

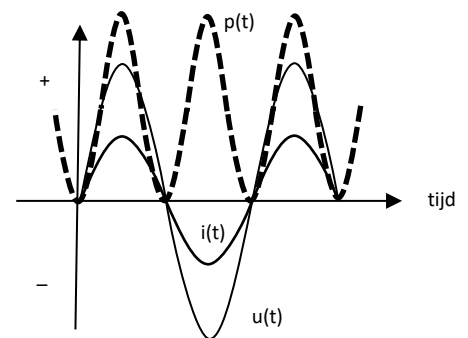
Verschil in fasedraaiing tussen elektrische en magnetische velden bij spoelen en condensatoren en bij Elektro-Magnetische (EM-) velden.

Bij spoelen en condensatoren is in het vakgebied van de Elektrotechniek bekend dat de spanning en stroom onderling een faseverschil (in tijd) hebben van 90° . Bij EM-straling vanaf antennes (in de vrije ruimte) is deze fasedraaiing juist 0° . Hoe kan daar verschil in zitten?

Uitgangspunt: Als een E-Veld zich verplaatst dan ontstaat een M-veld.

Bij spoelen en condensatoren bestaat de relatie van een spanning ten gevolge van het verschil in aantal elektronen, het potentiaal verschil. De krachtwerking is dan vanuit het E-veld van de elektronen. Als elektronen door deze kracht gaan bewegen is er sprake van een elektrische stroom, en dus een verplaatsend E-veld en een bijbehorend M-veld.

Bij gewone weerstanden is de fasedraaiing tussen de sinusvormige wisselspanning over de weerstand en de stroom door de weerstand 0° . Daarmee is er sprake van Watt vermogen, met 2 x de frequentie van de spanning (of stroom). Zie nevenstaand figuur p(t).



Zie ook onderstaand de wet van Ohm.

$$u_R(t) = Ri(t) \quad [\text{V}] \quad \{1\}$$

Het gemiddelde Watt vermogen wordt berekend met de volgende formule (uitgedrukt met effectieve waarden voor U en I):

$$P = UI \cos \phi \quad [\text{W}] \quad \{2\}$$

Het Watt vermogen (active power) is bij 0° fasedraaiing altijd positief. Het gemiddelde Watt vermogen is 0,5 x het maximale Watt vermogen.

Bij spoelen en condensatoren is de fasedraaiing 90° tussen de sinusvormige wisselspanning (lees E-veld) over en stroom (lees M-veld) door het betreffende component. Dit is te zien uit onderstaande formules {1} en {2} die komen vanuit de wetten van Maxwell:

$$u_L(t) = L \frac{di(t)}{dt} \quad [\text{V}] \quad \{3\}$$

en

$$i_C(t) = C \frac{u(t)}{dt}. \quad [\text{A}] \quad \{4\}$$

Als een geladen condensator en een spoel parallel worden gezet, zal de energie vanuit het E-Veld een M-veld in (en rond) de spoel veroorzaken en omgekeerd. Daarbij is de fasedraaiing tussen de spanning en stroom volgens formules {3} en {4} precies 90° . Zie ook onderstaand figuur (relatie spanning over de condensator en de betreffende stroom).

Het zal opvallen dat het vermogen p(t), ook hier de dubbele frequentie heeft van de spanning en stroom. Het vermogen wordt hier positief en negatief. Bij positief vermogen wordt energie in de

condensator opgenomen (de condensator wordt opgeladen), en bij een negatief vermogen vloeit energie uit de condensator weer weg.

Omdat de spoel het tegenovergestelde gedrag vertoont, betekent dit dus dat de condensator energie geeft aan de spoel, die op dat moment de energie opneemt enz. Het gemiddelde vermogen P [W] is dus volgens formule {2} nul. Omdat er toch sprake is van een spanning en stroom wordt het vermogen uitgedrukt in 'Blind vermogen' [VAR] (reactive power), volgens de formule:

$$Q = UI \sin \phi \quad [\text{VAR}] \quad \{5\}$$

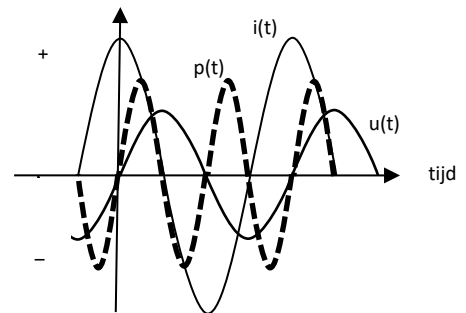
De frequentie waarbij het sinusvormige signaal optreedt in een LC circuit is:

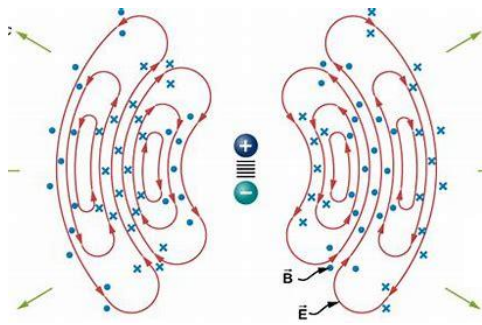
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{Hz}] \quad \{6\}$$

Omdat in bovenstaand de E- en M-velden in elkaar overgaan bij een fasedraaiing van 90° , is er derhalve geen energieverlies (bij ideale spoelen en condensatoren). Het eenmalig voeden van een condensator is genoeg om het proces eeuwig te laten doorgaan.

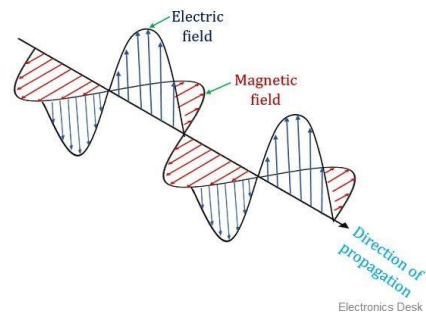
Radiogolven die vanuit een zendantenne in de vrije ruimte bewegen gedragen zich geheel anders. In eerste instantie is de gedachtegang dat de zendantenne feitelijk een LC circuit is, waarbij de fasedraaiing tussen de spanning en de stroom ook 90° zal zijn. Op zich klopt dat ook, maar er zijn nu specifieke eigenschappen die nader bekeken moeten worden. Bij een zendantenne is er sprake van 2 E-velden, één in de elektriciteitsdraad en één buiten de elektriciteitsdraad. Dit laatste E-veld is vrij zwak bij een lange antenne en wordt sterker bij een kortere antenne. De lengte van de antenne is een halve golflengte. De antenne is dan in resonantie. (De antenne wordt dus steeds effectiever als de frequentie hoger wordt en de antenne steeds korter bij een resonantie van halve golflengte).

Als bij een sinusvormig signaal de elektronen naar boven zijn geduwd, zal de bovenkant van de antenne een negatief potentiaal hebben t.o.v. de onderkant. Daardoor ontstaat het sinusvormige E-veld tussen de boven- en onderkant van de antenne. Ten gevolge van dit E-veld zal de stroom weer omkeren en een sinusvormige M-veld veroorzaken. Het M-veld veld is als een cirkel om de antennedraad heen en valt weer terug op de antennedraad en zal daardoor haar energie weer teruggeven aan de draad. Dat geldt ook voor het E-veld IN de draad van de antenne, precies zoals bij een LC circuit. In de antenne slingert het E- en M-veld heen en weer. Alles met een fasedraaiing van 90° tussen de spanning (E-veld) en stroom (M-veld). Maar dit gebeurt niet voor het E-veld BUITEN de draad. Dat E-veld verwijderd zich met de snelheid van het licht van de antennedraad en komt niet meer terug (was bij de antenne geen onderdeel van een gesloten lus, maar wordt dat verderop wel. Zie onderstaand figuur). **Het E-veld verplaatst zich dus en is feitelijk een 'stroom' en zal daardoor een M-veld veroorzaken, loodrecht op en in fase met het E-veld (zie bovenstaand 'uitgangspunt').** Dat M-veld heeft daarom niets te maken met het M-veld van de antenne. Dat laatste M-veld ontstaat dus wel maar zakt terug op de antenne om de energie van het M-veld terug te geven aan de antenne.





University Physics



Het van de antenne verwijderende EM-veld is sinusvormig. **Dat sinusvormige gedrag is dus niet een in zichzelf veroorzakend slingergedrag van het EM veld, zoals bij een LC circuit, maar het sinusvormige gedrag komt van het E-veld bij de antenne dat daar sinusvormig is en vervolgens vanaf de antenne met de lichtsnelheid zich verwijderd. Het patroon wordt dus vooraf opgedrukt en verandert onderweg niet meer.** (Een stilstaande waarnemer op enige afstand van de antenne ziet dus wel een sinusvormig signaal voorbij komen).

Bij het EM-veld zijn de E- en M-velden dus met elkaar in fase, en daarmee is er ook sprake van Watt vermogen, waarbij de E- en M-velden beiden positief gericht zijn of beiden negatief gericht in het x-y assenstelsel. Het vermogen is dus altijd positief (product E en M), en dus is er sprake van Watt vermogen. Zie ook Poynting vector. Deze EM-velden worden daarom aangeduid met EM-straling (EM-radiation). Zie verder op bv Wikipedia de [Maxwell vergelijkingen](#) en de [Poynting vector](#).

Feitelijk is dit Watt vermogen afkomstig van de antenne en komt in de EM-straling terecht . In de EM-straling zit dus het totale vermogen dat vanuit de antenne komt en zich verplaatst als EM-straling. Als een antenne bv 1 kW vermogen afgeeft gedurende 2 uur is, dat is dat aan energie 2 kWh. Het signaal vanuit de antenne is in een bepaald patroon rond de antenne aanwezig, maar voor het gemak even een bol. De totale hoeveelheid energie zit dus in de inhoud van de bol, in dit voorbeeld 2 kWh. Zolang er geen objecten zijn zoals ontvangantennes, zal er geen energieverlies zijn.

Nog om uit te zoeken: Omdat EM straling overal aanwezig is en afkomstig is van miljarden zonnen, zou het maar zo kunnen zijn dat de achtergrondstraling feitelijk de totale energie is die in het heelal aanwezig is, afkomstig van alle zonnen ed die EM straling geven, sinds het ontstaan van het heelal. Klopt dat?