

1. Inleiding.

Aanleiding tot het voorstellen van deze bijdrage is de vaststelling dat heel wat publicaties inclusief een aantal op internet het magneet veld bij magnetisch loop antennes op een **foute wijze voorstellen**. Deze voorstelling heeft implicaties m.b.t. de constructie van die antennes en hun rendement, meer bepaald voor hun afstraling.

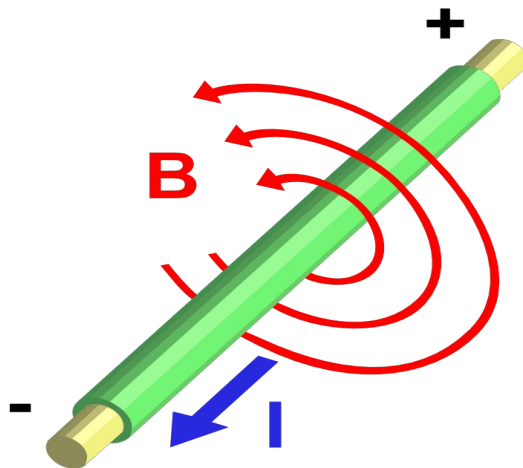
Een en ander blijkt een gevolg van een “**schoolse**” voorstelling, die als volgt is samen te vatten :
” In loop antennes is de stroom tussen de condensator platen onderbroken, dus is daar geen magneetveld aanwezig, enkel een elektrisch veld.”

Op internet was ooit een filmpje te vinden waarbij de aanwezigheid van het magneetveld rond de loop werd aangetoond met een stroom tang. Het elektrisch veld in de omgeving van de condensator werd aangetoond door het oplichten van een TL lamp. Dergelijke bevindingen/of voorstellingen zouden het afstralen van loop antennes verklaren.

Achterliggende informatie m.b.t. dit alles is terug te vinden in de **wet van Ampère**, geïllustreerd in onderstaande figuur. Bemerkt dat het magneetveld circulair is rond de geleider en in een vlak loodrecht erop. De richting van de veldvector (B) is te vinden op grond van de rechterhand regel. De grootte (B) van het veld is in deze configuratie afhankelijk van de afstand (R) tot de geleider:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R} \quad (1)$$

waar μ_0 : permeabiliteit van lucht/vacuum.



Het verband (1), bekend als de wet van **Ampère** (1826), blijkt exact in “ klassieke” DC en AC stroomkringen, maar, zoals grondige studie en experimenten aantonen, vergt die wet aanvulling wanneer in stroomkringen **condensatoren** voorkomen, en, meer algemeen, overal waar wisselende elektrische velden een rol spelen.

De noodzaak van die aanvullingen werden pas duidelijk grond van werk van **Faraday en Maxwell** (1831-1878). Precies het ontbreken van een dergelijke aanvulling ligt tot op heden aan de basis van verspreide foutieve voorstellingen omtrent het functioneren van magnetic loop antennas.

2. Het magneetveld in/bij de afstemcondensator in loop antennas

Even herhalen: de verspreide misvatting inzake het verloop/profiel van het magneetveld in/bij loop antennas vindt haar oorsprong in de idee dat tussen de platen van de condensator geen stroom loopt, dus, dat daar geen magneetveld aanwezig is”. Zie vgl. (1).

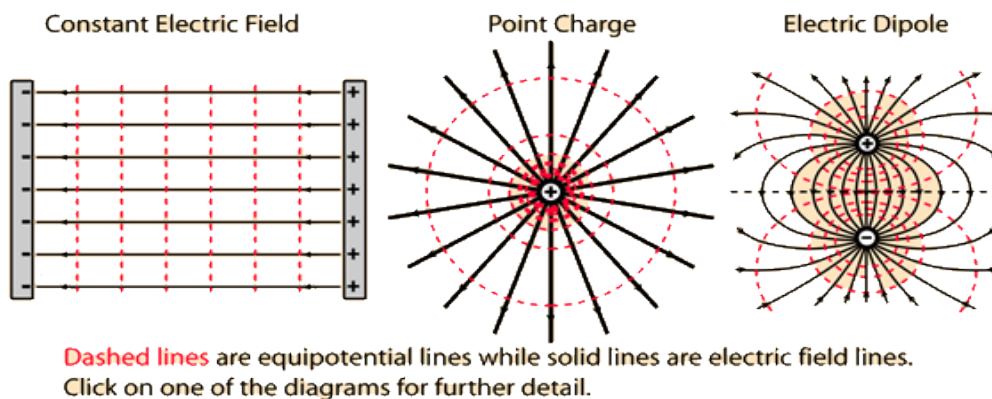
Bij nader toezicht blijken stromen in een condensator bevattende wisselstroomketen inderdaad laad en/of ontlad stromen te zijn, van de condensator platen weg of er naar toe, maar nooit een stroom die doorloopt tussen de platen van de condensator. **Nauwkeurige metingen** tonen echter aan dat in de omgeving van de afstemcondensator precies hetzelfde magneetveld aanwezig is als rond de loop geleiders. Het is de verdienste van Maxwell dat de continuïteit van dat magneetveld over de volledige loop omtrek is aangetoond. Dit is wat hierna wordt verduidelijkt.

Van het **allergrootste belang** voor wat volgt, is de notie dat elektrische (E) en magnetische (B) velden **gerichte grootheden** zijn (vandaar de pijl of vector voorstelling). Precies die eigenschap speelt een rol bij het functioneren bij de vormgeving van loop antennas.

Om de ideeën op te frissen is hieronder een toelichting gegeven hoe de configuratie van het elektrisch veld (E) rond specifieke ladingsverdelingen eruit ziet, met de definiërende vergelijking als volgt :

$$\vec{E} = \frac{d\vec{F}}{dQ} \tag{2}$$

waar Q: de lading



In de richting waarin de veldlijnen divergeren neemt het veld af, en omgekeerd bij convergerende veldlijnen. Op grond hiervan ziet men in dat de **grootte** (“sterkte”) van het elektrisch veld (E) constant is in het homogeen veld, zoals tussen de platen van een condensator :

$$E = V/S \tag{3}$$

waar V het potentiaalverschil tussen de platen voorstelt, S de afstand tussen de platen. De definiërende vergelijking voor de condensator capaciteit (C) luidt :

$$C = \frac{dQ}{dV} \tag{4}$$

en zo verder, voor de laad/ontlaad stroom (i) van de condensator :

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad (5)$$

Op grond van de betrekkingen (3), (4) en (5) kan men dus stellen dat bv. de laadstroom van de condensator beantwoordt aan :

$$i = \frac{dQ}{dt} = \frac{C \cdot dV}{dt} \quad (6)$$

maar, daar in het homogeen E veld tussen de condensator platen ook geldt dat :

$$dV = S \cdot dE \quad (7)$$

en dat men de capaciteit C in vgl.6 ook nog uitdrukken in termen van afmetingen van de condensator en de dielectrische constante :

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{S} \quad (8)$$

met A de grootte van het plaat-oppervlak, volgt voor vgl. 6 achtereenvolgens :

$$i = \frac{dQ}{dt} = \frac{C dV}{dt} = \frac{C S dE}{dt} = \frac{\epsilon_0 A S dE}{S dt} \quad (9)$$

Wanneer men er nu ook rekening mee houdt dat de grootte $E \cdot A$ de flux Φ_E voorstelt van het elektrisch E veld tussen de condensator platen, dan vereenvoudigt vgl. 9 zich tot :

$$i = \frac{\epsilon_0 d\Phi_E}{dt} \quad (10)$$

Op grond van dimensies in vgl. 10 moeten we in navolging van Maxwell dus stellen dat veranderende elektrische velden equivalent zijn met stromen, **inclusief het afstralen van magnetische velden**. Op die manier is de **continuïteit** van het nabije magneetveld rond loop antennes en hun afstemcondensator aan te tonen. Het feit dat het magneetveld tussen de platen van de condensator een **vector (gerichte grootte)** is, en zich aldus **samenstelt** met het veld gegenereerd door overige loop bestanddelen, heeft uiteraard gevolgen voor de globale afstraling ervan.

Nota: Effecten van verplaatsingsstromen zoals deze tussen de platen van condensatoren zijn richting gebonden, m.a.w. afhankelijk van de geometrie en plaatsing. Dergelijke effecten laten zich vooralsnog niet simuleren. Voor simulaties worden antenne elementen, de z.g. "stralers", verdeeld in segmenten waarin eventueel aanwezige R,L,C belastingen ("loads") tot punten zijn gereduceerd. M.a.w. de simulaties houden nooit rekening met de vorm en/of afmetingen van die loads.

Case Study 1 : MEANDER LOOP



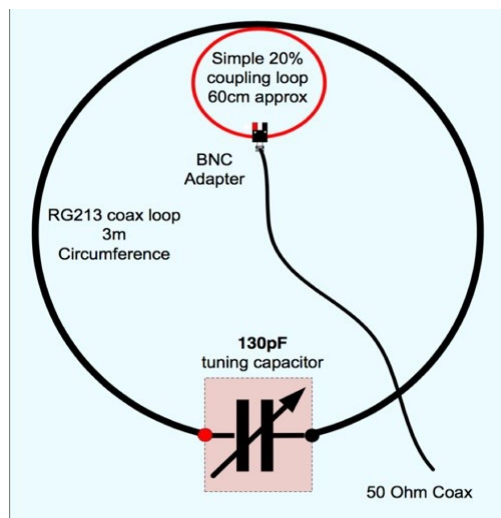
Het “meanderen” heeft tot doel de loop-lengte te vergroten en daarmee de **stralingsweerstand** en de **efficiëntie** van de antenne, terwijl de omtrek van de loop behouden blijft.

Het ontwerpt, steeds aannemend dat de loop omtrek kleiner is dan $0,1 \lambda$, houdt er echter geen rekening mee dat aanpalende meander delen loodrecht op het vlak van de loop worden doorlopen door stromen gelijk in grootte maar **tegengesteld in richting**, zodat de magneetvelden rond die delen tegengesteld zijn van richting en elkaar op zekere afstand opheffen (wet van Ampère). Dit is precies wat we nastreven, b.v. bij gebruik van “twin” feeder kabel.

De enige meander delen die effectief deelnemen aan de afstraling zijn deze die parallel zijn met het vlak van de loop, voor zover de stromen er in fase zijn. De totale lengte van die delen en de stralingsweerstand ervan zijn daarom merkkelijk kleiner dan deze bereikt met gebruikelijke loop configuraties. Het gevolg laat zich raden !

Nota: elders, i.e. in het UHF en SHF gebied, kunnen meander antennes wel degelijk nuttig zijn, zowel om elektrische als mechanische redenen. Zie onderstaande literatuur referenties.

Case Study 2 : HET MONTEREN VAN DE AFSTEMCONDENSATOR



Belangrijke eigenschappen van loop antennes zijn de kwaliteitsfactor en/of frequentie selectiviteit. De kwaliteitsfactor van de loop als serie RLC-schakeling beantwoordt aan de betrekking :

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (11)$$

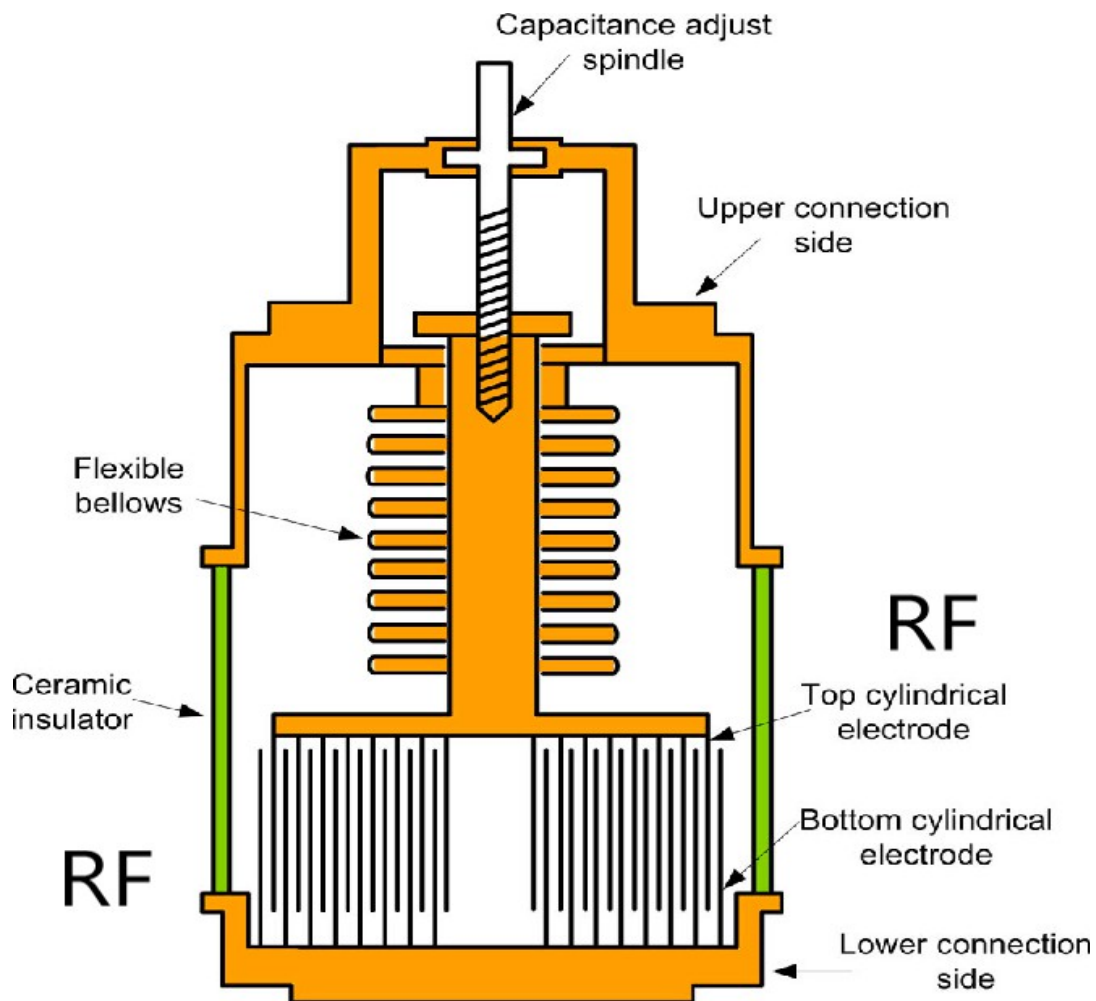
waar R : de som voorstelt van de (Ohmse -) verliesweerstand(en) en de stralingsweerstand.

L is de inductantie van de loop en C de afstemcapaciteit. Om R te minimaliseren is het dus zaak alle Ohmse verliezen zo klein mogelijk te maken.

Noteer m.b.t. bovenstaande figuur dat door de coaxiale montage van de afstemcondensator en de bijhorende verplaatsingsstroom (zie vgl. 10) het nabije magneetveld **uniform** is qua grootte en oriëntatie over de gehele loop omtrek. Dit is uiteraard niet het geval bij gebruik van onderstaande of gelijkaardige opstellingen, waar vervorming van het veld onvermijdelijk is (om nog niet te praten over Ohmse verliezen ..).



Case Study 3 : VERPLAATSINGSSTROOM BIJ VACUUM CONDENSATOREN



Vacuüm condensatoren worden gebruikt omwille van hun mechanisch stabiliteit, hoge doorslagspanning en minimale verliezen. Hun functioneren is gebaseerd op in elkaar schuivende cilindrische elektroden. Bovenstaande figuur stelt een verticale doorsnede van een dergelijke condensator voor.

Bemerkt dat het E-veld tussen de verticale elektroden tegengesteld gericht is aan beide zijden van de symmetrie as (“spindle”), en zo ook de verplaatsingsstromen (vgl. 10) met hun bijhorende magneetvelden. Het resultaat – om reden van symmetrie - is dat die magneetvelden elkaar opheffen. Blijft evenwel het elektrisch veld tussen de “top and bottom disc electrodes”. Het resulterende E-veld is verticaal en **axiaal symmetrisch**.

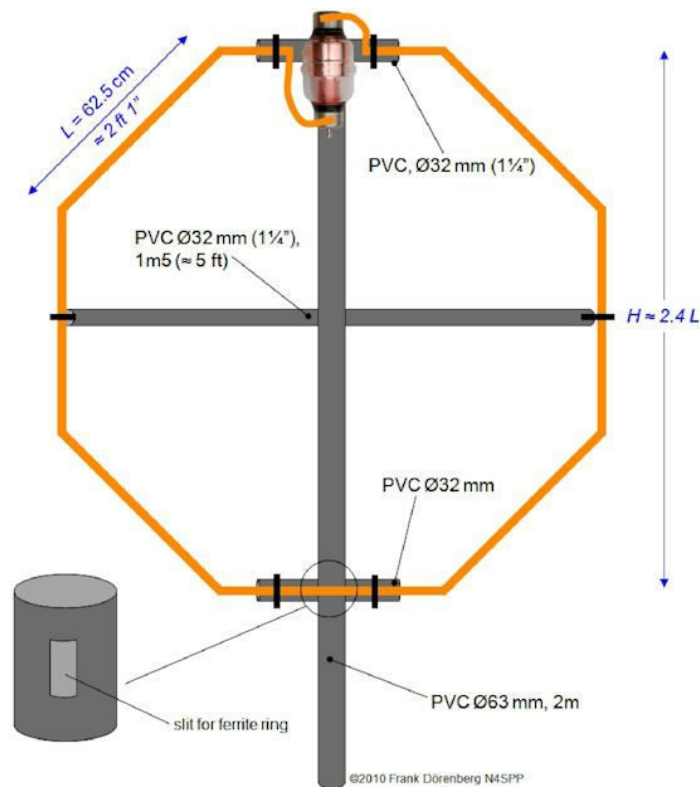
Op grond hiervan bemerkt men dat de verplaatsingsstroom en het bijhorend magneetveld precies op dezelfde manier georiënteerd zijn als bij gebruik van parallelle plaat afstemcondensatoren. Men heeft er dus belang bij heeft de vacuüm **condensator coaxiaal te monteren** met de loop: op die manier minimaliseert men de vervorming van het afgestraalde magneetveld (B).

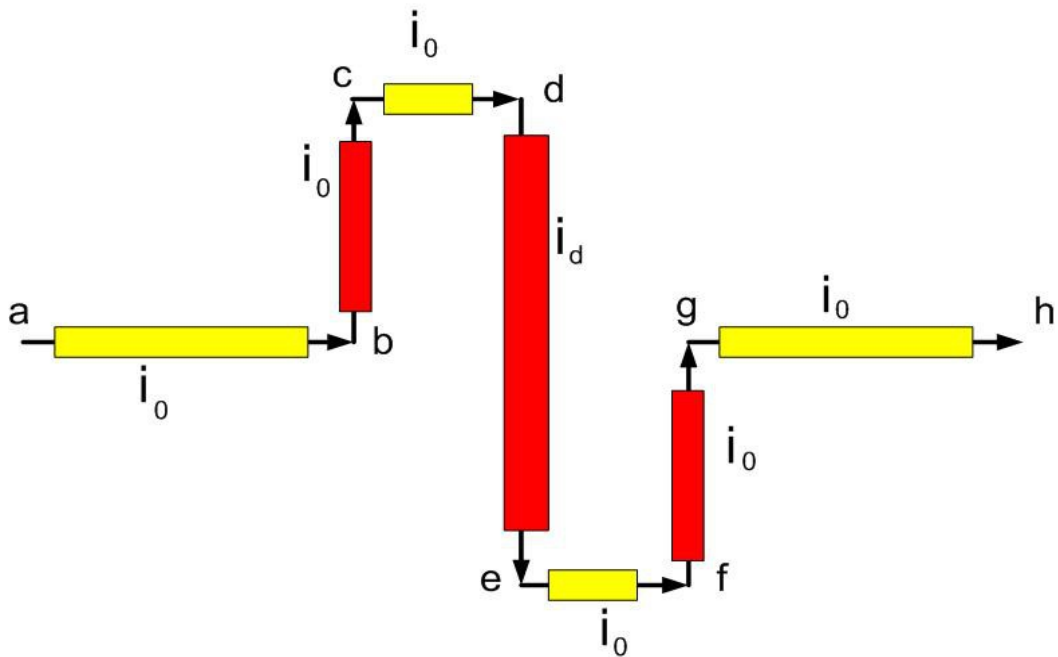
Een dergelijke montage is mogelijk (zie hierop volgende foto) maar mechanisch/elektrisch niet bepaald eenvoudig, reden waarom men meestal zijn toevlucht neemt tot de verbindingwijze hierna voorgesteld.



De afstemcondensator is in bovenstaande uitvoering coaxiaal gemonteerd en aangedreven door een servomotor. De motor aandrijving is uitgevoerd via een bekabeling inwendig verwerkt in de loopgeleider.

Een eenvoudiger en veelzijdig toegepaste configuratie, die bovendien geen al te grote vervorming van het B-veld met zich brengt, is deze voorgesteld in onderstaande figuur.





Noteer: i_d is de verplaatsingsstroom, in overeenstemming met vgl. 10, i_0 de laad/ontlaad stroom. De vervorming van het nabije magneetveld als gevolg van de niet coaxiale montage van de condensator is hier minimaal, zoals verduidelijkt in bovenstaand schema : de rood gekleurde lijnen bc, de, en fg stellen geleiders voor waarin stromen van tegengestelde richting lopen, waardoor opgewekte magneetvelden elkaar opheffen. Enkel de geel gekleurde geleiders cd en ef dragen bij tot het resulterende magneetveld, zodat de “knik” in dat veld minimaal is.

Noteer dat gelijkaardige effecten optreden bij gebruik van “vlinder” op “split-stator” afstemcondensatoren.

CONCLUSIES

- voorstellingen in publicaties en op internet als zou in de omgeving van de afstemcondensator in loop antennes een discontinuïteit (onderbreking) van het nabije magneetveld optreden is **fundamenteel fout**;
- tussen de platen van de afstemcondensator veroorzaakt een RF elektrisch veld een veranderend magneetveld; het RF elektrisch veld is fysisch gelijkwaardig met een stroom (vgl. 10), vandaar de benaming “verplaatsingsstroom” of “displacement current”;
- onoordeelkundige plaatsing van de afstemcondensator veroorzaakt onvermijdelijk **vervorming** (een “ knik”) van/in het afgestraalde magneetveld.
- effecten van verplaatsingsstromen laten zich vooralsnog **niet aantonen met antenne berekening programma's**.

=====