

licht & stroom



# licht & stroom

Bart van der Lugt

Schrijver en coverontwerp: Bart van der Lugt

ISBN: 978-94-02182-46-0

© Bart van der Lugt

## **ter introductie**

Licht. Gedurende vele eeuwen is het bestudeerd, in fraaie toonaarden bezongen en door schilders op het doek vastgelegd. Maar het licht van de openbare verlichting hebben we voor een groot deel te danken aan de elektrische infrastructuur waarop het is aangesloten. Vanaf het einde van de 19e eeuw zijn straatverlichting en elektriciteit namelijk onlosmakelijk met elkaar verbonden. Letterlijk verbonden, want de verlichting kan immers niet functioneren zónder het uitgebreide elektriciteitsnet dat, onzichtbaar voor iedereen, de vele lichtmasten van energie voorziet. Een gedegen kennis van de openbare verlichting is dus niet compleet zonder een even grondige kennis van elektriciteit en de hierbij gebruikte begrippen, componenten en netten.

Deze brug wordt geslagen in de volgende essays, die de manier beschrijven waarop elektriciteit uiteindelijk wordt omgezet in zichtbare straling. . Het bevindt zich hierbij als het ware op het grensvlak tussen deze twee en gaat óf in een wat meer beschouwende vorm óf in detail in op onderwerpen zoals dimmen, het skin-effect, oriëntatie verlichting, smart grids en gelijkspanning. Deze verzameling bevat eveneens een essay dat is gebaseerd op de opmerkelijke overeenkomst tussen de 18e Dynastie Egyptische Faraó Amenhotep IV en een 21e eeuwse Nederlandse professor ruimtevaart techniek.



# inhoud

de Batavia in de schijnwerpers	6
de contante waarde methode	10
cosinus phi verbetering	14
de cosinus tot de derde wet	24
depreciatie	28
dimmen	40
een slim energiesysteem	50
full circle	59
gelijk- en wisselspanning	67
hogere harmonischen	77
de laadlantaarnpaal	86
niet meer verlichten, maar dan?	102
het ontwerpen van een verlichtingsinstallatie	107
oriëntatieverlichting	119
de pn-overgang	122
de productie van zichtbare straling	124
het Purkinje effect	129
de RLC-kring	143
het ruimtehoek rendement	148
toegepaste optica	161
het skin effect	168
de tweede zonnerevolutie	172
het uitvalgedrag van lampen	177
voorgoed storingsvrij	186
voorschakelapparaten	191
waarnemen	198
literatuur overzicht	209

## de Batavia in de schijnwerpers

In de (negentien) negentiger jaren had ik het genoeg om gedurende drie jaar over de dekken te mogen lopen van de Batavia; het vlaggenschip van de VOC; de Vereenigde Oostindische Compagnie. Eén keer per maand leidde ik groepen mensen rond over de Batavia-werf te Lelystad en aan boord van deze unieke reconstructie van dit 17<sup>e</sup> eeuwse schip met z'n even unieke historie. Ik vertelde hen over de wijze waarop het schip is gebouwd en over de soms niet te benijden levensomstandigheden aan boord; een en ander afgewisseld met een aantal interessante nautische anekdotes (weet ú waarom bij de Britse Royal Navy rum de bijnaam 'Nelson's blood' heeft, vele bezoekers van de Bataviawerf wél). Maar het beste en mooiste verhaal bleef toch altijd het drama dat er zich in 1629 afspeelde.

In 1628 liet de VOC de Batavia te water, één van de mooiste en grootste schepen dat in die tijd de wereldzeeën bevoer. De Batavia zette op haar eerste reis koers richting de Hollandse koloniën in het toenmalige Nederlands Indië . . . maar heeft haar bestemming nimmer bereikt. Dankzij intriges, dronkenschap en uiteindelijk een navigatiefout liep het schip nauwelijks een jaar later op de rotsen van de westkust van het Australische continent. En de reden voor dit alles was . . . een vrouw. Het verhaal gaat dat Batavia's schipper Adriaan Jacobz verliefd werd (hoewel z'n eigenlijke bedoelingen ongetwijfeld een stuk minder romantisch van aard zullen zijn geweest) op één van de vrouwelijke passagiers. Lucretia van der Meyden was echter op weg naar haar echtgenoot in Indië en absoluut niet geïnteresseerd in de avances van een ruwe zeebonk. De schipper zocht vervolgens z'n heil in de jeneverkruik en joeg in een vlag van dronkenschap z'n schip op de rotsen van de Abrollios eilanden. En wat er zich vervolgens afspeelde vervulde uiteindelijk héél Europa in afgrijzen. Batavia's opperkoopman ging met één van de sloepen onderweg naar de Nederlandse koloniale hoofdstad, eveneens Batavia geheten, om hulp te halen en liet de overlevenden achter onder het commando van zijn ondergeschikte, de onderkoopman Jeronimus Cornelisz. Maar in plaats van zich te bekommeren over het lot van de overlevenden riep deze zich uit tot 'koning' van zijn eigen koninkrijkje en vestigde een waar schrikbewind. Uiteindelijk was hij verantwoordelijk voor de veelal gruwelijke dood van zo'n 120 van de 300 mannen, vrouwen en



kinderen die de ondergang van de Batavia hadden overleefd. Zijn eigen lot was uiteindelijk passend voor zijn daden. Met liet zijn met afgehakte handen opgehangen lichaam, als afschrikwekkend voorbeeld, bungelend aan de galg achter.

De bouw van de hedendaagse Batavia begon in 1985 op een stuk braakliggend land bij Lelystad. Willem Vos, een scheepstimmerman met als specialiteit het bouwen van originele Hollandse houten schepen, begon toen samen met zijn vrouw Mada aan de reconstructie van het onfortuinlijke VOC-schip. Het project ontwikkelde zich al snel tot een alom bekend werkervaringsproject voor kansarmen en werkelozen. En het is nog steeds een groot succes want velen van hen hebben dankzij hun nieuwe vaardigheden een nieuwe baan kunnen vinden. Ook vonden mensen in toenemende mate hun weg richting Lelystad om op de 'Batavia-werf' het wordingsproces van het schip te bekijken. En in 1995 was het dan zover. De dan kersverse ridder in de orde van Oranje Nassau Willen Vos is getuige van de doop van zijn Batavia door koningin Beatrix. De wijze waarop de Batavia uiteindelijk kennis maakt met het water is ook een gebeurtenis op zich. In tegenstelling tot de toenmalige werkwijze van de VOC is de hedendaagse Batavia geheel op het land gebouwd. Hierdoor was het voor de scheepsromp onmogelijk om de, voor de stabiliteit noodzakelijke, zestig ton aan water in zich op te nemen. Het 'zomaar' in het water schuiven van het schip zou dus zonder meer uitlopen op een catastrofe. Het schip werd daarom in een stalen draagstoel op een ponton vervoerd naar een droogdok waar het schip geleidelijk aan in het water werd gezet. En na een triomfantelijke thuisreis ligt de Batavia nu in Lelystad. Als de avond valt wordt het schip echter geleidelijk aan het oog onttrokken; voor mij een unieke mogelijkheid om hobby en passie te combineren. Maar hoe verlicht je nu eigenlijk zo'n schip ?

Allereerst moeten we ons realiseren dat het verlichten van een schip als de Batavia een wezenlijk andere aanpak vereist dan bijvoorbeeld het ontwerpen van een straatverlichtingsinstallatie. Het schip kan namelijk niet worden beschouwd als één enkel object. Het zal allereerst moeten worden verdeeld in een aantal 'voor het oog' karakteristieke onderdelen die elk op hun eigen manier verlicht moeten worden. Bepalend in dit proces is de manier waarop bezoekers in z'n algemeenheid naar de Batavia kijken. Zij zullen hun blik, bewust of onbewust, richten op bepaalde delen van het schip.

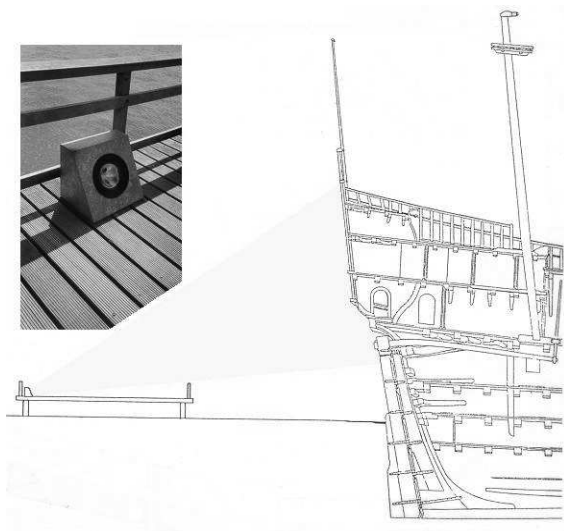
Verder moet er een bepaalde mate van contrast gerealiseerd worden tussen de diverse verlichte onderdelen. Als dit niet het geval is zal als het ware de derde dimensie verloren gaan; het schip verwordt dan tot een 'plat' plaatje. Natuurlijk mag de luminantie van de diverse delen niet al te veel van elkaar verschillen omdat dan details in het relatieve duister kunnen gaan verdwijnen.

In z'n algemeenheid kan gesteld worden dat elk te verlichten object beschikt over bepaalde karakteristieke delen. Om een algoritme te ontwikkelen dat de relatie beschrijft tussen de noodzakelijke luminantie niveaus op deze onderdelen moeten we beginnen met het vastleggen van een aantal uitgangspunten. Als een toeschouwer zijn aandacht op het object richt zal hij zijn hoofd en ogen nooit volledig stil houden. Dit betekent dat de hoek onder welke het gereflecteerde licht zijn ogen zal bereiken zal variëren. We gaan er daarom van uit dat onze toeschouwer zijn centrale gezichtsveld zal richten op het midden van het meest prominente of opvallende oppervlak. Dit oppervlak noemen we het primaire oppervlak. Als voorbeeld: het meest prominente deel van de Batavia is in de meeste gevallen de scheepsromp. Op deze manier kijkend is de toeschouwer in zijn perifere gezichtsveld zich gewaar van de aanwezigheid van de andere onderdelen. Deze onderdelen, de secundaire oppervlakken, ziet hij dus onder een bepaalde hoek ten opzichte van zijn (primaire) kijkrichting. Bepalend voor het noodzakelijke verschil tussen de luminanties van de primaire en secundaire oppervlakken is de verlichtingssterkte die zij beide veroorzaken op het oogoppervlak van de toeschouwer.

De hedendaagse Batavia is een historisch zo verantwoord mogelijke reconstructie van haar onfortuinlijke voorganger. Om dit te onderstrepen bestaat, om de historische sfeer te benadrukken, de verlichting aan boord uit onopvallend weggewerkte bull-eye armaturen. De bezoekers zijn hierdoor in staat zich een goed beeld te vormen van de omstandigheden waaronder de bemanning en passagiers al die honderden jaren geleden aan boord moesten leven. Het was daarom essentieel dat ook de verlichting van de buitenzijde van het schip het historisch karakter zo goed mogelijk moest onderstrepen. Dit was dan ook de reden waarom ik besloot tot het toepassen van hogedruk natriumlampen. Een andere absolute voorwaarde was dat er géén schijnwerpers op het schip zelf geplaatst

mochten worden. Want laten we eerlijk zijn; 20<sup>e</sup> eeuwse schijnwerpers horen niet thuis op een 17<sup>e</sup> eeuws schip.

Ten behoeve van het verlichten heb ik de Batavia verdeelt in haar romp en haar masten en tuigage. Eén van de karakteristieke punten van het schip is echter haar voorsteven; het galjoen. Op dit galjoen treft men namelijk de trotse Hollandse leeuw aan. Uitgevoerd in fel rood en geel was het de bedoeling dat deze leeuw de naderende vijand (én de toekomstige handelspartners) al van te voren met vrees en ontzag zou vervullen. Een ander zeer karakteristiek onderdeel van een VOC retourship was haar achtersteven; ook wel de 'spiegel' genoemd. De reden hiervoor was dat de achtersteven het karakter van het schip 'weerspiegelde'. Door een juiste keuze van de beeldhouwwerken en beschildering was het voor een ieder mogelijk om, zelfs zonder de aanwezigheid van een naambordje, de naam van het schip aan deze versiering af te lezen. En dat was bijzonder praktisch aangezien het gros van de 17<sup>e</sup> eeuwse zeelieden niet konden lezen en schrijven. De spiegel was dan ook het meest gedecoreerde deel van het schip.



Aan de, richting de werf gerichte stuurboordzijde is de verlichting gericht op zowel de scheepsromp, de masten en tuigage als het galjoen. De bakboordzijde van de Batavia grenst echter aan het Markermeer. Om hinder voor passerende schepen te voorkomen is aan deze zijde alleen de scheepsromp verlicht.

## de contante waarde methode

Wat kost dat? Het is een vraag die in heel veel gevallen onze keuze bepaalt, zeker als iets goedkoper is. In het verleden werd op deze wijze soms zelfs bepaald welke componenten er gebruikt zouden gaan worden om een verlichtingsinstallatie samen te stellen. Het zal niet de eerste installatie zijn, wiens verlichtingsarmaturen zijn gekozen met de opmerking 'die is het goedkoopste, die nemen we'. Op zich lijkt dit een logische handelswijze, maar in het geval van zo'n straatverlichtings-installatie (die zeker zo'n twintig tot veertig jaar op z'n plaats zal moeten blijven staan) is het toch verstandig om even iets verder te kijken dan onze neus lang is . . . veel verder.

Het kostenpatroon voor een verlichtingsinstallatie wordt door meer bepaald dan door de initiële investering alleen. Voor het laten functioneren is bijvoorbeeld een hoeveelheid elektrische energie nodig. En de omvang van deze hoeveelheid wordt bijvoorbeeld bepaald door het gebruikte voorschakelapparaat, het al of niet op gezette tijden dimmen en natuurlijk door het eigen vermogen van de lamp. En nu het we toch over de lamp hebben, deze moet geregeld vervangen worden, en ook dat vergt het nodige aan materiaal en arbeid. En dan scheelt het behoorlijk als een lamp, in plaats van bijvoorbeeld een maal per drie jaar, maar een maal per vier jaar vervangen hoeft te worden. Een verlichtingsinstallatie samenstellen uit goedkope(re) materialen kan dus in eerste instantie een financieel voordeel opleveren. De kans is echter aanwezig dat dit voordeel snel teniet zal zijn gedaan als gevolg van hogere energie en onderhoudskosten; goedkoop wordt in zo'n geval binnen enkele jaren duurkoop.

Al met al wordt het kostenpatroon van een verlichtingsinstallatie dus niet alleen bepaald door de investering alleen, maar eveneens door de kosten die tijdens de levensduur van de installatie gemaakt zullen gaan worden. Elke ontwerper moet dus, op het moment dat de installatie wordt ontworpen, de invloed in kunnen schatten van al deze toekomstige kosten. Zij of hij moet zich als het ware het volgende afvragen: welk bedrag moet ik nu investeren om de installatie neer te kunnen zetten, en welk bedrag moet ik nu reserveren om al die kosten die nog komen gaan te kunnen financieren. In dit laatste bedrag moet dus de invloed van de

financieringsrente worden meegenomen, want het bedrag dat over een aantal jaren pas nodig is zou immers eerst een aantal jaren tegen rente op een bankrekening gezet kunnen worden. De som van deze twee kostenposten wordt de contante waarde van de installatie genoemd.

Zeker wat betreft de reservering voor de toekomstige energie en onderhoudskosten is een voorbeeld op z'n plaats. Laten we er eens van uit gaan dat het onderhoud van een installatie per jaar € 100 vergt. Als dit bedrag pas over een jaar nodig is, betekend dit dat dit bedrag allereerst een jaartje op een bankrekening gezet kan worden. Als de rente bijvoorbeeld 2% bedraagt hoeft er, om in het volgende jaar over € 100 te kunnen beschikken, slechts € 98 euro op de bank gezet worden. Immers, € 98 + 2% (€ 2) = € 100. Een en ander is te bepalen met behulp van de volgende vergelijking.

welk bedrag (CW)	
moet ik nú tegen rente (r)	
op de bank zetten om na (j) jaar	
over bedrag (K) te kunnen beschikken	$CW = \frac{K}{(1+r)^j}$

Deze contante waarde methode kan op twee manieren worden gebruikt. Als er bijvoorbeeld twee installaties zijn ontworpen, installaties die lichttechnisch volledig aan elkaar gelijk zijn, kan de cumulatieve contante waarde (de optelsom van de jaarlijkse contante waarden) worden gebruikt om de uiteindelijke keuze te maken. De installatie met de laagste contante waarde is immers financieel de meest aantrekkelijke.

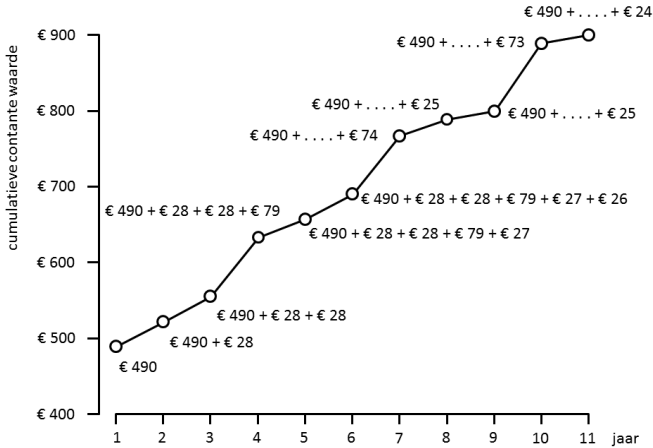
Uiteraard moeten bij deze manier van vergelijken een aantal afspraken worden gemaakt; al is het alleen maar om geen appels met peren te gaan vergelijken. De periode waarover beide alternatieven bekeken gaan worden, moet bijvoorbeeld goed worden gedefinieerd. In z'n algemeenheid geldt dat in deze periode beide installaties géén ingrijpende veranderingen mogen ondergaan. Immers, als één installatie z'n tijd gewoon uit kan zitten (of staan, in dit geval) en de andere gedurende deze periode zódanig gewijzigd wordt dat er aanvullende investeringen nodig zijn, dan is er (in financiële zin) géén sprake meer van het vergelijken van twee gelijkwaardige situaties. Een ander risico is het gedurende de beschouwde periode optreden van grote wijzigingen in bijvoorbeeld materiaal- of energieprijzen; iets

dat op het moment dat de analyse wordt gedaan uiteraard vrij moeilijk te voorspellen is.

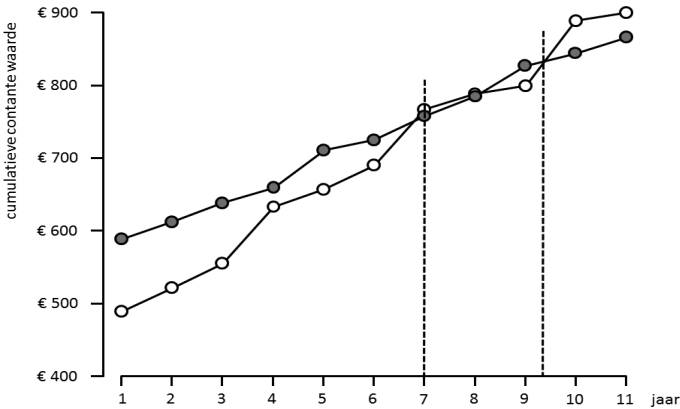
In het enkel kijken naar de uiteindelijke cumulatieve contante waarde schuilt echter een risico. Als de cumulatieve waarde van de twee installaties in beeld wordt gebracht, dan is de kans groot dat de twee lijnen elkaar, gedurende de periode waarover de contante waarde is bepaald, in ieder geval een keer zullen gaan kruisen. Dit houdt dus in dat een installatie, die qua investering duurder is dan de andere, na een bepaalde tijd goedkoper is geworden dan de andere. En het moment waarop deze kruising van de lijnen plaatsvindt, is bepalend voor de keuze om al dan niet een grotere investering te doen. Als de kruising zich bijvoorbeeld al na enkele jaren voordoet, is de keuze voor een hogere investering gerechtvaardigd. Echter, als de kruising zich pas aan het einde van de beschouwde periode voordoet is de onzekerheid een stuk groter. Immers, niemand kan immers voorspellen wat er in al die tijd gaat gebeuren met materiaalprijzen, rentes en dergelijke. In zo'n geval is het wellicht toch verstandiger om toch maar voor het qua investering goedkopere alternatief te kiezen. En ook in dit geval is een, in dit geval uitgebreider voorbeeld op z'n plaats.

Een verlichtingsinstallatie is opgebouwd uit relatief goedkope verlichtings-armaturen. Het gevolg van deze keuze is echter wél dat er wat meer onderhoud noodzakelijk is én dat de lampen wat meer energie verbruiken. Het kostenoverzicht en het verloop van de contante waarde is als volgt.

jaar	investering	remplace	incidenteel onderhoud	energie	totaal	contante waarde 2%	cum. contante waarde
1	€ 500	€ -	€ -	€ -	€ 500	€ 490,20	€ 490
2	€ -	€ -	€ 5	€ 25	€ 30	€ 28,84	€ 519
3	€ -	€ -	€ 5	€ 25	€ 30	€ 28,27	€ 547
4	€ -	€ 60	€ -	€ 25	€ 85	€ 78,53	€ 626
5	€ -	€ -	€ 5	€ 25	€ 30	€ 27,17	€ 653
6	€ -	€ -	€ 5	€ 25	€ 30	€ 26,64	€ 680
7	€ -	€ 60	€ -	€ 25	€ 85	€ 74,00	€ 754
8	€ -	€ -	€ 5	€ 25	€ 30	€ 25,60	€ 779
9	€ -	€ -	€ 5	€ 25	€ 30	€ 25,10	€ 804
10	€ -	€ 60	€ 5	€ 25	€ 90	€ 73,83	€ 878
11	€ -	€ -	€ 5	€ 25	€ 30	€ 24,13	€ 902



Dezelfde verlichtingskwaliteit kan echter ook worden gerealiseerd met een ándere verlichtingsinstallatie. Deze is qua investering weliswaar duurder, maar daar tegenover staat dat de lampen minder vaak vervangen hoeven te worden én dat deze minder energie nodig hebben.



En als het verloop van beide cumulatieve contante waarden met elkaar vergeleken worden blijkt dat de cumulatieve contante waarde van deze installatie na zeven jaar lager, en na negen en een half jaar definitief lager is dan die van de eerste installatie. Maar de grote vraag is nu: kiest u voor de lagere aanschafwaarde van de eerste installatie, of accepteert u de kans dat de tweede installatie uiteindelijk tóch goedkoper uitvalt dan de eerste?

## cosinus phi verbetering

In deze tijd, waarin zo'n beetje álle verlichtingsarmaturen zijn voorzien van elektronische voorschakelapparaten, zou dit eigenlijk het állerkortste hoofdstuk moeten zijn. Immers, bij een elektronisch voorschakelapparaat is cosinus phi verbetering helemaal niet nodig. Deze zijn intern namelijk zo in elkaar gezet dat deze ongeveer 0,95 bedraagt; een stuk hoger dus dan de ondergrens die door de netbeheerders wordt voorgeschreven. Echter, het is wellicht toch goed om iets meer te weten over de manier waarop de cosinus phi over het algemeen binnen de perken wordt gehouden. Al is het alleen maar omdat de verbetering hiervan niet exclusief voorbehouden is aan verlichtingsarmaturen, en dat er talloze andere inductieve of juist capacatieve apparaten op het elektriciteitsnet aangesloten zijn waarvan de faseverschuiving tussen spanning en stroom soms wel een zetje in de goede richting kan gebruiken. En trouwens, weet ú wat het verschil is tussen de cosinus phi en de arbeidsfactor?

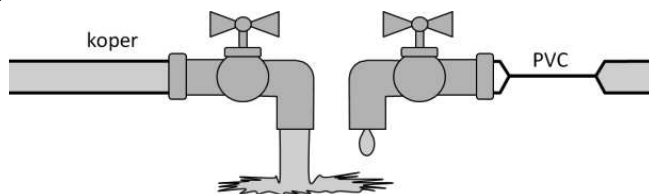
**0,85:** Al sinds jaar en dag wordt er door de energie- en netwerkbedrijven met argusogen gekeken naar de hoedanigheid van de elektrische energie. De aandacht is daarbij, van oudsher, vooral gericht op het faseverschil tussen stroom en spanning. Dit verschil (uitgedrukt in de cosinus van de hoek) mag niet kleiner zijn dan 0,85. Is dit wél het geval dan krijgt de aangeslotene de gelegenheid deze verhouding tot binnen de gestelde grenzen te corrigeren. In het geval van een inductieve belasting (zoals een verlichtingsarmatuur) wordt dit gerealiseerd door het in het elektrische circuit opnemen van een condensator. Diens capacatieve faseverschuiving corrigeert de (op dat moment té) inductieve faseverschuiving. Met andere woorden: de negatieve invloed van een (te) inductieve belasting op de kwaliteit van de energievoorziening wordt 'bij de bron' gecompenseerd dan wel geneutraliseerd. En de oorsprong van die 0,85. Hier zit géén beredenering of berekening achter. Dit is een waarde die eigenlijk, op het moment dat er een dergelijke grens moest worden gesteld, gewoon is gekozen.

**R, L of C:** Waar wordt de faseverschuiving tussen spanning en stroom eigenlijk door veroorzaakt. Wel, het heeft allemaal te maken met de

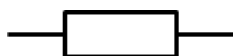


eigenschappen van de belasting die op het elektriciteitsnet wordt aangesloten. Zo'n belasting kan namelijk drie verschillende karakters hebben; ohms (waarbij het zich gedraagt als een weerstand), inductief (waarbij het zich gedraagt als een zelfinductie) en capacitief (waarbij het de eigenschappen heeft van een condensator. Het is dus wellicht goed om allereerst deze drie karakters eens wat nader te bekijken.

Als een elektrische stroom zich door een kabel of leiding verplaatst, dan ondervindt deze stroom daarbij een zekere belemmering; **weerstand**. Er is dan ook energie voor nodig om de stroom door de leiding te laten vloeien. De grootte van deze energie, ook wel aangeduid als het energieverlies, is afhankelijk van het materiaal waarvan de kabel of leiding gemaakt is. Bijvoorbeeld: om een stroom van 10 Ampère over een afstand van één meter door een koperen leiding met een doorsnede van  $2\frac{1}{2}$  mm<sup>2</sup> te sturen is bijvoorbeeld 0,67 Watt aan energie nodig. Echter, zou deze leiding gemaakt zijn van aluminium, dan is hiervoor iets meer dan één Watt aan energie nodig; anderhalf maal zo veel. En zou iemand het in z'n hoofd halen om elektriciteitsleidingen te gaan maken van enkel PVC, dan zou hiervoor een hoeveelheid energie nodig zijn van maar liefst zes triljard Watt. Het is dus niet zo vreemd dat PVC vooral wordt gebruikt om elektrische leidingen te isoleren. Voor de beeldvorming is dit verschil wellicht het beste te illustreren door twee waterleidingen die, afhankelijk van hun diameter, de waterstroom al dan niet goed geleiden.



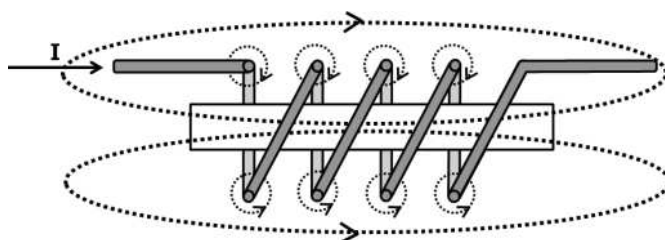
**N.B.** Als symbool voor de weerstand wordt de letter R gebruikt; afgeleid van het Latijnse 'resistere'. De waarde van een weerstand wordt uitgedrukt in de eenheid Ohm ( $\Omega$ ), vernoemd naar de Duitse wis- en natuurkundige Georg Simon Ohm (1789–1854) die vooral bekend is geworden door de naar hem vernoemde 'wet van Ohm'. Het elektrotechnisch symbool voor de weerstand is als volgt.



Als er door een elektrische geleider een stroom loopt, dan wordt er rondom de geleider een magnetisch veld opgewekt.



Een **zelfinductie** (ook wel aangeduid als 'spoel') is een component die bestaat uit een elektrische geleider (meestal koperdraad) die gewikkeld is in de vorm van een spoel. Dankzij deze wikkeling wordt het veld gebundeld en krijgt het een richting. En als er zich in deze spoel ook nog een niet magnetische ijzeren kern bevindt, dan wordt het veld nóg meer geconcentreerd.



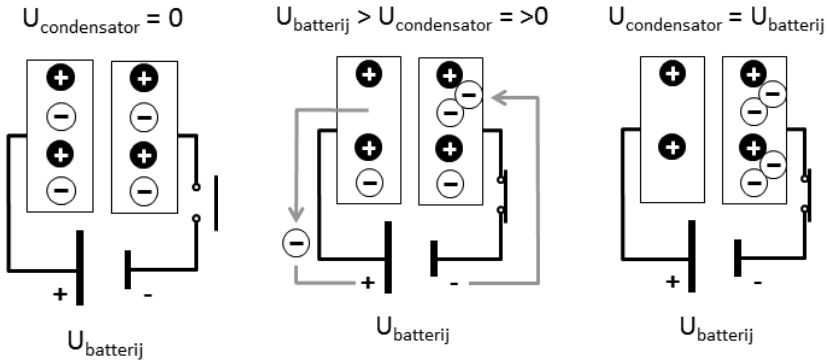
Het omgekeerde proces kan echter eveneens plaatsvinden. Als in een spoel, waardoor géén elektrische stroom loopt, een magnetische kern heen en weer wordt bewogen, dan wordt in de spoel een inductiespanning opgewekt.

**N.B.** Als symbool voor de zelfinductie wordt de letter  $L$  gebruikt; afgeleid van de naam van de Baltisch-Duitse natuurkundige Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804-1865) die vooral bekend is vanwege de naar hem genoemde wet van Lenz (iedere magnetische fluxverandering wordt tegengewerkt door een geïnduceerde elektrische spanning). De eenheid Henry is vernoemd naar de Amerikaanse natuurkundige Joseph Henry (1797-1878); de uitvinder van het relais. Het elektrotechnisch symbool voor de zelfinductie is als volgt.



Een **condensator** is een component die een elektrische lading op kan slaan. Deze component bestaat uit twee geleiders met een groot oppervlak, die van elkaar gescheiden zijn door een diëlektricum; een niet geleidend materiaal of een vacuüm. In eerste instantie is een

condensator volledig ontladen. Dit betekent dat er geen spanningsverschil bestaat tussen de beide condensatorplaten.

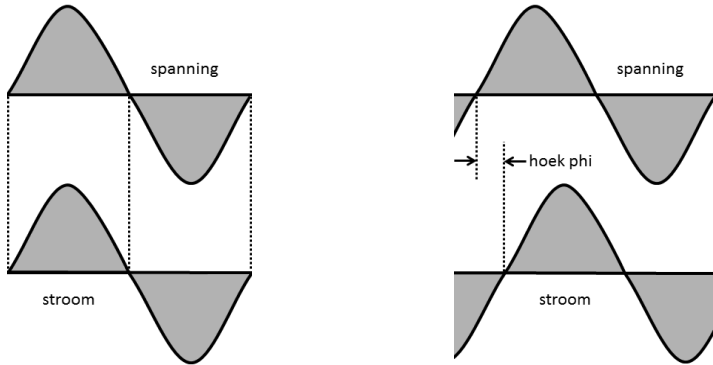


Als een condensator aangesloten wordt op een gelijkstroombatterij, dan zal de positieve pool van de batterij de elektronen uit de hiermee verbonden condensatorplaat naar zich toe trekken. De condensatorplaat wordt hierdoor positief geladen en zal hierdoor, op zijn beurt, elektronen vanuit de batterij naar de andere condensatorplaat toetrekken. Deze beïnvloeding is mogelijk omdat de afstand tussen beide platen erg klein is. Het spanningsverschil tussen beide platen zal hierdoor toe gaan nemen tót het moment dat de spanning over de condensator gelijk is aan de spanning van de batterij. Hierdoor kan er door het circuit géén elektrische stroom meer lopen en is de condensator volledig opgeladen.

**N.B.** Het symbool voor de condensator,  $C$ , is afgeleid van het Latijnse 'condensare' wat 'samenpersen' betekent. De eenheid Farad is vernoemd naar de Britse natuur- en scheikundige Michael Faraday (1791-1867), onder andere bekend door zijn werk op het gebied van elektromagnetisme. Het elektrotechnisch symbool voor de condensator is als volgt.



**faseverschuiving:** Als een toestel alleen maar de eigenschappen van een weerstand zou hebben, dan vertonen de (wissel) spanning en de stroom precies hetzelfde gedrag. Zij zijn dan op precies hetzelfde moment positief of negatief.



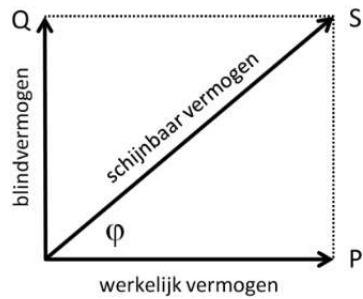
Echter, een verbruikstoestel heeft vrijwel nooit een zuiver ohms karakter, aangezien het eveneens inductieve- en capacitieve eigenschappen heeft. Welke van de drie hierbij 'de boventoon' voert, hangt uiteraard af van het toestel zelf. Deze inductieve- en capacitieve eigenschappen zorgen ervoor dat de spanning en de stroom niet meer op hetzelfde moment positief of negatief zijn; spanning en stroom zijn ten opzichte van elkaar in de tijd 'in fase' verschoven.

Als een toestel een inductief karakter heeft (zoals een spoel) zal er, nadat het toestel onder spanning is gezet, allereerst een elektrisch veld moeten worden opgebouwd. Pas nadat dit veld aanwezig is kan er een stroom gaan lopen en kan het toestel zijn (werkelijke) energie gaan verbruiken. Het gevolg hiervan is dat de stroom later komt dan, oftewel na-ijlt op, de spanning. Bij een capacitieve belasting (zoals een condensator) werkt dit precies omgekeerd; de stroom heeft een spanning tot gevolg. De hoek die op deze wijze tussen spanning en stroom ontstaat, is de hoek phi.

**verschillende vermogens:** Een elektriciteitskabel is gebouwd om een bepaalde hoeveelheid energie te transporteren. Deze transportcapaciteit wordt bepaald door het materiaal waarvan de aders van deze kabel gemaakt zijn en uiteraard van hun grootte; een 10 mm<sup>2</sup> ader heeft nu eenmaal een kleinere transportcapaciteit dan een 150 mm<sup>2</sup> ader. Aangezien energie (E) niets anders is dan 'vermogen (P) per tijdseenheid (t)', en de tijd in dit geval een constante is (het net staat immers 24 uur per dag onder spanning) wordt de transportcapaciteit ook wel uitgedrukt in de maximale belasting, uitgedrukt in de eenheid Watt. Het maximale vermogen dat een kabel kan hanteren wordt het schijnbaar vermogen (S) genoemd. Dit vermogen heeft de eenheid VA (Volt-Ampère). Dit schijnbaar

vermogen is dus een vaste waarde, afhankelijk van de samenstelling van de kabel.

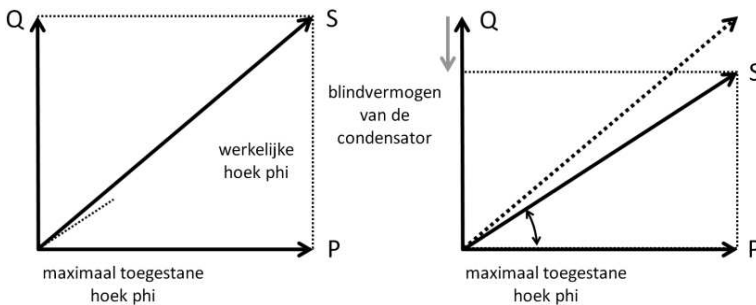
Om de op een kabel aangesloten belastingen te kunnen laten functioneren is een hoeveelheid energie nodig; energie die, in termen van vermogen, wordt aangeduid als het werkelijk vermogen (P); uitgedrukt in de eenheid W (Watt). Echter, zolang de op een kabel aangesloten belasting een zuiver ohms karakter heeft (met anders woorden, zolang de belasting passief is) kan de gehele transportcapaciteit (het gehele schijnbare vermogen) gebruikt worden om energie te transporteren om de ohmse belastingen te laten doen wat ze bedoeld zijn om te doen. Als voorbeeld, als de belasting bestaat uit ohmse gloeilampen dan kunnen op zo'n kabel maximaal  $S/P_{\text{gloeilamp}}$  gloeilampen worden aangesloten. Dit is echter anders als de belasting bestaat uit, bijvoorbeeld, een aantal elektromotoren. Deze bestaan feitelijk uit een verzameling spoelen, die er alleen maar voor kunnen zorgen dat de motor z'n werk kan doen als er in deze spoelen een magnetisch veld wordt opgewekt en in stand wordt gehouden. Dit in stand houden vergt echter eveneens een hoeveelheid energie; energie die, in termen van vermogen, wordt aangeduid als blindvermogen (Q); uitgedrukt in de eenheid VAr (Volt-Ampère-reactief). Dit blindvermogen legt dus beslag op een deel van het schijnbaar vermogen waardoor er minder werkelijk vermogen beschikbaar is om de motoren hun feitelijke werk te laten doen.



Zowel het blindvermogen als het werkelijk vermogen leggen dus beslag op een deel van de transportcapaciteit van de kabel. Het schijnbaar vermogen is hierdoor bepalend voor de hoeveelheid werkelijke energie die via de kabel getransporteerd kan worden. Kijkend naar het vermogen vektordiagram, is het duidelijk dat de hoek phi, en dus ook de cosinus van deze hoek, wordt beïnvloed door de verhouding tussen het werkelijk- en het blindvermogen.

$$\text{cosinus } \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Als de hoek phi echter te groot wordt dan blijft er té weinig van de beschikbare capaciteit over voor het transporteren van de voor de afnemer bruikbare werkelijke energie. Mocht de invloed van het blindvermogen dus té groot worden, dan moet deze worden gecorrigeerd. Bij toestellen met een inductief karakter gebeurt dit bijvoorbeeld door het toepassen van condensatoren. Hun capaciteive faseverschuiving corrigeert de anders aanwezige té grote inductieve faseverschuiving, waardoor de hoek phi binnen acceptabel waarden wordt teruggebracht.



Een mooi praktijkvoorbeeld waren de verlichtingsarmaturen, voorzien van magnetische voorschakelapparaten. Deze hebben als vanzelfsprekend een inductief karakter. Als zo'n armatuur werd opengemaakt, dan kon men ergens in het elektrische circuit een kortgesloten condensator aantreffen. In die gevallen waarin het inductieve karakter van ál die op een elektriciteitskabel aangesloten verlichtingsarmaturen zódanig de boventoon ging voeren dat de cosinus phi onder de 0,85 verdween, dan kon dit eenvoudig worden gecompenseerd door bij een aantal van deze condensatoren de kortsluiting te verwijderen.

**cosinus phi versus arbeidsfactor:** Dankzij de elektronische voorschakelapparaten behoort, in ieder geval binnen de openbare verlichting, het probleem van een té slechte cosinus phi voor het grootste deel tot het verleden. De grootschalige integratie van elektronica kan echter een ander probleem met zich mee brengen of, om precies te zijn, dit versterken; de productie van hogere harmonische stromen. Hoewel op zichzelf problematisch, is dit een mooie aanleiding om het tot slot even te hebben over twee begrippen die regelmatig door elkaar worden gehaald en soms zelfs worden