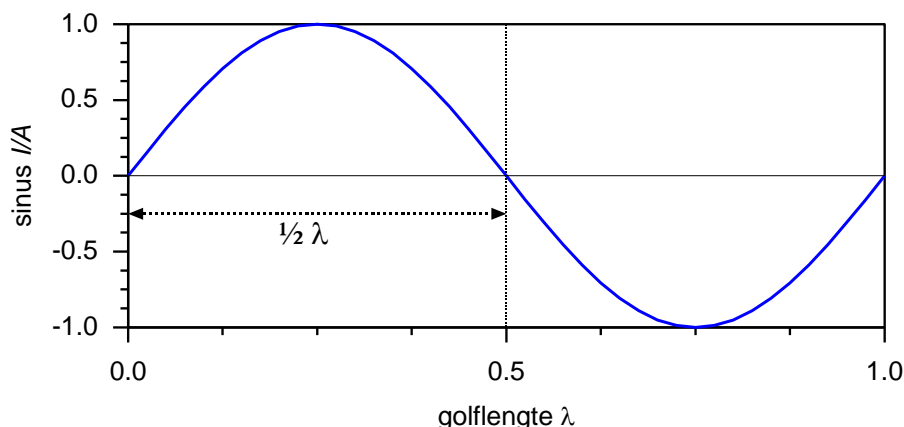
Tabel 14.3-1. Overzicht van enkele frequentiegebieden met benaming, frequentie en golflengte.

Bandbenaming	Frequentie	Golflengte
MF (Medium Frequency)	300-3000 kHz	1 000 – 100 m
HF (High Frequency)	3-30 MHz	100 – 10 m
VHF (Very High Frequency)	30-300 MHz	10 – 1 m
UHF (Ultra High Frequency)	300 MHz – 3 GHz	1 m – 10 cm

14.3.3 De halve golf dipoolantenne met voeding in het midden

We hebben kennis gemaakt met het verband tussen frequentie en golflengte. Dan nu de lengte van antennes. Die hangt af van de golflengte waarvoor de antenne bedoeld is.

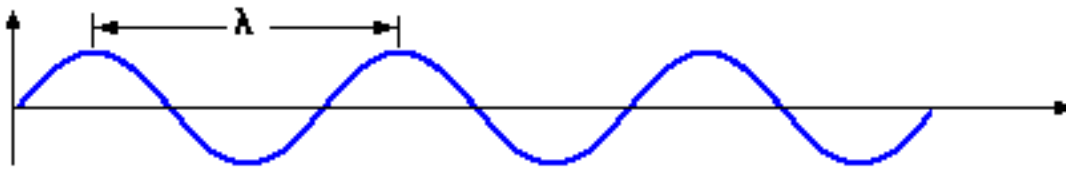
Stel je een oneindig lange rechte draad voor, waardoorheen een wisselstroom loopt. De lengte van één periode is één golflengte. We bekijken nu één stroomgolf = één stroomperiode (Figuur 14.3-4).



Figuur 14.3-4. Een hele sinusperiode, gelijk aan één hele golflengte λ . Tussen de pijlpunten in de linker halve periode zit een halve golflengte. De momentele waarde is gedeeld door de amplitude A , zodat de verticale as loopt van -1 naar $+1$.

De golf verplaatst zich langs de draad met bijna de lichtsnelheid. De verhouding snelheid in een draad / lichtsnelheid is ongeveer 0,96. Die 0,96 heet de *verkortingsfactor* van de draad. De verkortingsfactor is een klein beetje afhankelijk van het geleidingsvermogen van het materiaal van de draad, de draaddikte en het eventuele isolatiemateriaal om de draad. Die effecten zijn klein. Daardoor verschilt de verkortingsfactor tussen verschillende draden weinig. Soms kom je 0,97 tegen, soms 0,95. De golflengte λ in zo'n draad stellen we meestal op 0,96 maal die in de omringende lucht.

De golf verplaatst zich langs de draad. Klik op Figuur 14.3-5 voor een animatie.



Figuur 14.3-5. Afbeelding van een lopende golf met golflengte λ . ([Wikipedia](#))

We knippen nu (in gedachten) een halve golflengte uit de draad. De lengte staat aangegeven in Figuur 14.3-4: de gestippelde tweepuntige pijl met de aanduiding $\frac{1}{2} \lambda$. Stel dat we in dat stuk draad een wisselstroom met dezelfde golflengte laten lopen. Stroom door een draad die ophoudt klinkt gek, maar hij bestaat als het wisselstroom is.

Die stroom “botst” onvermijdelijk tegen de uiteinden van de draad. Dat veroorzaakt een afname van het magnetisch veld van de stroom. Maar de energie van het magnetisch veld moet ergens heen. Die hoopt zich op aan de uiteinden van de draad in de vorm van lading, want stroom is verplaatsing van lading. Ook lading is een vorm van energie.

In feite doen de twee uiteinden van de draad hetzelfde als de elektroden van een condensator, maar met één verschil. De polen zijn niet van elkaar geïsoleerd, want tussen beide uiteinden loopt een geleidende draad. Zolang er een afnemend magnetisch veld is dat een stroom veroorzaakt, groeit de lading op de draaduiteinden, tot de kracht van het elektrische veld in opbouw het wint van de verandering van het magnetische veld. Dan begint de stroom in omgekeerde richting te lopen. Zo wordt het magnetische veld weer opgebouwd ten koste van het elektrische veld, totdat de invloed van het magnetische veld het weer wint van de invloed van het elektrische veld. En zo gaat dat door.

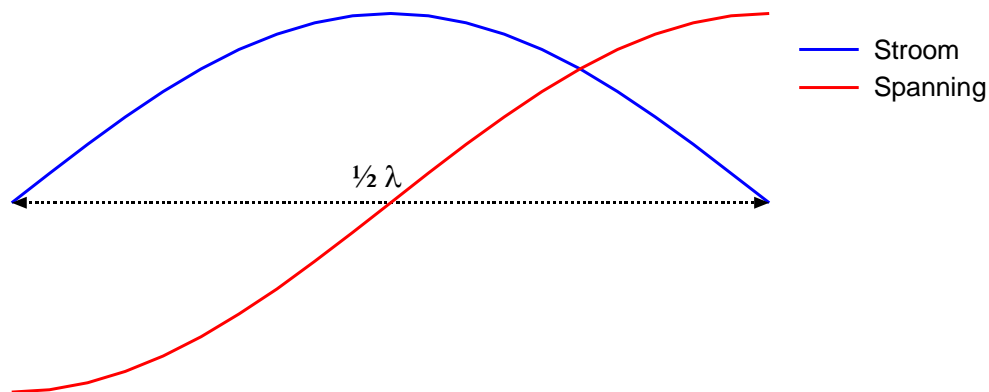
Zo wordt voortdurend magnetische in elektrische energie omgezet en andersom.

De stroom- en spanningsgolf in het stuk draad blijft op zijn plek. Het is een *staande* golf, waarin de fase van + naar – wisselt, maar die verder op zijn plaats blijft. De polariteit wisselt en de amplitude verandert voortdurend. De energie wisselt van elektrisch naar magnetisch en terug. Kan dit eeuwig zo doorgaan? Antwoord: nee. Het verschijnsel zwakt

geleidelijk af als er niet steeds nieuwe energie wordt toegevoerd. De afzwakking heeft twee oorzaken.

- Weerstand en warmteontwikkeling in de draad.
- De tweede oorzaak is voor ons radioamateurs interessanter. Het EM-veld breidt zich uit in de wijde omgeving: de atmosfeer, de aarde en het heelal. Elke periode neemt een deel van de energie zogezegd de elektromagnetische benen en verdwijnt met de snelheid van het licht het heelal in. Er wordt energie uitgestraald met de golflengte van de staande golf, dus niet $\frac{1}{2} \lambda$, maar λ .

Dat lijkt wel een zendende antenne, zul je misschien denken. Sterker nog, het *is* er één. Figuur 14.3-6 toont de verdeling van spanning en stroom over deze halve golf-antenne.

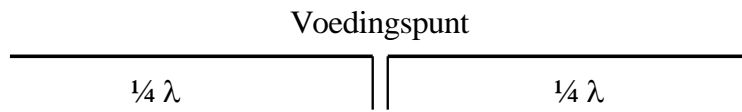


Figuur 14.3-6. Verdeling van stroom en spanning over een halve golf-antenne. De spanningen op de uiteinden zijn in tegenfase.

De figuur laat zien dat de amplitude van de stroom in het midden hoog is en die van de spanning laag. Op de uiteinden is het omgekeerd. Waar de draad eindigt, stopt de stroom en is de spanning hoog. Bij hoge spanning en weinig stroom hoort een hoge impedantie; bij weinig spanning en veel stroom een lage. Dan moet de impedantie in het midden laag en op de uiteinden hoog zijn. Zo'n antenne heet een *dipool*, een ding met twee polen.

De theoretische impedantie in het midden is 73 ohm als de antenne zo hoog hangt dat de invloed van het aardoppervlak verwaarloosbaar is. Een hoogte van een kwart golflengte komt in de buurt. Een kleinere hoogte leidt tot een wat lagere impedantie.

De energie die een antenne uitzendt, moet er eerst in. De plek waar dat gebeurt, heet het *voedingspunt*. We gaan voorlopig uit van de plek van de laagste impedantie, het midden dus. Daar wordt de antenne in twee delen van een kwart golflengte gesplitst door het aansluiten van een *voedingslijn*. Een voedingslijn is niet zomaar een eindje draad. Het is een *transmissielijn*. Die komt in subparagraaf 14.3.4 en volgende aan de orde. Figuur 14.3-7 toont de opgesplitste dipool.



Figuur 14.3-7 Dipoolantenne met twee helften van $\frac{1}{4}$ golf lang en het voedingspunt met voedingslijn in het midden.

Nu naar de vraag hoe je vermogen de antenne in krijgt. Dat gaat zoals gezegd met een voedingslijn, dus een *transmissielijn*. Daarover gaat de volgende sub-paragraaf.

14.3.4 Transmissielijnen

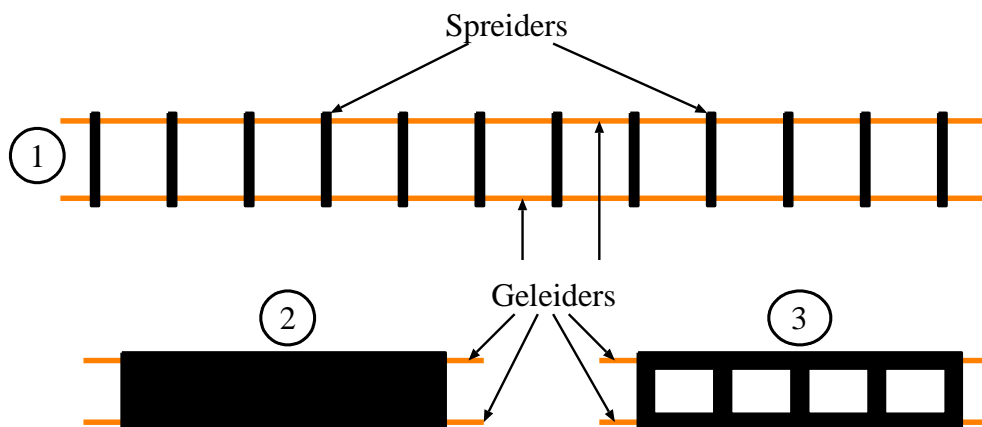
Een goede transmissielijn heeft de volgende eigenschappen.

- De lijn verliest onderweg zo min mogelijk energie via een EM-veld;
- De lijn geeft een zo goed mogelijke overdracht van vermogen van zender naar antenne of van antenne naar ontvanger.

Er zijn drie hoofdsoorten transmissielijn, elk met allerlei varianten. Dat zijn:

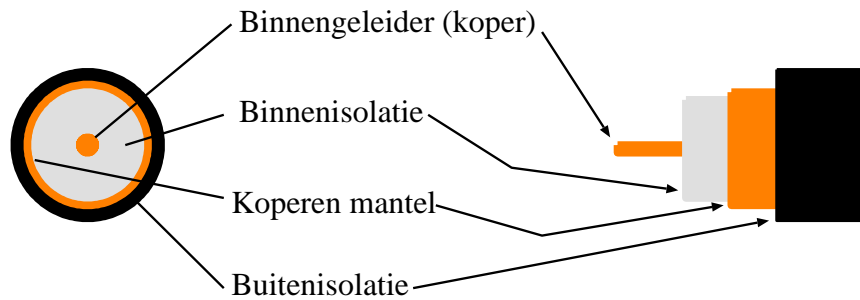
- Symmetrische of open leidingen, sommige soorten heten ook *lintlijn* of *lintkabel*;
- Asymmetrische of gesloten leidingen die meestal *coaxiale kabel* of kortweg *coax* worden genoemd;
- Golfgeleiders (“golfpijp”). Ze horen niet tot de N-examenstof, maar worden wel gevraagd voor F. Ze staan in hoofdstuk 14 van de F-cursus.

Figuur 14.3-8 laat drie uitvoeringen van open leidingen zien. De stroomvoerende delen zijn bij voorkeur van het goed geleidende koper, vandaar hun kleur.



Figuur 14.3-8. Verschillende symmetrische of open leidingen. 1. Twee draden met spreiders die de onderlinge afstand gelijk houden, ook wel “kippenladder” genoemd. 2. Platte leiding met kunststofisolatie die de afstand tussen beide draden gelijk houdt. Heet ook wel lintlijn. 3. Variant op (2) die door de openingen lichter is en deels lucht in de isolatie heeft. Alle geleiders zijn koperkleurig gemaakt.

De asymmetrische of gesloten leiding is een coaxiale kabel, kortweg coaxkabel. Ook die heeft twee geleiders, maar de ene, de binnengeleider, is volledig omsloten door de andere, de mantel (Figuur 14.3-9).



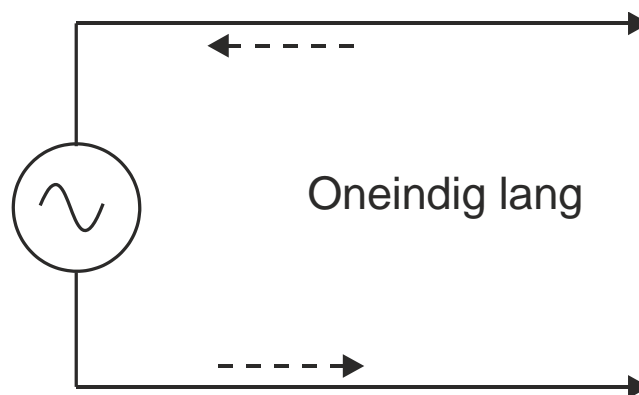
Figuur 14.3-9 Coaxkabel in dwars- en langsdoorsnede. De geleiders zijn ook hier koperkleurig.

In beide gevallen veroorzaken de twee geleiders elk een elektromagnetisch veld. Zowel stromen als spanningen in beide leidingen zijn in tegenfase. Daardoor zijn ook beide elektromagnetische velden tegengesteld. Die heffen elkaar op. Daarmee is verlies aan vermogen van open lijn en coax via EM-straling tot nul (in de praktijk: bijna nul) teruggebracht.

Bij coax loopt in de mantel de stroom alleen aan de binnenkant. Dat wordt veroorzaakt door het zogenoemde *huideffect* (Engels: skin effect). Het houdt in dat bij toenemende frequentie de stroom zich meer en meer aan het oppervlak van een geleider concentreert.

Wat aan verlies overblijft is vooral het gevolg van weerstand en bijbehorende warmteontwikkeling. Mede als gevolg van het huideffect worden die verliezen hoger bij toenemende frequentie.

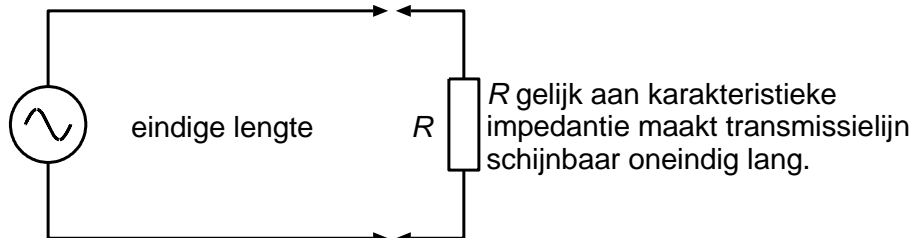
Een andere bijzondere eigenschap van een transmissielijn is de *karakteristieke impedantie*. De twee leidingen ervan hebben elk een zelfinductie en tussen de leidingen is er capaciteit. Bij elke lengte zijn die twee anders, met het gevolg dat een oneindig lange lijn voor een oneindig aantal afstanden in de langsrichting een oneindig aantal resonantiefrequenties heeft. Als je die aansluit op een HF-generator (Figuur 14.3-10), 'ziet' deze alleen nog maar een impedantie. Dat heet de *karakteristieke impedantie*.



Figuur 14.3-10. HF-generator aan een oneindig lange transmissielijn (Cursus 1999).

De HF-golven verplaatsen zich met lichtsnelheid maal verkortingsfactor langs de lijn. De energie die de lijn ingaat, komt niet meer terug. Vanuit de generator gezien, gedraagt de oneindig lange lijn zich als een weerstand. Toch hebben we het over impedantie. De leiding bevat nu eenmaal zelfinductie en capaciteit. De karakteristieke impedantie hangt af van draaddikte, soortelijke weerstand van het draadmateriaal, afstand tussen de twee leidingen en de diëlektrische constante van het isolerende materiaal tussen de leidingen. De karakteristieke impedantie ligt voor open leidingen meest tussen 100 en 600 Ω ; de meeste uitvoeringen van coax zijn 50 tot 100 Ω .

Wordt een eindig stuk transmissielijn afgesloten met een weerstand ter grootte van de karakteristieke impedantie, dan 'ziet' de generator nog steeds diezelfde impedantie. Met andere woorden: als een stuk transmissielijn, open lijn dan wel coax, wordt afgesloten met een weerstand gelijk aan zijn karakteristieke impedantie, dan gedraagt de transmissielijn zich als een oneindig lange lijn (Figuur 14.3-11). Dit geldt voor zowel coax- als open lijn.

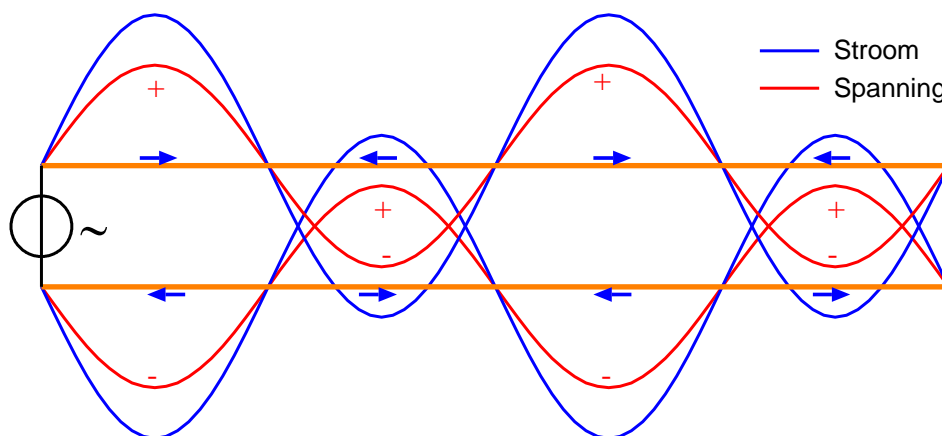


Figuur 14.3-11. HF-generator en transmissielijn van eindige lengte. Indien afgesloten met karakteristieke impedantie, lijkt de lijn oneindig lang.

Het heeft geen zin om te proberen, de karakteristieke impedantie met een ohmmeter te meten. Die werkt met gelijkstroom en daarvoor geldt gewoon de Ohmse weerstand.

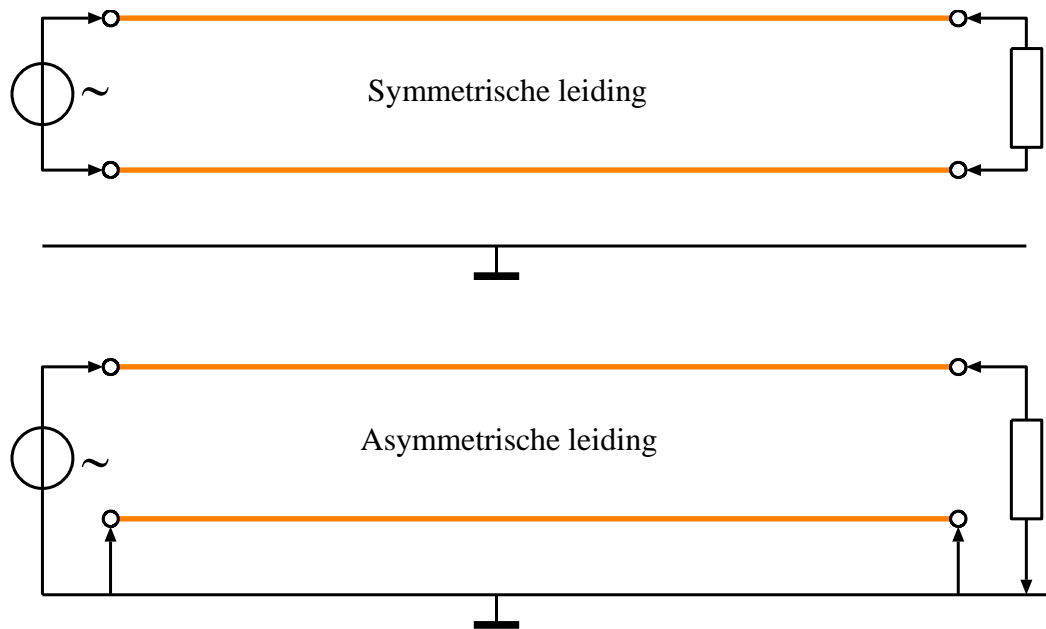
14.3.5 Symmetrische en asymmetrische transmissielijnen

Open lijn is symmetrisch. De ene draad is identiek aan de andere; stroom zowel als spanning zijn hun eigen spiegelbeeld (Figuur 14.3-12).



Figuur 14.3-12. Momentopname van stroom en spanning op een symmetrische transmissielijn met lopende golven. De twee helften van de transmissielijn zijn weer koperkleurig getekend.

Coax is asymmetrisch. Eén lijn, de binnengeleider, ligt in het hart van de kabel. De andere, de *mantel*, omsluit hem. Door de constructie is de aansturing anders. Figuur 14.3-13 toont een schematisch beeld van beide.



Figuur 14.3-13. Aansluiting symmetrische leiding (boven) en asymmetrische leiding (onder). Figuur volgens cursus 1999.

Een symmetrische leiding “zweeft”, dat wil zeggen dat hij geen aard- of massa-aansluiting heeft. Beide helften doen hetzelfde, maar tegengesteld.

In een asymmetrische leiding doet de binnenader hetzelfde als één helft van een symmetrische leiding. De mantel is echter niet alleen de tweede leiding, maar tegelijk massa/aarde.

De verkortingsfactor van coaxkabel is kleiner dan bij losse draad of open leidingen. Dat komt voornamelijk doordat tussen de geleidende delen alleen isolerend materiaal ligt met een hogere diëlektrische constante ligt dan die van lucht. Hoe hoger de diëlektrische constante, des te kleiner is de verplaatsingssnelheid van een EM-golf. Bij gangbare coax ligt de verkortingsfactor rond de 0,65; bij symmetrische leidingen in de buurt van 0,95. Bij verliesarme coax, waarin het isolatiemateriaal in de kabel veel lucht bevat, ligt de waarde hoger, vaak rond 0,7 – 0,75. Bij isolatie met sommige kunststofsoorten zoals teflon, kan de waarde boven de 0,8 liggen.

14.3.6 Koppelen van een symmetrische transmissielijn aan de antenne

Hoewel we alleen nog maar kennis hebben gemaakt met twee soorten transmissielijnen en met één soort antenne, de in het midden gevoede dipool, is deze kennis voldoende om het koppelen van een antenne aan een transmissielijn nader te bezien.



Als de antenne in resonantie is, is er elektrisch gezien alleen een weerstand. Als die weerstand even groot zou zijn als de karakteristieke impedantie van de transmissielijn, is de aansluiting perfect. Net als in Figuur 14.3-11 gedraagt de voedingslijn van de antenne zich, vanuit de zender gezien, als een oneindig lange transmissielijn. Zo eenvoudig kan het zijn als de impedantie op het voedingspunt van de antenne en de karakteristieke impedantie van de lijn gelijk zijn.

Een dipoolantenne die wordt gevoed via een symmetrische (open) transmissielijn mag je ook opvatten als een transmissielijn waarvan de uiteinden naar buiten zijn gebogen. Zo'n antenne is te maken en hij werkt.

We verlaten hierna deze eenvoudige en soms realistische situatie. Het wordt weliswaar ingewikkelder, maar de ingewikkeldheden zijn erop gericht, uiteindelijk weer op deze eenvoudige situatie uit te komen.

14.3.7 Gebruik van coaxiale kabel als transmissielijn; de balun

We zagen dat de dipoolantenne een symmetrisch ding is. Antenne-aansluitingen op transceivers en ander zend- en ontvangstgerei zijn vrijwel altijd coaxiaal met een impedantie van 50Ω op de aansluiting.

Nu is de vraag of je een coaxiale en dus asymmetrische transmissielijn zomaar op een symmetrische antenne kunt aansluiten. Voor het antwoord moeten we eerst bekijken wat er precies in een coaxiale kabel gebeurt. Een coaxiale lijn straalt normaal gesproken niet. Dat komt doordat EM-straling van de binnengeleider wordt tenietgedaan door een tegengesteld stroom- en spanningsverloop aan de **binnenkant** van de mantel. Voor de EM-straling van de binnenkant van de mantel geldt hetzelfde: die wordt tenietgedaan door het veld van de binnengeleider. Ook daaruit valt te concluderen dat de stroom in de mantel aan de binnenkant moet lopen. Dat is het al genoemde huideffect.

De binnengeleider kan zonder bezwaar aan één helft van de dipool worden verbonden. Zouden we dat ook bij de mantel doen dan zou er in de mantel ook stroom aan de buitenkant lopen. Dan compenseren de velden van binnen-en buitengeleider elkaar niet meer en gaat de kabel onherroepelijk EM-straling uitzenden. Vermogen dat door de kabel wordt uitgezonden, kan niet ook nog eens door de antenne worden uitgezonden. De antenne straalt daardoor asymmetrisch. In gebruikelijk Nederlands: "de antenne straalt scheef".

Dat hoeft niet altijd een heel groot bezwaar te zijn, maar er is wel een risico dat die EM-straling terechtkomt op plekken waar hij storing kan veroorzaken of gewoon verdwijnt in min of meer geleidende zaken als een boomkruin (in een boom en in blad zit nu eenmaal geleidend water). Het kan allemaal werken, maar liever anders!

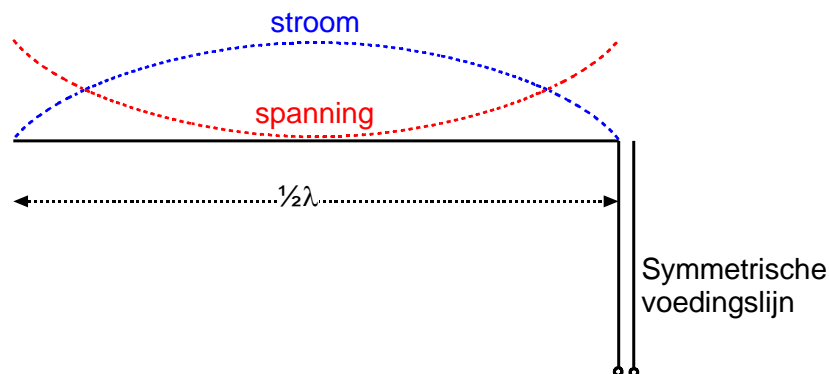
Hoe roep je zo'n systeem tot de orde? Met een soort aanpassingstrafo die meestal *balun* wordt genoemd. Balun staat voor "**balanced to unbalanced**", gebalanceerd naar ongebalanceerd, van symmetrisch naar asymmetrisch. In ons geval moet dat van

asymmetrisch naar symmetrisch, dus eigenlijk unbal. Gelukkig kun je baluns net als vrijwel elke transformator omgekeerd gebruiken en dat komt bij zendamateurs het meeste voor. Men spreekt ook wel van *balun transformers*. Omdat baluns niet tot de N-leerstof behoren, doen we er in deze N-cursus over dit op zich heel nuttige onderwerp verder het zwijgen toe. Wie er meer van wil weten, kan terecht in hoofdstuk 14 van de F-cursus.

14.3.8 De eindgevoede dipoolantenne (“Zeppelin antenne” of “Zepp”)

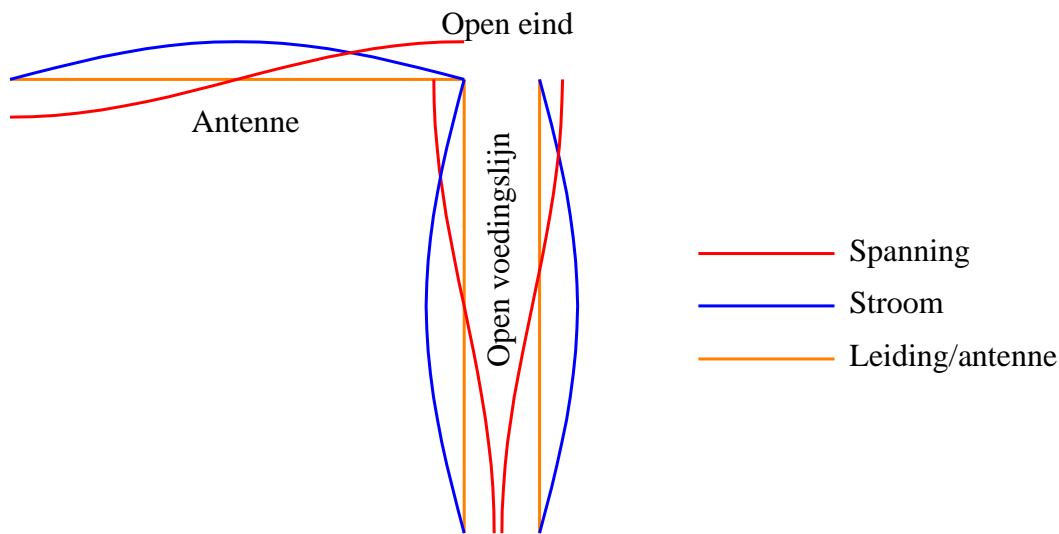
Tot nu toe hebben we de dipoolantenne behandeld als een in het midden gevoede antenne. Als een in het midden gevoede dipool vanaf het huis van een zendamateur naar een bevestigingspunt loopt dat een halve golflengte vanaf het huis ligt, is een voedingskabel nodig van een kwart golflengte of nog meer. Ook zal zo’n voedingskabel vaak een flink eind min of meer evenwijdig aan de antenne lopen. Dan beïnvloeden die twee elkaar onherroepelijk. Het kan dan handiger zijn, de halvegolf-antenne bij de bevestiging aan het huis te voeden. Op het uiteinde dus.

Het uiteinde van zo’n antenne is hoogohmig, want er loopt geen stroom. Alle energie zit in lading. Omdat de capaciteit tussen twee antenne-uiteinden klein is, is de spanning tussen de uiteinden hoog. Figuur 14.3-14 geeft een idee van de opbouw.



Figuur 14.3-14. Eindgevoede halvegolf-dipool met symmetrische voedingslijn.

De oplettende lezer zal zich nu misschien afvragen of die hoge spanning ook op de zenderuitgang terecht komt en zo ja, hoeveel kwaad dat kan. Gelukkig is dat een kwestie van aanpassing van de lengte van de voedingslijn. De impedantie op het uiteinde aan de zenderkant varieert in situaties als deze met de lengte van de voedingslijn. De uitwisseling van energie tussen stroom en spanning gaat dan langs de voedingslijn gewoon door (Figuur 14.3-15). In tegenstelling tot de lopende golven in Figuur 14.3-12 gaat het hier om zogenoemde *staande golven*: maxima en minima van stroom en spanning blijven op dezelfde plaats.



Figuur 14.3-15. Eindgevoede dipoolantenne (“Zeppelin” of “Zepp”).

Uit de figuur blijkt dat overal op de lijn de verhouding van spanning en stroom anders is en dus de impedantie ook. Je zou kunnen zeggen dat de voedingslijn zich in dit geval gedraagt als de antenne, maar dan zonder te stralen. Dit suggereert dat op de voedingslijn ergens een punt moet zitten waarbij de aansluiting op de zender precies dezelfde impedantie heeft als die op de uitgang van de zender. In de praktijk zoeken we dat punt niet op, want dat zal meestal op een plek zitten waar het nogal onhandig is, een zender aan te sluiten. In plaats daarvan geven we de zender een vaste plek en zetten tussen zender en voedingskabel een apparaat dat kan zorgen voor een juiste aanpassing tussen zender en voedingslijn. Zo kunnen zonder veel problemen meerdere antennes (en/of zenders) worden aangesloten. Zo’n apparaat heet in het Nederlands *antenne-aanpassingseenheid*. Meestal wordt de term *antennetuner* gebruikt.

14.3.9 De antennetuner en de staande-golf-meter

Een antennetuner dient om de aanpassing tussen zender en voedingslijn zo goed mogelijk te maken. De impedantie aan zowel de ingangs- als de uitgangskant van het apparaat kan worden gevarieerd. Een tuner gedraagt zich daardoor als een -meestal met de hand-instelbare impedantie-transformator. Daarmee kan bij ongelijke impedanties toch een goede signaaloverdracht van zender naar voedingslijn worden bereikt.

De kwaliteit van de signaaloverdracht kan worden gecontroleerd met behulp van een zogenoemde staande-golf-meter (SWR-meter, van *Standing Wave Ratio*). In een serieuze antennetuner zit zo’n ding ingebouwd, maar ze bestaan ook als afzonderlijke apparaten. Het is een voor de zendamateer onmisbaar stuk gereedschap. Voor nu is het voldoende om te weten dat het eerste nut van een SWR-meter de bescherming van de eindtrap van de zender is. Als de zendereindtrap zijn vermogen niet aan de antenne kwijt kan, wordt dat vermogen ergens anders gedissipeerd. Dat “ergens anders” zal meestal de eindtrap zelf zijn. In een eindtrap die zijn hoogfrequente vermogen niet kwijt kan, zal de temperatuur snel hoger worden en kan uiteindelijk de eindtrap het loodje leggen. In een goed

gebouwde zender zijn daartegen weliswaar maatregelen genomen, maar die zijn niet altijd afdoende. Anders gezegd: een foute aanpassing kan het einde van de eindtrap betekenen.

De SWR kun je zien als de verhouding tussen de hoogste en de laagste impedantie op een aansluiting. We gebruiken daarvoor meestal het symbool s . Voor s geldt:

$$s = \frac{\text{hoogste impedantie}}{\text{laagste impedantie}} = \frac{Z_{max}}{Z_{min}} \quad (14.3-4)$$

Als $s = 1$, dan is de aanpassing ideaal en zijn beide impedanties gelijk. Als $s = 2$, dan is de ene impedantie 2x zo groot als de andere. Welke de grootste en welke de kleinste is, doet er niet toe. De situatie bij $s = 2$ is nog steeds werkbaar, maar richting $s = 3$ wordt de zaak bedenkelijk. $s = 3$ of meer is altijd af te raden.

In hoofdstuk 15 over meten en meetinstrumenten volgt wat meer over staande-golfmeters.

14.3.10 Aanpassing van de zender aan transmissielijn en antenne

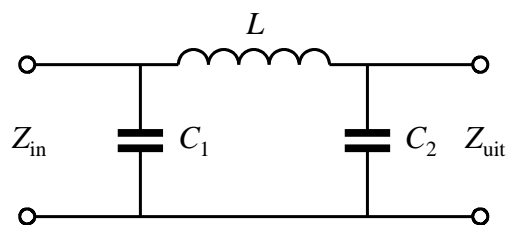
In de vorige sub-paragraaf hebben we het gehad over de impedantie-aanpassing van zender naar voedingslijn. Verreweg de meeste amateurzenders hebben zoals gezegd een asymmetrische antenne-aansluiting (coax dus) met een impedantie van 50 Ω .

Een zendereindtrap heeft echter maar zelden van nature diezelfde uitgangsimpedantie. Daarom bevat die een aanpassingsnetwerk, lees: impedantietransformator, in de één of andere vorm.

Een klassieke vorm die als enige in N-examens voorkomt, is het pi-filter. Dat wordt niet als zodanig genoemd in de exameneisen. Uit voorzorg bespreken we daarom ook het T-filter. Beide ontleen hun naam aan hun opbouw. Wie de schema's ziet, kan in het pi-filter de Griekse letter π (pi) herkennen en in het T-filter de hoofdletter T.

Het pi-filter

Figuur 14.3-16 geeft het schema van een pi-filter. De vorm is dezelfde als die van het afvlakfilter in wisselspanningsvoedingen.

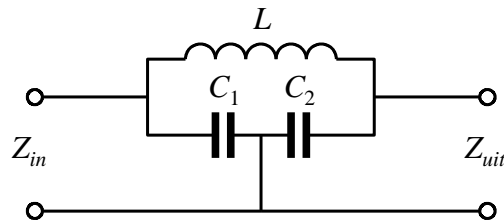


Figuur 14.3-16. Een pi-filter.

Het signaalpad loopt via een zelfinductie. Er zijn twee zijpaden met een capaciteit. Het pad van ingang naar uitgang wordt voor wisselstroom moeilijker te passeren, naarmate de frequentie hoger is. Het pad naar de nulleiding wordt dan juist gemakkelijker. Het pi-filter

is daarom een laagdoorlaatfilter. Het onderdrukt ongewenste hogere frequenties, dus ook harmonischen. Dat is niet de hoofdfunctie. Een pi-filter is vóór alles een impedantietransformator.

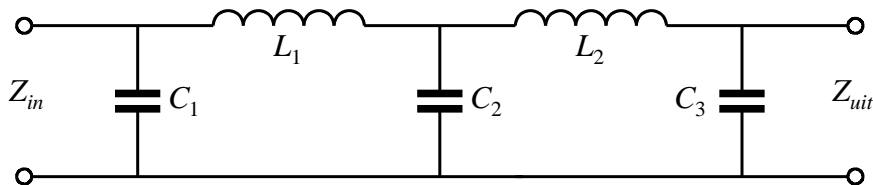
Je kunt in een pi-filter ook een afgestemde kring zien. De aansluiting op de nulleiding is het knooppunt van de twee condensatoren. Als we het filter een beetje anders tekenen (Figuur 14.3-17), dan wordt dat wellicht duidelijker.



Figuur 14.3-17. Pi-filter, een beetje anders getekend dan in Figuur 14.3-16.

De impedantieverhouding van in- en uitgang hangt vooral af van de verhouding van C_1 en C_2 . Aan de kant van de hoogste capaciteit zit de laagste impedantie.

Als de gewenste impedantietransformatie of onderdrukking van harmonischen met één pi-filter niet of lastig te realiseren is, kunnen er ook twee (of meer) achter elkaar worden gezet (Figuur 14.3-18).

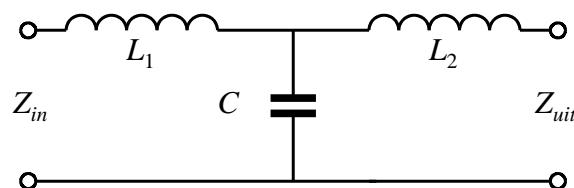


Figuur 14.3-18. Dubbel pi-filter. De middelste condensator C_2 is de som van de vereiste uitgangscapaciteit van het linker filter en de vereiste ingangscapaciteit van het rechter.

De condensatoren kunnen ook instelbare types zijn voor een (eenmalige) nauwkeurige instelling.

Het T-filter

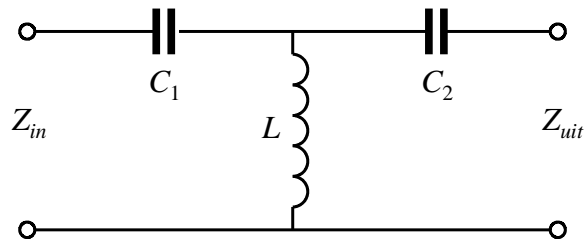
Figuur 14.3-19 geeft het schema van een T-filter. Deze versie heeft twee spoelen en één condensator.



Figuur 14.3-19. T-filter met twee spoelen en een condensator.

Ook het schema van Figuur 14.3-19 is behalve een impedantietransformator een laagdoorlaatfilter. De impedantieverhouding van in- en uitgang wordt vooral bepaald door de spoelen. **De laagste impedantie zit aan de kant van de spoel met de laagste zelfinductie.** Dit soort T-filters geeft een goede onderdrukking van harmonischen.

Het kan ook andersom, dus met condensatoren op de plaats van de spoelen en een spoel op de plaats van de condensator (Figuur 14.3-20).



Figuur 14.3-20. T-filter met twee condensatoren en één spoel.

Zo'n schakeling is een hoogdoorlaatfilter. Het onderdrukt dan ook geen harmonischen, maar doet wel zijn werk als impedantietransformator. **De laagste impedantie zit aan de kant met de hoogste capaciteit.**

14.3.11 Leidingverliezen

Verliesvrije transmissielijnen bestaan niet. Er zijn koperverliezen, zoals we die van transformatoren kennen, stralingsverliezen, want geen enkele transmissielijn is absoluut stralingsvrij en verliezen in het diëlektricum, vooral bij coax. Verliezen worden groter naarmate de frequentie hoger is.

Dat laatste betekent dat een voedingsleiding voor een antenne, zeker als het gaat om hoge frequenties als de 2-meterband (144-146 MHz) of de 70 cm-band (430-440 MHz) liefst niet langer moet zijn dan strikt nodig. Meer lengte gaat niet alleen ten koste van het uitgezonden vermogen, maar ook van de gevoeligheid bij ontvangst.



14.4 Propagatie (voortplanting) van elektromagnetische golven

14.4.1 Inleiding

Een uitgezonden EM-golf is in beginsel bedoeld om in een ontvangstantenne plus ontvanger terecht te komen. Onderweg wordt hij door allerlei oorzaken verzwakt. Het EM-veld moet in de ontvangstantenne nog genoeg vermogen maken om in de ontvanger voldoende boven de ruis uit te komen.

Vaak helpt de aardse atmosfeer een handje mee, soms tegen, soms heeft ze geen effect. Vanuit de ruimte of de atmosfeer kan ruis meekomen. Tegenwoordig is ook door de mens en zijn apparaten veroorzaakte ruis vaak prominent aanwezig.

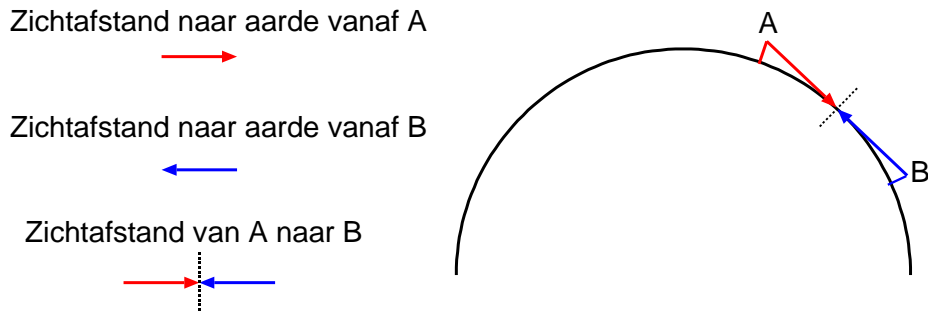
Het kan zijn dat je op de 20 meterband (14 MHz-band) een verbinding hoort tussen bijvoorbeeld een Russische en een Belgische amateur. Je hoort de Rus prima, maar de veel nabijere Belg niet. In de 2 meter -of 144MHz- band hoor je vanuit, zeg, Arnhem vandaag een Brit of Ier en morgen lukt het niet om een behoorlijke verbinding te maken met een amateur in Dordrecht. Dat zijn voorbeelden die om een verklaring vragen. Die zullen we geven. Maar eerst moeten we iets vertellen over mogelijk wat saaiere onderwerpen. Eén is de polarisatierichting. Die is van belang bij sommige vormen van voortplanting van EM-golven. Dan volgt een en ander over zogenoemde zichtverbindingen. Pas daarna gaan we over naar allerlei vooral atmosferische zaken die met het wisselende succes van de voortplanting van EM-golven te maken hebben.

14.4.2 Polarisatierichting van EM-golven

De polarisatierichting van een EM-golf is de richting van het elektrische deel ervan. Bij een dipool loopt het elektrische deel van het EM-veld door de antenne-uiteinden. Hangt de antenne horizontaal, dan is de polarisatie horizontaal. Is de antenne verticaal, dan is de polarisatie verticaal. Polarisatie van een EM-golf wordt in eerste instantie bepaald door de lengterichting van de antenne. De polarisatierichting van de EM-golf hoeft bij de ontvangstantenne niet dezelfde te zijn als bij de zendantenne. Op vrij korte afstanden van enkele honderden km is dat meestal wel het geval, maar bij wereldwijd radioverkeer zelden. Dat komt deels door de kromming van het aardoppervlak, maar de oorzaak kan ook (mede) liggen in gebeurtenissen in de atmosfeer. Een horizontale antenne zal een verticaal gepolariseerd signaal flink verzwakt doorgeven. Hetzelfde geldt voor een verticale antenne en een horizontaal gepolariseerd signaal.

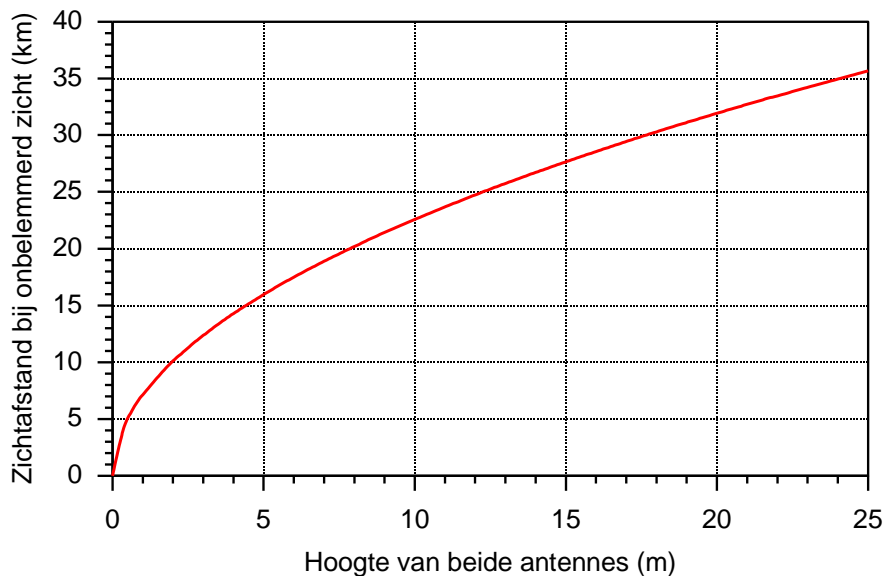
14.4.3 Zichtverbindingen

Een zichtverbinding is een verbinding langs een (in principe) rechte lijn, zoals ook het licht die bij benadering volgt. Er bestaan niet voor niets uitkijktorens en ze heten niet voor niets zo. Hoe hoger een mens boven het aardoppervlak komt, des te verder is zijn zicht, zolang dat zicht tenminste niet wordt belemmerd door mist, bomen, bergen of hoge gebouwen. Het zichtbereik tussen twee punten wordt dan ook groter naarmate die punten zich hoger boven het aardoppervlak bevinden. Dat is weergegeven in Figuur 14.4-1.



Figuur 14.4-1. Zichtafstanden vanaf twee masttoppen A en B. (rode en blauwe pijl)

De halve boldoorsnede stelt de halve aarde voor; het rode en blauwe lijntje zijn elk een antennemast en de pijlen in dezelfde kleuren de grootste afstand tot waar het zicht van de antenne reikt. Bij twee actieve antennemasten is de maximale zichtafstand van antenne tot antenne de lengte van de rode plus die van de blauwe pijl. De grafiek van Figuur 14.4-2 geeft waarden voor de zichtafstand tussen twee even hoge antennemasten op een willekeurige plek op aarde. De aarde is beschouwd als een ideale bol, wat ze bij benadering ook is.



Figuur 14.4-2. Lengte van een zichtverbinding als functie van de antennehoogte bij even hoge antennes.

Om te onthouden: **zichtafstand is de afstand die een op aarde uitgezonden EM-golf in rechte lijn aflegt, voordat hij zonder te zijn ontvangen in de ruimte verdwijnt.** In de praktijk zijn de afstanden waarover radioverbindingen kunnen worden gemaakt, in elk geval op de frequenties waarvan een N-geregistreerde gebruik mag maken, (veel) groter dan uit Figuur 14.4-2 blijkt. Dat hebben we te danken aan eigenschappen van de aarde zelf en van haar atmosfeer die een direct of indirect gevolg zijn van zoninstraling. Die eigenschappen komen in de volgende sub-paragraaf aan de orde.



14.4.4 Directe golf, grondgolf of bodemgolf en ruimtegolf

In het voorbeeld van de zichtverbinding spreken we van een *directe golf*. Daartoe worden ook de golven gerekend die in het onderste deel van de atmosfeer, de troposfeer, worden teruggebogen naar de aarde. Ze worden ook wel aangeduid met de term *troposferische golven*. Daarnaast kennen we de *grond- of bodemgolven* en de *ruimtegolf*. De grondgolf verplaatst zich langs het aardoppervlak. Deze golf wekt stromen in de aarde op. Dat leidt tot vermogensverlies en daardoor verzwakt de golf snel. De verzwakking is het kleinst als de golf verticaal gepolariseerd is. Verticale polarisatie leidt tot minder aardstromen dan horizontale. Vermogensverliezen door aardstromen zijn ook groter, naarmate de frequentie hoger ligt.

Doordat de grondgolf vooral bij lagere frequenties de kromming van het aardoppervlak volgt met de bijbehorende verliezen, zijn er grote vermogens nodig om de golf over grote afstanden waarneembaar te houden. Hoe lager de frequentie, des te groter het bereik.

De *ruimtegolf* verdwijnt lang niet altijd in de ruimte. Vooral op de korte golf worden EM-golven in de hoogste laag van de atmosfeer, de *ionosfeer*, vaak teruggebogen naar de aarde.

We hebben nu twee van de vier lagen van de atmosfeer genoemd in verband met propagatie van EM-golven. We beschrijven ze hieronder kort.

- **De troposfeer** is de onderste laag, ongeveer 6 km dik in de poolgebieden en 16-18 km bij de evenaar. In deze laag bevindt zich ongeveer 80% van alle lucht.
- **De ionosfeer** is de hoogste en de meest ijle laag. De onderkant ligt op zo'n 80 km hoogte. De zonnestraling (in dit geval ultraviolet en [Röntgenstraling](#)) veroorzaakt ionisatie van de ijle lucht. Ionisatie is de omzetting van atomen en moleculen in elektrisch geladen deeltjes (zie bijvoorbeeld [Ionosfeer - Wikipedia](#)). De ijle geïoniseerde lucht veroorzaakt afbuiging van radiogolven en is daarmee van groot belang voor radioverbindingen, vooral op de midden- en korte golf. 's Nachts vermindert de ionisatiegraad, doordat de instraling van de zon dan ontbreekt.

Tussen deze twee lagen liggen de stratosfeer, ongeveer 40 km dik, en daarboven de mesosfeer van gemiddeld ruim 30 km dik.

Tabel 14.4-1 geeft een indruk van het soort golf dat bij welke frequenties belangrijk is. In werkelijkheid zijn de overgangen niet scherp. Amateurs maken bijvoorbeeld ook af en toe verbindingen met ruimtegolven tot in de 144 MHz-band (2 meter).

Tabel 14.4-1. Overzicht van frequentiebanden met golflengte, gebruik (onvolledig) en soort golf.

Band	Frequentie	Golflengte	Belangrijkste gebruiker(s)	Soort golf (overwegend)
VLf	<30 kHz	> 10 km	Navigatie	Bodemgolf (grondgolf)
LF	30-300 kHz	10 km – 1km	Omroep	Bodemgolf (grondgolf)
MF	300-3000 kHz	10 km – 100 m	Omroep, amateur	Bodemgolf (grondgolf)
HF	3-30 MHz	100 – 10 m	Omroep, amateur	Ruimtegolf
VHF	30-300 MHz	10 – 1 m	RTV, amateur	Directe golf, troposfeer
UHF	300 – 3000 MHz	1 m – 10 cm	RTV, amateur	Directe golf, troposfeer
SHF	3 – 30 GHz	10-1 cm	Radar, satelliet	Directe golf
EHF	30 – 300 GHz	1 cm – 1 mm	amateur Satelliet	Directe golf

14.4.5 Propagatie van VHF- en UHF-golven

Troposfeer

Voor de propagatie van VHF- en UHF-golven over veel grotere afstand dan zichtafstand is vooral de troposfeer van belang. Voor VHF kan ook de ionosfeer af en toe een rol spelen. Dat laatste komt ter sprake in de sub-paragraaf hierna.

De atmosfeer wordt naar boven toe steeds ijler. Als gevolg daarvan worden radiogolven iets afgebogen en is het bereik op VHF en UHF in het algemeen iets groter dan je op grond van de grafiek van Figuur 14.4-2 zou denken. Ook wordt de atmosfeer van beneden naar boven kouder. Gemiddeld is dat ongeveer 0,6 graden per 100 meter. Daardoor blijft bijvoorbeeld sneeuw op bergtoppen langer liggen dan op zeeniveau.

Maar soms is het omgekeerd. Dan ligt er een warmere luchtlaag boven een koudere. Zo'n situatie heet een *temperatuurinversie*. Inversie betekent omkering. In dit geval gaat het om een omkering van het temperatuurverloop met de hoogte. Langs deze temperatuurgrenslaag worden radiogolven teruggebogen naar de aarde. Het effect is ongeveer alsof er op de hoogte van de inversie een antenne is die op VHF of UHF het signaal opnieuw uitstraalt. In plaats van tientallen km kan het bereik van een VHF- of UHF-radiostation plotseling vele honderden km worden.

Inversies komen het meest voor als de luchtdruk aan het aardoppervlak relatief hoog is. In de winter kunnen inversies ook optreden als op het land sneeuw ligt met een koude luchtlaag erboven en warmere lucht vanaf de oceaan de koude lucht niet volledig verdrijft, maar er overheen stroomt. De koude luchtlaag “plakt”, zegt de meteoroloog dan.

Ook komt het voor dat een inversie in de onderste luchtlagen ontstaat door nachtelijke afkoeling. Doordat de hoogte van zulke *grondinversies* klein is, is de propagatie van VHF en UHF 's nachts vaak wel iets beter dan overdag, maar het effect is lang niet zo groot als bij een inversie in hogere luchtlagen.

14.4.6 Propagatie via de ionosfeer

Eigenschappen, ionisatie

De ionosfeer is ijl. De dichtheid neemt naar beneden weliswaar toe, maar op de grens met de mesosfeer is deze nog steeds maar een fractie van die aan het aardoppervlak.

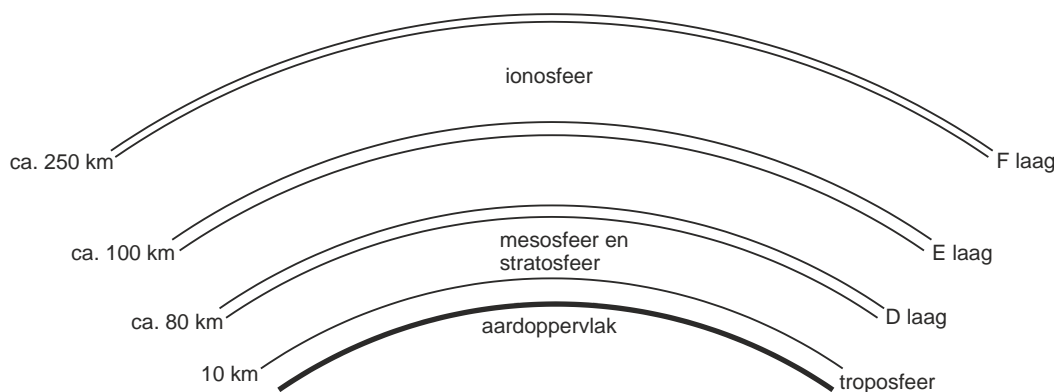
De zonnestraling is er nagenoeg ongefilterd en bevat naast zichtbaar licht veel straling van hoge energie als (ver) ultraviolet en Röntgenstraling. Er ontstaan vrije elektronen doordat de hoge stralingsenergie ze van hun atomen afsplitst. Een atoom of molecuul met een elektron te weinig is positief geladen. Dat heet een *positief ion*. Zulke ionen worden weer gewone gasdeeltjes als ze een vrij elektron oppikken. Dat laatste heet *recombinatie*. Ionen beïnvloeden EM-straling door reflectie (weerkaatsing) of absorptie (opname van stralingsenergie).

Hoe minder hoog, hoe minder ijl de lucht wordt en des te groter de concentratie aan deeltjes en losse elektronen. Daarmee gaat recombinatie van boven naar beneden steeds gemakkelijker, tot er in de mesosfeer nauwelijks nog langdurige ionisatie optreedt.

Er worden drie geïoniseerde lagen onderscheiden. Dat zijn:

- De D-laag, 70-80 km boven het aardoppervlak, bij de grens van ionosfeer en mesosfeer;
- De E-laag (Kennelly-Heaviside-laag), ongeveer 110 km boven het aardoppervlak;
- De F-laag (Appleton-laag), 250-280 km boven het aardoppervlak,

Figuur 14.4-3 brengt ze schematisch in beeld.



Figuur 14.4-3. De geïoniseerde lagen in de ionosfeer (niet op schaal; cursus 1999).

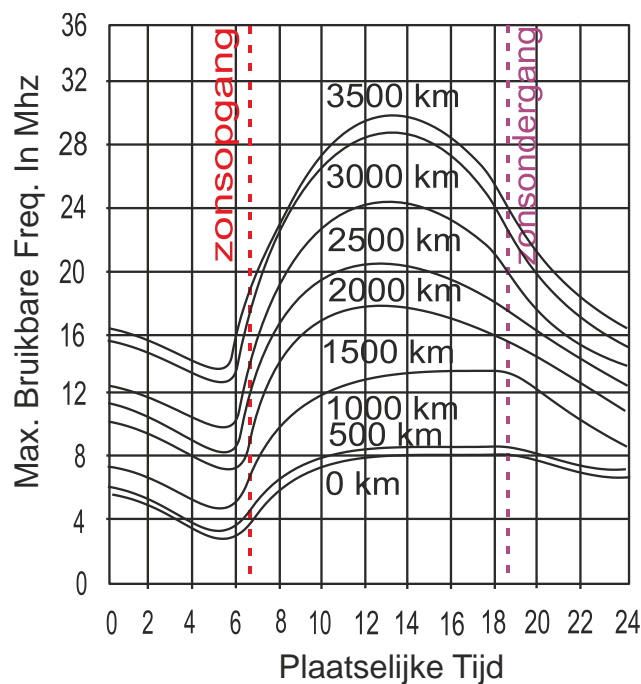
Van de D- en de E-laag wordt de mate van ionisatie sterk bepaald door de aan- of afwezigheid van zonnestraling. 's Nachts verdwijnen de ionen. Ook de F-laag dankt zijn ionisatie aan de zon, maar doordat recombinatie in de zeer ijle lucht op deze hoogte een traag proces is, is het verband met zonnestraling minder direct. Overdag splitst de F-laag zich op in twee lagen, de F1- en de F2-laag.

Ionosferische lagen en de voortplanting van EM-golven

Geïoniseerde lucht beïnvloedt de voortplanting van EM-golven van MF tot VHF, maar op verschillende wijze. Meestal gaat het om reflectie, soms om absorptie.

Ruimtegolven tot ongeveer 2 MHz worden overdag door de D-laag volledig geabsorbeerd. Gevolg: communicatie via de grondgolf tot zo'n 80 km. De D-laag lost na zonsondergang op. Dan kunnen EM-golven de F-laag bereiken, waarna via reflectie tegen die laag communicatie mogelijk is. Toen de middengolf nog *de* omroepband was, was redelijk bekend dat je verderaf gelegen omroepstations, bijvoorbeeld uit Italië, pas 's avonds na donker goed kon horen. De reflectie van EM-golven in de ionosfeer hangt af van factoren als

- Frequentie
- De elektronenconcentratie in de betreffende ionosfeerlaag
- De hoek waaronder de golf de laag treft: hoe vlakker de hoek, des te beter de reflectie.



Figuur 14.4-4. De reflecterende eigenschappen van de ionosfeer veranderen gedurende de dag (cursus 1999).

De ionisatiegraad in de ionosfeer en daarmee de kans op verre radioverbindingen op HF hangt ook samen met de zonneactiviteit. Het vuistregeltje is: actieve zon → veel mogelijkheden op HF en weinig actieve zon → weinig mogelijkheden op HF. De zonneactiviteit heeft invloed op onder meer de concentratie aan geladen deeltjes ("zonnwind") die door de zon het heelal in wordt geblazen en de hoeveelheid ioniserende straling. De zonne-activiteit varieert in een 11-jarige cyclus, de *zonnevlekkencyclus*. De activiteit van het moment is namelijk ongeveer te schatten aan het aantal zonnevlekken. Vandaar de naam. Veel vlekken betekent hoge activiteit; weinig of geen vlekken lage activiteit. Wie

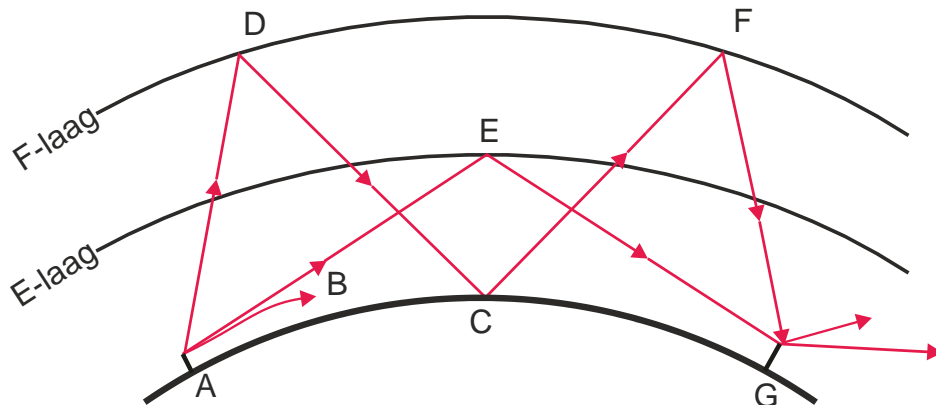
de activiteit van de zon wil volgen, kan bijvoorbeeld terecht op <https://www.spaceweather.com/>. De site is Amerikaans, dus Engelstalig.

In de zomer staat de zon veel hoger boven de horizon dan 's winters. Daardoor levert de zon 's zomers per m² veel meer vermogen dan 's winters. Dat heeft onder andere invloed op de E-laag. Die geeft in het zomerhalfjaar soms mogelijkheden voor verbindingen over enkele duizenden km op de hogere HF-frequenties en zelfs op VHF. Die laatste mogelijkheid duurt zelden lang. Het verschijnsel wordt wel aangeduid met de term *sporadische E*. Ook kan een hooggeïoniseerde E-laag verbindingen via de F-laag in de weg zitten doordat de E-laag de EM-golven reflecteert vóór ze de F-laag bereiken. Het resultaat is dan een korter bereik.

Fading

Wie naar radioverkeer op de korte golf luistert, zal het na verloop van tijd opvallen dat de signaalsterkte van stations in korte tijd sterk kan wisselen. Dat verschijnsel staat bekend onder de naam *fading*. Fading is vaak een gevolg van wisselingen in de ionisatietoestand en/of verandering van hoogte van lagen in de ionosfeer, maar kan ook ontstaan als een radiogolf via twee (of meer) verschillende wegen een ontvangstantenne bereikt. In dat geval is er sprake van een wisselend faseverschil tussen beide golven. Zijn ze in fase, dan versterken ze elkaar; zijn ze ongeveer in tegenfase, dan is sprake van verzwakking.

Figuur 14.4-5 laat zien hoe fading op verschillende manieren kan ontstaan.



Figuur 14.4-5. Het ontstaan van fading.

De zender in A zendt onder vele verticale hoeken EM-golven uit. Dat gebeurt bij elke antenne. De afstralingsrichting is nooit zo scherp gebundeld als bijvoorbeeld een laserstraal.

De golf van A via B naar C is een oppervlaktegolf. De golf AEG is een ruimtegolf die wordt weerkaatst door de E-laag. Een steiler uitgezonden ruimtegolf wordt in punt D gereflecteerd door de F-laag en wordt in C ontvangen. Bovendien wordt deze ruimtegolf gereflecteerd door het aardoppervlak, bereikt de F-laag opnieuw in punt F en wordt daar weerkaatst en ontvangen in G. Dat is een dubbele reflectie (Engels: *two-hop*



transmission). Het pad tussen zender en ontvanger kan een aantal van die reflecties bevatten (Engels: *multi-hop transmission*).

De in C ontvangen golf is de som van twee golven: de grondgolf via B en de weerkaatste ruimtegolf via D. Die hebben verschillende afstanden afgelegd. Zijn ze ongeveer in fase, dan geven ze samen een sterk signaal. Zijn ze ongeveer in tegenfase, dan zal het ontvangen signaal zwak zijn en zwakker naarmate beide golven minder in sterkte verschillen. Doordat bij de ruimtegolf de reflectiehoogte niet constant is, is het faseverschil dat ook niet. Bij een reflectiehoogte van zo'n 300 km en een golflengte van bijvoorbeeld 20 meter (bij zendamateurs *de* band voor werken op lange afstand, *DX*) hoeft de reflectiehoogte maar een heel klein beetje te veranderen voor 180 graden faseverschuiving.

Behalve grondgolf en weerkaatste ruimtegolf kunnen ook twee weerkaatste ruimtegolven samenkomen. Het steilere deel van de afstraling in punt A gaat via de F-laag. Het minder steile deel gaat via de E-laag. Als ze in punt G samenkomen, ontstaat fading door het samenkomen van die twee weerkaatste ruimtegolven. Zelfde oorzaak: veranderend faseverschil. Ook fading is het grootst als beide golven ongeveer even sterk zijn. Fading kan langzaam zijn, maar soms ook heel snel.

Er is ook *selectieve fading*. Die ontstaat als op de bandbreedte van een signaal een deel anders wordt beïnvloed dan een ander deel. Het is vooral bekend van AM. Dan kan de ene zijband verzwakt worden ten opzichte van de andere en treedt bij de demodulatie vervorming op.

Fading kan ook door tal van andere oorzaken in de hoge atmosfeer optreden. Enkele voorbeelden: magnetische storingen, veroorzaakt door zonne-uitbarstingen, sporadische ionisatie, Noorderlicht, enz. Noorderlicht of aurora, een vorm van ionisatie als gevolg van deeltjesstromen uit zonne-uitbarstingen, kan heel vreemde effecten opleveren met vervorming van stemgeluid, zoals hese of borrelende geluiden. Op VHF bijvoorbeeld wordt van Noorderlicht gebruik gemaakt om verbindingen te maken die anders maar zelden mogelijk zijn. CW is dan de meest "bedrijfszekere" methode.

14.5 Antennevarianties

14.5.1 Inleiding

In de amateurwereld kom je een veelheid aan antennevormen tegen. We zullen er in aanvulling op paragraaf 14.3 twee behandelen. Zie zijn voor het N-examen voldoende. Ook voor het F-examen worden niet alle antennevormen gevraagd.

In paragraaf 14.3 hebben we de midden- en eindgevoede dipool besproken. In deze paragraaf behandelen we

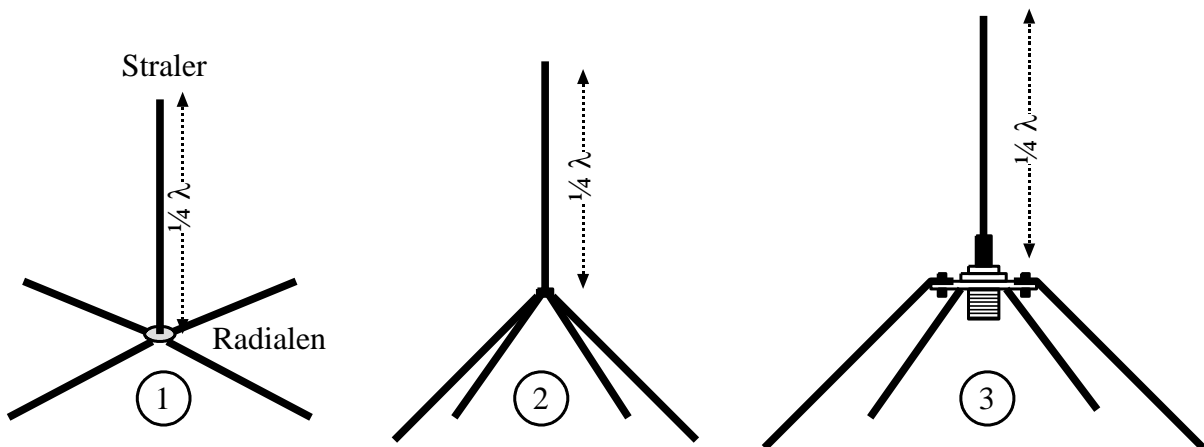
- De groundplane antenne
- Antennes met parasitaire elementen (de Yagi)

14.5.2 Verticale antennes (groundplane)

Een eerste gedachte bij dit onderwerp zou kunnen zijn: “zet een dipool op zijn kant en klaar is Kees”. Maar meestal zal zo’n verticale dipool evenwijdig zijn aan de metalen mast waarop of waaraan hij is gemonteerd. Dat geeft ongewenste beïnvloeding, verliezen en vooral verstemming. De omlaagwijzende punt van de dipool staat ook nog eens dichter bij de aarde dan de punt die omhoog staat. Dat gaat ten koste van de symmetrie. Dat laatste effect wordt minder naarmate de antenne, uitgedrukt in golflengten, hoger hangt of staat.

Maar meestal is een verticale antenne geen halve, maar een kwart golf lang. Een “ideale” aarde spiegelt het andere kwart erbij. In de praktijk moet de aarde een beetje geholpen worden, want die is geen echt goede geleider. Dat kan bijvoorbeeld met een geleidende ronde horizontale plaat met een straal van $\frac{1}{4}\lambda$ onderaan de antenne. In de praktijk volstaat een aantal geleiders van $\frac{1}{4}\lambda$ lang vanuit de onderkant van de antenne. Die noemen we meestal *radialen*, niet te verwarren met radialen bij hoeken (Hoofdstuk 2).

De uitvoering, waarbij de radialen een hoek van 90 graden maken met de straler, heeft op het voedingspunt tussen radialen en straler een impedantie van ruim 30 ohm. Als de hoek 135° is, is die 50 ohm. Daarmee past de antenne perfect aan op coax met een karakteristieke impedantie van eveneens 50 ohm. Figuur 14.5-1 laat beide uitvoeringen zien. Rechts één met coax-aansluiting. De binnenader van de voedingskabel is verbonden met de straler; de mantel met de radialen. De antenne is asymmetrisch. Er is geen balun nodig. Dit soort antenne staat bekend onder de naam *groundplane*.

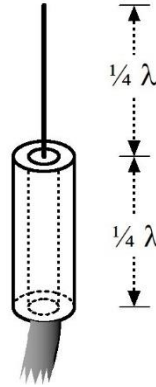


Figuur 14.5-1. Groundplane antenne. 1) met horizontale radialen; 2) met radialen onder een hoek van 135° met de straler; 3) uitvoering met coax-aansluiting.

De antenne kan in een mast worden gemonteerd, liefst bovenin, zodat de metalen mast niet “langs zij” komt. De radialen vormen de namaak-aarde. De afstraling van zo’n verticale antenne is bijna horizontaal. Dat kan een voordeel zijn bij ionosferische propagatie, want hoe vlakker de instraling op de reflecterende laag is, des te groter is de kans op reflectie. De antenne is rondom even gevoelig.

Het elektrische deel van het EM-veld staat verticaal. Daarom is de straling van een groundplane verticaal gepolariseerd. Hij wordt meestal voor VHF en UHF gebruikt.

Een variant op de groundplane is de *sleeve-antenne*. *Sleeve* betekent *mouw*. Kijk naar de afbeelding in Figuur 14.5-2 en de term zal duidelijk zijn.



Figuur 14.5-2. Sleeve-antenne

De radialen zijn vervangen door een geleidende bus, meestal van aluminium, $\frac{1}{4}\lambda$ lang vanaf het voedingspunt en rondom de coaxiale voedingskabel. De impedantie op het voedingspunt is bij dit soort antenne ongeveer 75 ohm. De binnenader van de coax is verbonden met de antenne, de mantel met de sleeve.

14.5.3 Antennes met parasitaire elementen

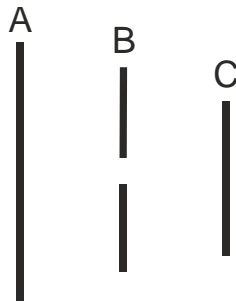
Parasitaire elementen zijn antenne-elementen evenwijdig aan de straler. Ze nemen een deel van de uitgestraalde energie op en stralen die opnieuw uit. Dat beïnvloedt het ruimtelijke stralingspatroon van de antenne. In de antennetechniek wordt dat verschijnsel toegepast om het uitgestraalde vermogen te bundelen. Daarmee wordt niet alleen meer vermogen uitgezonden in de gewenste richting, maar bij ontvangst is de antenne voor signalen uit diezelfde richting ook gevoeliger. De bundeling werkt dus bij zenden en ontvangen.

We beginnen met een dipool zoals die in subparagraaf 14.3.3. Wordt vlakbij een dipool een evenwijdige geleider (draad of staaf) geplaatst, dan ontvangt die de EM-golf van de antenne en straalt hem ook weer uit. Het faseverschil tussen ontvangen en (her)uitgezonden signaal hangt af van de lengte van de geleider en zijn afstand tot de straler. Is de geleider (iets) langer dan een halve golflengte, dan gedraagt hij zich inductief en zendt de golf iets vertraagd weer uit. Is hij korter dan een halve golflengte, dan gedraagt hij zich capacitief en zendt de golf versneld uit.

Een inductief element kan als reflector werken. Het wordt op een afstand tussen ongeveer 0,15 tot 0,25 golflengte parallel aan de straler geplaatst. Die afstand hangt af van de verhouding reflectorlengte/halve golflengte. De reflector straalt de ontvangen golf weer uit, maar met vertraging. Dat leidt ertoe dat deze naar achteren uitgestraalde golf ongeveer in tegenfase is met de golf die rechtstreeks van de straler komt. Naar achteren

leidt dat tot een flinke verzwakking, maar naar voren tot versterking, doordat bij de straler de gereflecteerde golf met de uitgestraalde golf ongeveer in fase is. De richting met versterkte uitstraling wordt *voor* genoemd en die met verzwakte uitstraling *achter*.

Een capacitief (korter) element werkt andersom. Het heet *director* en wordt vóór de straler geplaatst. Daarmee wordt de voorwaartse golf beter gebundeld. Zulke antennes hebben vaak meer dan één director, soms 10 of nog meer. Figuur 14.5-3 toont de opbouw van een antenne met drie elementen. Van groot naar klein zijn dat respectievelijk de reflector, de straler (in tweeën gedeeld voor de kabelaan sluiting) en een director.



Figuur 14.5-3. Halvegolf-straler (B) met links een reflector (A) en rechts een director (C) (cursus 1999)

Dit soort antennes heet Yagi-antenne, naar één van zijn twee uitvinders, de Japanse professoren Hidetsugu Yagi en Shintaro Uda. Hoewel Uda degene was die het meest aan de uitvinding bijdroeg, is de naam Yagi aan de antenne verbonden gebleven.

Voor/achterverhouding

Omdat een yagi zijn uitstraling bundelt, is de *voor/achterverhouding* van belang. Dat is de verhouding van de naar voren en naar achteren uitgestraalde vermogens.

Gain, antennewinst of antenneversterking

Deze drie termen betekenen hetzelfde: de verhouding van vermogen dat door een bepaalde antenne naar voren wordt uitgestraald en dat van een dipool bij dezelfde vermogensinput. Er zijn ook andere vermogensmaatstaven dan de dipool. Dat is geen N-examenstof; de F-cursus vertelt er meer over.



14.6 BIJLAGE: FREQUENTIEGEBIEDEN EN AMATEURBANDEN

Deze bijlage is niet bedoeld om uit je hoofd te leren.

Tabel 14.6-1. Overzicht van frequentiegebieden met benaming, frequentie en golflengte.

Benaming	Frequentie	Golflengte
VLF (Very Low Frequency)	Beneden 30 kHz	Boven 10 000 m
LF (Low Frequency)	30-300 kHz	10 000 – 1 000 m
MF (Medium Frequency)	300-3000 kHz	1 000 – 100 m
HF (High Frequency)	3-30 MHz	100 – 10 m
VHF (Very High Frequency)	30-300 MHz	10 – 1 m
UHF (Ultra High Frequency)	300 MHz – 3 GHz	1 m – 10 cm
SHF (Super High Frequency)	3 – 30 GHz	10-1 cm
EHF (Extremely High Frequency)	30 – 300 GHz	1 cm – 1 mm

Tabel 14.6-2. Overzicht van de amateurbanden van LF t/m UHF met frequentiegebied, golflengte en benaming. Stand van zaken in 2020.

Frequentiegebied	Golflengte gemiddeld	Benaming
135,7 - 137,8 kHz	2194 m	2200 meter
472,0 – 479,0 kHz	631 m	600 meter
1,810 – 2,000 MHz	157 m	160 meter
3,500 - 3,800 MHz	82 m	80 meter
5,3515 – 5,3665 MHz	56 m	60 meter
7,000 – 7200 MHz	42 m	40 meter
10,100 – 10,150 MHz	30 m	30 meter
14,000 – 14,350 MHz	21 m	20 meter
18,090 – 18,170 MHz	17 m	17 meter
21,000 – 21,450 MHz	14 m	15 meter
28,000 – 30,000 MHz	10 m	10 meter
50,000 – 50,500 MHz	6,0 m	6 meter
70,000 – 70,500 MHz	4,3 m	4 meter
144,00 – 146,00 MHz	2,1 m	2 meter
430,00 – 440,00 MHz	0,69 m	70 centimeter
1240,0 – 1272,0 MHz	0,24 m	23 centimeter
2300,0 – 2450,0 MHz	12,6 cm	13 centimeter



14.7 Opgaven

14.7.1 Opgave 14-1

Een zendstation zendt uit op 2 MHz. De golflengte bedraagt

- A. 2000 m
- B. 200 m
- C. 150 m
- D. 667 m

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking






14.7.2 Opgave 14-2

Een eindgevoede dipoolantenne kan het best worden aangesloten aan de zender via

- A. Een coaxkabel met een karakteristieke impedantie van 60 ohm
- B. Een coaxkabel met een karakteristieke impedantie van 50 ohm
- C. Een coaxkabel van 75 ohm
- D. Een lintkabel


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



14.7.3 Opgave 14-3

In het EM-veld van een halvegolf-dipool is/zijn vlak bij de antenne

- A. Het elektrische veld het sterkst in het midden en het magnetische veld bij de uiteinden
- B. Beide velden het sterkst rond het midden van de antenne
- C. Het magnetische veld het sterkst in het midden en het elektrische veld bij de uiteinden
- D. Beide velden het sterkst bij de uiteinden van de antenne


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



14.7.4 Opgave 14-4

De lengte van de radialen van een groundplane-antenne voor de 2-meterband is ongeveer:

- A. 0,5 meter
- B. 1 meter
- C. 2 meter
- D. 0,25 meter


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



14.7.5 Opgave 14-5

De lengte van een halve-golf-dipool voor de 7 MHz-band is ongeveer

- A. 10,2 m
- B. 20,5 m
- C. 41 m
- D. 14,9 m


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



14.7.6 Opgave 14-6

Bij een Yagi-antenne is

- A. De reflector even lang als de straler
- B. Een director langer dan de straler
- C. De reflector langer dan de straler
- D. De reflector korter dan de straler


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



14.7.7 Opgave 14-7

Het deel van een FM-station dat zou kunnen bijdragen aan de onderdrukking van harmonischen is:

- A. De eindtrap
- B. De staande-golfmeter (SWR-meter)
- C. De antenne-aanpassingseenheid (tuner)
- D. De voorversterker


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

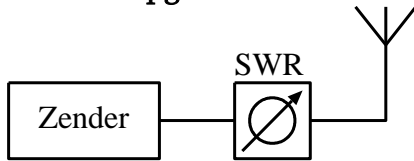


14.7.8 Opgave 14-8

De hoogste laag in de ionosfeer is de


- A. C-laag
- B. D-laag
- C. E-laag
- D. F-laag

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

14.7.9 Opgave 14-9

Een 50 ohm staande-golf-meter is met coaxiale kabels van 50 ohm opgenomen in de leiding tussen zender en antenne. De meter wijst 10 aan. Dit betekent dat

- A. De antenne juist is aangepast
- B. De zender juist is aangepast
- C. De zender veel vermogen levert
- D. De antenne zeer slecht is aangepast


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



14.7.10 Opgave 14-10

De eigenschappen van de ionosfeer bepalen in belangrijke mate de voortplanting van radiogolven in het frequentiegebied

- A. VHF
- B. HF
- C. UHF
- D. VLF


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



14.7.11 Opgave 14-11

De UHF-band bevat onder meer de frequentie

- A. 432 MHz
- B. 145 MHz
- C. 50 MHz
- D. 27 MHz


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



14.7.12 Opgave 14-12

Na zonsondergang worden vaak ver verwijderde stations in de 80-meterband hoorbaar. Dat komt, doordat

- A. Vooral de onderste lagen van de atmosfeer afkoelen
- B. De D-laag verdwijnt
- C. De E-laag actiever wordt
- D. De F1- en de F2-laag zich samenvoegen.


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



14.7.13 Opgave 14-13

Radiogolven met een frequentie van 14,1 MHz kunnen worden weerkaatst in de:

- A. Troposfeer
- B. Stratosfeer
- C. Mesosfeer
- D. Ionosfeer


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



14.7.14 Opgave 14-14

Een zendstation zendt uit op een golflengte van 10 m. De frequentie is:

- A. 300 MHz
- B. 30 MHz
- C. 3 MHz
- D. 300 kHz

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



14.8 Uitwerkingen van de opgaven

14.8.1 Uitwerking van Opgave 14-1

Opgave

Een zendstation zendt uit op 2 MHz. De golflengte bedraagt

- A. 2000 m
- B. 200 m
- C. 150 m
- D. 667 m

Uitwerking

De golflengte λ is te berekenen door de lichtsnelheid c te delen door de frequentie f :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

De lichtsnelheid c bedraagt 300 000 km/s. Omdat de uitkomst in m wordt gegeven, moet de lichtsnelheid worden omgezet naar m/s, dus $c = 300 \cdot 10^6$ m/s. $f = 2$ MHz = $2 \cdot 10^6$ Hz. Dan is

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6} \text{ m} = \frac{300}{2} \text{ m} = 150 \text{ m}$$

Antwoord C.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





14.8.2 Uitwerking van Opgave 14-2

De opgave

Een eindgevoede dipoolantenne kan het best worden aangesloten aan de zender via

- A. Een coaxkabel met een karakteristieke impedantie van 60 ohm
- B. Een coaxkabel met een karakteristieke impedantie van 50 ohm
- C. Een coaxkabel van 75 ohm
- D. **Een lintkabel**

Uitwerking

De aansluiting van een eindgevoede dipool is zeer hoogohmig en heeft geen aardaansluiting. Daarmee vervallen alle coaxiale opties en blijft de lintkabel over. Kijk desgewenst nog eens naar sub-paragraaf 14.3.8.

Antwoord D.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





14.8.3 Uitwerking van Opgave 14-3

In het EM-veld van een halvegolf-dipool is/zijn vlak bij de antenne

- A. Het elektrische veld het sterkst in het midden en het magnetische veld bij de uiteinden
- B. Beide velden het sterkst rond het midden van de antenne
- C. Het magnetische veld het sterkst in het midden en het elektrische veld bij de uiteinden**
- D. Beide velden het sterkst bij de uiteinden van de antenne

Uitwerking

In het midden van een halvegolf-dipoolantenne overheerst de stroom. Waar de grootste stroom loopt, is het magnetische veld het sterkst. Tussen de uiteinden staat de hoogste spanning. Daarom is het elektrische veld op zijn sterkst bij de uiteinden.

Antwoord C.

Opmerking

Op grotere afstand van de antenne zijn magnetische en elektrische veldsterkte alleen nog afhankelijk van de afstand tot de antenne. Het verschil in afstand tot het midden en tot de uiteinden van de antenne wordt dan verwaarloosbaar.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





14.8.4 Uitwerking van Opgave 14-4

De lengte van de radialen van een groundplane-antenne voor de 2-meterband is ongeveer:

- A. 0,5 meter
- B. 1 meter
- C. 2 meter
- D. 0,25 meter

Uitwerking

De lengte van de radialen van een groundplane-antenne is even groot als die van de straler, namelijk $\frac{1}{4}$ golflengte. Dan gaat de berekening als volgt

$$\text{lengte} \approx \frac{1}{4} * 2\text{m} \approx 0,5 \text{ m}$$

Antwoord A.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





14.8.5 Uitwerking van Opgave 14-5

De lengte van een halve-golf-dipool voor de 7 MHz-band is ongeveer

- A. 10,2 m
- B. 20,5 m**
- C. 41 m
- D. 14,9 m

Uitwerking

Bereken eerst de golflengte. Die is ongeveer $300/7$ m \approx 42 m. Een halve golflengte is dan de helft, ongeveer 21 m. Antwoord B komt het dichtst in de buurt (in de vraag staat *ongeveer!*).

Antwoord B



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





14.8.6 Uitwerking van Opgave 14-6

Bij een Yagi-antenne is

- A. De reflector even lang als de straler
- B. Een director langer dan de straler
- C. De reflector langer dan de straler**
- D. De reflector korter dan de straler

Uitwerking

De reflector is langer dan de straler en een director is korter dan de straler. Antwoord C.
Zie ook sub-paragraaf 14.5.3.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



14.8.7 Uitwerking van Opgave 14-7

Het deel van een FM-station dat zou kunnen bijdragen aan de onderdrukking van harmonischen is:

- A. De eindtrap
- B. De staande-golfmeter (SWR-meter)
- C. De antenne-aanpassingseenheid (tuner)**
- D. De voorversterker

Uitwerking

Als de impedantietransformator in de antenne-aanpassingseenheid een laagdoorlaatfilter is, kan hij bijdragen aan de onderdrukking van harmonischen. In de eindtrap worden juist harmonischen opgewekt (die meestal in een aanpassingsschakeling ook weer worden onderdrukt)

Antwoord C



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





14.8.8 Uitwerking van Opgave 14-8

De hoogste laag in de ionosfeer is de

- A. C-laag
- B. D-laag
- C. E-laag
- D. F-laag**

Uitwerking

De ionosfeer bevat geen C-laag, dus antwoord A valt meteen af. De letters voor de lagen staan in alfabetische volgorde van laag naar hoog. Dat moet de F-laag de hoogste zijn en dat is ook zo.

Antwoord D

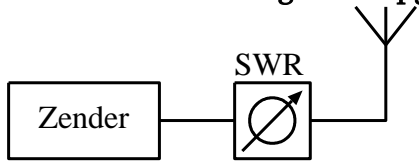


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



14.8.9 Uitwerking van Opgave 14-9



Een 50 ohm staande-golf-meter is met coaxiale kabels van 50 ohm opgenomen in de leiding tussen zender en antenne. De meter wijst 10 aan. Dit betekent dat

- A. De antenne juist is aangepast
- B. De zender juist is aangepast
- C. De zender veel vermogen levert
- D. De antenne zeer slecht is aangepast**

Uitwerking

Een staande-golf-verhouding $s=10$ betekent dat bijna alle vermogen wordt gereflecteerd en de antenne dus nauwelijks vermogen opneemt. Een goede aanpassing zou een SGV van 1 tot ongeveer 1,5 moeten hebben (2 is ook nog bruikbaar). Het goede antwoord is dus antwoord D. De drie andere antwoorden zijn gewoon onzin. Lees eventueel subparagraaf 14.3.9 nog eens door.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





14.8.10 Uitwerking van Opgave 14-10

De eigenschappen van de ionosfeer bepalen in belangrijke mate de voortplanting van radiogolven in het frequentiegebied

- A. VHF
- B. HF**
- C. UHF
- D. VLF

Uitwerking

Het frequentiegebied waarin ionosferische voorplanting van radiogolven het meest wordt bepaald door de ionosfeer is het HF-gebied. In het VHF-gebied komt het ook voor, maar niet vaak en dus niet 'in belangrijke mate'.

Dat betekent dat antwoord B goed is.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





14.8.11 Uitwerking van Opgave 14-11

De UHF-band bevat onder meer de frequentie:

- A. 432 MHz
- B. 145 MHz
- C. 50 MHz
- D. 27 MHz

Uitwerking

Van deze 4 frequenties valt 27 MHz in het HF-gebied, 145 en 50 MHz in het VHF-gebied en 432 MHz in het UHF-gebied.

Antwoord A.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





14.8.12 Uitwerking van Opgave 14-12

Na zonsondergang worden vaak ver verwijderde stations in de 80-meterband hoorbaar. Dat komt, doordat

- A. Vooral de onderste lagen van de atmosfeer afkoelen
- B. De D-laag verdwijnt**
- C. De E-laag actiever wordt
- D. De F1- en de F2-laag zich samenvoegen.

Uitwerking

Overdag worden de radiogolven in de 80-meterband geabsorbeerd door de D-laag. Als die na zonsondergang verdwijnt, kunnen radiogolven in de 80-meterband worden gereflecteerd door andere lagen in de ionosfeer. Dan kun je ook op 80 meter verre stations horen.

Antwoord B.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





14.8.13 Uitwerking van Opgave 14-13

Radiogolven met een frequentie van 14,1 MHz kunnen worden weerkaatst in de:

- A. Troposfeer
- B. Stratosfeer
- C. Mesosfeer
- D. Ionosfeer**

Uitwerking

14,1 MHz hoort tot de 20-meterband, HF dus. De belangrijkste reflecterende lagen voor deze band liggen in de ionosfeer.

Antwoord D.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





14.8.14 Uitwerking van Opgave 14-14

Een zendstation zendt uit op een golflengte van 10 m. De frequentie is:

- A. 300 MHz
- B. 30 MHz**
- C. 3 MHz
- D. 300 kHz

Uitwerking

De frequentie f is te berekenen door de lichtsnelheid c te delen door de golflengte λ :

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

De lichtsnelheid c bedraagt $300\,000\text{ km/s}$. Omdat de uitkomst in m wordt gegeven, moet de lichtsnelheid worden omgezet naar m/s, dus $c = 300 \cdot 10^6\text{ m/s}$. $\lambda = 10\text{ m}$. Dan is

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{300 \cdot 10^6}{10}\text{ MHz} = 30 \cdot 10^6\text{ Hz} = 30\text{ MHz}$$

Antwoord B.



Terug naar de opgave