



Inhoudsopgave

4	Condensatoren en spoelen	4-3
4.1	Wat leer je in dit hoofdstuk	4-3
4.2	Elektrische en magnetische velden	4-3
4.2.1	Elektrische velden	4-3
4.2.2	Magnetische velden	4-7
4.3	Condensatoren	4-9
4.3.1	Opbouw	4-9
4.3.2	Eenheid van capaciteit en gedrag van een condensator.....	4-10
4.3.3	Schemasymbool, elco's.....	4-11
4.3.4	Doorslagspanning	4-11
4.3.5	Uitvoeringen van condensatoren	4-11
4.4	Spoelen	4-14
4.4.1	Schemasymbool.....	4-14
4.4.2	Inductie en zelfinductie	4-14
4.4.3	Gedrag van een zelfinductie (enkele spoel) vergeleken met dat van een condensator.....	4-15
4.4.4	De eenheid van zelfinductie	4-16
4.4.5	Wat bepaalt de zelfinductie van een spoel?.....	4-16
4.5	Weerstanden in combinatie met condensatoren of spoelen	4-17
4.5.1	Inleiding.....	4-17
4.5.2	Weerstanden met condensatoren.....	4-18
4.5.3	Weerstanden en spoelen (zelfinducties)	4-19
4.5.4	Een belangrijke gevolgtrekking.....	4-20
4.6	Parallel- en serieschakeling van condensatoren en spoelen	4-20
4.6.1	Verschil tussen parallel- en serieschakeling.....	4-20
4.6.2	Parallelschakeling van condensatoren, vervangingscapaciteit.....	4-21
4.6.3	Serieschakeling van condensatoren	4-22
4.6.4	Parallelschakeling van spoelen.....	4-23
4.6.5	Serieschakeling van spoelen	4-23



4.6.6	Samenvattend overzicht	4-24
4.7	Opgaven (pijlen hebben dezelfde betekenis als in hoofdstukken 2 en 3)	4-25
4.7.1	Opgave 4-1	4-25
4.7.2	Opgave 4-2	4-26
4.7.3	Opgave 4-3	4-27
4.7.4	Opgave 4-4	4-28
4.7.5	Opgave 4-5	4-29
4.7.6	Opgave 4-6	4-30
4.7.7	Opgave 4-7	4-31
4.7.8	Opgave 4-8	4-32
4.8	Uitwerkingen	4-33
4.8.1	Uitwerking van Opgave 4-1	4-33
4.8.2	Uitwerking van Opgave 4-2	4-34
4.8.3	Uitwerking van Opgave 4-3	4-35
4.8.4	Uitwerking van Opgave 4-4	4-36
4.8.5	Uitwerking van Opgave 4-5	4-37
4.8.6	Uitwerking van Opgave 4-6	4-38
4.8.7	Uitwerking van Opgave 4-7	4-39
4.8.8	Uitwerking van Opgave 4-8	4-40

4 Condensatoren en spoelen

4.1 Wat leer je in dit hoofdstuk

In hoofdstuk 3 hebben we onder meer kennis gemaakt met weerstanden. Die zetten elektrische energie om in warmte. In dit hoofdstuk maken we kennis met twee andere veelgebruikte onderdelen of componenten. Dat zijn condensatoren en spoelen. Ze vormen in de meeste eigenschappen elkaars tegendeel, maar hebben ze één ding gemeen. Ze slaan elektrische energie op en kunnen die ook weer als elektrische energie teruggeven in plaats van warmte. Waarom dat nuttig is, zullen we vooral in hoofdstuk 5 zien. In dit hoofdstuk gaat het meer om de eigenschappen zelf.

Condensatoren gebruiken een elektrisch veld, spoelen een magnetisch veld om energie op te slaan. We beginnen dan ook met elektrische en magnetische velden. Daarna bekijken we het gedrag van elektrische, respectievelijk magnetische velden in condensatoren en spoelen, hoe ze uit spanning of stroom worden opgebouwd en terug worden omgezet in spanning of stroom. Ook zullen we het (kort) hebben over het afschermen van elektrische en magnetische velden. We gaan ook in op het gedrag van condensatoren en spoelen in combinatie met weerstanden. Je maakt net als bij weerstanden kennis met parallel- en serieschakeling van beide. We beperken ons in dit hoofdstuk tot situaties met soms veranderende gelijkstroom en –spanning. Wisselstroom en –spanning in combinatie met weerstanden, condensatoren en spoelen komen in hoofdstuk 5 aan de orde.

4.2 Elektrische en magnetische velden

4.2.1 Elektrische velden

In hoofdstuk 3 zagen we dat elektrische stroom verplaatsing van elektronen is. Die zijn negatief geladen. In een atoomkern zitten protonen. Die hebben een positieve lading. De lading van 1 elektron compenseert die van 1 proton. Een atoom heeft evenveel elektronen als protonen. De netto lading van een atoom is dus 0.

Positieve en negatieve ladingen trekken elkaar aan. Gelijke ladingen stoten elkaar af. Doordat elektronen om de atoomkern draaien, blijven negatieve elektronen op afstand van de positieve kern. Dat lijkt een beetje op een satelliet of de maan die om de aarde draait of de aarde die om de zon draait.

De eenheid van lading, symbool Q is de coulomb, afgekort C, bekend van hoofdstuk 2 en 3.

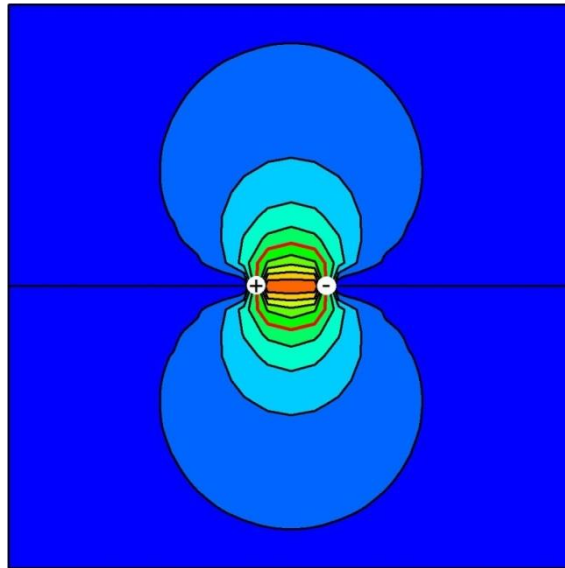
Een positieve lading is een tekort aan elektronen. Wiskundig gezien is dat hetzelfde als een overschot aan protonen. Bij negatieve lading zijn er meer elektronen dan protonen.

Het krachtenveld tussen elkaar aantrekkende of afstotende elektrische ladingen noemen we een *elektrisch veld*. Worden de ladingen verbonden door een weerstand, dan ontstaat stroom en het ladingsverschil verdwijnt. Het elektrische veld verdwijnt daarmee ook.

Door de stroom is de weerstand iets warmer geworden. Het elektrische veld is omgezet in warmte. Warmte is een vorm van energie. Dan is een elektrisch veld ook een vorm van energie, want energie verschijnt niet vanzelf en verdwijnt niet vanzelf. Ook dat is een behoudswet, net als de wetten van Kirchhoff in hoofdstuk 3.

Een elektrisch veld heeft *veldlijnen* die van een positieve naar een negatieve lading lopen. Zo'n lijn kun je zien als de baan die een andere lading, zou volgen als die zich vrij zou kunnen bewegen. Het aantal veldlijnen tussen twee ongelijke ladingen is oneindig en een elektrisch veld strekt zich oneindig ver uit. Je kunt het bijna in zijn geheel hanteerbaar klein 'opbergen' tussen twee tegengesteld geladen platen. We gaan zien hoe dat werkt.

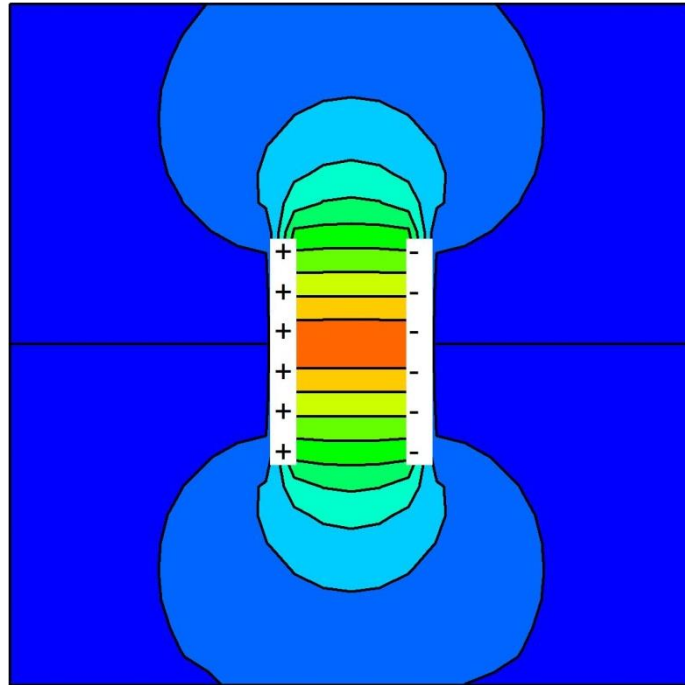
Figuur 4.2-1 laat een elektrisch veld zien tussen twee tegengesteld geladen punten, vereenvoudigd tot een tweedimensionaal plaatje door die twee punten. Een veld is in werkelijkheid driedimensionaal. Elke kleur in Figuur 4.2-1 vertegenwoordigt 10% van de energie van het veld. De scheidingslijn tussen twee kleuren is een veldlijn. Het hele veld zit niet binnen het vierkant, maar strekt zich naar alle kanten oneindig ver uit. Het donkerblauwe deel is de verste 10% van het veld. Het plaatje toont vooral vlak bij de + en – iets hoekige lijnen omdat het vrij grof berekend is, maar dat is genoeg om de vorm te laten zien.



Figuur 4.2-1. Elektrisch veld van twee tegengestelde puntladingen, aangegeven door de witte cirkeltjes. Gebieden van dezelfde kleur boven en onder het midden bevatten samen 10% van de energie van het totale veld. 50% van het veld ligt binnen de rode kromme lijn. De andere 50% ligt er dus buiten.

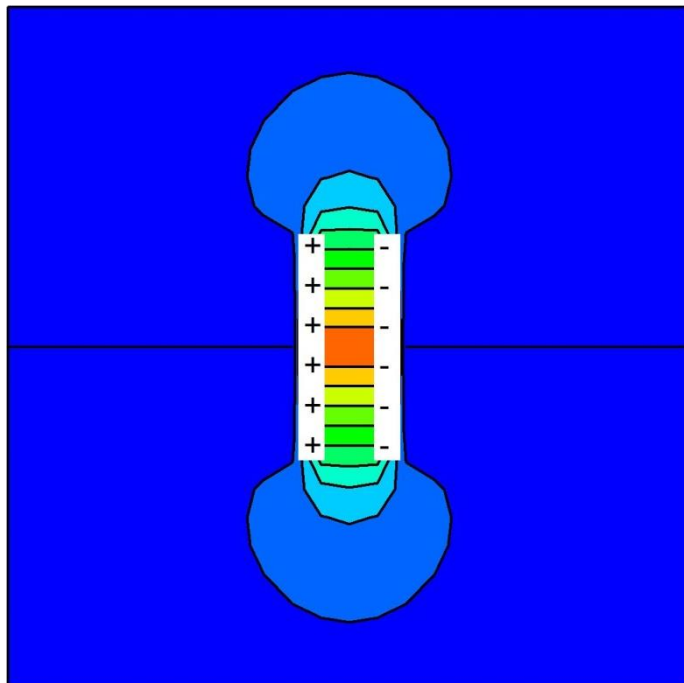
Vlak bij de ladingen zit de meeste energie, veraf veel minder. Dat zie je aan de met de afstand toenemende ruimte tussen de veldlijnen. In het kleine oranje stukje in het midden zit net zo veel als in het grote donkerblauwe gebied dat zich oneindig ver buiten de figuur uitstrekt.

Vervangen we de puntladingen in Figuur 4.2-1 door evenwijdige platen, dan ontstaat de opbouw van een condensator (Figuur 4.2-2). Op doorsnede horen de platen eruit te zien als lijnen, maar door de berekening over 'maar' 900 beeldpunten lijken het rechthoeken.



Figuur 4.2-2. Dwarsdoorsnede door een elektrisch veld tussen twee platen (wit getekend) met tegengestelde lading. Door de grove benadering zien de platen er op doorsnee uit als rechthoeken. Gebieden van dezelfde kleur bevatten elk 10% van de energie van het totale veld.

Tussen de platen zien we vrijwel rechte veldlijnen, maar een groot deel van het veld ligt min of meer buiten de platen. Met de halve afstand tussen de platen ontstaat Figuur 4.2-3.

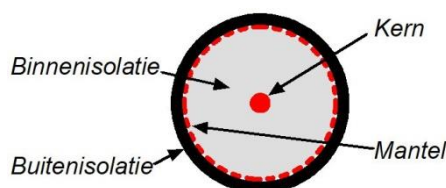


Figuur 4.2-3. Dwarsdoorsnede door een elektrisch veld tussen twee platen met tegengestelde lading, maar dichter bij elkaar dan in Figuur 4.2-2. Door de grove benadering zien de platen er ook hier op doorsnee uit als rechthoeken. Tussen twee opeenvolgende getekende veldlijnen ligt steeds 10% van het totale veld.

De uitstulping van het elektrisch veld buiten de platen in Figuur 4.2-3 is kleiner dan in Figuur 4.2-2. Naarmate de platen van een condensator dichterbij elkaar komen, wordt het veld naar binnen getrokken. Een condensator vertoont zo het omgekeerde gedrag van een tompouce. Als je een tompouce samendrukt, bijvoorbeeld door erin te bijten, komt de vulling eruit. Bij een condensator wordt die bij samendrukken naar binnen ‘gezogen’.

Je kunt deze eigenschap van een elektrisch veld ook gebruiken om delen van een schakeling af te schermen. Afscherming voorkomt dat delen van een schakeling elkaar via een veld beïnvloeden. Zet tussen die delen een geleidend plaatje, verbonden met een vaste spanning. Dat trekt het veld naar zich toe en de verschillende delen ‘zien’ elkaar niet meer of in elk geval een stuk minder goed. Als ‘minder goed’ niet goed genoeg is, kan een schakeling ook in zijn geheel worden *ingeblijkt*, zoals elektronici dat wel noemen.

Een goed voorbeeld van afscherming is coaxkabel (Figuur 4.2-4). De mantel, meestal van gevlochten koperdraad, scheidt elektrisch gezien de kern van de buitenwereld. Kern en buitenwereld kunnen elkaar zo niet beïnvloeden. De mantel ligt meestal aan massa en wordt ook gebruikt als leiding voor retourstroom.



Figuur 4.2-4. Coaxkabel in dwarsdoorsnee. Rood is geleidend materiaal, grijs en zwart isolerend.

4.2.2 Magnetische velden

Vrijwel iedereen heeft wel eens met magnetisme van doen gehad, al is het maar de magneetsluiting van een keukenkastje of een magnetische schroevendraaier. Een magneet trekt stukjes ijzer, nikkel of sommige andere materialen aan die meestal ijzerhoudend zijn.

We onderscheiden

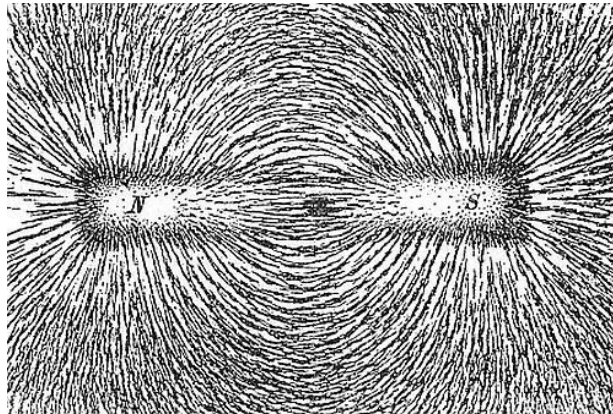
- Permanente magneten. Die zijn altijd magnetisch. De grootste permanente magneet in onze omgeving is de aarde zelf.
- Tijdelijke magneten die alleen magnetisch zijn als ze door een elektrische stroom magnetisch worden gemaakt.

De invloedssfeer van een magneet heet *magnetisch veld* of korter *magneetveld*. Net als een elektrisch veld heeft een magnetisch veld veldlijnen. Het magnetisch veld van de aarde ligt bij benadering noord-zuid. Zoals een elektrisch veld een plus- en een minrichting heeft, heeft een magneetveld een noord- en een zuidrichting. Die richting kun je zichtbaar maken met een kompas. De wijzer (kompasnaald) is een magneet die draaibaar is opgesteld of opgehangen. De kompasnaald draait zich in de richting van de veldlijnen. De 'noordpool' wijst ongeveer naar het noorden, de 'zuidpool' ongeveer naar het zuiden.

Hieruit blijkt dat magneten elkaar onderling beïnvloeden. Gelijke magneetpolen stoten elkaar af, ongelijke trekken elkaar aan, net als elektrische ladingen. Dat is te zien in het [filmpje over aantrekken en afstoten](#) (aanklikken). Als de noordpool van een kompas naar het noorden wijst, is de magnetische noordpool magnetisch gezien een zuidpool. Deze benamingen zijn een erfenis uit een ver verleden, toen men magnetisme vooral als iets geheimzinnigs zag. Plus en min zou logischer zijn geweest.

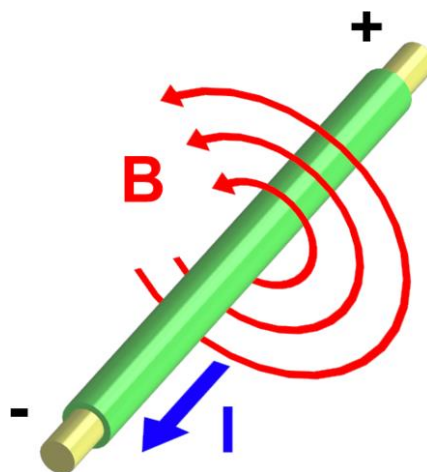
Een magnetisch veld kan worden gebundeld door materiaal dat het veld goed geleidt. Dat materiaal kan ijzer zijn, maar ook nikkel, ijzerhoudende mineralen zoals magnetiet (de naam zegt het eigenlijk al!) of ferrietten. Dat zijn keramische materialen. De naam voor magnetisch geleidingsvermogen is *magnetische permeabiliteit*. Het filmpje over [magnetische permeabiliteit](#) (aanklikken) laat het verschijnsel zien.

Een magnetisch veld heeft net als een elektrisch veld een sterkte (*veldsterkte*) en op elke plaats een richting. In het [filmpje daarover](#) (aanklikken) is dat te zien. Daarin wordt magnetietgruis gebruikt. Met ijzervijlsel gaat het ook. Figuur 4.2-5 laat een oude tekening zien.



Figuur 4.2-5. Een tekening van ijzervijzel in een magnetisch veld uit een oud leerboek. 'S' staat voor zuid (South).

We zagen in het filmpje permanente magneten. Met een elektrische stroom kun je ook een magnetisch veld maken. Als die stroom door een draad loopt, ontstaat een magnetisch veld rondom de draad, loodrecht erop. (Figuur 4.2-6.) De cirkelvormige rode lijnen geven de richting van het veld aan. Dat is de richting waarin een kompasnaald zich zou richten als het aardmagnetisch veld er niet mee zou concurreren. Wel kun je gemakkelijk vaststellen dat een draad waar stroom doorheen loopt, de richting van een nabije kompasnaald verandert. De richting van de naald ligt dan ergens tussen de richting van het veld rond de draad en die van het aardmagnetisch veld.



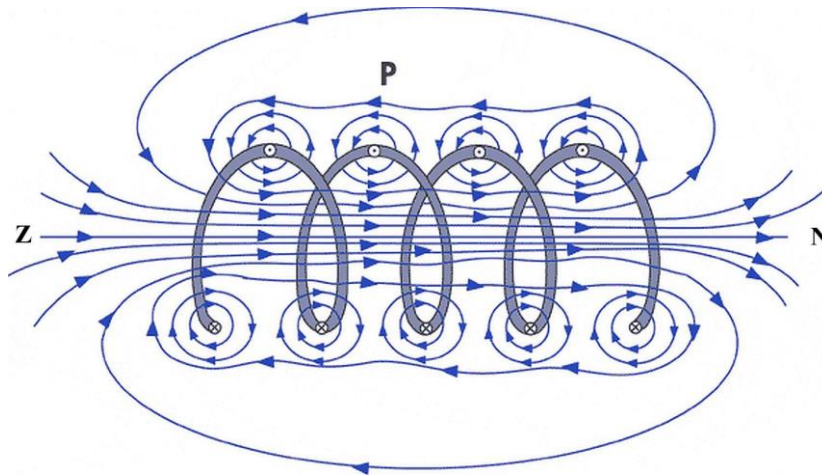
Figuur 4.2-6. Het magnetisch veld (B) rond een stroomvoerende draad. Bij de aangegeven stroomrichting draait een theoretisch gewichtloos noordpooltje in de pijlrichting om de draad (geen examenstof). (https://nl.wikipedia.org/wiki/Magnetisch_veld).

Als de stroomrichting (blauwe pijl in Figuur 4.2-6) wordt omgekeerd, keert ook het magnetisch veld om. De rode pijlpunten in Figuur 4.2-6 moeten dan dus in de andere richting worden getekend. De omkering van stroom en het bijbehorende magnetische veld kunnen we zien in een [filmpje](#) (aanklikken).

Samengevat voor Figuur 4.2-6 (geen examenstof):

- Stroom naar je toe: veld linksom.
- Stroom van je af: veld rechtsom.

Een spoel is een opgewikkelde draad. Het is eigenlijk een voortdurende herhaling van dezelfde draad. Het laat zich raden dat daardoor het magnetisch veld van een spoel bij dezelfde stroomsterkte sterker is dan dat van een enkele draad (Figuur 4.2-7).



Figuur 4.2-7. Het magnetisch veld van een spoel.

Als we in een spoel een magnetisch permeabel materiaal aanbrenge, wordt het veld van de spoel sterker. Zo maken we een *elektromagneet*. Samenvattend: met een stroom door een enkele draad maken we een magnetisch veld, met een spoel maken we een sterker veld en met een permeabele kern in de spoel maken we een nog sterker veld. Dit is te zien in het filmpje over [elektromagnetisme](#) (aanklikken).

Afscherming van magnetische velden wordt toegepast om dezelfde reden als afscherming van elektrische velden. Zoals je voor een afscherming van een elektrisch veld goed elektrisch geleidend materiaal nodig hebt, heb je voor afscherming van een magnetisch veld goed magnetisch geleidend materiaal nodig. Anders gezegd: materiaal met een hoge magnetische permeabiliteit.

Daarvoor bestaan speciale metaallegeringen (mengsels) die bekend staan onder de naam *mu-metaal*. Meer informatie (geen examenstof) vind je op

<https://nl.wikipedia.org/wiki/Mumetaal>. Mu-metaal is, zoals de naam zegt, metaal.

Daarom is het ook elektrisch geleidend en schermt het elektrische velden ook nog eens redelijk af. Ferrieten kunnen ook voor magnetische afscherming worden gebruikt. Ze zijn echter niet elektrisch geleidend en een elektrisch veld gaat er gewoon doorheen.

4.3 Condensatoren

4.3.1 Opbouw

Een condensator slaat elektrische energie in de vorm van lading op in een elektrisch veld. Een condensator bestaat uit tegengesteld geladen platen van geleidend materiaal, zoals we

in Figuur 4.2-2 en Figuur 4.2-3 zagen. Het elektrisch veld zit praktisch helemaal opgesloten tussen de platen. Die platen zijn soms, met isolerend materiaal ertussen, samen in een rolletje opgewikkeld of de platen zijn met isolatie ertussen om en om gestapeld.

De platen heten ook wel *elektroden*. De isolerende laag tussen de elektroden heet *diëlektricum*. Een goed, maar weinig gebruikt Nederlands woord is *tussenstof*.

De *capaciteit* C van een condensator bepaalt hoeveel lading Q in de condensator kan worden opgeslagen bij een spanning U over de condensator. Hoe groter de capaciteit, des te groter is de lading bij een bepaalde spanning.

4.3.2 Eenheid van capaciteit en gedrag van een condensator

De eenheid van capaciteit is de farad (F). Bij een lading van 1 coulomb staat over een condensator van 1 farad een spanning van 1 V. In de elektronica is de farad eigenlijk een te grote eenheid. Tabel 4.3-1 toont de gebruikelijke eenheden.

Tabel 4.3-1 Gebruikelijke eenheden van capaciteit in de elektronica

Eenheid	Naam	Waarde in F
μF	microfarad	10^{-6} F
nF	nanofarad	10^{-9} F
pF	picofarad	10^{-12} F

Voor het verband tussen capaciteit C , lading Q en spanning U over de condensator geldt:

$$Q = UC \quad (4.3-1)$$

Wordt een condensator opgeladen met een constante stroom, dan loopt de spanning gelijkmatig op, want stroom is lading per tijd. Hoe snel, is evenredig met de stroomsterkte en omgekeerd evenredig met de capaciteit.

Je kunt dat vergelijken met het oppompen van een fietsband en een tractorband. Bij de tractorband heb je veel meer lucht nodig om de band op een bepaalde druk (spanning te krijgen dan bij de fietsband.

Wordt een ideale condensator verbonden met een ideale spanningsbron, dan neemt de condensator in 0 seconden de spanning van de bron over. In de werkelijke wereld duurt dat iets langer, afhankelijk van het soort condensator.

De capaciteit C van een condensator hangt af van

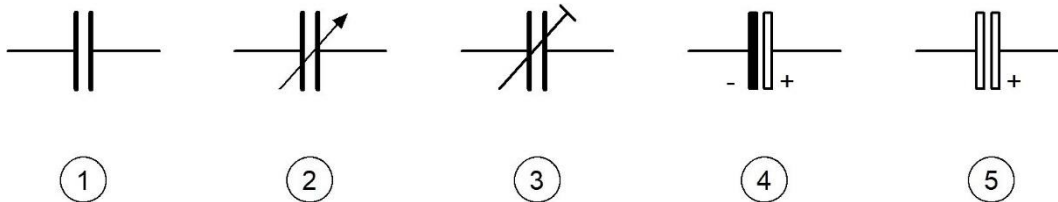
- De oppervlakte A van de platen
- De afstand d tussen de platen
- De eigenschappen van het diëlektricum (tussenstof)

C is evenredig met A en omgekeerd evenredig met d . Met andere woorden: maak de plaatoppervlakte 2x zo groot en de capaciteit wordt ook 2x zo groot. Maak de afstand d tussen de platen 2x zo groot en de capaciteit wordt 2x zo klein.

Elk diëlektricum heeft andere eigenschappen Die komen tot uiting in de *diëlektrische constante*. De term komt in examenopgaven een enkele keer voor. De waarde voor luchtledig is 1, voor lucht vrijwel 1, maar kan voor sommige isolerende stoffen 10 of meer bedragen. Bij gebruik van een diëlektricum met een diëlektrische constante van 10 wordt de capaciteit 10x zo groot als bij eenzelfde constante van 1. Een isolator doet hier dus mee bij een elektrisch verschijnsel!

4.3.3 Schemasymbool, elco's

Het schemasymbool voor een condensator verraadt de opbouw met twee platen (Figuur 4.3-1). Het diëlektricum kan lucht zijn, maar ook een andere stof. Uit het schemasymbool blijkt dat meestal niet, behalve bij elektrolytische condensatoren (nummer 4 en 5 in Figuur 4.3-1).



Figuur 4.3-1. Schemasymbolen voor condensatoren. 1: vaste condensator; 2: variabele condensator; 3: instelbare condensator (heet ook trimcondensator of trimmer) 4: elektrolytische condensator (elco), oud; 5: elektrolytische condensator (elco), modern symbol.

De elektrolytische condensator, in het spraakgebruik meestal *elco* genoemd, heeft een plus- en een min aansluiting. Het diëlektricum binnen de condensator wordt gevormd via een elektrochemische reactie. Omkering van de polariteit van de aangesloten spanning vernielt daarom het diëlektricum en de condensator. De capaciteit van een elco is heel hoog; in de orde van 10 tot vele honderden μF .

4.3.4 Doorslagspanning

Als de spanning over een condensator te groot wordt, dan wordt het elektrisch veld in het diëlektricum zo sterk dat elektronen eruit worden 'losgetrokken'. Er brandt een gat in het diëlektricum. Het is een bliksemontlading in het klein. Sommige soorten zijn zelfherstellend. Op condensatoren is de maximale spanning vrijwel altijd aangegeven.

4.3.5 Uitvoeringen van condensatoren

De toepassing bepaalt vaak de keuze van een condensator. Soms is aan de uiterlijke vorm te zien, om wat voor soort condensator het gaat. Foto 4.3-1 toont enkele voorbeelden van vaste condensatoren. Foto 4.3-2 toont enkele instelbare condensatoren, bedoeld voor éénmalige instelling. Foto 4.3-3 toont enkele uitvoeringen van elco's. Foto 4.3-4 toont twee variabele condensatoren met een as waarop een draaiknop kan worden gezet om ze tijdens gebruik te kunnen instellen.

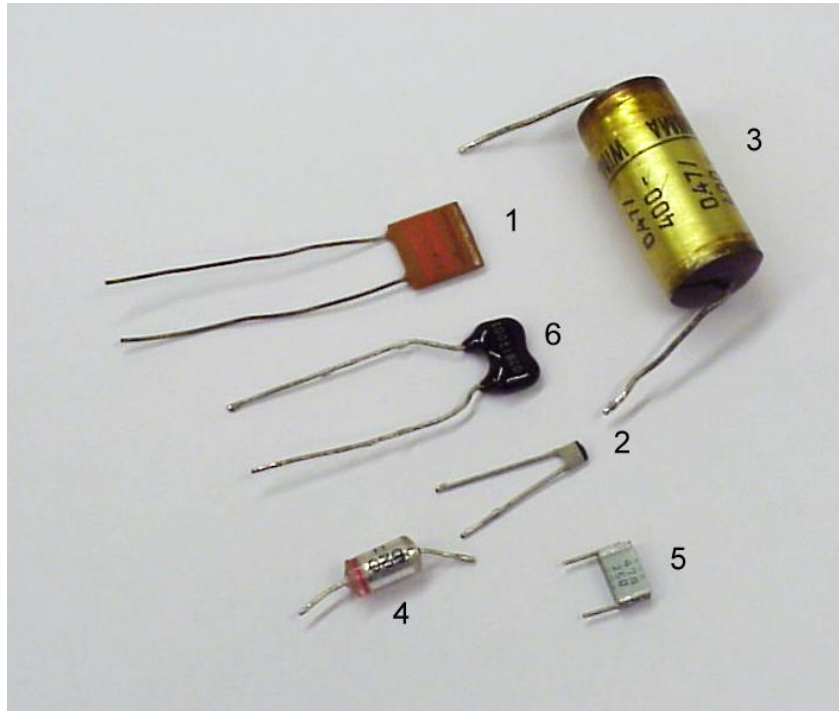


Foto 4.3-1. Enkele uitvoeringen van vaste condensatoren. 1 en 2 zijn keramische types, 3 is een polyester type, 4 is een styroflex type en 5 is een polyethyleen type (MKT). 6 is een mica-condensator. Mica is een bladsilicaat (een mineraal). Deze namen hebben betrekking op het soort diëlektricum. 3, 4 en 5 zijn verschillende soorten kunststof.

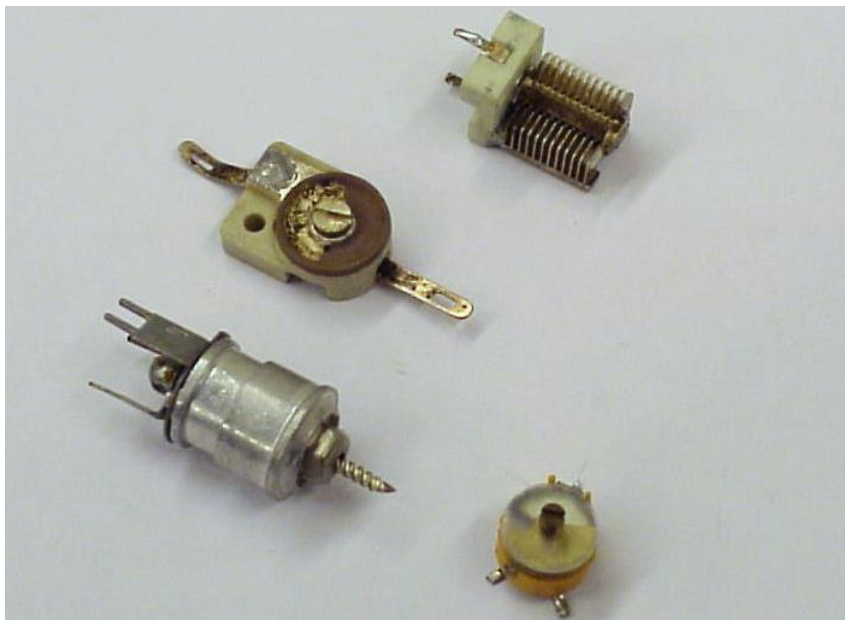


Foto 4.3-2. Enkele uitvoeringen van variabele condensatoren. Door draaien zijn ze in te stellen op de capaciteit die in de schakeling nodig is. Daarna blijven ze op de ingestelde capaciteit. Ze heten ook wel instelcondensator of trimcondensator of kortweg trimmer. Boven een luchtcondensator, gestapelde platen zichtbaar. Eronder een condensator met mica als diëlektricum, daaronder weer één met lucht en ronde platen die in elkaar vallen, helemaal onderaan één met een kunststoffolie als diëlektricum.

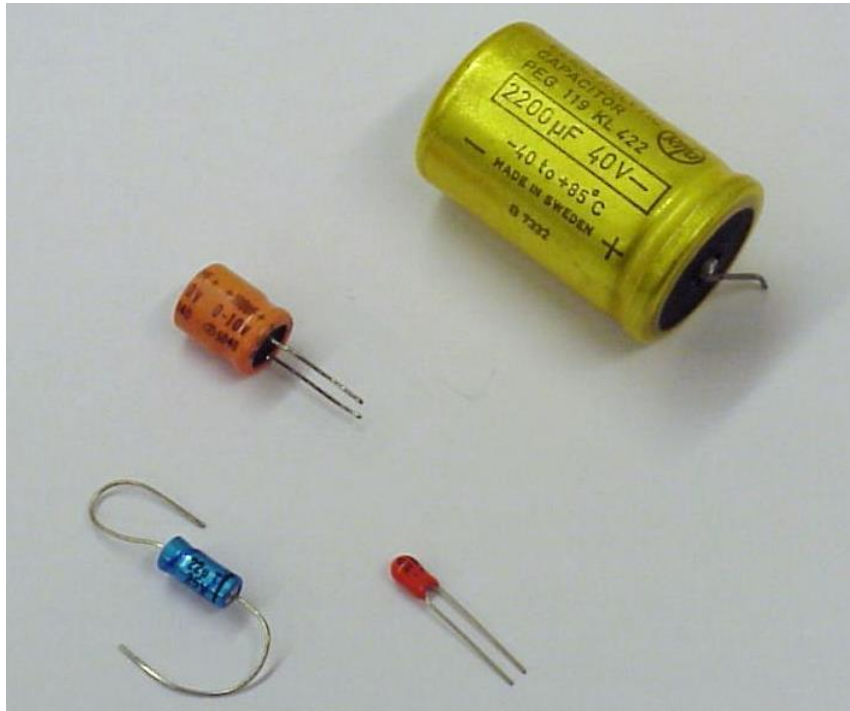


Foto 4.3-3. Enkele voorbeelden van elektrolytische condensatoren. De kleine rode condensator rechtsonder is gebaseerd op tantalium, de andere drie op aluminium. Op de grote gele condensator boven is goed te zien dat er rechts naast de capaciteitswaarde van $2200 \mu\text{F}$ "40 V -" staat. Dit betekent dat de maximale werkspanning 40 V bedraagt. Het horizontale streepje staat voor gelijkspanning.

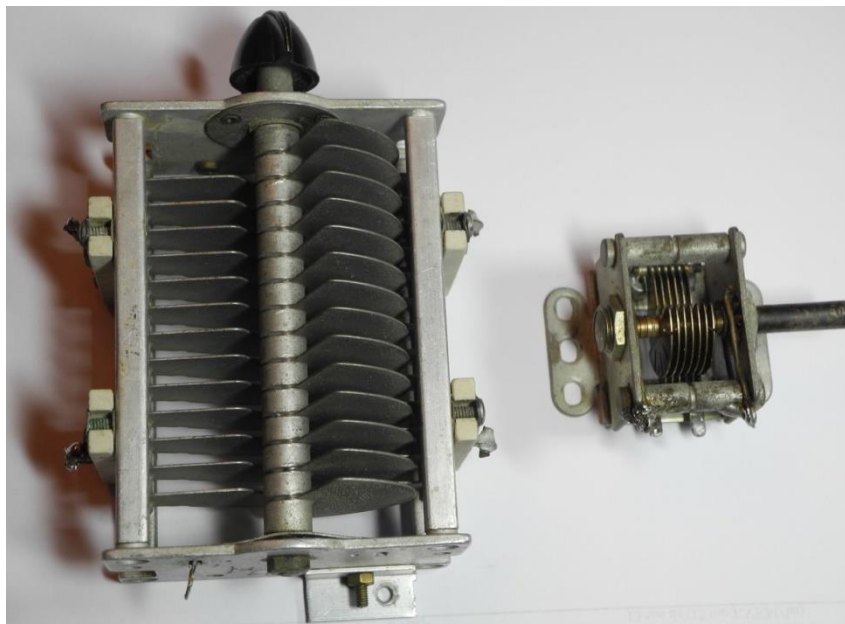


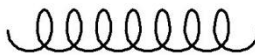
Foto 4.3-4. Twee variabele condensatoren die dienen voor afstemming van een zender of ontvanger. Het diëlektricum is lucht. De grote afstand tussen de platen links leidt tot een hoge doorslagspanning.

4.4 Spoelen

4.4.1 Schemasymbool

In Figuur 4.4-1 zien we een oud en een modern schemasymbool voor een spoel. Het oude symbool spreekt voor zichzelf; het moderne is gemakkelijker te tekenen.

Schemasymbolen spoel

Oud 

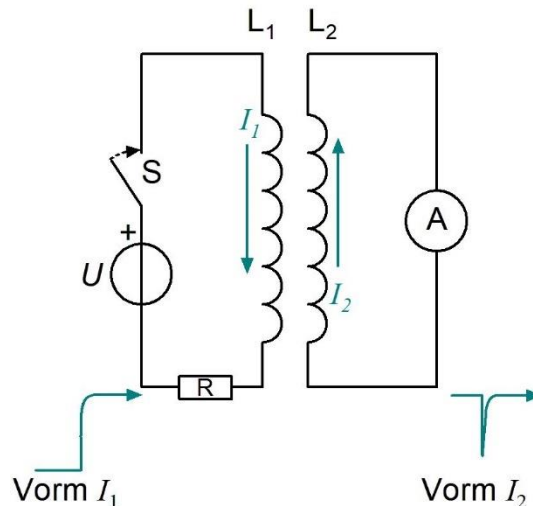
Modern 

Figuur 4.4-1. Schemasymbolen van een spoel; oud en modern.

4.4.2 Inductie en zelfinductie

In het filmpje over [elektromagnetisme](#) zagen we dat stroom door een spoel een magnetisch veld laat ontstaan. Het omgekeerde verschijnsel, een veranderend magnetisch veld dat leidt tot stroom door een draad of spoel, bestaat ook. Het heet *inductie*. Ook daarvan is een filmpje. Bekijk het [hier](#) (aanklikken). De bewegende magneet die in een spoel een stroom opwekt, is het basisprincipe van fietsdynamo's tot generatoren in windmolens of elektrische centrales.

Voor een veranderend magnetisch veld in een spoel hebben we niet beslist een magneet nodig. Met een tweede spoel gaat het ook. Dat verschijnsel is belangrijk genoeg om er eens goed naar te kijken. In Figuur 4.4-2 zijn twee spoelen getekend.



Figuur 4.4-2. Twee spoelen; links met spanningsbron, schakelaar en weerstand, rechts met ampèremeter.

De linker spoel L_1 is via een schakelaar en een weerstand verbonden met een spanningsbron, de rechter met een ampèremeter. De weerstand beperkt de stroom. Als de schakelaar S wordt gesloten, gaat de stroom I_1 lopen en veroorzaakt een magnetisch veld in en rond spoel L_1 . Een groot deel van dat veld loopt door spoel L_2 . Daardoor ontstaat een



stroom I_2 door L_2 . De richting van I_2 is tegengesteld aan die van I_1 . De ampèremeter slaat even uit en valt dan terug in de nulstand. De stroom I_2 duurt kort, terwijl I_1 doorgaat. Dat is weergegeven in de groene vormgrafiekjes onderin de figuur. We zien *inductie*.

Nu de verklaring. Inschakelen van de stroom I_1 veroorzaakt de vorming van een magnetisch veld. Daardoor ontstaat in L_2 een stroom I_2 die een tegengesteld magnetisch veld maakt. Dat werkt de vorming van het veld van L_1 tegen. Doordat na enige tijd I_1 praktisch niet meer verandert, verandert het magnetisch veld ook niet meer en is I_2 gelijk aan 0 geworden.

Als dit met twee spoelen gebeurt, hoe zit het dan met een enkele spoel? Als daar stroom doorheen loopt, zit die spoel middenin zijn eigen magnetisch veld. Als we een enkele spoel aansluiten op een stroom- of spanningsbron, is er dus een veranderend magnetisch veld dat in de spoel een tegenstroom opwekt. De netto-stroom is de som van stroom en tegenstroom. De stroom door de spoel komt daardoor niet ineens, maar geleidelijk op gang.

Ook dit is inductie, maar nu in de spoel die zelf het magnetisch veld veroorzaakt. Daarom heet dit *zelfinductie*. Een spoel wordt ook vaak met die term aangeduid. Een verandering van de stroom door een zelfinductie werkt zichzelf tegen. We gaan dat gedrag wat nader bezien en vergelijken met dat van een condensator.

4.4.3 Gedrag van een zelfinductie (enkele spoel) vergeleken met dat van een condensator

We vergelijken beide voor drie situaties.

1. **Stroom in een spoel neemt gelijkmatig toe bij constante spanning; spanning over een condensator neemt gelijkmatig toe bij constante stroom.**

Zet een constante spanning over een spoel en de stroom neemt gelijkmatig met de tijd toe. Bij een ideale spoel zonder weerstand en een ideale spanningsbron blijft die toename eeuwig doorgaan. Bij een spoel en een spanningsbron in de werkelijke wereld komt aan de toename een eind, doordat er altijd wel ergens weerstand is die de stroomtoename beperkt en er een grens is aan de stroomsterkte die de spanningsbron kan leveren.

Vergelijk dit met het gedrag van een condensator. Daar veroorzaakt een constante stroom een gelijkmatig met de tijd oplopende spanning over de condensator in plaats van een constante spanning een die een gelijkmatig oplopende stroom door de spoel veroorzaakt. De rollen van stroom en spanning zijn verwisseld.

2. **Een spoel houdt stroom in stand, een condensator houdt spanning in stand**

Als de ideale spoel tussen de einden is kortgesloten (ideaal, weerstand is 0), blijft de stroom daarin rondgaan. Het magnetisch veld blijft in stand zolang de stroom loopt. Bij

een echte kortgesloten spoel neemt de stroom af, net als de sterkte van het magneetveld. Oorzaak: elk beetje weerstand zet de energie van het veld om in warmte.

De spanning over een condensator met onderling geïsoleerde uiteinden neemt af door lekstroom via het diëlektricum. Ook hier zijn de rollen van stroom en spanning verwisseld. Geleiding in de spoel is vervangen door isolatie in de condensator.

3. Stoppen van de stroom door een spoel leidt tot een spanningspiek. Ontladen van een condensator betekent een stroompiek

Open een schakelaar in de leiding met een stroomvoerende zelfinductie en er ontstaat een spanningspiek. Oorzaak: de energie in het bijbehorende magnetische veld moet bij het stoppen van de stroom ergens naartoe. Zonder maatregelen leidt de bijbehorende vonk tot inbranden van het schakelcontact.

Sluit een schakelaar over een condensator en de energie van het elektrische veld leidt tot een korte sterke stroom doordat de lading teniet wordt gedaan. Ook dit kan bij grote capaciteiten slecht zijn voor de betreffende schakelaar.

Deze subparagraaf is als volgt samen te vatten:

Door spanning te vervangen door stroom, stroom door spanning, kortsluiting door isolatie en isolatie door kortsluiting, leid je uit het gedrag van een condensator dat van een spoel af en omgekeerd.

In hoofdstuk 5 zullen we zien hoe deze twee typen onderdelen zich samen gedragen.

4.4.4 De eenheid van zelfinductie

De eenheid van zelfinductie is de henry. De henry wordt afgekort met H. $L = 0,1\text{H}$ betekent 'de zelfinductie bedraagt 0,1 H'. Bij een zelfinductie van 1 H leidt een spanning van 1 V tot een stroomverandering van 1 A/s (ampère per seconde). **Let op:** A/s is wat anders dan de As, ofwel de coulomb, de eenheid van lading.

4.4.5 Wat bepaalt de zelfinductie van een spoel?

De zelfinductie L van een spoel is evenredig met

- Het kwadraat van het aantal windingen n (dus met n^2)
- De dwarsdoorsnede A van de spoel (cm^2)
- De magnetische permeabiliteit μ van het kernmateriaal

De zelfinductie L is omgekeerd evenredig met de lengte l van de spoel. Als je een spoel met een bepaald aantal windingen uitrekt, wordt de zelfinductie kleiner, want die is omgekeerd evenredig met l . Het effect van permeabiliteit op het magnetisch veld, waarin de spoel energie opslaat, hebben we in het filmpje in 4.4.2 gezien. Bekijk in verband hiermee als je wilt nog een keer het filmpje over [elektromagnetisme](#).



Let ook op A . Dat is een oppervlakte. Als de diameter D van een ronde ('cylindrische') spoel 2x zo groot wordt, wordt A 4x zo groot! De zelfinductie is dus evenredig met D^2 . Er zijn examenvragen die van D in plaats van A uitgaan, dus let daarop.

4.5 Weerstanden in combinatie met condensatoren of spoelen

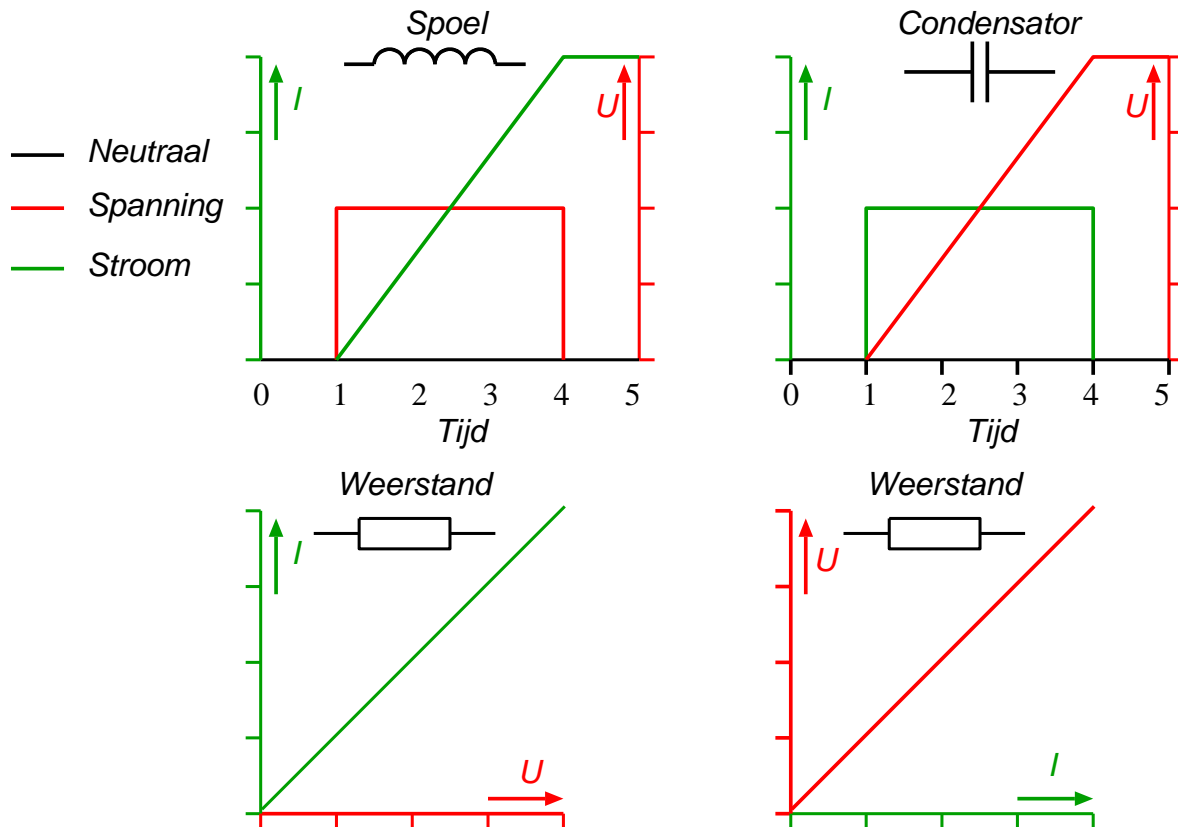
4.5.1 Inleiding

Als er spanning over een weerstand wordt gezet, loopt er onmiddellijk een stroom. Die stroom verandert niet, zolang de spanning niet verandert.

Bij condensatoren en spoelen gaat dit anders, weten we nu. Spanning over een spoel leidt tot een alsmaar toenemende stroom. Stroom door een condensator leidt tot een alsmaar toenemende spanning.

Kortom: bij een weerstand lopen stroom en spanning met elkaar in de pas; bij condensatoren en spoelen niet. In elektronische schakelingen zijn combinaties van weerstanden met condensatoren, spoelen of met beide algemeen. In deze paragraaf maken we kennis met combinaties van weerstanden met condensatoren en van weerstanden met spoelen. Combinaties van alle drie komen we in hoofdstuk 5 tegen.

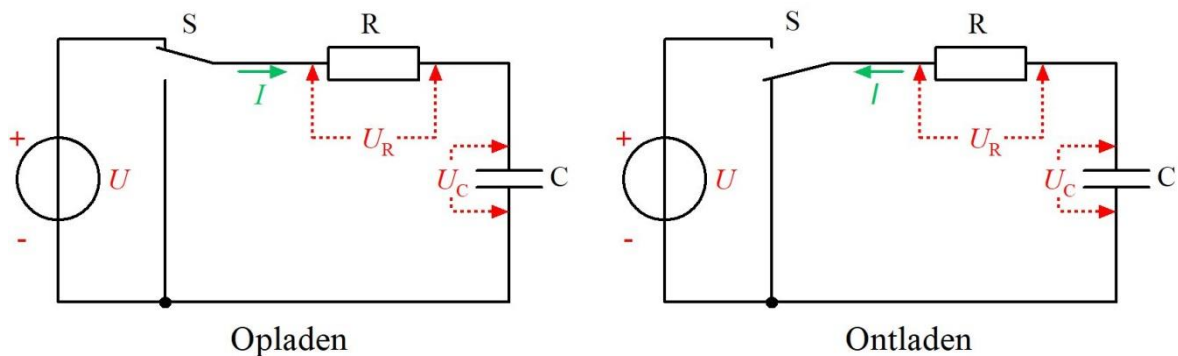
De grafieken van Figuur 4.5-1 tonen het gedrag van spoelen, condensatoren en weerstanden. In de (ideale) spoel loopt de stroom rechtlijnig op met constante spanning over de spoel. In een kortgesloten spoel blijft de stroom doorlopen als de spanning wegvalt. Over de condensator loopt de spanning rechtlijnig op met de stroom naar de condensator. Als de stroom wegvalt, verandert de spanning niet meer. Bij een weerstand lopen stroom en spanning gelijk op. Na wegvallen van de stroom is er geen spanning; na het wegvallen van de spanning geen stroom.



Figuur 4.5-1. Stroom- en spanningsgedrag van condensatoren, spoelen en weerstanden.

4.5.2 Weerstanden met condensatoren

Wordt een condensator opgeladen uit een spanningsbron via een weerstand, dan is de lijn die de spanning aangeeft, niet recht, maar krom. Dat komt, doordat de bronspanning U gelijk blijft en de spanning over de condensator toeneemt. Volgens de tweede wet van Kirchhoff is de spanning U_R over de weerstand R gelijk aan het verschil tussen condensatorspanning U_C en bronspanning U . Als de condensatorspanning stijgt, moet de spanning over de weerstand dalen. Daarmee daalt ook de stroom door de weerstand. Daardoor stijgt de spanning over de condensator steeds langzamer. Het schema staat in het deel 'Opladen' van Figuur 4.5-2 (links).



Figuur 4.5-2. Opladen en ontladen van de condensatorspanning U_C in een RC-schakeling..

Als de schakelaar S wordt omgezet, loopt de condensator via dezelfde weerstand leeg door de verbinding tussen beide platen via de weerstand. Hier ontvouwt zich hetzelfde spelletje, maar in spiegelbeeld. De snelheid van ontladen wordt steeds kleiner.

Als we de bron vervangen door één die met tussenpozen een positieve spanning geeft en daar tussenin 0 volt, gaat het ook zonder schakelaar. Er ontstaat een spelletje van laden en ontladen. We zien het op Foto 4.5-1. Het is een oscilloscoopplaatje van de schakeling. Voor nu is het voldoende om te onthouden dat een oscilloscoop een apparaat is dat op een scherm grafieken maakt van veranderende spanningen.

De oplaad- en ontladkrommen zijn elkaars spiegelbeeld.

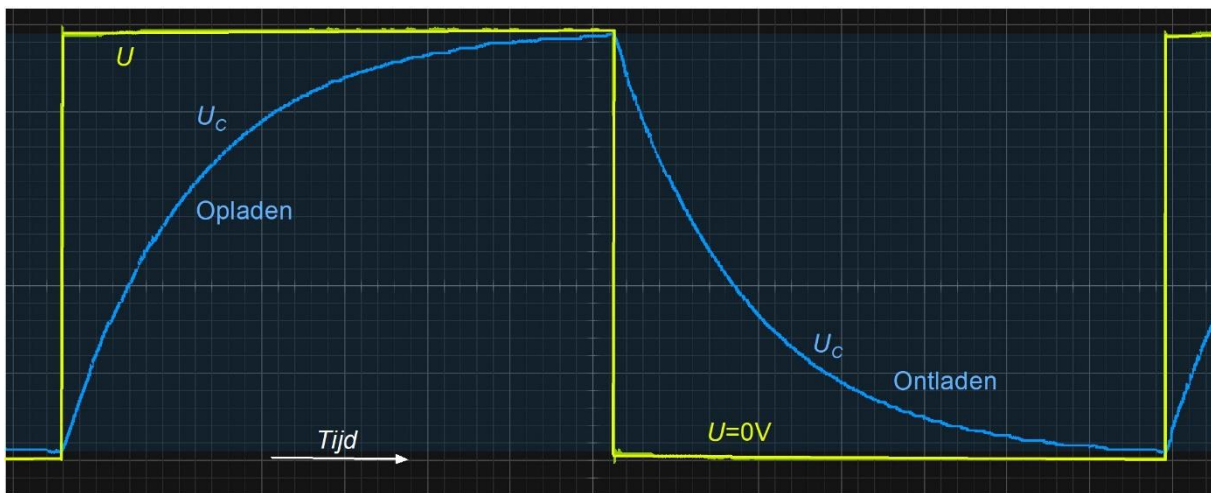


Foto 4.5-1. Oscilloscoopbeeld van het op- en ontladen van de schakeling van Figuur 4.5-2. Het schakelen tussen opladen en ontladen (midden in het beeld) ging voor de opname elektronisch. De eerst stijgende en dan dalende kromme geeft het verloop van U_c in de tijd aan.

4.5.3 Weerstanden en spoelen (zelfinducties)

Als we in Figuur 4.5-2 de condensator vervangen door een spoel, ontstaat eenzelfde plaatje als op Foto 4.5-1, maar met één verschil. De stroom door de spoel vervangt de spanning over de condensator. Om een exact gelijk beeld te krijgen, moet bij gelijke duur van de spanningsblokken en gelijke tijd ertussen gelden

$$RC = \frac{L}{R} \quad (4.5-1)$$

Dit is geen examenstof, maar bedoeld om duidelijk te maken dat niet bij elke waarde van R en C exact dezelfde plaatjes horen.

Foto 4.5-2 laat het bijbehorende plaatje zien. De veranderde tekst met betrekking tot de spoel in plaats van de condensator is in wit in plaats van in blauw. Eigenlijk is alleen U_c vervangen door I_L , het woord ‘opladen’ door ‘opbouwen’ en ‘ontladen’ door ‘uitdoven’.

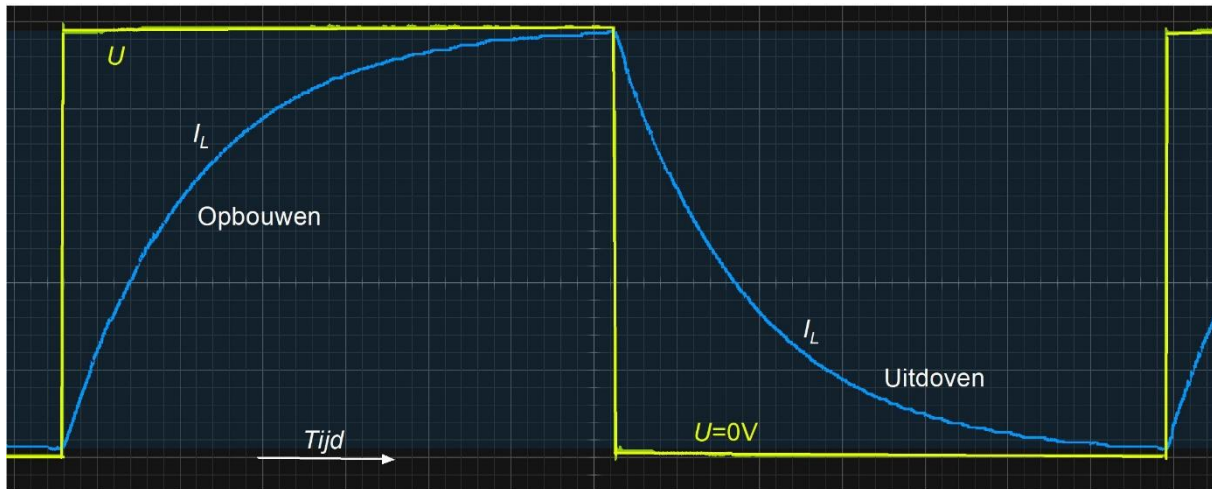


Foto 4.5-2. Dezelfde foto als Foto 4.5-1, maar nu bewerkt voor een serieschakeling van weerstand en spoel (zelfinductie) in plaats van weerstand en condensator (capaciteit). De spanning over de condensator is vervangen door stroom door de spoel. Opladen en ontladen zijn voor het onderscheid vervangen door de termen 'opbouwen' en 'uitdoven'.

4.5.4 Een belangrijke gevolgtrekking

Bij een weerstand lopen spanning en stroom gelijk op. Als er condensatoren of spoelen (capaciteiten en zelfinducties zeggen we meestal) aan te pas komen, is dat anders.

Voor RC: Op Foto 4.5-1 verandert bij het opladen de spanning U_C steeds minder. Dan neemt ook de lading van de condensator steeds langzamer toe. Stroom van/naar een condensator is verandering van lading. De laadstroom wordt dus steeds kleiner. De stroom is niet evenredig met de spanning zoals bij een weerstand, maar met de snelheid waarmee de spanning verandert. Bij het ontladen geldt hetzelfde. Het ontladproces begint met een snelle afname van U_C en een grote stroom I . Naarmate U_C kleiner wordt, neemt ook de verandering van U_C af en wordt I kleiner. Ook hier dus een I die evenredig is met de spanningsverandering, maar nu bij een afname van de spanning.

Voor RL: Op Foto 4.5-2 zien we dezelfde kromme als op Foto 4.5-1, maar nu voor de stroom door de spoel in plaats van de spanning over de condensator. De spanning over de spoel is evenredig met de verandering van de stroom.

In hoofdstuk 5, waarin we ons met wisselstroom en –spanning zullen bezighouden, zal het niet gelijk op gaan van stroom en spanning in condensatoren en spoelen de basis blijken te zijn van veel schakelingen. We zullen er dan verder op in gaan.

4.6 Parallel- en serieschakeling van condensatoren en spoelen

4.6.1 Verschil tussen parallel- en serieschakeling

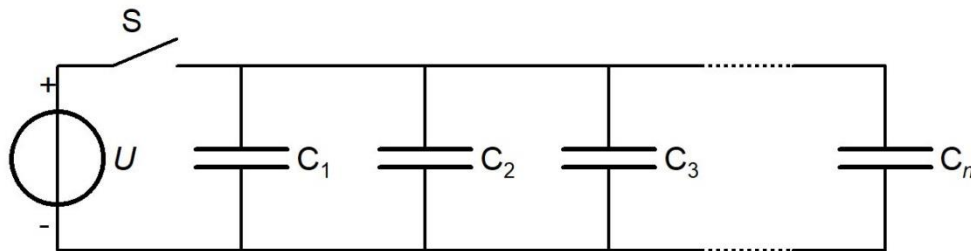
Bij parallel- en bij serieschakeling van weerstanden, van condensatoren en van spoelen kun je voor elke schakeling respectievelijk een vervangende weerstand, capaciteit of zelfinductie berekenen. Voor weerstanden is dat besproken in Hoofdstuk 3. Voor

capaciteiten en zelfinducties (de termen ‘condensatoren’ en ‘spoelen’ mogen ook) doen we dat in deze paragraaf. Er zijn net als bij weerstanden twee eenvoudige uitgangspunten:

1. Bij parallelschakeling is de spanning over alle onderdelen dezelfde.
2. Bij serieschakeling is de stroom door alle onderdelen dezelfde.

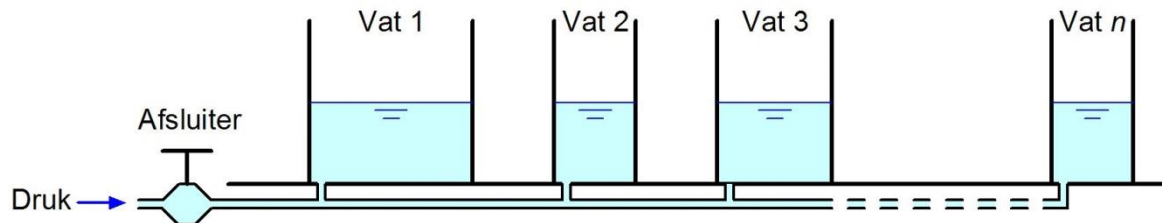
4.6.2 Parallelschakeling van condensatoren, vervangingscapaciteit

Bij parallelschakeling van condensatoren (Figuur 4.6-1) staat over elke condensator dezelfde spanning U . De spanning komt op de condensatoren te staan als schakelaar S wordt gesloten.



Figuur 4.6-1. Parallelschakeling van condensatoren.

De vraag is of we de parallel geschakelde condensatoren in Figuur 4.6-1 kunnen vervangen door één enkele condensator en hoe groot de capaciteit dan is. Vergelijk daarvoor de condensatoren met communicerende vaten met bodems op gelijke hoogte (Figuur 4.6-2).



Figuur 4.6-2. De condensatoren van Figuur 4.6-1, voorgesteld als communicerende vaten. De afsluiter staat voor de schakelaar S en de druk voor de spanning U .

De hoogte van de waterspiegels in Figuur 4.6-2 staat voor U die in Figuur 4.6-1 de spanning over de condensatoren bepaalt. De horizontale doorsnede van elk vat staat voor capaciteit C . De hoeveelheid water in elk vat staat voor de lading Q van elke condensator. De totale hoeveelheid water in de vaten is de som van de hoeveelheden in elk afzonderlijk vat. Dat geldt precies zo voor de totale lading van de condensatoren. De totale capaciteit is dan de optelsom van de afzonderlijke capaciteiten van de condensatoren. De gelijkennis gaat pas mank als vaten overlopen of condensatoren doorslaan.

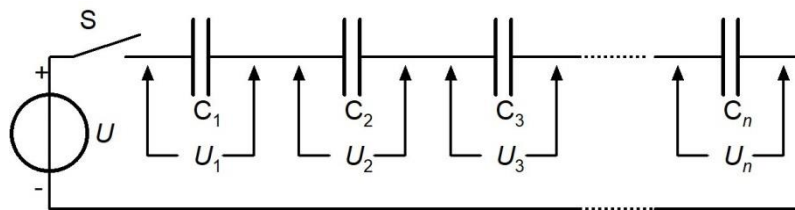
De vergelijking voor de vervangingscapaciteit C_{tot} van parallel geschakelde condensatoren is daarom de optelling van de afzonderlijke capaciteiten:

$$C_{tot} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad (4.6-1)$$

Dit gaat anders dan bij weerstanden (hoofdstuk 3). Daar moeten bij parallelschakeling alle geleidingsvermogens $1/R$ worden opgeteld om $1/R_{tot}$ te vinden. **De vervangingswaarde is bij parallelschakeling van condensatoren groter dan de grootste capaciteit.**

4.6.3 Serieschakeling van condensatoren

Bij serieschakeling is de stroom door alle condensatoren dezelfde. Kan een stroom dan door een diëlektricum lopen? Het antwoord is nog steeds nee. Wat gebeurt er dan wel?



Figuur 4.6-3. Serieschakeling van condensatoren.

We bekijken Figuur 4.6-3. Als schakelaar S wordt gesloten, stroomt er lading naar de linkerplaat van C_1 . In het diëlektricum van C_1 ontstaat een elektrisch veld. Door dat veld wordt evenveel lading uit de rechterplaat van C_1 ge'duwd' als er op de linker is binnengekomen. Die lading komt op de linkerplaat van C_2 terecht. Er wordt dan evenveel lading uit de rechterplaat van C_2 geduwd als er links is binnengekomen. Zo gaat dat door tot en met C_n . De lading die uit C_n wordt geduwd, vloeit terug naar de spanningsbron.

De stroom duurt maar heel even; in theorie 0 s, in de praktijk ietsje langer. In elke C loopt dezelfde stroom gedurende dezelfde tijd. Lading is stroom maal tijd (hoofdstuk 2), dus elke C krijgt dezelfde lading Q . Die Q is ook dezelfde voor de totale rij. Het verschil tussen de afzonderlijke condensatoren zit in de spanning. Over de kleinste condensator staat de grootste spanning, want volgens vergelijking (4.3-1) is $Q = UC$. Als C 2x zo klein wordt, moet U 2x zo groot worden om Q dezelfde waarde te laten houden. Over de kleinste C staat dan de hoogste U , want Q is voor elke condensator gelijk. Over de grootste condensator staat de laagste spanning.

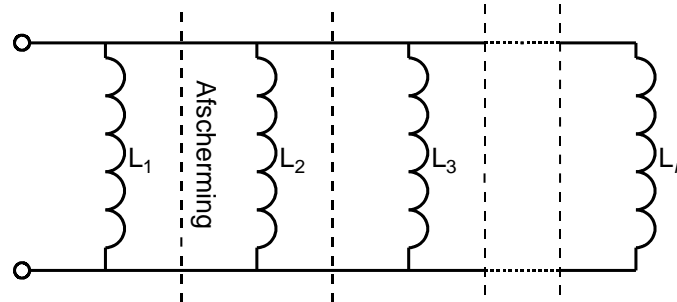
Een vergelijking met watervaten is hier niet aan de orde. Maar we kunnen wel vermoeden hoe het met de vervangingscapaciteit C_{tot} zit. Voor parallel geschakelde condensatoren moesten we de capaciteiten optellen om de vervangingscapaciteit te vinden. Voor parallel geschakelde weerstanden moeten we de omgekeerde waarden optellen om de omgekeerde waarde van de vervangingsweerstand te vinden (hoofdstuk 3). De veronderstelling dat we voor in serie geschakelde condensatoren net zo moeten handelen als voor parallel geschakelde weerstanden ligt dan ook voor de hand:

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (4.6-2)$$

Net als bij parallel geschakelde weerstanden is bij in serie geschakelde condensatoren de vervangingswaarde kleiner dan de kleinste capaciteit.

4.6.4 Parallelschakeling van spoelen

We bekijken de schakeling in Figuur 4.6-4.



Figuur 4.6-4. Parallel geschakelde spoelen met onderlinge afscherming.

De spoelen in de figuur zijn onderling afgeschermd, zodat ze elkaar niet beïnvloeden. Een afscherming kan bijvoorbeeld bestaan uit *mu-metaal* (4.2.2). Opsluiting in een ferrietvorm kan ook.

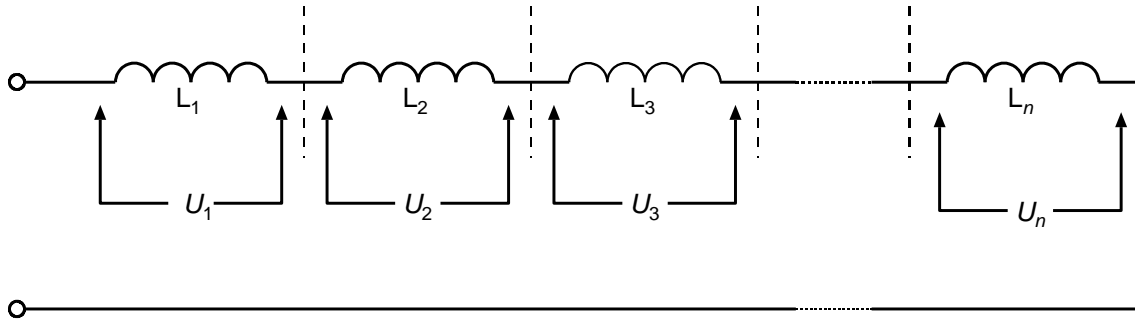
Over alle spoelen staat dezelfde spanning U . De stroom loopt na aansluiting op een ideaal veronderstelde spanningsbron voor elke spoel evenredig met de tijd op volgens de figuur voor de spoel in Figuur 4.5-1. De stromen verhouden zich steeds volgens de omgekeerde waarde van de zelfinductie L van de bijbehorende spoel. Hoe kleiner de zelfinductie, hoe groter de stroom. De totale stroom door de schakeling is de som van al die afzonderlijke stromen, net als bij parallelle weerstanden. De eerste wet van Kirchhoff uit hoofdstuk 3 dus. Daar was de stroom omgekeerd evenredig met de weerstand R . Dan ligt de gelijkenis met weerstanden voor de hand:

$$\frac{1}{L_{tot}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n} \quad (4.6-3)$$

Vergelijking (4.6-3) voor de vervangingswaarde L_{tot} van parallel geschakelde spoelen is dezelfde als die voor parallel geschakelde weerstanden en in serie geschakelde condensatoren (vergelijking (4.6-2) in 4.6.3). Hier geldt net als bij parallelgeschakelde weerstanden en in serie geschakelde condensatoren **dat de vervangingswaarde kleiner is dan de kleinste waarde bij de spoelen.**

4.6.5 Serieschakeling van spoelen

Figuur 4.6-5 toont een aantal in serie geschakelde spoelen met bijbehorende afscherming.



Figuur 4.6-5. Serieschakeling van spoelen met onderlinge afscherming.

We hebben in sub-paragraaf 4.6.4 gezien dat de berekening van de vervangingsweerstand bij parallel geschakelde spoelen net zo gaat als bij parallel geschakelde weerstanden. Met in serie geschakelde spoelen is dat net zo. Dus

$$L_{tot} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n \quad (4.6-4)$$

De zelfinducties van in serie geschakelde spoelen moet je dus optellen om de vervangende waarde te vinden, net als bij weerstanden. **De vervangingswaarde is groter dan de waarde van de grootste afzonderlijke spoel.**

4.6.6 Samenvattend overzicht

Het overzicht is weergegeven in Tabel 4.6-1.

Tabel 4.6-1 Overzicht van vergelijkingen voor de vervangingswaarde bij parallel- en serieschakeling van weerstanden, condensatoren en spoelen. De stof voor weerstanden is behandeld in Hoofdstuk 3.

	Weerstand R	Capaciteit C	Zelfinductie L
Serieschakeling	$R_{tot} = R_1 + \dots + R_n$	$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \dots + \frac{1}{C_n}$	$L_{tot} = L_1 + \dots + L_n$
Parallelschakeling	$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n}$	$C_{tot} = C_1 + \dots + C_n$	$\frac{1}{L_{tot}} = \frac{1}{L_1} + \dots + \frac{1}{L_n}$




4.7 Opgaven (pijlen hebben dezelfde betekenis als in hoofdstukken 2 en 3)

4.7.1 Opgave 4-1

De twee polen van een condensator worden gedurende een kwartier met koperdraden verbonden met de polen van een batterij van 4,5 V. Welke stelling is juist?


- A. De stroom door de condensator blijft met dezelfde sterkte doorlopen tot de draden worden losgemaakt
- B. De spanning over de condensator bedraagt na enkele ogenblikken 4,5 V en blijft tot het eind van het kwartier gelijk
- C. Door het ontbreken van een weerstand tussen batterij en condensator loopt er een zo grote stroom dat de batterij heet wordt
- D. De stroom door de condensator neemt geleidelijk toe, totdat hij in evenwicht is met de EMK en de inwendige weerstand van de batterij

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

4.7.2 Opgave 4-2

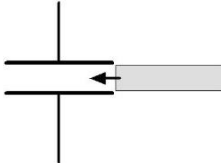
Een ideale spoel wordt aangesloten op een ideale spanningsbron. De stroom door de spoel:

- A. Is constant
- B. Is 0 A en blijft 0 A
- C. Neemt evenredig met de tijd toe
- D. Neemt evenredig met de tijd toe, tot hij een maximale waarde bereikt

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

4.7.3 Opgave 4-3

Tussen de platen van een luchtcondensator wordt een precies passende isolerende plaat geschoven met een diëlektrische constante van 5x die van lucht.



De capaciteit zal daardoor

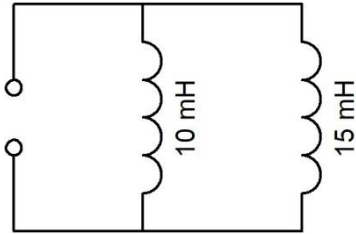
- A. 5x zo groot worden
- B. 25x zo groot worden
- C. 5x zo klein worden
- D. Gelijk blijven

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking




4.7.4 Opgave 4-4

De spoelen in de figuur hieronder zijn geleidend verbonden zoals aangegeven. Verder zijn ze onderling afgeschermd.



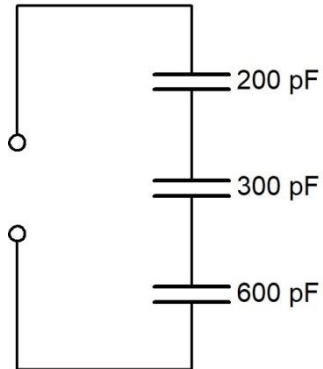
De vervangingswaarde van de twee zelfinducties is ongeveer

- A. 6 mH
- B. 7,5 mH
- C. 12,5 mH
- D. 25 mH

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

4.7.5 Opgave 4-5

Drie condensatoren van 200, 300 en 600 pF worden in serie geschakeld.



De vervangingscapaciteit is:

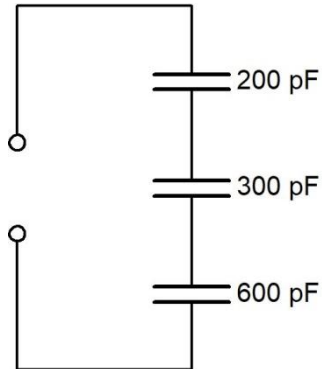
- A. 1100 pF
- B. 100 pF
- C. 367 pF
- D. 120 pF

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking



4.7.6 Opgave 4-6

Op de klemmen van de schakeling wordt een spanningsbron aangesloten.



Over welke condensator is de spanning het hoogst?

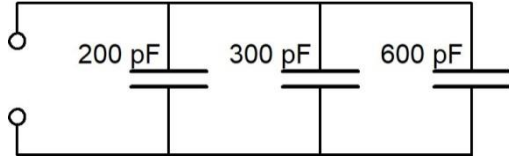
- A. Dat is niet te zeggen, want een condensator geleidt niet
- B. Over alle condensatoren even hoog
- C. De condensator van 200 pF
- D. De condensator van 600 pF

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking




4.7.7 Opgave 4-7

Drie condensatoren van 200, 300 en 600 pF worden parallel geschakeld.



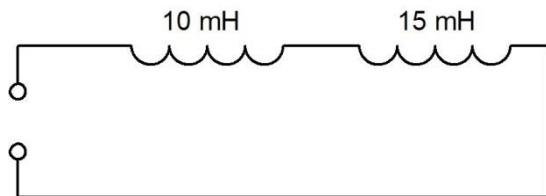
De vervangingscapaciteit is:

- A. 1100 pF
- B. 100 pF
- C. 367 pF
- D. 120 pF

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 


4.7.8 Opgave 4-8

De spoelen in de figuur hieronder zijn geleidend verbonden zoals aangegeven. Verder zijn ze niet gekoppeld, dat wil zeggen onderling afgeschermd.



De vervangingswaarde van de twee zelfinducties is ongeveer

- A. 6 mH
- B. 7,5 mH
- C. 12,5 mH
- D. 25 mH

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

4.8 Uitwerkingen

4.8.1 Uitwerking van Opgave 4-1

De twee polen van een condensator worden gedurende een kwartier met koperdraden verbonden met de polen van een batterij van 4,5 V.

- A. De stroom door de condensator blijft met dezelfde sterkte doorlopen tot de draden worden losgemaakt
- B. De spanning over de condensator bedraagt na enkele ogenblikken 4,5 V en blijkt tot het eind van het kwartier gelijk**
- C. Door het ontbreken van een weerstand tussen batterij en condensator loopt er een zo grote stroom dat de batterij heet wordt
- D. De stroom door de condensator neemt geleidelijk toe, totdat hij in evenwicht is met de EMK en de inwendige weerstand van de batterij

Uitwerking

Tussen batterij en condensator loopt heel kort een flinke laadstroom, waarna de condensator de batterijspanning heeft overgenomen. Dan staat er over de condensator ook 4,5 V en verandert er praktisch gesproken niets meer, tot de twee draden worden losgekoppeld. Antwoord B.

Opmerking

Na afkoppeling kan er een tijdlang spanning over de condensator blijven staan. Die spanning verdwijnt na enige tijd doordat er altijd een kleine lekstroom door het diëlektricum loopt. Als iemand de batterij bij de polen vastpakt, gaat dat sneller. Ook het menselijk lichaam geleidt enigszins.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



4.8.2 Uitwerking van Opgave 4-2

Een ideale spoel wordt aangesloten op een ideale spanningsbron. De stroom door de spoel:

- A. Is constant
- B. Is 0 A en blijft 0 A
- C. Neemt evenredig met de tijd toe**
- D. Neemt evenredig met de tijd toe, tot hij een maximale waarde bereikt

Uitwerking

Als over een spoel een spanning komt te staan, zal de stroom door de spoel gelijkmatig met de tijd toenemen. Bij ideale componenten gaat die toename altijd door; bij echte componenten is daar een eind aan. Bovendien vermindert dan de toename met de tijd.

Het gaat hier om ideale componenten; dat betekent antwoord C.



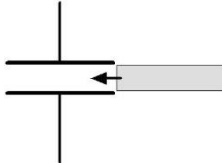
Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



4.8.3 Uitwerking van Opgave 4-3

Tussen de platen van een luchtcondensator wordt een precies passende isolerende plaat geschoven met een diëlektrische constante van 5x die van lucht.



De capaciteit zal daardoor

- A. 5x zo groot worden
- B. 25x zo groot worden
- C. 5x zo klein worden
- D. Gelijk blijven

Uitwerking

De capaciteit C van een condensator is evenredig met de diëlektrische constante van het diëlektricum. Als die constante door tussenschuiven van een ander diëlektricum 5x zo groot wordt, wordt C dat ook: antwoord A.



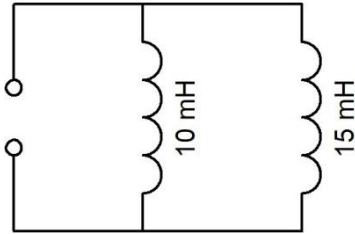
Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



4.8.4 Uitwerking van Opgave 4-4

De spoelen in de figuur hieronder zijn geleidend verbonden zoals aangegeven. Verder zijn ze onderling afgeschermd.



De vervangingswaarde van de twee zelfinducties is ongeveer

- A. 6 mH
- B. 7,5 mH
- C. 12,5 mH
- D. 25 mH

Uitwerking

De vervangingswaarde L_{tot} van twee parallel geschakelde spoelen L_1 en L_2 is kleiner dan de kleinste. Dat sluit de antwoorden C en D uit. De waarde van L_{tot} volgt uit

$$\frac{1}{L_{tot}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

Met twee spoelen kan het ook zo (net als bij twee parallelle weerstanden):

$$L_{tot} = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$$

zodat

$$L_{tot} = \frac{10 \cdot 15}{10 + 15} \text{ mH} = \frac{150}{25} \text{ mH} = 6 \text{ mH}$$

Antwoord A is daarom het goede antwoord.



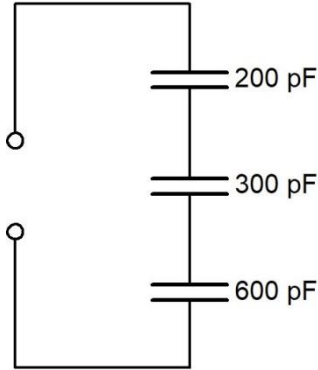
Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



4.8.5 Uitwerking van Opgave 4-5

Drie condensatoren van 200, 300 en 600 pF worden in serie geschakeld.



De vervangingscapaciteit is:

- A. 1100 pF
- B. 100 pF**
- C. 367 pF
- D. 120 pF

Uitwerking

De vervangingswaarde van in serie geschakelde condensatoren wordt net zo berekend als die van parallel geschakelde weerstanden of spoelen. De uitkomst, C_{tot} , moet kleiner zijn dan de kleinste van de in serie geschakelde condensatoren. De antwoorden A en C kunnen we op grond hiervan al meteen afschrijven, zodat B en D als finalisten overblijven. Nu de winnaar nog. Daar gaat-ie:

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{200 \text{ pF}} + \frac{1}{300 \text{ pF}} + \frac{1}{600 \text{ pF}} = \frac{3}{600 \text{ pF}} + \frac{2}{600 \text{ pF}} + \frac{1}{600 \text{ pF}} = \frac{6}{600 \text{ pF}}$$

Dat levert:

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{6}{600 \text{ pF}} = \frac{1}{100 \text{ pF}} \rightarrow$$

Zodat $C_{tot} = 100 \text{ pF}$. Dat is antwoord B.



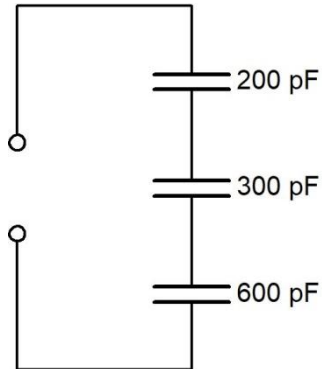
Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



4.8.6 Uitwerking van Opgave 4-6

Op de klemmen van de schakeling wordt een spanningsbron aangesloten.



Over welke condensator is de spanning het hoogst?

- A. Dat is niet te zeggen, want een condensator geleidt niet
- B. Over alle condensatoren even hoog
- C. De condensator van 200 pF**
- D. De condensator van 600 pF

Uitwerking

Als zich lading naar de bovenste condensator verplaatst, verplaatst zich evenveel lading van de bovenste naar de middelste condensator en van daaruit naar de onderste. Dat sluit antwoord A uit.

Het verband tussen capaciteit, lading en spanning is

$$Q = UC$$

Eigenlijk laat dit het antwoord al zien, want als de lading Q in alle condensatoren even groot is, moet de hoogste spanning U over de kleinste C staan. Dat betekent dat antwoord C het juiste antwoord is.



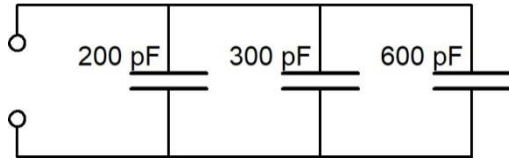
Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



4.8.7 Uitwerking van Opgave 4-7

Drie condensatoren van 200, 300 en 600 pF worden parallel geschakeld.



De vervangingscapaciteit is:

- A. 1100 pF
- B. 100 pF
- C. 367 pF
- D. 120 pF

Bij parallel geschakelde condensatoren worden de capaciteiten bij elkaar opgeteld om de vervangingswaarde te vinden. De optelsom levert 1100 pF, dat is antwoord A.



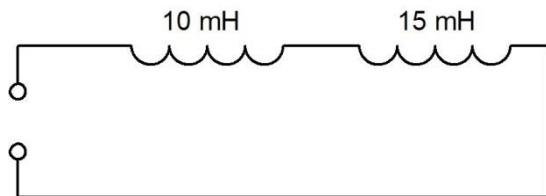
Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



4.8.8 Uitwerking van Opgave 4-8

De spoelen in de figuur hieronder zijn geleidend verbonden zoals aangegeven. Verder zijn ze niet gekoppeld.



De vervangingswaarde van de twee zelfinducties is ongeveer

- A. 6 mH
- B. 7,5 mH
- C. 12,5 mH
- D. **25 mH**

Uitwerking

In serie geschakelde spoelen worden opgeteld om de vervangingswaarde te vinden, net als in serie geschakelde weerstanden en parallel geschakelde condensatoren (mits ze niet op een andere manier zijn gekoppeld, maar dat komt in volgende hoofdstukken).

$10 + 15 = 25$. Dat is antwoord D.



Terug naar de opgave