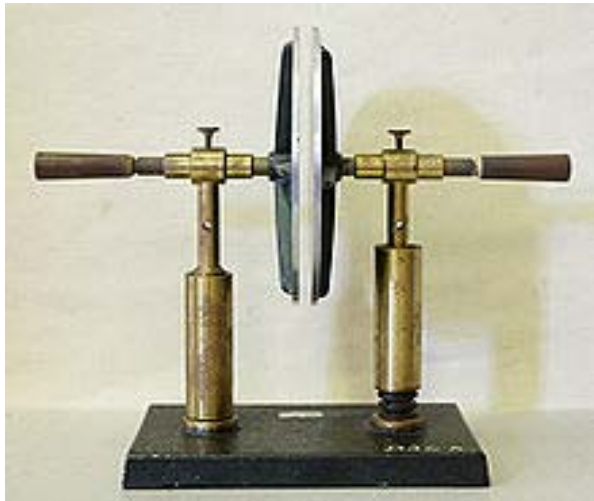


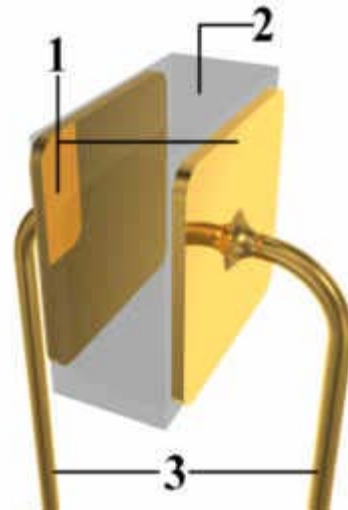
De condensator

Aangepast uit Wikipedia, de vrije encyclopedie.

Een **condensator** is een [elektrische component](#) die [elektrische lading](#) en [elektrische energie](#) opslaat. Hij is opgebouwd uit twee [geleiders](#) met een relatief grote oppervlakte, die zich dicht bij elkaar bevinden en gescheiden zijn door een niet-geleidend materiaal of vacuum, het [diëlektricum](#). Wanneer de ene geleider positief geladen wordt ten opzichte van de andere, verplaatst de negatieve lading in het diëlektricum zich naar de positieve plaat, en omgekeerd: positieve lading beweegt naar de andere geleider. De naam is afgeleid van het latijn *condensare*: samenpersen, dus *condensator* = samenperser, wat betrekking heeft op de ladingen die samengeperst worden bij de polen (platen) van de condensator.



Klassieke plaatcondensator, met lucht en glas als tussenstof ([diëlektricum](#)). De condensator kan worden aangesloten door stekkers in de gaatjes te steken. Schulhistorische Sammlung [Bremerhaven](#).



Principe van een condensator:

1. parallelle platen
2. diëlektricum
3. stroomdraden

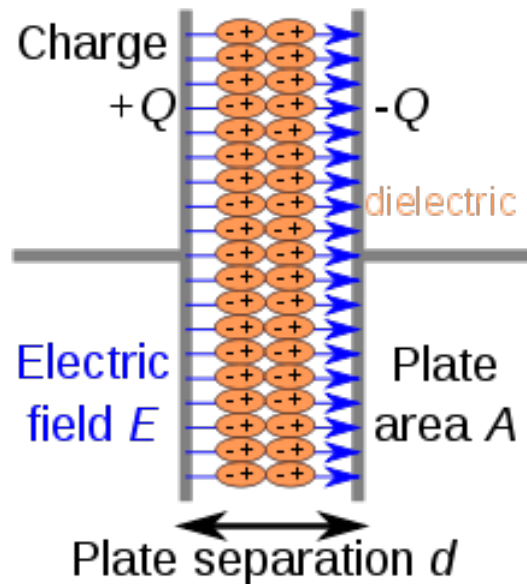
Condensatoren worden veel gebruikt in elektronische schakelingen, onder meer om

1. [gelijkstroom](#) te blokkeren maar [wisselstroom](#) door te laten, bijvoorbeeld een geluidssignaal naar luidspreker zonder gelijkspanning of de AC/DC-schakelaar op een [oscilloscoop](#).
2. frequenties uit te [filteren](#), bijvoorbeeld in [audiotoepassingen](#)
3. spanningsschommelingen [af te vlakken](#), bijvoorbeeld in [gelijkrichters](#) zoals een [Graetz-schakeling](#) met [diodes](#).
4. in trillingskringen met bijvoorbeeld [spoelen](#) af te stemmen op bepaalde frequenties in [radio](#)'s en vele andere toepassingen

5. het helpen verzorgen van timing met een [IC](#) zoals de [NE555](#) en NE551, in elektrische klokken, wekkers en tellers.
6. geluid op te nemen ([condensatormicrofoon](#))
7. de positie van een geleider mee te bepalen (bepaald soort [aanraakscherm](#))
8. elektrische energie op te nemen en af te geven zoals in [startmotoren](#), bijvoorbeeld opgerolde [aluminiumfolie](#) met [waspapier](#) ertussen in een [auto](#) met een benzinemotor, aandrijving in elektrische auto's, [fietsverlichting](#) en [zaklampen](#) met [LEDs](#), waar langdurig stroom geleverd wordt.
9. vermogen gepulst af te geven, zoals bij [radarinstallaties](#), [deeltjesversnellers](#), gepulste [lasers](#), elektromagnetische wapens als de [railgun](#), ontstekingen van [kernwapens](#), de [flitser](#) van een foto toestel enzovoorts.



Vier [Leidse flessen](#) in [Museum Boerhaave, Leiden](#). De Leidse fles was de eerste praktische condensator.



Ladingsscheiding (+Q, -Q) in een condensator met parallelle platen veroorzaakt een inwendig [elektrisch veld](#) E . Een [dielektricum](#) (oranje) verkleint de veldsterkte en vergroot de capaciteit van de condensator.

De hoeveelheid lading per aangelegde spanning heet de *capaciteit* van de condensator. Deze wordt groter naarmate de tussenafstand tussen de geleiders (de *platen* in de oude condensatoren) kleiner is. In de praktijk laat het materiaal in de tussenruimte (het diëlektricum) toch een kleine *lekstroom* door. Bovendien is er een bovengrens aan de sterkte van het elektrisch veld dat tussen de geleiders van een condensator kan worden aangelegd: de *doorslagspanning*. Vele elektrische componenten zoals kabels zijn onbedoeld tevens condensatoren met een zekere capaciteit.

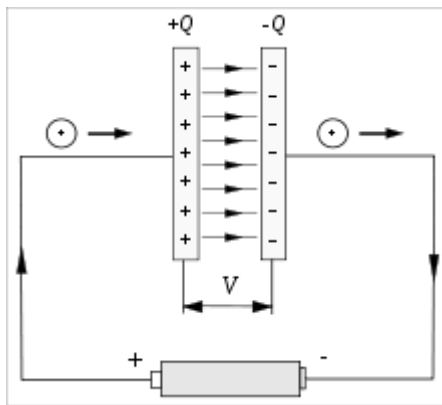
Het biologische [celmembraan](#) en het oppervlak van een [elektrode](#) in een [elektrolyt](#) gedragen zich ook als condensatoren.

De elektrische tegenhanger van de condensator is de [spoel](#). Terwijl een ideale condensator een oneindig grote [impedantie](#) vormt voor [gelijkstroom](#), en voor een [wisselstroom](#) een impedantie die kleiner wordt naarmate de frequentie toeneemt, is een ideale spoel juist een volmaakte geleider voor gelijkstroom, terwijl zijn impedantie toeneemt met de [frequentie](#) van een wisselstroom. Condensatoren en spoelen worden toegepast in [elektrische filters](#), die wisselstroomsignalen afhankelijk van hun frequentie doorlaten of tegenhouden.

Uitvinders

De eerste condensator was de [Leidse fles](#): een glazen fles gevuld met geleidend water met [tinfoolie](#) aan de buitenkant en in latere types ook aan de binnenkant. De capaciteit was van de orde van 7 nF. Deze werd uitgevonden zowel door de Duitser [Ewald Georg von Kleist](#) in oktober 1745 als onafhankelijk van hem mogelijk al in 1744 aan de Universiteit Leiden door [Pieter van Musschenbroek](#), vandaar de naam.^{[1][2]}

Basisformules



Schakeling om een condensator met een staafbatterij op te laden. De stroom van plus- naar min-pool van de batterij leidt tot opbouw van de elektrische ladingen $+Q$ en $-Q$ op de platen van de condensator, die gepaard gaat met een [elektrisch veld](#) (pijltes) tussen deze platen. Omdat er geen weerstand in de schakeling zit, komt de volledige batterijspanning V over de platen te staan.

Een condensator kan [elektrische lading](#) opslaan. Dit vermogen wordt de [capaciteit](#) van de condensator genoemd en uitgedrukt in de [eenheid farad](#) (symbool F). Een condensator die een lading bevat van 1 [coulomb](#) terwijl er een [spanning](#) van 1 [volt](#) tussen de platen staat, heeft een capaciteit van 1 farad.

Het verband tussen de capaciteit C van de condensator in [farad](#), de lading Q in [coulomb](#) op de condensator, de spanning U in [volt](#) over de condensator wordt gegeven door

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

dus

$$Q = CU$$

De [energie](#) in [Joule](#) van de opgeladen condensator is te berekenen met de definitie van spanning als energie per lading ($1V = 1J/1C$). Energie is dan spanning maal lading. De energie op de condensator met lading Q is gelijk aan de totale energie die nodig is om de condensator vanaf $q = 0$ tot $q = Q$ op te laden. Als we een optelling doen over alle lading met een [integraal](#) vinden we

$$E_{\text{opgeslagen}} = \int_{q=0}^Q U dq = \int_{q=0}^Q \frac{Q}{C} dq = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} UQ$$

Plaat- en elektrolytische condensator



Een condensator van 10 [millifarad](#) in een TRM-800 versterker.

Het standaardmodel voor de werking van condensatoren is de [plaatcondensator](#). Het symbool, twee evenwijdige strepen, is daarvan afgeleid. De capaciteit van een [plaatcondensator](#) is zeer beperkt. Het ontwerp van veel condensatoren is dan ook gericht op verhoging van de capaciteit door:

- het oppervlak van de platen te verhogen,
- de afstand tussen de platen te verkleinen, of
- de [permittiviteit](#) van het [diëlektricum](#) (de tussenstof) te vergroten.

Voor de eenvoudigste condensator, de plaatcondensator, is de capaciteit als volgt te berekenen. De platen zijn overal gelijk (nemen we aan) en hebben een oppervlak A en een [ladingsdichtheid](#)

$$\pm\rho = \pm\frac{Q}{A}$$

op dit oppervlak. Als de afmeting van de platen veel groter is dan hun tussenafstand d , is het [elektrisch veld](#) rond het midden van de condensator gelijk aan

$$E = \frac{\rho}{\varepsilon}$$

met ε de permittiviteit van de tussenstof ([diëlektricum](#)). De spanning is gedefinieerd als de [lijnintegraal](#) van het elektrisch veld tussen de platen

$$U = \int_0^d E dz = \int_0^d \frac{\rho}{\varepsilon} dz = \frac{\rho d}{\varepsilon} = \frac{Qd}{\varepsilon A}.$$

Met $C = \frac{Q}{U}$ vinden we

$$C = \frac{\varepsilon A}{d}$$

De capaciteit van de condensator neemt toe met het oppervlak A van de platen maar wordt kleiner als de platen verder uit elkaar staan (dan wordt de tussenafstand d groter). Verder is de capaciteit het grootst als een diëlektricum met een grote [permittiviteit](#) ε wordt toegepast.

Belangrijk is de [elektrolytische condensator](#) (elco). Deze bestaat uit twee opgerolde (voor groot oppervlak) lagen aluminiumfolie gescheiden door papier of poreuze kunststof, gedrenkt in een elektrolyt. De elektrolyt maakt het papier geleidend waardoor dat deel uitmaakt van één van de "platen". Het diëlektricum wordt gevormd door aluminiumoxide op een van beide platen. Aluminiumoxide is uiterst dun waardoor de capaciteit zeer hoog is. Nadeel is dat het oxide in stand wordt gehouden door de aangebrachte spanning. Elektrolytische condensatoren zijn daardoor "gepoold": ze hebben een plus- en een minpool. Bij omkeren van de spanning wordt het diëlektricum vrij snel afgebroken, waarna er een kortsluiting ontstaat.

Diëlektricum

De niet-geleidende tussenstof tussen de platen van een condensator kan zijn:

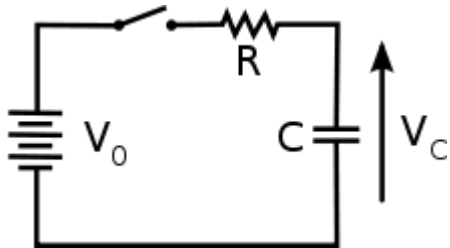
1. lucht - in radio's om af te stemmen
2. glas - in de historische [Leidse fles](#), maar ook in moderne condensatoren voor hoogspanningstoepassingen
3. keramisch materiaal - voor toepassing met hoogfrequente signalen als in [röntgen](#)- en [MRI](#)-toestellen in ziekenhuizen
4. [mylar](#) in klokken en dergelijke.
5. [waspapier](#) in condensatoren in automotoren.

Gelijk- en wisselstroom

Een condensator beïnvloedt het vloeien van [elektrische stroom](#). Voor gelijkstroom is hij een blokkade: slechts kort vloeit een stroom tot de condensator opgeladen is. Bij een aangelegde

[wisselspanning](#) wordt de condensator afwisselend geladen, ontladen en tegengesteld geladen, waardoor schijnbaar stroom wordt doorgelaten; in het circuit waarin de condensator is opgenomen loopt een wisselstroom.

Gelijkstroomschakeling: op- en ontladen



Een eenvoudige RC-schakeling om een condensator op te laden.

Een serieschakeling met een weerstand, een condensator, een schakelaar en een gelijkspanningsbron die een spanning U_0 levert kan gebruikt worden om een condensator op te laden. ^[3]

Als de condensator aanvankelijk ongeladen was en de schakelaar gesloten wordt op tijdstip $t = 0$, wordt de lading Q op de condensator op een tijdstip t opgebouwd door de stroom $i(t)$ tot dusver (we berekenen de tijdsintegraal (optelling) van de stroom $i(t)$)

$$Q(t) = \int_0^t i(\tau) d\tau$$

zodat de spanning U_C over de condensator geschreven kan worden als

$$U_C(t) = \frac{Q(t)}{C} = \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau$$

Met de [Kirchhoffs Spanningswet](#) en de [Wet van Ohm](#) volgt voor de constante totale spanning

$$U_0 = U_R(t) + U_C(t) = i(t)R + \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau,$$

waarbij U_R de spanning over de weerstand is. Als we de [afgeleide](#) naar de tijd nemen en vermenigvuldigen met C , krijgen we een eerste-orde lineaire [differentiaalvergelijking](#)

$$RC \frac{di(t)}{dt} + i(t) = 0$$

Op tijd $t = 0$ is de spanning over de condensator nog 0 V maar de spanning over de weerstand U_0 . De elektrische stroom i op tijdstip $t = 0$ is

$$i(0) = \frac{U_0}{R},$$

dus vinden we als oplossing van de differentiaalvergelijking

$$i_R(t) = \frac{U_0}{R} e^{-t/RC},$$
$$U_R(t) = U_0 e^{-t/RC},$$

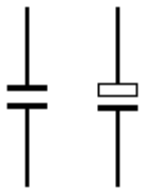
en

$$U_C(t) = U_0 - U_R(t) = U_0 \left(1 - e^{-t/\tau_0}\right),$$

met $\tau_0 = RC$, de *tijdconstante* van het systeem.

Terwijl de spanning over de condensator toeneemt, neemt de spanning over de weerstand R en de stroom door de hele schakeling [exponentieel](#) af. Het omgekeerde geval - de *ontlading* van een geladen condensator over een weerstand zonder spanningsbron - geschiedt ook exponentieel, maar dan vervangt de aanvankelijke spanning over de condensator U_0 . De eindspanning is 0 V.

Complexe impedantie



Symbolen voor een condensator: links een 'gewone' condensator, rechts een polariteits-gevoelige condensator zoals een [elco](#).

Een condensator met capaciteit C en spanning U heeft een lading $Q = CU$. Als de capaciteit C constant blijft in de tijd volgt voor de stroom I die vloeit door de condensator (we nemen links en rechts van het gelijkteken de [afgeleide](#) naar de tijd):

$$I = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dU}{dt}.$$

Indien de aangelegde spanning een enkele [sinusgolf](#) met [hoekfrequentie](#) ω is, kan de spanning ([complex](#)) geschreven worden als:

$$U = U_0 \cdot e^{j\omega t}$$

Hieruit volgt voor de stroom:

$$I = C j\omega U_0 \cdot e^{j\omega t} = j\omega C U$$

zodat

$$U = I \frac{1}{j\omega C} = I \cdot Z_C$$

Hierin is

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

de (complexe) [impedantie](#) van de condensator, de zogenaamde *capacitantie*. Dit is een uitbreiding van de [Wet van Ohm](#). Vanwege de imaginaire factor j loopt de stroom I 90° in [fase](#) voor - *ijlt voor* - op de spanning U . Het complexe [elektrisch vermogen](#) ($= UI$) dat geleverd wordt is daarom nul. In de praktijk zal een condensator een lekstroom hebben tussen de platen, die kan worden verrekend door een parallelle weerstand R_c . De complexe impedantie wordt dan:

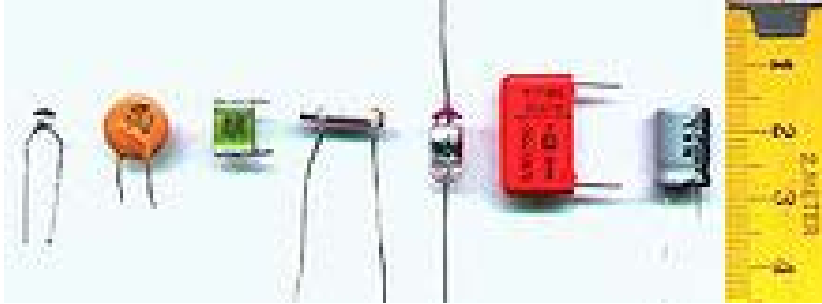
$$Z_C = \frac{1}{\frac{1}{R_c} + j\omega C}$$

Dit kan herschreven worden als

$$Z_C = \frac{R_c}{1 + j\omega R_c C}$$

De fasedraaiing φ is dan kleiner dan 90° (want $\tan(\varphi) = \omega R_c C$) en er wordt wel elektrisch vermogen gedissipeerd. De factor $R_c C$ heeft de dimensie tijd, in seconden (als R in [Ω](#) en C in [F](#)). Deze *tijdconstante* speelt een herkenbare rol bij stapsgewijze verandering van de spanning over een condensator.

Uitvoeringen



diverse soorten condensatoren



Keramische condensatoren



Elektrolytische condensatoren



Tantaal condensatoren



Regelbare condensatoren.

Door zijn mechanische constructie en de gebruikte materialen heeft men een grote verscheidenheid in types. De voornaamste karakteristieken die de keuze bepalen zijn: de capaciteit, de [tolerantie](#), [verlieshoek](#), toegelaten [temperatuur](#), stabiliteit en mechanische afmetingen.

Er zijn verschillende typen condensatoren:

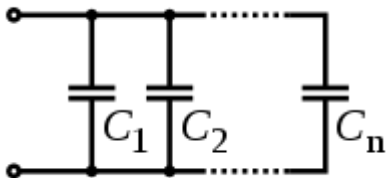
- [keramische](#) (kleine capaciteit, hoge [doorslagspanning](#))
- met [kunststoffilm](#) als [diëlektricum](#)
- [mica](#) (kleine capaciteit, hoge doorslagspanning, geringe verliezen)
- [elektrolytische condensator](#) (hoge capaciteit mogelijk, relatief lage [ohmse weerstand](#), vooral gebruikt voor spanningstabilisatie, kortweg [elco](#) genoemd)
- [tantaal-elco](#) (hoge capaciteit mogelijk bij kleine afmeting)**

- [variabele](#) (bijvoorbeeld [afstemcondensator](#) of [varicap](#) in een [radioontvangers](#)). Variabele condensatoren die alleen voor servicedoeleinden toegankelijk zijn om een schakeling af te regelen worden wel trimmers genoemd.
- oliecondensatoren (voor hoge [vermogens](#))
- [supercondensatoren](#), met uitzonderlijk hoge capaciteit van 1 tot vele F maar met relatief hoge [lekstroom](#)

Met de huidige techniek slaagt men er in [miniatuurcondensatoren](#) te bouwen met vrij grote capaciteit.

Vervangingscapaciteit

Parallelschakeling



Condensatoren parallel geschakeld.

Voor de vervangingscapaciteit C_P bij parallelle schakeling (naast elkaar) van n condensatoren met capaciteiten C_1, \dots, C_n worden de afzonderlijke capaciteiten opgeteld omdat de spanningen over de condensatoren gelijk zijn maar de lading zich verdeelt. De formule wordt als volgt afgeleid. Voor de afzonderlijke condensatoren geldt in het algemeen

$$C_1 = \frac{Q_1}{U_1}, C_2 = \frac{Q_2}{U_2}, \dots, C_n = \frac{Q_n}{U_n},$$

maar over alle condensatoren staat dezelfde spanning

$$U_1 = U_2 = \dots = U_n = U$$

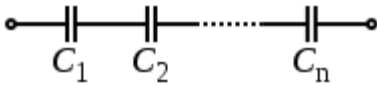
zodat voor de totale capaciteit C_P van de parallelle condensatoren samen geldt

$$C_P = \frac{Q_{\text{tot}}}{U_{\text{tot}}} = \frac{Q_{\text{tot}}}{U} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{U}$$

waarbij het sommatie-teken Σ is gebruikt voor de optelling van de ladingen Q_i voor $i = 1, 2, \dots, n$. Dit komt neer op

$$C_P = \sum_{i=1}^n C_i$$

Serieschakeling



Condensatoren in serie geschakeld.

Bij de serieschakeling is de lading Q bij elke condensator in serie hetzelfde, de spanningen U daarentegen moeten worden opgeteld:

$$Q_{\text{tot}} = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$$

maar

$$U_{\text{tot}} = U_1 + U_2 + \dots + U_n.$$

De vervangingscapaciteit C_S bij [serieschakeling](#) (achter elkaar) van n condensatoren met capaciteiten C_1, C_2, \dots, C_n , wordt analoog aan [parallele weerstanden](#) berekend als de [inverse](#) van de som van de inversen van de afzonderlijke capaciteiten. Dit is een gevolg van het optellen van de spanningen U van iedere condensator. We krijgen

$$\frac{1}{C_S} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$

Uitgewerkt voor twee in serie geschakelde condensators geeft dit

$$C_S = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}.$$

Referenties

1. ↑ Henry Smith Williams. [A History of Science Volume II, Part VI: The Leyden Jar Discovered.](#)
2. ↑ De Pater, C. *Petrus van Musschenbroek (1692-1761)*, in Kox, A.J. en Chamalaun, M. *Van Stevin tot Lorentz. Portretten van Nederlandse natuurwetenschappers*, Intermediair, Amsterdam 1980
3. ↑ [Capacitor charging and discharging : DC CIRCUITS.](#) *All About Circuits*. Geraadpleegd op 2009-02-19.