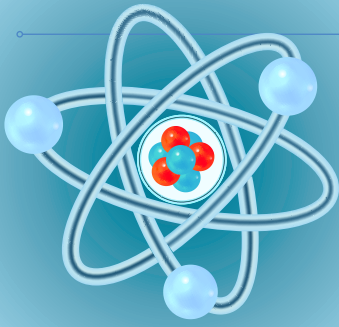




Alle begin...

...hoeft niet zo moeilijk te zijn – zelfs als het om condensatoren gaat

Eric Bogers

Na de weerstanden die we de vorige keer hebben besproken [1] zijn nu condensatoren aan de beurt. Condensatoren kunnen ook als weerstanden worden beschouwd, maar dan voor wisselstroom. Gelijkstroom laten ze namelijk niet door, wisselstroom wel. Maar condensatoren worden niet alleen als wisselstroomweerstand gebruikt, maar ook voor de opslag van elektrische energie.



Een condensator kan worden beschouwd als twee geleiders (bijvoorbeeld metalen platen, of meer algemeen elektroden) op korte afstand van elkaar, die geen elektrisch contact met elkaar maken. Dit komt ook tot uitdrukking in het schemasymbool (**figuur 1**): twee strepen tegenover elkaar, die geen contact met elkaar maken.

Wacht even! Hoe is het mogelijk dat een

component geen gelijkstroom doorlaat maar wel wisselstroom? Dat kunnen we aanschouwelijk maken wanneer we bedenken wat 'stroom' eigenlijk is: het transport van lading. Wanneer er lading wordt getransporteerd, loopt er een stroom. Als we een condensator op een gelijkspanning aansluiten, zal er een initiële stroom lopen – van de ene plaat van de condensator bewegen zich elektronen naar de pluspool, en van de minpool bewegen elektronen naar de andere plaat. Maar zodra de condensator op deze manier geladen is, kunnen de elektronen geen kant meer op – ze kunnen zich niet op magische wijze van de ene plaat direct naar de andere bewegen. Er loopt dan geen stroom meer, en de condensator gedraagt zich als onderbreking (of isolator of weerstand met oneindig hoge waarde). Dat is anders wanneer we een wisselspanning over de condensator aanleggen: dan wordt

de condensator voortdurend geladen, ontladen, omgeladen enzovoort – en dan loopt er wel degelijk een stroom heen en weer: een wisselstroom dus. Even voor de goede orde: er bewegen zich geen elektronen *door* de condensator van de ene plaat of elektrode naar de andere!

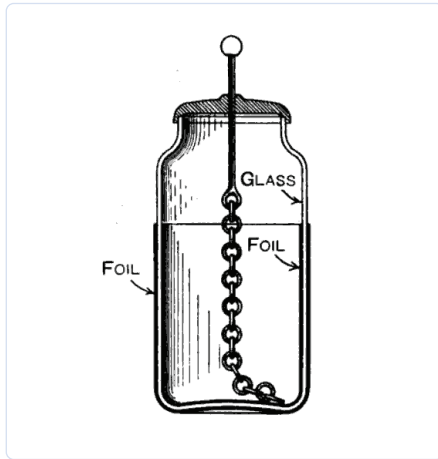
Capaciteit

We hebben het hiervoor al even aangestipt: een condensator kan lading (en dus elektrische energie) opslaan – en wel des te meer naarmate de *capaciteit* van de condensator groter is.

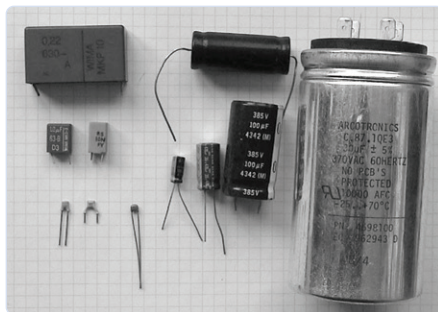
Voor de capaciteit C van een condensator geldt:

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

Figuur 1. Schemasymbolen van condensatoren. Van links naar rechts: 'gewone' condensator, instelbare condensator ('trimmer'), elektrolytische condensator.



Figuur 2. Opbouw van een Leidse fles (bron: Wikimedia Commons, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leyden_jar_showing_construction.png).



Figuur 3. Enkele veelvoorkomende condensatortypen.

Hierin is ϵ de **diëlektrische constante**, A het oppervlak van de elektroden ('platen') en d de afstand tussen de platen. De formule mag u wat ons betreft meteen weer vergeten, we geven deze alleen om u een indruk te geven van de grootheden die bepalend zijn voor de capaciteit van een condensator. Het ligt voor de hand dat de capaciteit toeneemt met het oppervlak van de elektroden ('des te groter, des te meer lading past er in'). Wanneer de elektroden dicht bij elkaar worden gemonteerd, neemt de capaciteit eveneens toe. De diëlektrische constante, die een grote invloed op de capaciteit heeft, verdient enige nadere uitleg.

Tussen de elektroden van een condensator bevindt zich een niet-geleidend medium ('materiaal'). Voor de diëlektrische constante ϵ geldt de volgende betrekking:

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

Hierin is ϵ_0 de permittiviteit van het vacuüm (een natuurconstante met de bijzonder kleine waarde $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$) en ϵ_r de relatieve diëlektrische constante van het medium, een materiaaleigenschap. Voor papier heeft ϵ_r de waarde 2, voor vacuüm en lucht de waarde 1 en voor keramiek en mica de waarde 7. Het moge duidelijk zijn dat door een geschikte keuze van het diëlektricum de capaciteit van een condensator fors vergroot kan worden. De capaciteit van een condensator wordt uitgedrukt in **farad** (afgekort F). Dit blijkt in de elektronicapraktijk een onhandig grote eenheid; normaal gesproken hebben we te maken met waarden in de orde van grootte van picofarad (10^{-12} F), nanofarad (10^{-9} F) en microfarad (10^{-6} F). Er bestaan echter condensatoren met waarden van 1...10 F of meer: dat zijn zogenaamde **supercaps** die onder verschillende merknamen verkrijgbaar zijn en die als een soort reservebatterij worden gebruikt om bijvoorbeeld een klokschakeling aan de praat te houden als de netspanning wegvalt.

Verschijningsvormen

De condensator deed zijn intrede in het jaar 1746 in het laboratorium van Pieter van Musschenbroeck aan de Universiteit van Leiden. Deze condensator bestond uit een (glazen) fles, aan binnen- en buitenzijde bekleed met tinfoel (figuur 2). In combinatie met een elektriseermachine die voor het laden zorgde, was deze **Leidse fles** goed voor spectaculaire (en zeker niet ongevaarlijke) experimenten.

Tegenwoordig kunnen condensatoren (gelukkig) veel kleiner worden geconstrueerd. De bekendste verschijningsvormen zijn te zien in figuur 3. Helemaal rechts zien we een letterlijk 'dikke' metaal/papier-condensator; deze condensatoren worden vaak voor de ontstoring van motoren gebruikt. Het voordeel is dat deze condensatoren zeer robuust zijn; het nadeel is echter dat ze niet bepaald klein genoemd kunnen worden.

Elektrolytische condensatoren (elco's) zijn beduidend compacter (figuur 3 middelste rij). Bij elco's bestaat het diëlektricum uit een **elektrolyt**; een groot nadeel van dit type condensatoren is echter dat ze gepolariseerd zijn, dat wil zeggen een plus- en een min-aansluiting hebben. Deze condensatoren moeten beslist in de juiste stand worden gemonteerd; vergissingen kunnen (vooral bij zogenaamde tantaalcondensatoren) spectaculaire en bijzonder onwelriekende gevolgen hebben. Er bestaan overigens ook bipolaire elco's, en daarbij maakt het weer niet uit in

welke stand (met welke polariteit) ze worden gebruikt.

De linker rij van figuur 3 toont boven enkele polypropyleencondensatoren en daaronder een paar keramische condensatoren. Die laatste zijn lekker klein en goedkoop, maar zijn alleen in relatief kleine capaciteitswaarden verkrijgbaar.

Over de verschillende soorten condensatoren die verkrijgbaar zijn en hun specifieke eigenschappen valt zoveel te vertellen dat we daar gemakkelijk een heel nummer van Elektor mee zouden kunnen vullen. Wanneer u echter uw eerste schreden op het pad der elektronica zet, hebt u aan de bovengenoemde typen doorgaans genoeg. Al doende zult u andere typen leren kennen – maakt u zich daar geen zorgen over!

De condensator als energiereservoir

Een condensator kan elektrische energie opslaan, en wel des te meer naarmate zijn capaciteit groter is en de spanning hoger:

$$Q = C \cdot U$$

Hieruit volgt meteen de officiële definitie van de eenheid van capaciteit, de farad: de capaciteit van een condensator is de lading die bij een spanning van één volt kan worden opgeslagen. De in een condensator opgeslagen energie wordt als volgt berekend:

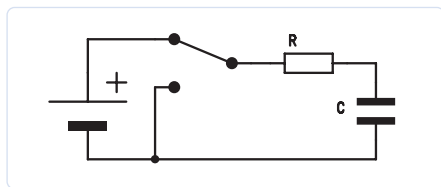
$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

Condensatoren als energiereservoir komen we vooral tegen in netvoedingen: de (omlaag getransformeerde) net-wisselspanning wordt gelijkgericht met als resultaat een pulserende gelijkspanning; deze wordt opgeslagen in een (behoorlijk dikke) condensator die als reservoir of buffer fungeert – dat wordt het bufferen of afvlakken van de spanning genoemd, en de betreffende condensator (meestal een elco) wordt buffer- of afvlakcondensator genoemd. Zodra dioden en gelijkrichtschakelingen aan de orde komen, gaan we nader op dit onderwerp in.

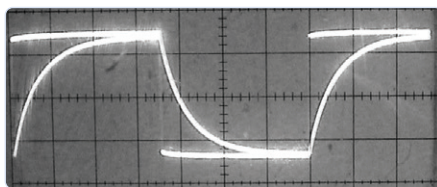
Laad- en ontlaadkarakteristiek

Wanneer een condensator wordt geladen of ontladen, is de spanning over die condensator afhankelijk van de al of nog aanwezige lading:

$$U = \frac{Q}{C}$$



Figuur 4. Periodiek laden en ontladen van een condensator via een weerstand.



Figuur 5. Zo zien de laad- en ontladcycli er op het scherm van een oscilloscoop uit.



Figuur 6. Twee elco's in antiserie vormen een bipolaire elco.

Als we een condensator met een constante stroom laden, dan neemt de spanning over de condensator lineair toe – en bij ontladen met een constante stroom neemt de spanning lineair af. In de praktijk worden condensatoren echter zelden met een constante stroom geladen of ontladen; dat gebeurt veel vaker met een constante spanning (figuur 4).

Omdat de spanning over de condensator bij het laden voortdurend toeneemt, zal de spanning over de weerstand voortdurend afnemen (de spanning over de weerstand is immers gelijk aan de constante laadspanning minus de spanning over de condensator) en dat betekent uiteraard dat de laadstroom ook voortdurend afneemt. En dat wil dan weer zeggen dat het laden van de condensator steeds trager verloopt – de spanning over de condensator nadert asymptotisch tot de laadspanning (figuur 5).

Bij het ontladen van een condensator via een weerstand gebeurt precies het omgekeerde: ten gevolge van de hoge condensatorspanning loopt er in eerste instantie een grote ontladstroom, maar omdat de spanning over de condensator daarbij voortdurend afneemt, zal de ontladstroom ook steeds kleiner worden.

Bij het laden van een condensator via een weerstand gelden de onderstaande formules voor de spanning en de stroom (met de afleiding ervan zullen we u niet lastigvallen; u kunt ze eigenlijk ook weer vergeten, we geven ze hier alleen omwille van de volledigheid):

$$U_C = U_0 \cdot (1 - e^{-t/RC})$$

$$I_C = \frac{U_0}{R} \cdot (e^{-t/RC})$$

En voor het ontladen gelden deze formules:

$$U_C = U_0 \cdot (e^{-t/RC})$$

$$I_C = \frac{-U_0}{R} \cdot (e^{-t/RC})$$

Serie- en parallelschakeling van condensatoren

Ter afsluiting van deze aflevering kijken we nog even naar de serie- en parallelschakeling van condensatoren. Parallelschakeling is eigenlijk eenvoudig: wanneer we condensatoren parallel zetten, kunnen we ons voorstellen dat de 'platen' van de resulterende samengestelde condensator groter zijn geworden en dus dat de resulterende capaciteit ook groter zal zijn. Er geldt:

$$C_{total} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Maar dat is leuk! Voor het parallelschakelen van condensatoren geldt eigenlijk dezelfde betrekking als voor het in serie schakelen van weerstanden! Zou voor de serieschakeling van condensatoren iets dergelijks gelden? Inderdaad: voor de serieschakeling van condensatoren geldt een vergelijkbare betrekking als voor de parallelschakeling van weerstanden:

$$C_{total} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

Nog een opmerking over elektrolytische condensatoren: wanneer twee elektrolytische

condensatoren in 'antiserie' worden geschakeld, is het resultaat een bipolaire elco – zie figuur 6.

Hier laten we het voor deze keer bij; in de volgende aflevering komen condensatoren als wisselstroomweerstand aan de orde. Daar valt best wel het en en ander over te vertellen, omdat er bij condensatoren een faseverschuiving optreedt tussen spanning en stroom – dit in tegenstelling tot weerstanden. ◀

200680-02

De artikelreeks "Alle begin..." is gebaseerd op het boek "Basiscursus elektronica" van Michael Ebner, dat bij Elektor is verschenen.

Een bijdrage van

Idee en illustraties: **Michael Ebner**

Tekst en redactie: **Eric Bogers**

Layout: **Giel Dols**



GERELATEERDE PRODUCTEN

➤ **Boek: Basiscursus elektronica**
www.elektor.nl/13950

➤ **E-boek: Basiscursus elektronica**
www.elektor.nl/18232

Vragen of opmerkingen?

Hebt u vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur of naar de redactie van Elektor, via redactie@elektor.com.

WEBLINK

[1] **Elektor januari/februari 2021, p. 38:** www.elektormagazine.nl/200551-01