**HFST 24 Elektrostatische energie en capaciteit**

Wanneer we een puntlading q van ver weg naar een gebied brengen met andere ladingen, dan moeten we arbeid leveren qV, waar V = de potentiaal op de uiteindelijk positie tgv de andere ladingen in de buurt. De geleverde arbeid is opgeslagen als elektrostatische potentiele NRG.

De elektrostatische potentiele NRG va neen systeem van ladingen is de totale arbeid die nodig is om het systeem samen te stellen.

Wanneer een postieve lading op een geisoleerde geleider geplaatst wordt, stijgt de potentiaal van de geleider. De verhouding lading/potentiaal noemt men de capaciteit van de geleider. Een nuttig toestel om lading en NRG op te slagen is de condensator., welke uit twee geleiders bestaat dicht bij elkaar gebracht maar van elkaar geisoleerd.

Wanneer een condensator in contact gebracht wordt met een bron met een potentiaalverschil, zoals een batterij, krijgen de geleiders gelijke maar tegengestelde ladingen. De verhouding van de grootte van de lading op elke geleider tot het potentiaalverschil tussen de geleiders is de capaciteit van de condensator.

Condensators kennen vele toepassingen: flash van camera, in radios, televisies, gsm’s,…

Elektrostatische potentiele NRG

Wanneer we een lading q1 in punt 1 hebben, dan is de potentiaal V2 in punt 2 op een afstand r1,2 gegeven door:



Om een puntlading q2 van oneindige afstand naar een punt 2 te brengen moeten we arbeid W2 = q2V2 leveren:



De potentiaal in een punt 3, een afstand r1,3 van q1 en een afstand r2,3 van q2 is dan: 

Om een extra puntlading q3 van rust op oneindig naar punt 3 te brengen moeten we extra arbeid leveren:



De totale arbeid die geleverd moet worden om de drie ladingen samen te brengen = de elektrostatische potentiele NRG U van het systeem van de drie puntladingen: 

Dit bewijzen/uitrekenen: zie tipler p. 750 Deze hoeveelheid arbeid is onafhankelijk van de volgorde waarin de ladingen samengebracht worden.

In het algemeen:

De elektrostatische potentiele NRG van een systeem van puntladingen is de arbeid die geleverd moet worden om de ladingen vanop oneindige afstand naar hun uiteindelijke posities te brengen.

Beschouw een sferische geleider met straal R. wanneer de sfeer de lading q heft, dan is de potentiaal relatief tot V =0 op oneindig:



In het algemeen geldt voor een geleider die lading q heeft dat de potentiaal evenredig is met de lading q: V = α q (geen bewijs)

De arbeid die we moeten leveren om een extra lading dq op de geleider te brengen is V dq. Deze arbeid = de verhoging in potentiele NRG van de geleider:



Totale NRG van geleider: arbeid die geleverd moet worden om

volledige lading Q op geleider te brengen vanuit oneindig.

Met V = kQ/R is de potentiaal op het oppervlak van de volledig geladen sfeer. Als we U schrijven als:

U = Q x ½ V dan kunnen we ½ V beschouwen als de gemiddelde potentiaal van de sfeer gedurende het ladingsproces. Merk op dat tijdens het ladingsproces, het geen arbeid kost om het eerste ladingselement van oneindig op de geleider te brengen (die dan nog niet geladen is). Maar naarmate er meer NRG op de geleider zit, moet men meer arbeid leveren om een extra lading dq aan de geleider toe te voegen.

De gemiddelde potentiaal van de geleider tijdens het ladings proces is ½ zijn uiteindelijke V. dus de totale arbeid die geleverd moet worden om de totale lading op de geleider te brengen is ½ QV.

Hoewel we deze vergelijkingen afgeleid hebben voor een sferische geleider, zijn ze van toepassing op elke geleider.

Samengevat:

de potentiaal van eenders welke geleider is proportioneel tot zijn lading q, zodat we kunnen schrijven: V = αq (α = cste)

De arbeid die geleverd moet worden om een extra lading dq vanop oneindig op de geleider te brengen is V dq = αq dq.

En de totale arbeid die nodig is om een lading Q op de geleider te brengen is ½ α Q² = ½ QV.

Als we een set van n geleiders hebben met de i-de geleider op een potentiaal Vi en een lading Qi, dan is de elektrostatische potentiele NRG:



De capaciteit

De potentiaal V tgv een lading Q op een enkele geisoleerde geleider is proportioneel tov Q en hangt af van de grootte en vorm van de geleider. Typisch, hoe groter de oppervlakte van de geleider, hoe meer lading de geleider kan dragen voor een gegeven V.

Vb: de V van een sferische geleider met straal R en lading Q is:

V = kQ/R

De verhouding van de lading Q tov de potentiaal V van een geisoleerde geleider is de capaciteit C:

C = Q/V

Anders gezegd:



Capaciteit is een maat voor de hoeveelheid lading die kan opgeslagen worden bij een gegeven potentiaal.

Aangezien de potentiaal proportioneel is met de lading, hangt deze verhouding (van C) noch van Q noch van V af, maar enkel van de grootte en vorm van het materiaal en van de (kristal)structuur van de geleider.

Bijvoorbeeld: de capaciteit van een geladen metalen bol met straal R:



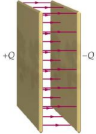
De SI eenheid van capaciteit is [Coulomb/Volt] = [Farad]🡪 1 F = 1 C/V De Farad is een grote eenheid, daarom wordt dikwijls gebruik gemaakt van de nanofarad = nF = 10-9F of de picofarad = pF = 10-12F

(Andere uitdrukking voor ε0 dmv F: ε0 = 8.85 x 10-12 F/m = 8.85 pF/m)

**De condensator**

• Een condensator bestaat uit twee **geleiders** gescheiden door een **diëlektricum** (i.e. isolator), waarbij de geleiders een gelijke maar tegengestelde lading Q dragen.

Een condensator wordt meestal geladen door een lading Q over te dragen van de ene geleider naar de andere, waarbij de ene geleider de lading –Q krijgt en de andere + Q. De capaciteit C van de condensator wordt gedefinieerd als C = Q/V waarbij Q de grootte van de lading op de geleiders is en V het potentiaal**verschil** tussen de geleiders. We noteren V voor het potentiaalverschil ipv. ∆V voor de eenvoud.

Om C te berekenen plaatsen we gelijke en tegengestelde ladingen op de geleiders en zoeken we dan het V door eerst het Eveld tgv de ladingen te berekenen. 

**Parallelle-platen condensator**

Een veel voorkomende condensator is de parallelle platen

condensator, welke twee vlakke evenwijdige platen gebruikt. In de

praktijk zijn deze platen vaak van dunne metaalfolie die gescheiden

en geisoleerd zijn van elkaar door een andere dunne plastiekfolie.

Deze “sandwich” wordt dan opgerold, zodat men een groot contact

oppervlak krijgt in relatief kleine ruimte.

Stel A = opp (opp van de kant van iedere plaat), en d is de afstand tss

de platen, welke klein is vergeleken met de lengte en 

breedte van de platen. We plaatsen een lading +Q op een

plaat en –Q op de andere. Deze ladingen trekken elkaar

aan en worden uniform verdeeld over de binnenkant

oppervlakken van de platen. Aangezien de platen dicht bij

elkaar zijn, is het Eveld tussen hen ongeveer gelijk aan het

Eveld tussen twee oneindige platen met gelijke en

tegengestelde lading.

Elke plaat draagt een gelijk veld van grootte E = σ/(2ε0) bij. De



totale veldsterkte is E = σ/ε0,

met σ = Q/A = de grootte van de lading per oppervlakte eenheid

op elke plaat. Aangezien E uniform is tussen de platen, is het

potentiaal verschil tussen de platen:

De capaciteit van de parallelle-plaat condensator is dan:



Merk op dat V proportioneel is tov Q, de capaciteit hangt dus niet af van Q of V. voor een parallelle plaat condensator is de capaciteit proportioneel tot de oppervlakte van de platen en is invers proportioneel tot de afstand tss de twee platen.

In het algemeen, de capaciteit hangt af van grootte, vorm en geometrische schikking van de geleiders en de eigenschappen van het isolerende medium tussen de geleiders.

**Cilindrische condensator**

Een cilindrische condensator bestaat uit een kleine geleidende cilinder of draad met straal R1 en een grotere, concentrische cilindrische geleidende schil vna straal R2. De capaciteit van een cilindrische condensator w gegeven door:

C = (2πε0L) / ln(R2/R1)

Bepaling van Elektrisch veld en potentiaal tussen twee geleidende platen (niet in boek) + zie vbden van condensators tipler p 756

Het opslaan van Elektrische NRG

Wanneer een condensator opgeladen wordt, worden er e- van de positieve geleider naar de negatieve geleider overgebracht. Zo blijft de positieve geleider met een elektronen tekort achter en de negatieve geleider met een elektronen overschot. Omgekeerd, als we positieve ladingen van de negatieve geleider naar de positieve geleider overbrengen kunnen we ook condensators opladen. Hoe dan ook, er moet arbeid

geleverd worden om een condensator op te laden 

en tenminste een deel van deze arbeid wordt

opgeslagen als elektrostatische potentiele NRG.

Stel q = positieve lading die overbracht is tijdens

het ladingsproces. Het potentiaal verschil is dan V

= q/C.

Als een kleine hoeveelheid extra positieve lading

overgebracht wordt van de negatieve naar de positieve geleider tgv een potentiaal verhoging V, dan vermeerdert de potentiele NRG van de lading, en dus ook van de condensator, met: dU = V dq = q/C dq

de totale verhoging in potentiele NRG U si dan de integraal van dU als q verhoogt van 0 tot zijn uiteindelijke waarde Q:



We maken gebruik van C = Q/V dan kunnen we deze uitdrukking ook schrijven als: 

Stel dat we een condensator opladen door ze te koppelen aan een batterij. Het potentiaalverschil V wanneer de condensator volledig geladen is met lading Q is juist het potentiaal verschil tussen de twee polen van de batterij voordat we de batterij aansloten op de condensator. De totale arbeid die geleverd is doro de batterij bij het opladen van de condensator is QV, welke twee keer e energie is die opgeslagen is in de condensator. De extra arbeid geleverd door de batterij is ofwel verspilt als thermische NRG in de batterij of bij het aansluiten van de draden of is uitgezonden als elektromagnetische NRG via een elektromagnetische golf.

**Energie opgeslagen in een condensator / Elektrische veld NRG**

In het proces van het opladen van een condensator wordt een elektrisch veld geproduceerd tussen de platen. De arbeid die nodig is om de condensator op te laden kan beschouwd worden als de arbeid die nodig is om het Eveld te creeeren. Dat is, we kunnen NRG die opgeslagen is in een condensator beschouwen als energie die opgeslagen is in een elektrisch veld, genaamd de elektrostatische veld NRG.

Beschouw een parallelle plaat condensator. We kunnen de opgeslagen NRG in de condensator in verband brengen met de elektrische veld sterkte E tussen de platen. Het potentiaal verschil tussen de platen staat tot het elektrische veld als V = Ed (d = afstand tussen de platen) De capaciteit is gegeven door C = ε0A/d.

De opgeslagen NRG is dan:

U = ½ CV² = ½ (ε0 A/d) (Ed)² = ½ ε0E² (Ad)

De hoeveelheid Ad is het volume van de ruimte tussen de platen van de condensator waar het Eveld zit. De NRG per eenheid volume = energetische dichtheid = ue

Deze energetische dichtheid in een elektrisch veld met sterkte E is dus:

ue = energie/volume = ½ ε0E²

Hoewel we deze vergelijking bekomen zijn door het Eveld tussen twee platen van een parallelle plaat condensator te beschouwen, geldt dit resultaat voor elke elektrisch veld!



Condensators, batterijen en circuits.

We onderzoeken wat er gebeurt wanneer een oorspronkelijk ongeladen condensator aangesloten wordt op de poolen van een batterij. Het potentiaal verschil tussen de twee poolen van een batterij noemt men “terminal voltage”.

De ene pool van de batterij is positief geladen, de andere pool negatief, deze ladingsscheiding wordt onderhouden door een chemische actie binnen de batterij.

Binnen in de batterij is een elektrisch veld dat weg van de positieve en naar de negatieve pool gericht is. Wanneer een plaat va neen ongeladen condensator aan de negatieve pool van de batterij gekoppeld wordt, dan wordt de negatieve lading van die pool gedeeld met de plaat. Zo krijgt de plaat een kleine negatieve lading en verminderd tijdelijk de negatieve lading in die pool van de batterij. Als de tweede condensator plaat dan gekoppeld wordt ana de positieve pool, dan wordt de lading van die positieve pool met de plaat gedeeld en wordt de positieve lading van de pool tijdelijk gereduceerd. Deze lading verminderingen bij de batterij poolen resulteren in een afname van de “terminal voltage” vd batterij. Deze afname lokt chemische reacties uit binnen de batterij die lading overdraagt van de ene pool naar de andere in een poging om de “terminal voltage” op zijn oorspronkelijk peil te houden, welke men de “open circuit terminal voltage” noemt. Deze chemische reactie stopt wanneer de batterij voldoende lading van de ene condensator plaat naar de andere heeft overbracht om het potentiaal verschil tussen de twee platen gelijk te maken aan de “open-circuit terminal voltage” vd batterij.

**Parallelle condensatoren** 

Wanneer twee condensatoren verbonden worden, zod dat

de bovenste platen van de twee condensatoren verbonden

zijn door een geleidende draad en daarom dus dezelfde

potentiaal hebben, en de onderste platen ook verbonden

zijn zodat ook zij dezelfde potentiaal hebben, dan zegt

men dat de condensatoren in parallell zijn.

Apparaten die parallell geschakeld zijn delen een gelijk

potentiaal verschil over elk apparaat enkel tgv de manier

waarop ze verbonden zijn.

Neem aan dat in de figuur de punten a en b met de batterij

verbodnen zijn en dat die batterij een potentiaal verschil

V = Va – Vb levert tussen de platen van elke condensator. Als de capaciteiten C1 en C2 zijn, dan zijn de ladingen Q1 en Q2 opgeslagen op de platen gegeven door:



een combinatie van condensatoren kan soms vervangen worden door een equivalente condensator die operationeel dezelfde werking heeft. In het geval van parallelle condensatoren wordt de capaciteit van die substitutie condensator gegeven door : 

Analoog voor meerdere condensatoren!

**Condensatoren in serie** 

Wanneer twee condensatoren zo verbonden zijn dat het

potentiaal verschil over het paar gelijk aan de som van de

potentiaalverschillen over de individuele condensatoren,

dan zegt men dat ze in serie geschakeld zijn.

In de figuur zijn de condensatoren C1 en C2 in serie

geschakeld en oorspronkelijk hebben ze geen lading. Als

men dan punten a en b aan de poolen van een batterij

verbindt, zullen e- van de bovenste plaat van C1 naar de

onderste plaat van C2 gepompt worden. Zo blijft de

bovenste plaat van C1 met een positieve lading +Q achter

en de onderste plaat van C2 krijgt een negatieve lading –

Q. Wanneer een lading +Q op de bovenste plaat van C1 komt, dan induceert het elektrische veld tgv die lading een evengrote negatieve lading –Q op de onderste plaat van C1. Deze lading komt van e- die onttrokken wroden van de bovnenste plaat van C2. Dus, er zal een evengrote lading +Q op de bovenste plaat van C2 komen en een corresponderende lading –Q op de onderste plaat.

Het potentiaal verschil over de eerste condensator is:



Het potentiaal verschil over de tweede condensator:





Het potentiaal verschil over de twee

condensatoren:

De equivalente capaciteit van de twee condensatoren in serie is:



Merk op dat de equivalente capaciteit van de twee condensatoren in serie lager is dan de capaciteit van iedere condensator. Toevoeging van een condensator in serie verhoogt 1/Ceq, wat wil zeggen dat Ceq afneemt.

!!! de formule voor Ceq mag enkel gebruikt worden indien de condensatoren in serie geschakeld zijn EN wanneer de totale lading op elk paar van condensator platen die verbondne zijn door een draad nul is!!!

Diëlektrica

Een niet geleidende stof (elektrische isolator) noemt men een diëlektricum. Wanneer de ruimte tussen twee geleiders van een condensator ingenomen wordt door een diëlektricum, dan is de weerstand verhoogt met een factor κ die karakteristiek is voor het diëlektricum. De reden achter de verhoging van de capaciteit is dat het elektrische veld tussen de platen van een condensator afgezwakt is door het diëlektricum. Dus, voor een geven lading op de platen, is het potentiaal verschil gereduceert en de capaciteit verhoogd. Beschouw een geisoleerde condensator zonder een diëlektricum tussen de platen. Een diëlektricum wordt dan tussen dep laten gebracht, zodat dit heel de ruimte tussen de platen vult. Als het Elektrische veld E0 is voordat het diëlektricum ingevoegd is, dan is het veld tussne de platen nadat het diëlektricum ingebracht is:



κ = diëlektrische cste

voor een parallelle-plaat condensator met tussneruimte d, is het potentiaal verschil tss de platen:



V = potentiaal verschil met diëlektricum

V0 = potentiaalverschil zonder diëlektricum

De nieuwe capaciteit is dan:



C0 = Q/V0 = capaciteit zonder diëlektricum

De capaciteit van een vlakke-plaat condensator met diëlekticum met cste κ is dan: 

In de vorige discussie werd ondersteld dat bij het inbrengen vanhet diëlektricum de lading op de platen niet veranderde. Dit kan indienmen na het opladen van de platen en voor het inbrengen v/h diëlektricum de platen isoleert van de batterij die de condensator oplaadde. Indien met dit **niet**doet dan zal de lading veranderen bij het aanbrengen van het diëlektricum. De batterij zal dan extra lading naar de platen doen stromen om het oorspronkelijke potentiaalverschilV0te behouden. De totale lading op de platen wordt dan κQ0. Maar ook dan wordt de capaciteit C = κC0.

In elk geval, de capaciteit (Q/V) wordt dus vermeerdert met een factor κ. 

Diëlektrica verhogen niet allen de capaciteit van een condensator, ze leveren ook de middelen voor het gescheiden houden van parallelle geleidende platen en ze verhogen het potentiaal verschil waarbij dielektrische doorslag plaats vindt.

Beschouw een vlakke-plaat condensator gemaatk van twee stukken metaal folie die gescheiden zijn door een dunne platiek folie. De plastiek folie zorgt ervoor dat de metaalfolies dicht bij elkaar gebracht kunne wroden zonder dat ze eigenlijk elektrisch contact maken. En omdat de dielektirsche kracht van plastiek groter is als die van lucht, kan een hoger potentiaal verschil bereikt worden voordat diëlektrische doorslag plaats vindt.



**Energie opgeslagen in de aanwezigheid van een diëlektricum.**

De energie opgeslagen in een vlakke-plaat condensator met diëlektricum: 

We kunnen C uitdrukken in termen van oppervlakte en ruimte tussen de platen, en het potentiaal verschil V kunnen we uitdrukken in termen van E en ruimte tussen de platen: 

De hoeveelheid Ad is het volume tussen de platen waar het Eveld zit. De energie per volume eenheid is dus:



(met ε = ε0κ)

Een gedeelte van deze NRG is de NRG die geassocieerd is met het Eveld en de rest is de NRG die geassocieerd is met de polarisatie van het diëlektricum.

Moleculaire beschrijving van een diëlektricum

een diëlektricum verzwakt het E-veld tussen de platen van een condensator omdat de moleculen/atomen in het diëlektricum een E-veld creëren dat tegengesteld is aan het E-veld tgv. lading op de platen.

•Het E-veld tgv. de ladingen op de platen zorgt ervoor dat de moleculen/atomen polariseren omdat positieve (atoomkernen) en negatieve (elektronen) ladingen een verschillende (tegengestelde) kracht ondervinden. In de moleculen/atomen wordt een dipool geïnduceerd. Hoewel atomen en moleculen elektrisch neutraal zijn, worden ze toch beinvloed door Evelden omdat ze positieve en negatieve ladingen hebben die kunnen reageren op externe velden. We kunnen atomen beschouwe nals een zeer kleine , postief geladen kern omgeven door een negatief geladen elektronen wolk. In sommige atome nen moleculen is de elektronen wolk sferisch zodat het middelpunt van de negatieve lading samenvalt met het middelpunt van het atoom of molecule, botsend met het middelpunt van de postieve lading. Een atoom of molecule zoals deze heeft dipool moment = 0 en men noemt deze niet polair. Maar in de aanwezigheid van een extern elektrisch veld, ondervinden de positieve en negatieve ladingne krachten in tegengestelde richtingen zodat de positieve en negatieve ladingen gescheiden worden tot het punt dat hun onderlinge aantrekkingskracht in evenwicht zijn met tgv het uitwendig veld.

In sommige moleculen valle nde middelpunten van positieve en negatieve lading niet samen en, zelfs niet in de afwezigheid van een elektrisch veld. Zulke moleculen hebben een permanent elektrisch dipool moment en noemen we polair.

Wanneer een dielektricum inhet veld van een condensator geplaatst wordt, dan wroden de moleculen van de condensator zo gepolariseerd dat er een netto dipool moment is parallell met het veld.

•Bij moleculen die een permanente dipool hebben en tussen de platen van een condensator geplaatst worden gaan deze permanente dipolen zich richten volgens het E-veld. Als moleculen niet polair zijn, dan induceert het veld dipool momenten die evenwijdig zijn ah Eveld. In beide gevallen zijn de moleculen gepolariseerd in de richting van het uitwendig veld.





