

# Licht in de duisternis

## Netvervuiling bij energiezuinige lampen

Ton Giesberts (Elektor-lab) & Clemens Valens (redactie F)

Als de belasting van een voeding niet zuiver resistief is maar reactief (of erger nog: niet-lineair), heeft de stroom door de belasting niet dezelfde vorm als de spanning over die belasting en is er een faseverschil tussen de spanning en de stroom. In dat geval is het schijnbare vermogen dat wordt opgenomen door de belasting groter dan het werkelijke of reële vermogen. De verhouding tussen het reële vermogen en het schijnbare vermogen wordt de power factor genoemd. Als die te laag wordt, ontstaan er problemen.

Een lage power factor vormt een probleem voor energieleveranciers. Niet voor de consumenten, want die betalen alleen maar voor het werkelijk opgenomen vermogen. Energieleveranciers moeten er voor zorgen dat hun energiegeneratoren in staat zijn om veilig het totaal aan schijnbaar vermogen te leveren dat door alle gebruikers wordt gevraagd. Omdat het schijnbare vermogen altijd groter is dan het reële vermogen moeten de generatoren (het energienetwerk) overgedimensioneerd zijn en dat is duur. Meer vermogen betekent ook grotere verliezen in de vorm van warmte en dus is er meer energie nodig om het reële vermogen te kunnen leveren. Niet-lineaire belastingen veroorzaken ook harmonischen die weer extra warmte produceren en ook storingen kunnen veroorzaken in andere apparatuur. Het is nu wel duidelijk: we willen een power factor van 1 (één), het schijnbare vermogen moet dus gelijk zijn aan het werkelijke vermogen.

Grootverbruikers zoals industriële installaties moeten betalen voor het schijnbare vermogen dat zij opnemen, maar privé gebruikers in het algemeen niet. Industriële gebruikers installeren daarom soms speciale apparatuur om hun power factor in de buurt van 1 te krijgen. Dit wordt power factor correctie (PFC) genoemd. De Europese standaard IEC 61000-3-2 [1] stelt gedetailleerde grenzen aan de belasting voor de consument (niet de professional) tot een waarde van 16 A per fase aangesloten op het publieke stroomnet. In tabel 1 is de onderverdeling in vier klassen A, B, C en D te zien, waarvan de laatste twee voor ons het meest interessant zijn. Alle elektrische apparatuur voor de Europese consumentenmarkt moet aan deze standaard voldoen.

### Lineaire en niet-lineaire belastingen

De meeste belastingen zijn niet zuiver ohms. Gloeilampen wel, maar zodra er wat meer elektronica bij komt vormt de belasting een complexe impedantie. Veel apparaten bevatten motoren en dat zijn typische inductieve belastingen. Daarbij loopt de werkelijke stroom achter ten opzichte van de netspanning. Het faseverschil, ook wel phi genoemd ( $\Phi$  in het Grieks), tussen de stroom en de spanning is een maat voor de power factor. In feite is de power factor eenvoudigweg gelijk aan  $\cos(\Phi)$  (figuur 1) als de stroom door en de spanning over de belasting zuiver sinusvormig zijn. Daarom wordt de power factor ook wel  $\cos \phi$  genoemd, ook al klopt dit niet als de golf-

vormen niet zuiver sinusvormig zijn. Maar als ze dat wel zijn, kan de power factor gecorrigeerd worden door een condensator (of een flink aantal) parallel aan de belasting te schakelen.

Verbetering van de power factor van niet-lineaire belastingen maakt andere technieken nodig dan simpelweg een condensator over de belasting te schakelen. Het kan passief met (grote) filters die de harmonischen van de belasting onderdrukken. Een andere aanpak is actieve PFC, een methode waarbij een elektronische schakeling aan de belasting wordt toegevoegd om de belasting meer passief te laten lijken.

### Het meten van de power factor

Om de power factor van een belasting te meten moet je het reële vermogen meten met een wattmeter en de stroom  $I_{\text{eff}}$  door en de spanning  $U_{\text{eff}}$  over de belasting. Het product  $I_{\text{eff}} \times U_{\text{eff}}$  is het schijnbare vermogen en de power factor  $PF$  is het reële vermogen gedeeld door het schijnbare vermogen.

Het Elektor-lab heeft wat metingen gedaan aan klasse-C-apparatuur (verlichting) met de schakeling van figuur 2. Een variac (variabele transformator) werd gebruikt om de belasting van het net te scheiden en een oscilloscoop-probe van 100:1 (speciale hoogspanningsversie) werd gebruikt om de spanning over de belasting te meten. De weerstand van  $10 \Omega$  was een 5-W-exemplaar. Hebt u zulke apparatuur niet, probeer dan niet deze metingen zelf uit te voeren, **het kan dodelijk zijn!**

De gebruikte scoop was een LeCroy 9410 waarmee in real-time een Fourier-analyse (amplitude en fase) van een van de ingangssignalen getoond kan worden. Die mogelijkheid hebben we gebruikt bij het meten van de stroom om de harmonischen zichtbaar te maken. Bij alle experimenten werd  $I_{\text{eff}}$  gemeten met een Fluke 187 true-RMS-multimeter.

### Enkele echte metingen

Om het effect van de belasting op de power factor te illustreren hebben we eerst gemeten aan een gewone gloeilamp van 100 W. Dit is een zuiver ohmse belasting en de  $PF$  zou 1 moeten zijn. In figuur 3 is



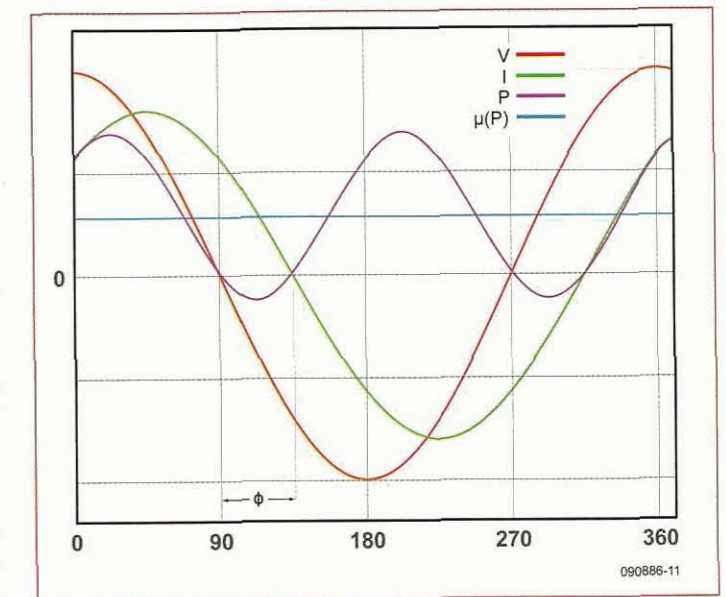
het resultaat te zien: de stroom is perfect in fase met de spanning en heeft dezelfde vorm; het is inderdaad een ohmse belasting en dus  $PF = 1$ . Merk op dat in het fase-spoor twee pieken te zien zijn bij de derde en zevende harmonische, ofschoon de amplitudes van deze harmonischen erg klein zijn. De reden is de vervorming van de netspanning die helemaal geen perfecte sinus is.

Vervolgens deden we metingen aan een tl-buis (een Philips 36 W TL-D). De sporen in figuur 4 laten een reactieve belasting zien, hoewel niet zo perfect want de golfvorm van de stroom is duidelijk vervormd rond de nuldoorgangen. De Fourier-sporen laten een duidelijke derde harmonische en een kleine vijfde zien. Desondanks is de stroom sterk reactief en dat kan met een condensator opgelost worden (die was niet opgenomen in onze testopstelling). Afgezien van de harmonischen is de  $PF$  voor deze lamp ongeveer 0,5, want het faseverschil tussen de stroom en de spanning is ongeveer  $60^\circ$  en  $\cos(60^\circ) = 0,5$ .

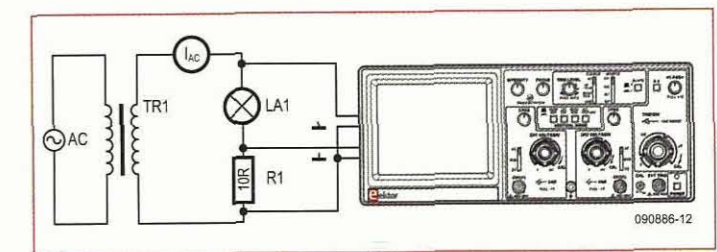
Echt interessant werd het pas toen we gingen meten aan compacte fluorescentielampen (CFL's), spaarlampen dus. We hebben gekeken naar drie verschillende exemplaren, twee recente modellen (een Philips PLE-C PRO 11 W en een onbekend 11-W-type dat we vonden in een product van een welbekende Zweedse woonwarenfabrikant) en een paar jaar oude maar nog goed werkende spaarlamp (20 W Isotronic 10112). In de figuren 5 tot 7 zien we de resultaten die verrassend veel op elkaar lijken en tegelijkertijd vreemd zijn. Deze golfvormen zijn typisch voor dit soort lampen en laten hun schakelgedrag zien.

Het bepalen van de power factor van deze signaalvormen is moeilijk, tenzij je aan de bijbehorende Fourier-getransformeerde kunt komen. De truc is om eerst de effectieve waarde van de in-fase stroom bij de grondfrequentie te bepalen en die dan weer te delen door de gemeten effectieve stroom  $I_{\text{eff}}$ . Voor de Philips PLE-C is de grootte van de grondfrequentie-stroom ongeveer 700 mV over  $10 \Omega$  met een faseverschil van  $20^\circ$  t.o.v. de spanning. Dus is de in-fase stroom  $(700 \text{ mV} / 10 \Omega) \times \cos(20^\circ) = 66 \text{ mA}$  en de effectieve waarde daarvan is  $66 \text{ mA} / \sqrt{2} = 47 \text{ mA}$ . De gemeten waarde voor  $I_{\text{eff}}$  was 67 mA, wat een  $PF$  van 0,70 oplevert voor deze lamp. Eenzelfde berekening levert ons een  $PF$  van  $81/107 = 0,76$  voor de Isotronic lamp en  $56/76 = 0,73$  voor de Ikea-lamp.

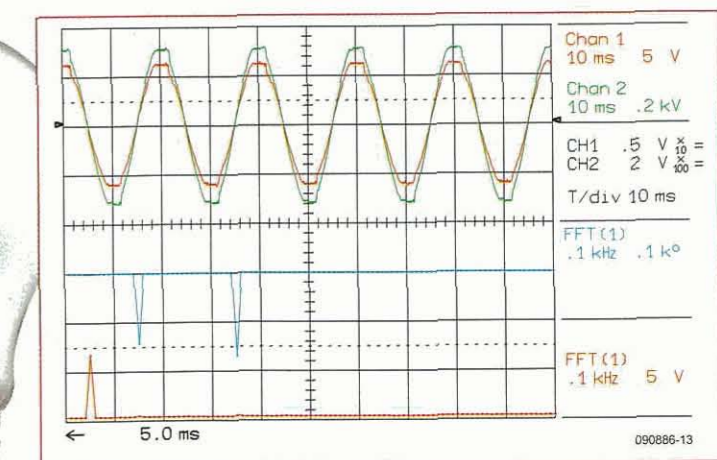
Van CFL naar LED is maar een kleine stap. De LED-lamp is sterk in opkomst (de kwaliteit wordt ook steeds beter, maar niet zo spectaculair beter) en veel huishoudens hebben er intussen al een of meer in huis. De metingen in de figuren 8 en 9 tonen de resul-



Figuur 1. De relatie tussen spanning, stroom en power factor.  $P = VI$  en  $\mu(P)$  is de gemiddelde waarde van het vermogen  $P$ . (bron: Wikipedia)



Figuur 2. Experimentele opstelling om de power factor te bepalen.

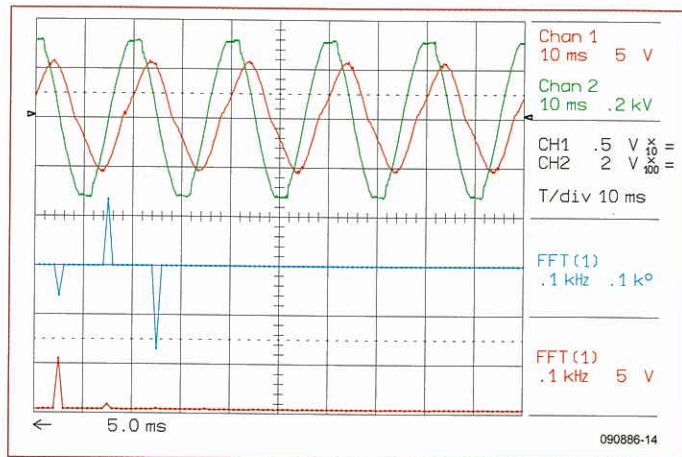


Figuur 3. Resultaten van een 100 W gloeilamp. Dit was een 220-V-exemplaar en de gemeten  $I_{\text{eff}}$  was 440 mA.

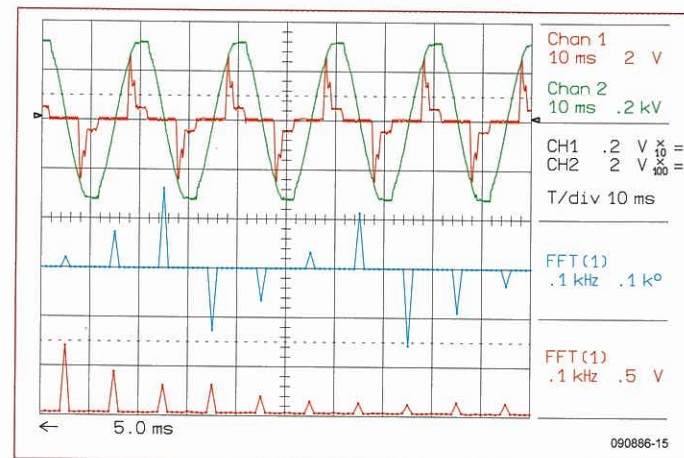
**Tabel 1. Classificatie van apparatuur**

Klasse	Beschrijving
A	Gebalanceerde driefase-apparatuur; huishoudelijke apparaten, behalve apparatuur van klasse D; gereedschap, uitgezonderd draagbare gereedschap; dimmers voor gloeilampen; audio apparatuur. Apparatuur die niet is gespecificeerd in een van de drie andere klassen wordt beschouwd als klasse-A-apparatuur.
B	Draagbare gereedschap, niet-professionele elektrische lasapparatuur (professionele apparatuur is apparatuur die niet beschikbaar is voor de consument.)
C	Verlichtingsapparatuur.
D	Apparatuur met een gespecificeerd vermogen minder dan of gelijk aan 600 W, van de volgende types: personal computers en personal computer monitors; televisie-apparatuur.

Bron: IEC 61000-3-2



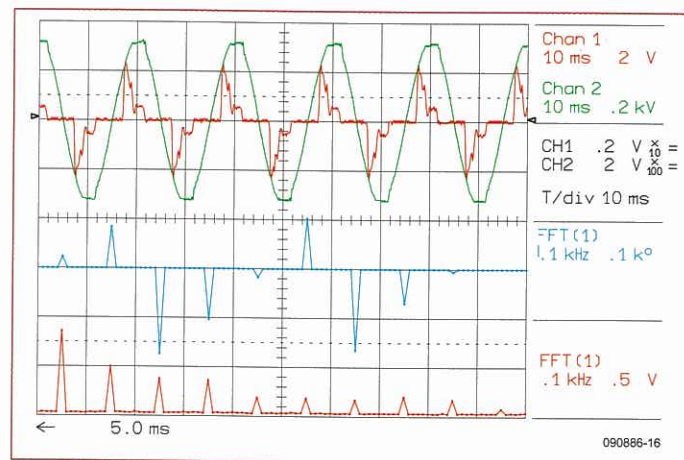
Figuur 4. Een reactieve belasting in de vorm van een 36 W tl-buis;  $\cos(\Phi) = 0,5$ ;  $I_{eff} = 352$  mA.



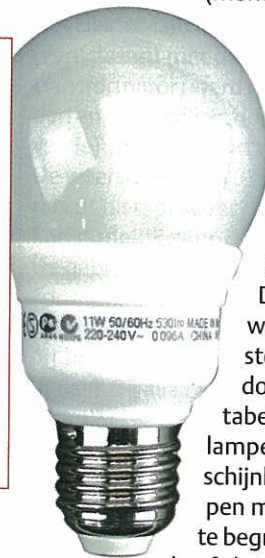
Figuur 5. Een 11 W PLE-C PRO CFL van Philips;  $I_{eff} = 67$  mA.

taten voor twee exemplaren, een monochrome en een driekleuren-lamp met afzonderlijk in te stellen kleuren. Deze lampen kwamen beide van het zeer bekende merk "Made in China".

De gemeten stroom is bij beide behoorlijk impulsvormig vanwege het geringe vermogen dat deze lampen consumeren, maar het spectrum is behoorlijk breed. Voor deze lampen is  $PF = 20/34 = 0,59$  (monochroom) en  $12/28 = 0,43$  (driekleuren).



Figuur 6. Idem als figuur 5, maar nu met een Ikea-lamp;  $I_{eff} = 76$  mA.



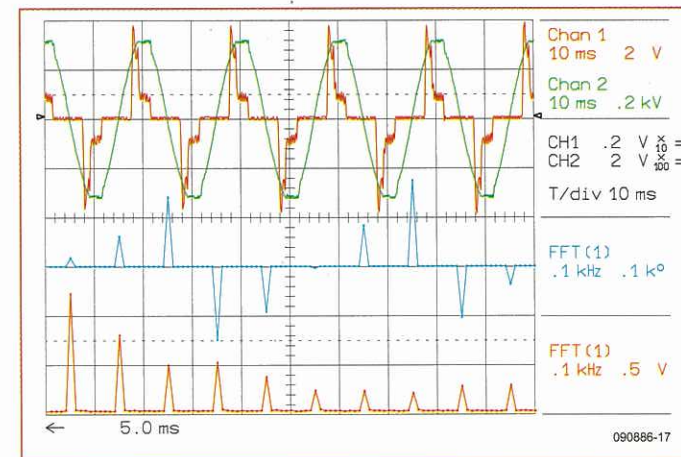
**Voldoen ze aan de norm?**

IEC 61000-3-2 verdeelt verlichtingsapparatuur (klasse C) weer in apparaten die een vermogen tot en met 25 W vragen en degene die meer verbruiken. Voor beide subklassen worden er maxima gesteld aan de harmonischen van de stroom, zie tabel 2. De drie CFL-lampen en de twee LED-lampen die we in het lab onderzochten vertonen allemaal sterke harmonischen, de meeste daarvan voldoen niet aan de waarden in de derde kolom van tabel 2. Moeten we daarom concluderen dat deze lampen op de Europese markt illegaal zijn? Waarschijnlijk niet, want er is een tweede regel voor lampen met een vermogen tot 25 W – zie (en probeer te begrijpen) de vierde kolom van tabel 2. Deze regel heeft het alleen over de derde en vijfde harmonische

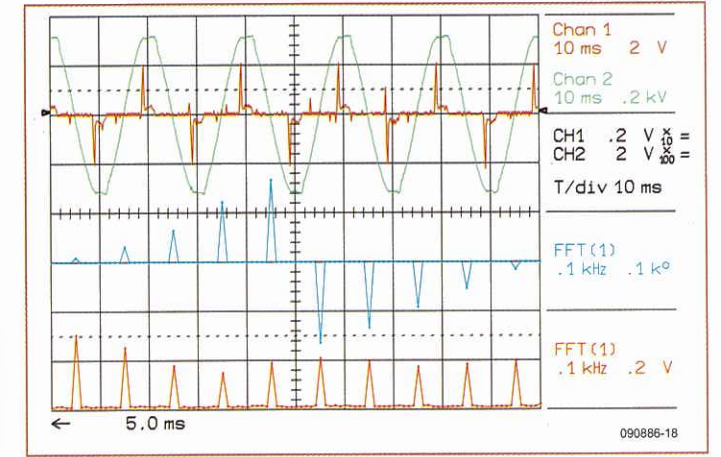
**Tabel 2. Grenswaarden voor klasse-C-apparatuur**

Harmonische	Maximaal toegestane harmonische stroom	
	Reëel ingangsvermogen > 25 W	Reëel ingangsvermogen ≤ 25 W
n	% van ingangsstroom bij grondfrequentie	mA/W
2	2	-
3	30 × power factor	3,4
5	10	1,9
7	7	1,0
9	5	0,5
11	3	0,35
13 ≤ n ≤ 39 (alleen oneven harmonischen)	3	3,85/n

Bron: IEC 61000-3-2



Figuur 7. Dezelfde meting als bij figuur 5 en 6, nu gemeten aan een oude 20 W Isotronic CFL;  $I_{eff} = 107$  mA.



Figuur 8. Deze goedkope monochrome LED-lamp heeft een heel breed stroomspectrum, maar lijkt nog wel te voldoen aan IEC 61000-3-2;  $I_{eff} = 34$  mA.

en laat veel hogere waarden toe, dus onze lampen voldoen waarschijnlijk allemaal aan de norm dankzij deze regel. Het zet je wel aan het denken wat de waarde is van deze regels, want het lijkt wel heel moeilijk iets te produceren dat niet aan deze norm voldoet.

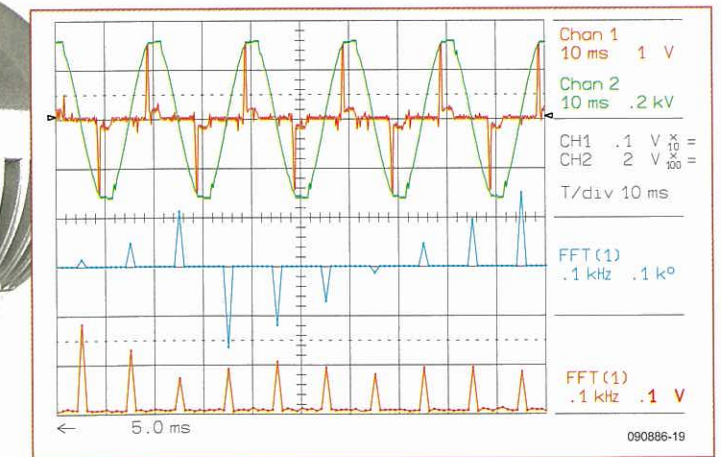
[1] NEN-EN-IEC 61000-3-2 2005-11 (derde editie). [www.iec.ch](http://www.iec.ch) en [www.nen.nl](http://www.nen.nl)

De metingen in het lab voldeden zeker niet aan de testvoorwaarden zoals in IEC 61000-3-2 beschreven en, toegegeven, onze instrumenten waren niet zorgvuldig gekalibreerd; we hebben wat snelle en ruwe metingen gedaan met de beschikbare netspanning met storingen en al. Toch zijn de resultaten verrassend en zitten ze er waarschijnlijk niet ver naast.

Moet u zich over dit alles zorgen maken? Waarschijnlijk niet. Zelfs als u tien of meer van deze lampen tegelijkertijd inschakelt, gebruikt u nog steeds betrekkelijk weinig vermogen en de invloed daarvan op de power factor van het totale huishouden is waarschijnlijk beperkt. U vervuult echter wel de netspanning.



(090886)



Figuur 9. Het spectrum van de op afstand instelbare driekleuren LED-lamp is net zo slecht als de LED-lamp van figuur 8;  $I_{eff} = 28$  mA.