

Wat betekent Power Factor ?

Door: Wouter Ryckaert (Laboratorium voor Lichttechnologie/Groen Licht Vlaanderen),
Koert Putteman (Eandis) en Dirk Van Kerckhoven (Infrax)



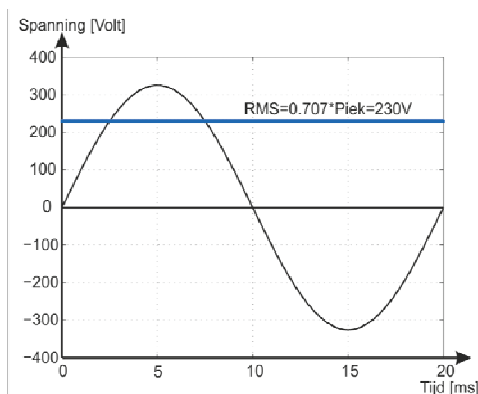
Inleiding

In de verlichtingswereld is er de laatste tijd veel commotie rond de lage power factor (arbeidsfactor of vermogensfactor) van bepaalde lampen, vooral LED-lampen. Veelal hoor je dat power factor hetzelfde is als de $\cos \phi$. Soms hoor je dat een lage power factor kan gecompenseerd worden door een condensator of condensatorbatterij. Anderen zeggen dat een lage power factor een nadelige en inherente eigenschap is van een LED. Wat is de link tussen harmonischen en de power factor ?

Dit artikel probeert de begrippen $\cos \phi$, power factor en harmonischen uit te leggen op een iets meer wetenschappelijke manier. Na het lezen moet duidelijk zijn dat deze begrippen niet hetzelfde zijn.

Wisselspanning

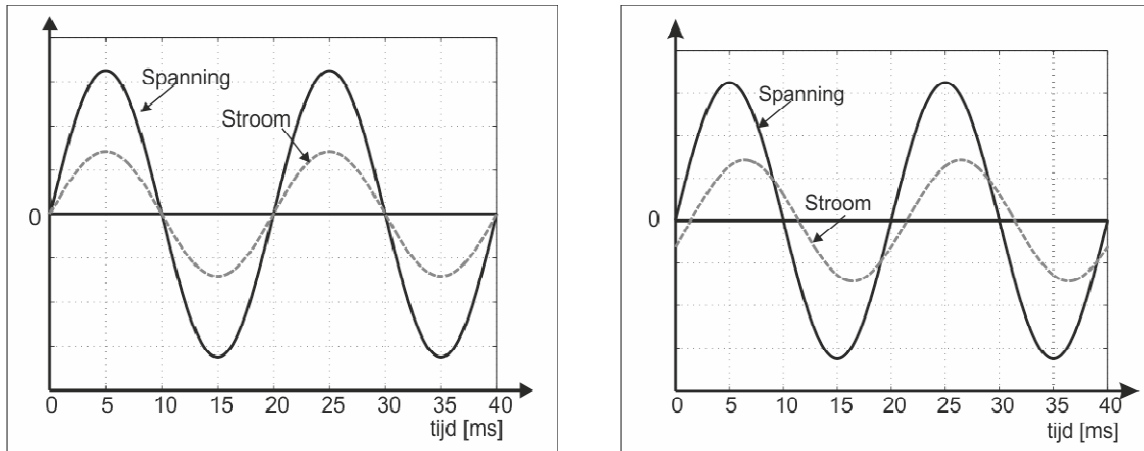
Alle verbruikers aangesloten op het elektrisch netwerk krijgen een wisselspanning van 50 Hz. De golfvorm van een wisselspanning is getekend in Figuur 1. De spanning varieert tussen een minimale en een maximale waarde volgens een sinus, zoals getekend in zwart. Bij een 50 Hz net wordt deze sinusvormige golf 50 keer per seconde volledig doorlopen (m.a.w. één periode bedraagt 20 milliseconden). Het getekende signaal is een wisselspanning van 230V. Waarom schommelt het signaal dan niet tussen -230V en +230V, maar tussen -325V en +325V ? Dit komt omdat we in de elektrotechniek quasi altijd effectieve waarden gebruiken (ook wel RMS waarden genoemd). Onder een effectieve waarde van een periodieke wisselstroom of -spanning verstaan we de waarde van een constante stroom of spanning die in een weerstand gemiddeld hetzelfde elektrisch vermogen ontwikkelt als het oorspronkelijke signaal. Bij een sinusoidaal signaal is de RMS-waarde gelijk aan 0,707 keer de maximale waarde. In ons voorbeeld zal een gelijkspanning van 230V evenveel vermogen in een weerstand genereren als een sinusoidale wisselspanning die varieert tussen -325V en +325V.



Figuur 1 Wisselspanning van 230V - 50 Hz. De spanning varieert tussen +325V en -325V.

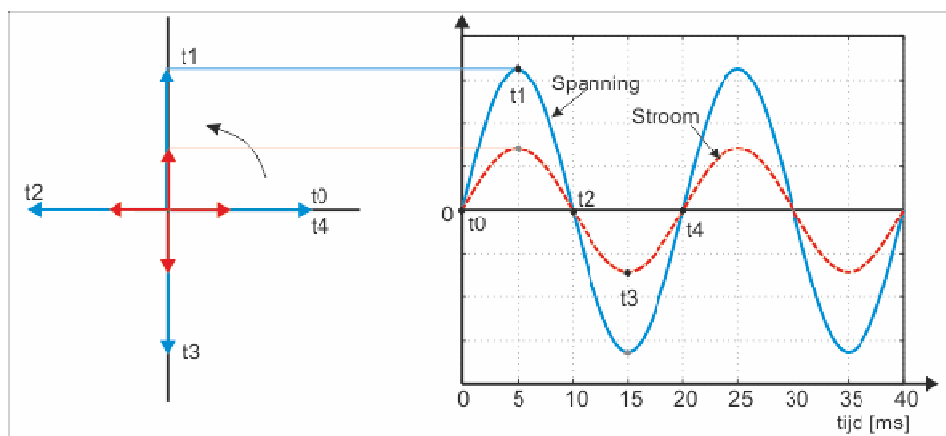
Wordt nu een verbruiker aangesloten op een elektriciteitsnetwerk dan zal er stroom vloeien. Vroeger bestonden hoofdzakelijk lineaire verbruikers. Dat zijn verbruikers waarvan de opgenomen stroom ook

sinusvormig is. In Figuur 2 wordt de stroom getoond die opgenomen wordt door een weerstand (vb. een gloeilamp of elektrisch verwarmingstoestel) en door een inductiemotor. De stroom is telkens ook sinusvormig, maar bij de rechtse figuur is de stroom wat verschoven.



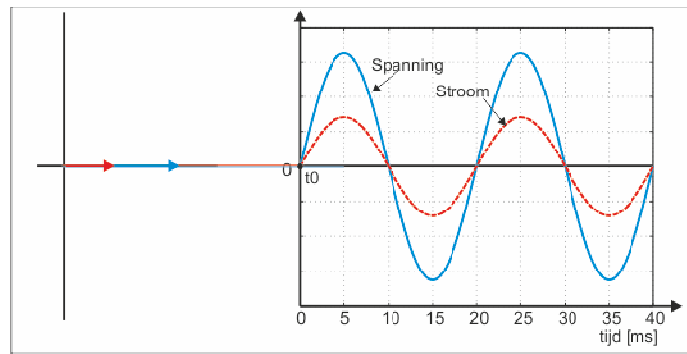
Figuur 2 Stroom en spanning bij een weerstand (links) en bij een inductiemotor (rechts)

Rekenen en denken met sinusoidale tijdsgolfvormen is ingewikkeld en omslachtig. Daarom stelt men stromen en spanning vaak voor door pijltjes (fasoren, vectornotatie). Wanneer stroom en spanning tegelijkertijd door 0 gaan en tegelijkertijd een maximum en minimum bereiken zeggen we dat stroom en spanning in fase zijn (zoals in Figuur 2, links). Dit is zo bij weerstandslasten zoals verwarmingselementen en gloei- en halogeenlampen. De pijltjes van de stroom en spanning vallen dan samen (i.e. hebben dezelfde richting), zie Figuur 3. Hoe komen we aan een fasor (of pijltje)? Een fasor is een ronddraaiende vector (of pijltje) met lengte gelijk aan de amplitude. De snelheid waarmee het ronddraait is evenredig met de snelheid (of frequentie) van de golf. Tussen tijdstippen t_0 en t_4 van Figuur 3 is één periode doorlopen (en begint de golf opnieuw); in de fasorvoorstelling liggen de pijltjes op de tijdstippen t_0 en t_4 dan ook samen en hebben ze op t_4 precies 360° doorlopen. Op tijdstip t_1 is de periode voor een kwart doorlopen. De pijltjes van spanning en stroom worden bij gevolg getekend bij een hoek van $360^\circ/4=90^\circ$. Analoog voor tijdstip t_2 waar de pijltjes worden getekend bij 180° en voor tijdstip t_3 waar de pijltjes worden getekend bij 270° . Op tijdstip t_4 is de golf volledig doorlopen en worden de pijltjes getekend bij 360° , m.a.w. vallen ze samen met de pijltjes op tijdstip t_0 . Inderdaad, de golf begint opnieuw.



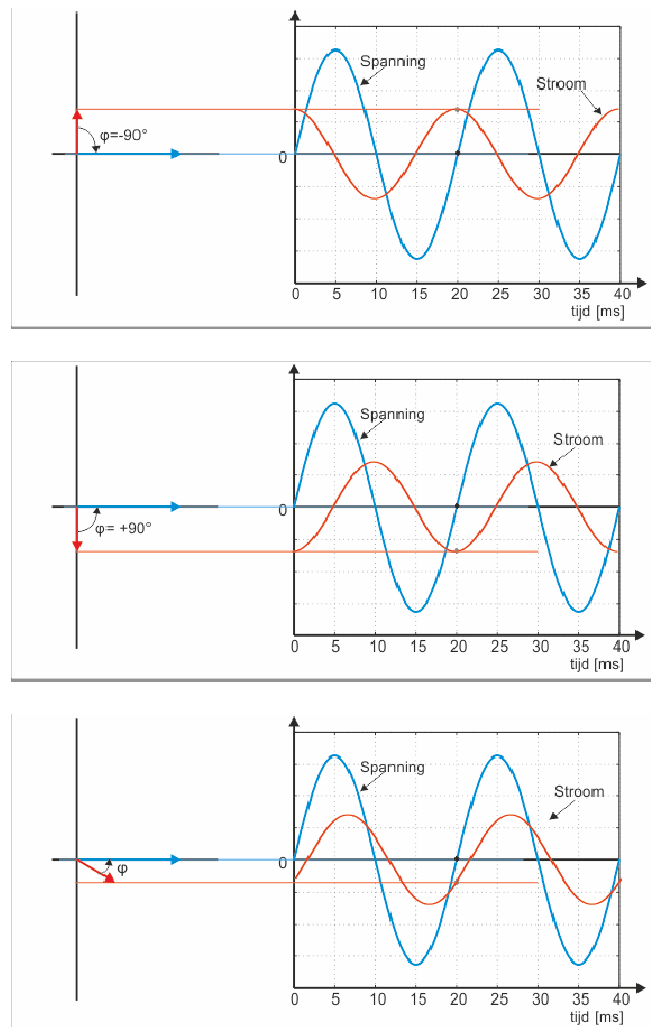
Figuur 3 Fasorvoorstelling van stroom en spanning

Als we de pijltjes kennen op één enkel ogenblik, dan weten we waar ze gelegen zijn op ieder ander ogenblik. Vandaar dat men meestal de pijltjes tekent op ogenblik t_0 . De fasorvoorstelling van de stroom en spanning bij een weerstandslast (stroom en spanning in fase) is getekend in Figuur 4.



Figuur 4 Fasorvoorstelling (linkse figuur) van stroom en spanning bij een weerstandslast (stroom en spanning in fase)

Bij veel verbruikers echter zal de stroom niet in fase zijn met de spanning. Dit is o.a. zo bij motoren en fluorescentielampen aangesloten op een conventioneel voorschakelapparaat waarbij de ingangscondensator niet is aangesloten. In Figuur 5 zijn de stromen en spanningen voorgesteld van een condensator, spoel en een inductieve verbruiker zoals een motor. De hoek tussen de spanning en de stroom noemen we de fasehoek phi (voorgesteld als φ) (positieve hoek wanneer spanning voorijlt op stroom zoals bij een spoel). De hoek φ bij een weerstand (Figuur 4) is uiteraard 0° .



Figuur 5 Fasorvoorstelling van stroom en spanning bij a) een condensator b) een spoel c) een motor

Energie en Actief vermogen

Een gebruiker aangesloten op het net zet elektrische energie om naar een andere vorm van energie. Zo zet een lamp elektrische energie om in licht en zet een motor elektrische energie om in mechanische energie om bijvoorbeeld een pomp aan te drijven. De elektrische energie die we verbruiken betalen we op de elektriciteitsfactuur.

De elektrische energie die een gebruiker opneemt gedurende een tijdsinterval Δt is gelijk aan

$$\text{Energie} = P \cdot \Delta t \quad [\text{kWh}]$$

Hierbij stelt P het actief vermogen voor. Het actief vermogen wordt uitgedrukt in watt [W]. De energie wordt doorgaans uitgedrukt in kWh. De prijs per kWh energie (actief vermogen maal het tijdsinterval) bedraagt voor particuliere klanten ongeveer 0,22 €¹. Zo zal een gloeilamp van 60 W gedurende zijn levensduur van 1000 uur 60 kWh verbruikt hebben wat neerkomt op 13,2 €

Het actief vermogen P is afhankelijk van de spanning en de stroom maar ook van het faseverschil φ tussen deze twee grootheden. Het actief vermogen P kan geschreven worden als:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Het actief vermogen is dus ook afhankelijk van de $\cos \varphi$ (cosinus phi) ! Zie ook de voetnoot ² voor de berekening van een cosinus. Beschouw een gebruiker aangesloten op een 230 volt netspanning. Stel dat het opgenomen vermogen van de gebruiker 230 watt is. Wanneer de stroom in fase is met de spanning ($\varphi=0$) dan is de stroom gelijk aan 1 ampère. Wanneer de stroom en de spanning niet in fase zijn en het faseverschil bijvoorbeeld 60° bedraagt dan is voor het zelfde vermogen van 230 W een stroom nodig van 2 ampère (zijnde $230/(230 \cdot \cos 60^\circ)$) ! De klant betaalt in beide gevallen even veel (want deze betaalt enkel voor het actief vermogen P) maar de stroom is in het tweede geval dubbel zo groot!

Een ander vermogen dat vaak gebruikt wordt is het schijnbaar vermogen S . Dit vermogen is gedefinieerd als het product van de effectiefwaarden van spanning en stroom. Eenheid VA of VoltAmpère: $S = V \cdot I$.

Het schijnbaar vermogen is belangrijk omdat dit de grootte van transformatoren, zekeringen en leidingen bepaalt. Elektrische toestellen moeten enerzijds de spanning aankunnen (V) en anderzijds de stroom (I) weerstaan. Het schijnbaar vermogen combineert deze twee factoren.

Het begrip $\cos \varphi$

De elektrische energie wordt opgewekt in elektriciteitscentrales en wordt verbruikt bij de elektriciteitsklanten. Het energietransport loopt via elektriciteitskabels. Deze kabels hebben steeds een - weliswaar kleine- weerstand. Wanneer stroom door een weerstand loopt is er steeds een omzetting van elektrische energie in warmte. Energietransport gaat dus steeds gepaard met energieverlies. Deze energieverliezen in kabels zijn evenredig met de weerstand van de kabels R en met het kwadraat van de stroom die er doorheen vloeit:

$$\text{kabelverliezen} = R \cdot I^2$$

Het vermogen dat met dit energieverlies is gekoppeld moet geleverd worden door de producenten en verdeeld worden door de netbeheerders (beheerders van het elektrisch netwerk met o.a. Eandis, Infrax voor particulieren) terwijl de klanten dit niet rechtstreeks betalen (via de nettarieven). Wanneer

¹ Prijs van Ecopower op 1 juli 2011. Ecopower werkt met één tarief, onafhankelijk van dag en nacht.

² $\cos \varphi$ is de notatie van de cosinus van de hoek φ . Enkele voorbeelden: $\cos 0^\circ = 1$; $\cos 30^\circ = 0,87$; $\cos 45^\circ = 0,71$; $\cos 60^\circ = 0,5$; $\cos 90^\circ = 0$. De waarde van $\cos \varphi$ is steeds gelegen tussen 0 en 1.

de verbruikers een vermogen P opnemen dan moeten de elektriciteitscentrales een vermogen leveren dat gelijk is aan dit vermogen P vermeerderd met de kabelverliezen. Er kan dan ook een transmissierendement als volgt gedefinieerd worden:

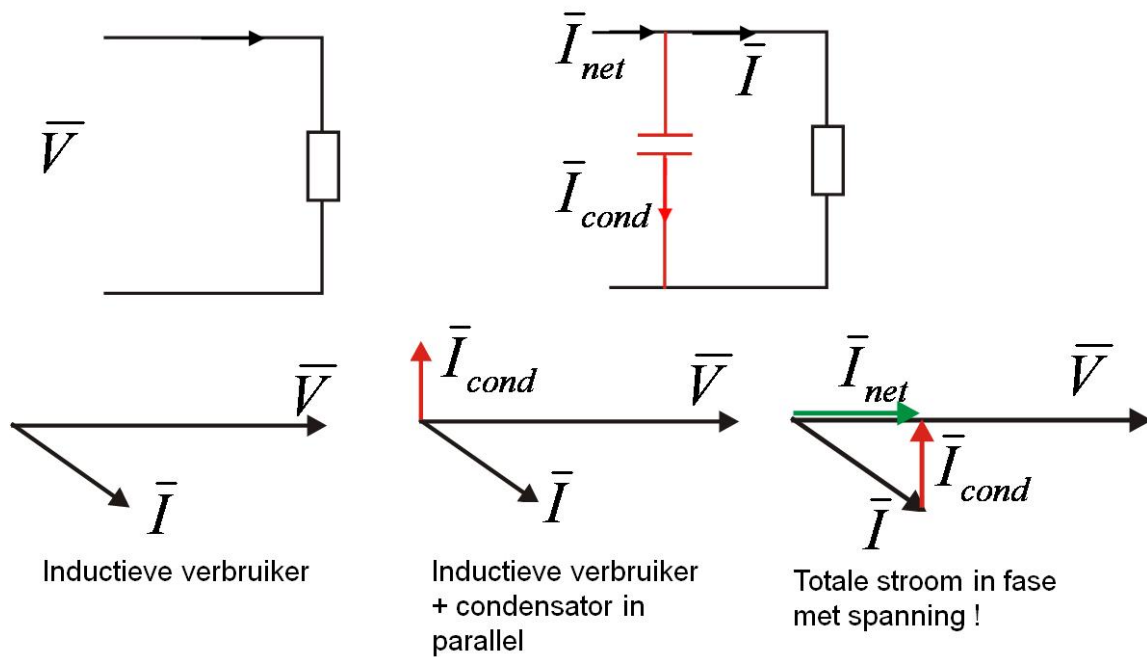
$$\text{transmissierendement} = \frac{P}{P + R \cdot I^2} \approx 1 - \frac{R \cdot P}{V^2 \cdot \cos^2 \varphi}$$

Het transmissierendement is groter naarmate

- de weerstand van de kabels kleiner is – in de praktijk gebruikt men hoofdzakelijk geleiders met hoge geleidbaarheid zoals koper of aluminium
- de spanning hoger is – daarom gebeurt het transport over grote afstand op hoog- of middenspanning (hoogspanning in Vlaanderen typisch 380kV, 150kV, 70kV of 36kV)
- de $\cos \varphi$ hoger is.

Bij een gegeven actief vermogen zal de stroom door de geleiders en de kabelverliezen dalen naarmate de $\cos \varphi$ groter is. Anders geformuleerd betekent dit ook dat bij een gegeven kabeldiameter en netspanning er meer vermogen getransporteerd kan worden naarmate de $\cos \varphi$ van de verbruikers hoger is. Daarom zullen (distributie)netbeheerders hogere tarieven aanrekenen aan niet-particuliere verbruikers die energie afnemen bij een te lage $\cos \varphi$. Deze verbruikers verplichten de maatschappijen immers actief vermogen te leveren dat gepaard gaat met stromen in de transmissielijnen die groter zijn dan strikt noodzakelijk en dus met grotere kabelverliezen. Deze verbruikers zorgen inderdaad voor een grotere belasting van transformatoren, kabels en centrales en dus voor meer kosten.

Niet-particuliere klanten zullen er dus steeds moeten voor zorgen dat de totale opgenomen stroom van hun bedrijf ten allen tijde nagenoeg in fase is met de netspanning. In de praktijk moet de $\cos \varphi$ groter zijn dan 0,95 (wat het zelfde is als een hoek φ die niet groter is dan 18°). Om dit te realiseren zal men meestal een condensatorbatterij plaatsen. Beschouw daartoe Figuur 6. Zonder condensatorbatterij neemt het bedrijf een stroom op die niet in fase is met de netspanning. Deze stroom ijlt typisch na op de spanning, meestal te wijten aan het groot aantal motoren in bedrijven. Het opgenomen actief vermogen P is, zoals gezien, te schrijven als $V \cdot I \cdot \cos \varphi$. Een condensatorbatterij zal een stroom opnemen die voorijlt op de spanning - zie Figuur 5, geval a). De totale stroom die naar het net vloeit bestaat uit de bedrijfsstroom $\bar{I}$ enerzijds, en de stroom door de condensatorbank $\bar{I}_{\text{cond}}$ anderzijds. De netstroom $\bar{I}_{\text{net}}$ is de som van deze twee bijdragen en is getekend in Figuur 6. Wanneer de condensatorbatterij goed geregeld wordt zal de totale stroom die naar het net vloeit (nagenoeg) in fase zijn met de netspanning, waardoor de $\cos \varphi$ dicht bij 1 ligt.



Figuur 6 Werkingsprincipe van een condensatorbank

Het is belangrijk om op te merken dat $\bar{I}_{net} < \bar{I}$ waardoor inderdaad de stroom die in het net vloeit kleiner is met condensatorbank als zonder condensatorbank. Daarom zullen de netverliezen inderdaad kleiner zijn. Toch blijft het actief vermogen van het bedrijf ongewijzigd:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi = V \cdot I_{net} \cdot 1$$

Uit dit alles kunnen we inzien dat het rendement van de energieoverdracht mede bepaald wordt door de $\cos \varphi$. Algemeen kunnen we stellen dat het rendement van de energieoverdracht η te schrijven is als volgt:

$$\eta = \frac{P}{S} = \frac{V \cdot I \cdot \cos \varphi}{V \cdot I} = \cos \varphi$$

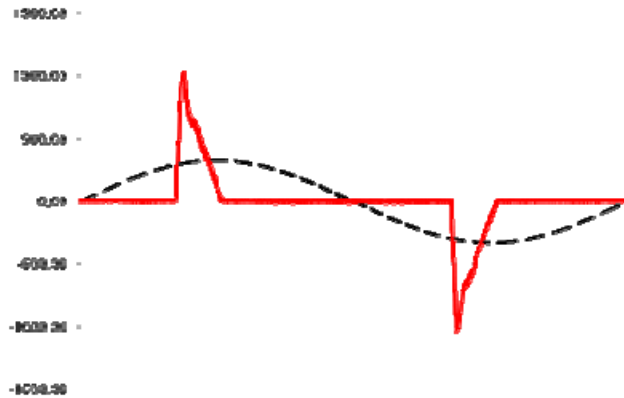
In Figuur 7 is een foto getoond van een condensatorbatterij.



Figuur 7: Condensatorbatterij (bron: Wikipedia) met '5' de condensatoren

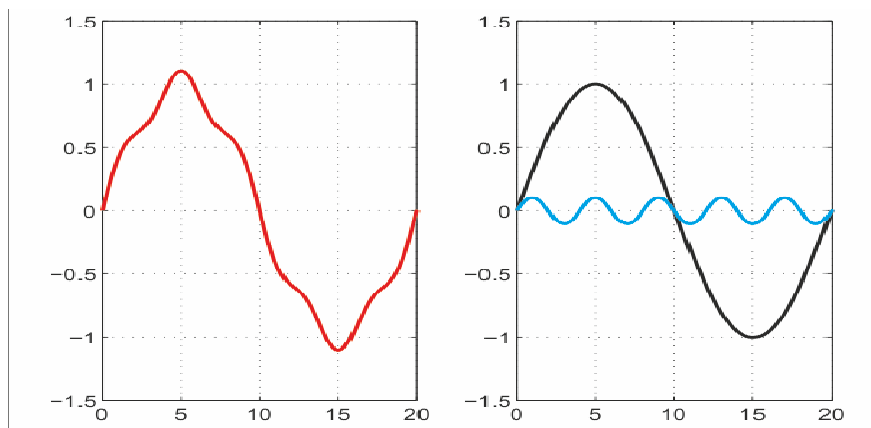
Niet-sinusoïdaal regime: harmonischen

Door de opkomst van de vermogenselektronica zijn er veel verbruikers die geen sinusoïdale stroom uit het net opnemen. Een typisch voorbeeld van een niet-lineaire stroom is getekend in Figuur 8. Dit is de stroom van een LED-buis maar er zijn veel verbruikers met dergelijke golfvorm (voor elektrotechnici: zie voetnoot ³).



Figuur 8 Stroom van een LED-buis met lage power factor

Elk willekeurig periodiek signaal, hoe vervormd ook, kan geschreven worden als een som van sinusoïden (d.m.v. fouriertransformatie). Neem nu het signaal voorgesteld in Figuur 9 (rode curve - links). Dit signaal kan geschreven worden als een som van een sinus van 50Hz met amplitude 1 (zwarte curve) samen met een sinus van 250Hz met een amplitude van 0,1 (blauwe curve).



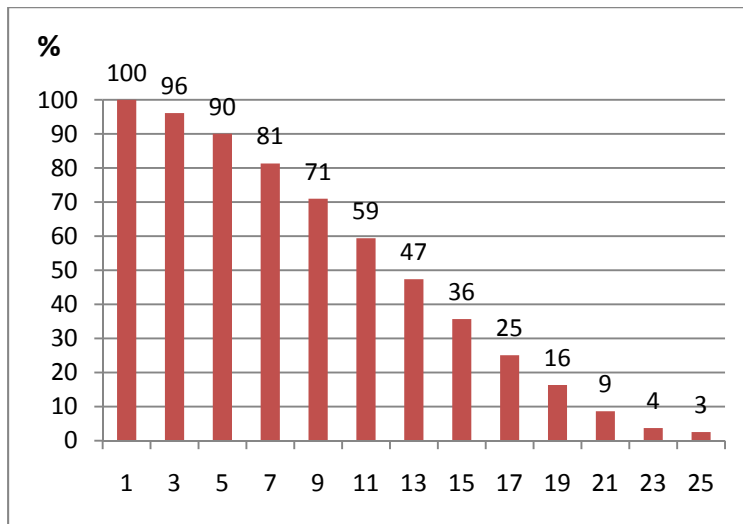
Figuur 9 Rood = zwart (50 Hz) + blauw (250 Hz - 5de harmonische)

De sinussen zijn steeds een veelvoud van 50Hz. We noemen dit harmonischen. Zo is een sinus van 150Hz een 3^{de} harmonische ($3 \cdot 50\text{Hz}$ is 150Hz) en een sinus van 250Hz een 5^{de} harmonische ($5 \cdot 50\text{Hz} = 250\text{Hz}$). Het vervormde signaal van Figuur 9 bevat naast de 50Hz component dus ook een vijfde harmonische.

Meestal zet men de harmonischen uit zoals in Figuur 10, waarbij de grootte van iedere harmonische wordt getoond in grafiek of in tabelvorm. In Figuur 10 zijn de harmonischen weergegeven van de stroom door de LED-buis in Figuur 8 (de fasehoek van de harmonischen wordt meestal weggelaten; voor I_1 is de gemeten fasehoek 8° in dit voorbeeld).

Harmonische	I [mA]	%
-------------	----------	---

³ Dit komt omdat veel toestellen de wisselspanning eerst gelijkrichten naar gelijkspanning. Een eenvoudige en goedkope manier is een gelijkrichterbrug (4 diodes) met een condensator aan de DC-zijde. Voordeel is dat men op een efficiënte en goedkope manier gelijkspanning bekommt maar wel met een stroomvorm die zeker niet sinusoïdaal is.



1	$I_1=103$	100
3	$I_3=99$	96
5	$I_5=93$	90
7	$I_7=84$	81
9	$I_9=73$	71
11	$I_{11}=61$	59
13	$I_{13}=49$	47
15	$I_{15}=37$	36
17	$I_{17}=26$	25
19	$I_{19}=17$	16
21	$I_{21}=9$	9
23	$I_{22}=4$	4
25	$I_{23}=3$	3
...	...	...

Figuur 10 Harmonischen in grafiek of tabelvorm

Het actief vermogen P van een verbruiker die een niet-sinusoidale stroom uit het net opneemt is als volgt te schrijven (we veronderstellen dat er geen gelijkstroom aanwezig is):

$$P = V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 + V_3 \cdot I_3 \cdot \cos \varphi_3 + V_5 \cdot I_5 \cdot \cos \varphi_5 + \dots$$

Het actief vermogen P wordt aldus bekomen door de som te nemen van de vermogens die ontstaan door de onderlinge werking van de sinusoiden met dezelfde frequentie. Door twee sinusoiden met verschillende frequentie wordt geen vermogen geleverd !

In de praktijk blijkt nu dat de netspanning bij goede benadering zuiver sinusoidaal kan beschouwd worden (o.a. door de te verwaarlozen netimpedantie). De netspanning bevat bijgevolg meestal verwaarloosbaar kleine harmonische componenten zodat we bij benadering kunnen stellen dat alle harmonischen in de spanning quasi gelijk zijn aan nul.

Nemen we als voorbeeld de LED-TL van Figuur 8. Veronderstel dat we deze LED-TL aansluiten op een zuiver sinusoidale netspanning van 230V. Aangezien de netspanning zuiver sinusoidaal is (en dus geen harmonische componenten bevat) is het vermogen gelijk aan:

$$P = V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 + 0 + \dots = 230 \cdot 0,103 \cdot \cos 8^\circ = 23,46W$$

De harmonische componenten in de stroom dragen dus niet bij tot het actief vermogen en tot het opgenomen energieverbruik !

De harmonische stromen moeten echter wel geleverd worden. Zoals we ook vermeld hebben bij het begrip $\cos \varphi$ is de stroom ook hier hoger dan strikt noodzakelijk om hetzelfde actief vermogen P over te dragen. Deze hogere stroom zorgt voor extra verliezen in o.a. leidingen (kabelverliezen $= R \cdot I^2$).

De effectiefwaarde of RMS-waarde I van de stroom wordt bij niet-sinusoidale stroom als volgt bepaald:

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots}$$

De stroom van de LED-buis in ons voorbeeld is (zie Figuur 10 voor de waarden):

$$I = \sqrt{0,103^2 + 0,099^2 + \dots} = 0,224A$$

Indien de stroom sinusoïdaal en in fase zou zijn met de spanning dan volstaat een stroom van 0,102 A (=23,46/230) !

Een maat voor de vervorming in de stroom is de Totale Harmonische Distortie van de stroom of THD_I (Total Harmonic Distortion), gedefinieerd als⁴:

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + \dots}}{I_1}$$

Met andere woorden, voor een zuiver sinusoïdaal signaal zijn er geen harmonische componenten en is de THD_I bijgevolg gelijk aan 0. Hoe meer harmonischen hoe hoger de THD_I en hoe groter de afwijking t.o.v. het zuiver sinusoïdaal signaal. De THD_I van de LED-buis in het voorbeeld is 130%.

Power Factor

Bij zuiver sinusoïdale signalen hebben we gezien dat het rendement van de energieoverdracht gelijk is aan de cosφ. Bij niet-sinusoïdale signalen is dit echter niet meer geldig. Wel kunnen we nog steeds het rendement van de energieoverdracht schrijven als:

$$\lambda = \text{Arbeidsfactor (Power Factor)} = \frac{P}{S}$$

Zoals reeds vermeld blijkt dat de netspanning in de praktijk bij goede benadering als zuiver sinusoïdaal kan beschouwd worden (o.a. door de kleine netimpedantie). We kunnen bij benadering dus stellen dat alle harmonischen in de spanning nagenoeg gelijk zijn aan nul. De stromen kunnen echter wel sterk vervormd zijn. Hiermee rekening houdend kunnen we de arbeidsfactor λ (of in het Engels Power Factor) schrijven als:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1}{V_1 \cdot I} = \frac{V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1}{V_1 \cdot \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots}} = \frac{\cos \varphi_1}{\sqrt{1 + \frac{I_3^2 + I_5^2 + \dots}{I_1^2}}} = \frac{\cos \varphi_1}{\sqrt{1 + THD^2}}$$

De arbeidsfactor of power factor is met andere woorden afhankelijk van zowel de cosφ₁ als van de vervorming (THD) van de stroom ! Merk op dat in het geval de stroom zuiver sinusoïdaal is, de power factor gelijk is aan de cosφ₁ (want de THD van de stroom is dan 0). De term cosφ₁ noemt men in het Engels de 'displacement power factor' of afgekort dPF.

De power factor, een maat voor het rendement van de energieoverdracht, kan laag zijn omwille van

- een lage cosφ₁ (dPF)
- een hoge vervorming van de stroom (hoge THD_I)
- een combinatie van beiden!

Zo kan de power factor PF gelijk zijn aan 0.71 door bijvoorbeeld

- een zuiver sinusoïdale stroom die 45° uit fase is met de spanning (cos45°=0,71, THD_I=0) of
- een stroom die sterk vervormd is THD_I=100% maar waarvan de grondgolf (dit is de 50Hz component of eerste harmonische I₁) in fase is met de netspanning (cosφ₁=1) of
- een vervormde stroom met THD_I=70% waarvan de grondgolf 30° uit fase is met de spanning.

⁴ Even harmonischen (veelvouden van 2) komen in de praktijk nauwelijks voor en worden daarom niet meegenomen in de vergelijkingen.

Zoals we eerder hebben vermeld kan een te lage $\cos\varphi$ gecompenseerd worden door het plaatsen van een condensatorbatterij (zie Figuren 6-7). Daarentegen kan de THD_i , en bij uitbreiding de power factor, niet zomaar gecompenseerd worden door het plaatsen van een condensator of condensatorbatterij! Er wordt vaak gezegd dat een te lage power factor gecompenseerd wordt of kan worden door een condensator. Dit is niet zo wanneer de stroom sterk vervormd is. Door de condensator kan de power factor in sommige gevallen zelfs nog verslechteren! Dit is bijvoorbeeld zo wanneer de $\cos\varphi_1$ (nagenoeg) 1 is. Wanneer de THD_i van de stroom 100% is dan is bij $\cos\varphi_1 = 1$, de power factor PF gelijk aan 0,707, zijnde

$$\lambda = \frac{\cos\varphi_1}{\sqrt{1+THD^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+1^2}} = 0,707$$

Met een condensator zal de $\cos\varphi_1$ (dPF) kleiner worden dan 1, waardoor de power factor PF nog daalt!

De vervorming van de stroom reduceren (en de THD_i verminderen) kan enkel door een aanpassing van de stuelelektronica. In de praktijk kan de klant hieraan dus niets doen en is dit een taak van de producent van de stroomverbruikende apparaten.

Waarom zien we dan zoveel spaarlampen en LED-lampen die een sterk vervormde stroom opnemen met zeer hoge THD_i waarden en een lage power factor als gevolg? Dit heeft weinig of niets te maken met de LED of spaarlamptechnologie. Voor lampen onder de 25 W zijn er (voorlopig) geen limieten vereist in de Europese norm NBN-EN61000-3-2 "Elektromagnetische compatibiliteit (EMC) - Deel 3-2 : Limietwaarden - Limietwaarden voor de emissie van harmonische stromen (ingangsstroom van de toestellen 16 A per fase)" en dit omdat de vermogens en dus de geïnjecteerde stromen relatief klein zijn. De meeste fabrikanten nemen dan ook geen of nauwelijks maatregelen om de lage power factor te reduceren. Waarom zou men? Het maakt hun producten alleen maar wat duurder. Vele kleintjes kunnen echter één groot maken: 1 LED-lamp heeft nauwelijks invloed op het elektrisch netwerk, vele duizenden lampen kunnen wel invloed hebben! Bij dreigende problemen kan het zijn dat de limieten voor harmonischen verstrengen in de toekomst.

Nadelige gevolgen

Voor de distributienetbeheerder

Een lage power factor PF is in de eerste plaats een probleem voor de (distributie)netbeheerders. Verbruikers met een lage power factor verplichten de maatschappijen immers actief vermogen te leveren dat gepaard gaat met stromen in de kabels die groter zijn dan strikt noodzakelijk en dus met grotere kabelverliezen en een grotere belasting van transformatoren, kabels en centrales tot gevolg. Om dit te illustreren geven we volgend voorbeeld. Beschouw een koperen kabel met een sectie van 4 mm² en een lengte van 25 m⁵. De kabelverliezen worden berekend bij lampen met

- a) een vermogen van 2000 W, waarbij de stroom sinusoïdaal en in fase is met de spanning
- b) een vermogen van 2000 W, waarbij de stroom sinusoïdaal is maar niet in fase met de spanning. De hoek φ is 60°. Deze verbruiker heeft m.a.w. een slechte $\cos\varphi$, gelijk aan 0,5.
- c) Een vermogen van 2000 W, waarbij de stroom sterk vervormd is (zoals in Figuur 8) met een THD_i van 130% en een $\cos\varphi_1 = 1$.

De spanning is telkens 230 V. De kabel heeft ongeveer een weerstand van 0,219 Ω . De stroom en de kabelverliezen voor de drie gevallen zijn weergegeven in Tabel 1.

⁵ Louter illustratief. Kabels in een laagspanningsdistributienetwerk zijn typisch kabels uit aluminium met een sectie van 95 mm² of 150 mm² - de vermogens zijn uiteraard ook veel hoger.

Tabel 1 Stroom en Kabelverliezen voor de 3 gevallen

Geval	a)	b)	c)
Stroom	8,7 A	17,4 A	14,2 A
Kabelverliezen ($=R \cdot I^2$)	16,5 W	66,2 W	44,5 W

In geval b) kunnen de kabelverliezen eenvoudig gereduceerd worden door het plaatsen van een condensator. Bij volledige compensatie ($\varphi=0$ of $\cos\varphi=1$) zullen de kabelverliezen zich reduceren tot geval a), zijnde 16,5 W. Begrijpt u waarom een slechte $\cos\varphi$ beboet wordt?!. Voor geval c) is geen eenvoudige compensatie mogelijk! Wanneer de lampen in geval c) 4000 uur per jaar zouden branden, dan betekent dit dat er in de kabel jaarlijks 178 kWh energie verloren gaat, terwijl dit slechts 66 kWh zou bedragen indien de power factor gelijk zou zijn aan 1.

In de berekening hebben we verwaarloosd dat de kabelweerstand en dus de verliezen stijgen naarmate de temperatuur stijgt. Ook houden we geen rekening met de frequentieafhankelijkheid van de weerstand. Dit betekent dat bovenstaande cijfers eerder een onderschatting zijn. Een bijkomend aspect van de grotere stromen is een grotere spanningsval in het distributienet, met grotere spanningsvariaties tot gevolg.

Voor de klant

Voor particuliere klanten is een lage power factor geen probleem omdat zij toch enkel het actief vermogen betalen. De harmonischen hebben geen bijdrage tot het actief vermogen en de teller 'ziet' met andere woorden de harmonischen niet.

Voor niet-particuliere klanten is een lage power factor van lampen meestal ook geen probleem. Tenzij er zodanig veel lampen geïnstalleerd worden met een lage arbeidsfactor (ten gevolge van een hoge THD_i) dat de leidingen of transformatoren overmatig opwarmen en een overbelasting ontstaat. Een ander aspect is dat stromen met bepaalde harmonische orden (o.a. 3de) in de drie fasegeleiders in fase zijn en bijgevolg worden opgeteld in de nulgeleider van het LS-net. Dit kan aanleiding geven tot overbelasting van de nulgeleider, die soms een kleinere sectie heeft dan de fasegeleiders (bij oudere kabels). Anderzijds kan een lage power factor ook aanleiding geven tot grotere spanningsvariaties (bij slechte $\cos\varphi$) of grotere harmonische vervuiling van de spanning (bij grote THD_i). Alle aspecten van de spanning moeten zeker binnen de grenzen van de norm EN50160 blijven.

Toelichting

Dit artikel is geschreven in het kader van het project 'Groen Licht Vlaanderen: energiebesparing met beter licht' – IWT 070488 dat uitgevoerd wordt door het Laboratorium voor Lichttechnologie van KAHO Sint – Lieven en WTCB.

Contactpersoon:

Wouter RYCKAERT, docent
KAHO Sint – Lieven, Laboratorium voor Lichttechnologie
Gebroeders De Smetstraat 1, 9000 Gent
T: 09 265 87 13
E-post: Wouter.Ryckaert@kahosl.be
Webstek : www.lichttechnologie.be en www.groenlichtvlaanderen.be



LABORATORIUM VOOR
LICHTTECHNOLOGIE

