



Compatibiliteit bij het dimmen van retrofitlampen.
Classificatie van lampen en dimsystemen,
problematiek en oplossingen



Compatibiliteit bij het dimmen van retrofitlampen. Classificatie van lampen en dimsystemen, problematiek en oplossingen

P. D'Herdt en A. Deneyer
(WTCB)

T. De Beleyr en D. Hermans
(Tecnolec)

Hebben eveneens hun medewerking verleend aan de opstelling van dit document:
M. De Beir (Niko), S. Van de Veire (Niko), R. Verbruggen (Niko)

2^{de} uitgave – 2014

Deze monografie werd opgemaakt in het kader van het VIS-TRAJECT Groen Licht
Vlaanderen 2020 (IWT-100955).

Revisie: Communicationwise/AV

INHOUD

1. INLEIDING	4
2. INVENTARISATIE/CLASSIFICATIE	5
2.1 Lichtbronnen	5
2.1.1 Gloeidraadlampen	5
2.1.2 Lagedrukkwikgasontladingslampen	8
2.1.3 Ledlampen	11
2.2 Dimsystemen	13
2.2.1 Algemeen	13
2.2.2 Indeling van dimmers volgens de werking van de vermogenscomponent	13
2.2.3 Aanstuursignalen	16
2.2.4 Universele compatibiliteit	19
3. INTEGRATIE VAN ENERGIEZUINIGE TECHNOLOGIEËN	20
3.1 Technische aspecten	20
3.1.1 Niet-lineariteit en faseverschuiving	20
3.1.2 Verschillende dimtopologieën	21
3.2 Compatibiliteit	22
3.2.1 Universeel karakter verdwijnt	22
3.2.2 Wat is compatibiliteit?	22
3.2.3 Beschouwingen rond compatibiliteit	22
3.2.4 Objectivering	23
4. DIVERSE INITIATIEVEN	24
4.1 Vuistregels	24
4.1.1 Minimaal aantal lampen	24
4.1.2 Maximaal aantal lampen	24
4.2 Compatibiliteitstabellen	24
4.3 Standaardisatie	26
4.3.1 Europa	26
4.3.2 Verenigde Staten	26
4.4 Slimme producten	27
4.4.1 Speciaal ontwikkelde IC's (<i>Integrated Circuits</i>)	27
4.4.2 Communicatieprotocol (Ledotron)	27
4.5 Besluit	28
5. METINGEN	29
5.1 Inleiding	29
5.2 Meetopstelling	29
5.3 Resultaten	30
5.3.1 Ecohalogeenlampen	30
5.3.2 Compacte fluorescentielampen (CFL)	31
5.3.3 Vervangingsleds	32
6. REFERENTIES	36

1 INLEIDING

Ledlampen en compacte fluorescentielampen met E14- en/of E27-voet (en dus met geïntegreerde voorschakelapparatuur – CFLi, waarbij ‘i’ staat voor *integrated*) worden vandaag doorgaans gebruikt als retrofit- of vervangingslamp voor de klassieke gloeilamp. Toch zal de gebruiker van deze lampen vaak een aantal nadelen opmerken. Deze gaan van een trage opstarttijd bij CFLi over een lagere lichtopbrengst dan verwacht, tot het niet correct functioneren met de aanwezige dimmer. Naarmate de technologie meer evolueert, zien we een aantal van deze nadelen verdwijnen.

Het fundamentele verschil tussen de oude en nieuwe lampen bestaat erin dat compacte fluorescentielampen en ledlampen (maar ook gewone T5-fluorescentielampen) met elektronische componenten werken. Bij de led is het lichtgevende element zelf trouwens ook een elektronische component. De nieuwe technologieën baseren zich niet langer – zoals bij de gloeilampen en de halogeenlampen het geval was – op een weerstand die als gevolg van opwarming licht uitstraalt.

Gezien deze fundamentele verschillen kan de com-

patibiliteit van de lichtbron en de dimmer niet altijd gegarandeerd worden bij integratie van deze lampen in bestaande installaties met dimmers. Het gaat hier immers om de combinatie van twee elektronische systemen (dimmerelektronica en lampenelektronica) die in de meeste gevallen niet eerder gezamenlijk getest werden. De problemen die in de praktijk het vaakst voorkomen, zijn een beperkt dimbereik, flikkering, geluid (brommen of zoemen) tot zelfs het niet-functioneren.

In dit document geven we in hoofdstuk 2 eerst een classificatie van de bestaande lamptypes en dimsystemen die courant op de markt aanwezig zijn. Bij de beschrijving leggen we de focus op de mogelijke interactie tussen beide systemen. Vervolgens gaan we in § 3.1 dieper in op de concrete problemen die zich kunnen voordoen en proberen we in § 3.2 het concept ‘compatibiliteit’ te definiëren. Hierna overlopen we in hoofdstuk 4 enkele reeds bestaande initiatieven die het compatibiliteitsprobleem in meer of mindere mate trachten aan te pakken. Tot slot illustreren we in hoofdstuk 5 een paar aspecten van compatibiliteit aan de hand van enkele uitgevoerde elektrische metingen.

2 INVENTARISATIE/ CLASSIFICATIE

In dit hoofdstuk geven we een overzicht van de bestaande lamptypes en dimsystemen. Vooral in het geval van de lampen hebben we er niet naar gestreefd een diepgaande en volledige technische toelichting van de concrete werking te geven, maar hebben we eerder gefocust op enkele kernpunten die essentieel zijn om de dim- en compatibiliteitsproblematiek goed te begrijpen.

2.1 LICHTBRONNEN

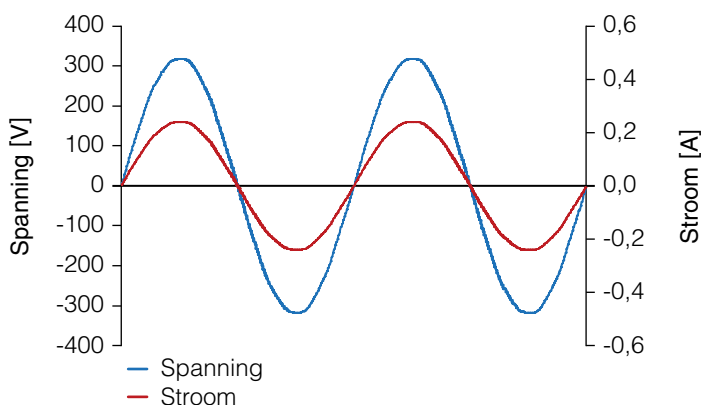
2.1.1 GLOEIDRAADLAMPEN

2.1.1.1 GEWONE GLOEILAMPEN/ HALOGEEN OP NETSPANNING

De feitelijke lichtbron bij gewone gloeilampen is een gloeidraad, meestal uit wolfram. Die is met een draagsteun opgehangen in een glazen ballon. Een elektrische stroom die door de gloeidraad wordt gestuurd, warmt die op (het zgn. joule-effect) en brengt die aan het gloeien.

De gloeiende wolframdraad zendt een continu spectrum aan elektromagnetische straling uit, waarvan een deel tot het zichtbare gebied behoort.

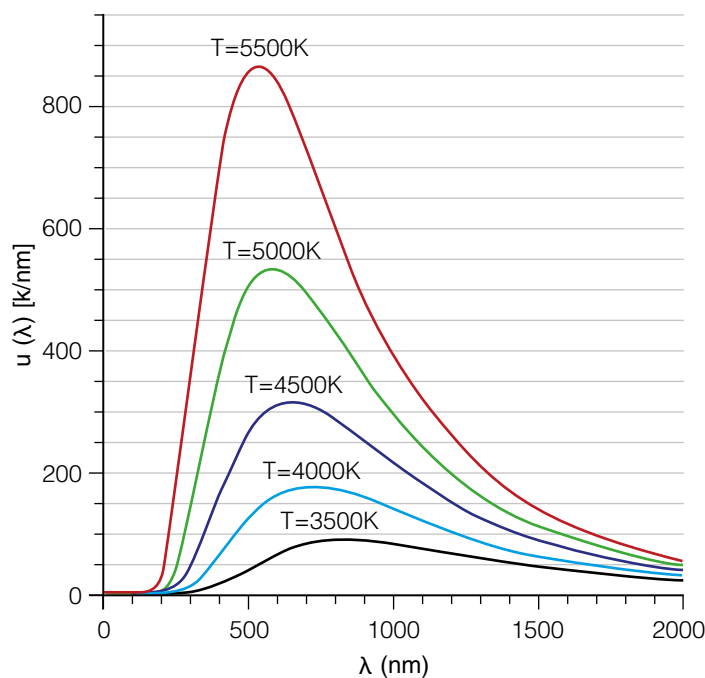
Aangezien de gloeidraad zich gedraagt als een ohmse weerstand, ziet de elektrische stroom die door dergelijke lamptypes gaat eruit als de aange-



Afb. 1 Stroom en spanning van een gloeilamp van 40 W.

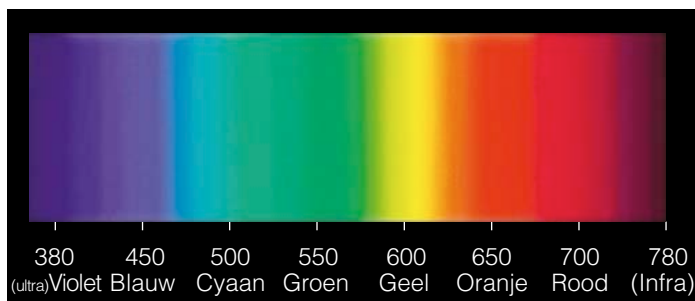
legde spanning (een sinus met frequentie 50 Hz) en zijn spanning en stroom in fase.

De lichtstroom van een gegeven gloeilamp wordt bepaald door de temperatuur van de gloeidraad. Dit is enerzijds het gevolg van de verschuivingswet van Wien ($\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$) die stelt dat de golflengte waarbij maximaal energie uitgezonden wordt, omgekeerd evenredig is met de temperatuur van de gloeidraad. Dit heeft tot gevolg dat bij lagere temperaturen de golflengte – waarvoor het specifieke vermogen maximaal is – naar rechts verschuift. Het afplatten van de curve, anderzijds, is te verklaren aan de hand van de wet van Boltzman. Die bepaalt immers dat de stralingsemittantie (en dus ook de vermogensdichtheid) evenredig daalt met de vierde macht van de temperatuur. De energieinhoud in het zichtbare gebied wordt daardoor kleiner en resulteert dus in minder zichtbaar licht, zoals afbeelding 2 aantoont.



Afb. 2 Verschuiving van het spectrum naargelang van de temperatuur van de gloeidraad. We zien dat de vermogensdichtheid in het zichtbare gebied afneemt bij een dalende temperatuur.

Door de verschuiving naar rechts krijgt het uitgestraalde licht een rodere kleur. Afbeelding 3 geeft de kleuren weer van zichtbaar licht op verschillende golflengten.

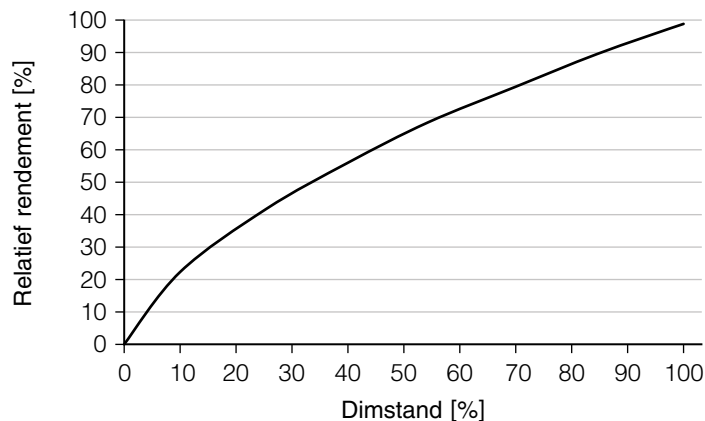


Afb. 3 Kleuren binnen het zichtbare spectrum.

Om een gloeilamp te dimmen, volstaat het dus om de temperatuur te verlagen, wat mogelijk is door het toegevoerde vermogen (en dus de elektrische stroom, aangezien $P = R \cdot I^2$) te verminderen. Dit kan in de praktijk op twee manieren:

- door de amplitude van de spanning over de lamp te verlagen, bijvoorbeeld door een regelbare weerstand in serie met de lichtbron te plaatsen (deze techniek wordt in de praktijk niet meer gebruikt)
- door de spanning over de lamp gedurende korte tijdsperiodes uit te schakelen (zie § 2.2.2.1 tot en met § 2.2.2.4). Op de momenten dat er geen spanning is, loopt er ook geen stroom door de gloeidraad, maar dankzij de thermische traagheid van de draad kunnen we dat niet waarnemen. Het toegevoerde vermogen vermindert echter wel, waardoor de evenwichtstemperatuur van de draad daalt, het licht een warmere kleurtemperatuur krijgt en het totale uitgestraalde vermogen in het zichtbare gebied vermindert: de lamp wordt gedimd.

Opmerkelijk is dat het rendement van de lamp (in lm/W of lumen/watt) afneemt naarmate we ze dimmen, omdat proportioneel een groter deel van de energie verloren gaat in niet-zichtbare elektromagnetische straling. Indien we een bepaalde lamp dus steeds in gedimde toestand gebruiken, is het vanuit energetisch oogpunt beter om een lamp te kiezen met een lager vermogen, in combinatie met de dimmer in zijn hoogste stand.



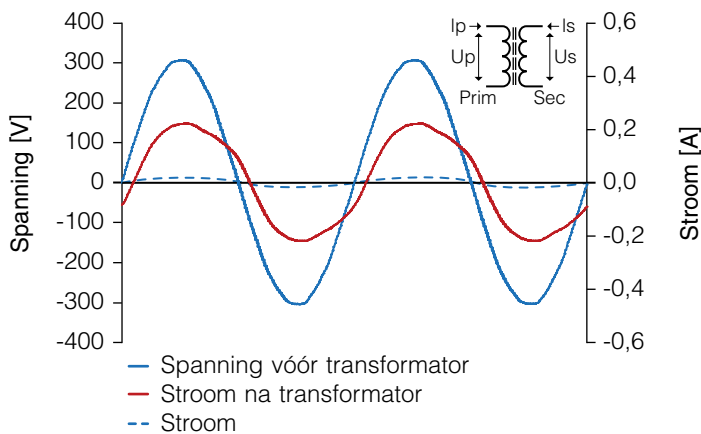
Afb. 4 Variatie van het relatieve rendement (t.o.v. het rendement zonder dimmer) van een gloeilamp naargelang van de dimstand.

2.1.1.2 HALOGEEN OP LAAGSPANNING

Halogeenverlichting op laagspanning (typisch 12 V, soms 24 V) werkt grotendeels volgens hetzelfde principe als een gloeilamp of een halogeonlamp op netspanning: een gloeidraad warmt op dankzij het joule-effect en straalt hierdoor licht uit. Het grote verschil met gloeilampen is de werking op een lagere spanning. Hierdoor is een dikere gloeidraad mogelijk, zijn hogere temperaturen haalbaar en wordt er meer energie in zichtbaar licht omgezet. De lamp wordt dus efficiënter. Om de netspanning om te zetten in een lagere spanning is een hulpapparaat noodzakelijk: de transformator. Het type transformator zal bepalen hoe we de lichtstroom van de lamp kunnen verminderen.

2.1.1.2.1 FERRO- OF ELEKTROMAGNETISCHE TRANSFORMATOREN

Deze transformatoren worden ook wel passieve transformatoren genoemd, omdat de transformator eigenlijk een element is dat ‘ondergaat’ en zelf geen enkele actie onderneemt. Er wordt met andere woorden niets aan- of uitgeschakeld. Een ferromagnetische transformator bestaat uit een ijzern kern waarrond draden zijn gewikkeld die twee magnetisch gekoppelde spoelen vormen. Door de stroom in de primaire spoel ontstaat er in de ijzern kern een magnetische flux. Die wordt op zijn beurt omgezet in een elektrische spanning in de secundaire spoel. De verhouding tussen het aantal wikkelingen – de transformatorverhouding – stemt overeen met de mate waarin de spanning getransformeerd wordt.



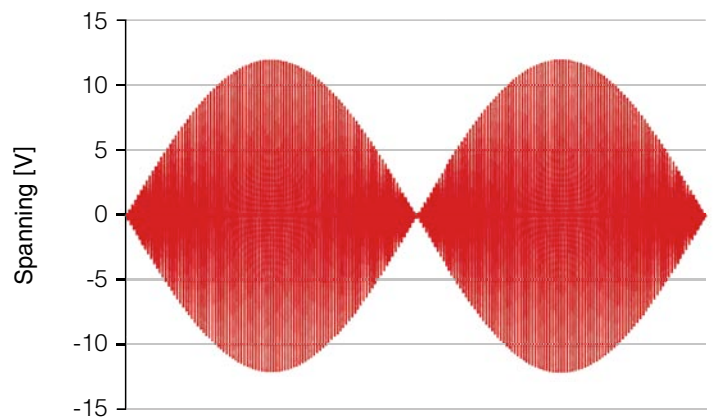
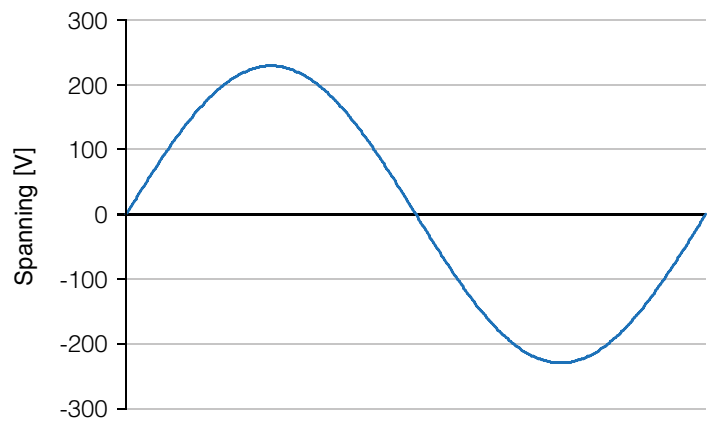
Afb. 5 Werking van een ferromagnetische transformator.

Gezien het feit dat dit type transformator eigenlijk een passief element is, waarbij enkel de grootte van de spanning verandert (zie afbeelding 5), kan de combinatie transformator/lamp in principe op dezelfde wijze worden gedimd als een gloeilamp die rechtstreeks op netspanning wordt gevoed. De inductieve werking van de spoelen rond de ijzern kernen zorgt er evenwel voor dat faseafsnijding hoge spanningen veroorzaakt die nefast zijn voor de transformator (zie § 2.2.2.3).

2.1.1.2.2 ELEKTRONISCHE TRANSFORMATOREN

Elektronische transformatoren zijn actieve elementen die de oorspronkelijke netspanning omzetten in een lagere spanning met een veel hogere frequentie (typisch 30 kHz t.o.v. 50 Hz voor netspanning). Dankzij de thermische inertie van de gloeidraad in de halogeenlamp kunnen we die hoge frequentie met het menselijke oog niet waarnemen.

Hoewel deze transformatoren actieve elementen zijn, geeft het gebruik van de klassieke dimmethoden voor gewone gloeilampen in principe het gewenste resultaat: ingeval de ingangsspanning voor de transformator lager is dan de netspanning, wordt ook de uitgangsspanning lager. Als bepaalde delen van de golf worden uitgeschakeld, wordt er ook niets getransformeerd en is er voor dat deel van de golf dus ook geen *output* van de transformator.



Afb. 6 Theoretische primaire (blauw – grafiek bovenaan) en secundaire (rood – grafiek onderaan) spanning van een elektronische transformator (230 V – 12 V). In de praktijk volgt de vorm van de secundaire spanning bij de lage amplitudes niet meer de sinusvorm. Daarnaast is in de afbeelding een uitgaande spanning van 10 kHz gebruikt (t.o.v. typisch 30 kHz in een reële transformator) om de werking beter te visualiseren.

Een elektronische transformator vormt een capacatieve belasting (door de elektronische componenten). Als we gebruik maken van een faseaansnijdingsdimmer die bij elke aansnijding een hoge stroompuls creëert (100 maal per seconde), dan zorgt de lage weerstand van de capacatieve belasting (transformator) tegen hoogfrequente pulsen telkens voor een kortstondige kortsluiting van de dimmer en dus voor hoge piekstromen. De levensduur van zowel transformator als dimmer worden hierdoor negatief beïnvloed.

2.1.2 LAGEDRUKKWIGGASONTLADINGS- DINGSLAMPEN

In lagedrukkwiggasontladingslampen worden kwik-
atomen door botsingen met een elektronenstroom
geëxciteerd en komen ze op een hoger energieniveau
terecht. Wanneer ze daarna op hun 'normale' ener-
gieniveau terugvallen, zenden ze een foton uit, in
een frequentie die overeenstemt met het uv-gebied.
Die foton wordt vervolgens door de fosforpoeders
op de wand van de lamp omgezet in zichtbaar licht.

Kwiggasontladingslampen bestaan in twee grote
groepen, namelijk de tl-lampen (tl = *tube lumi-
nescent*) en de kleinere broertjes ervan, de CFL
(*Compact Fluorescent Lamp*). Laatstgenoemde ken-
nen we ook onder de benaming 'spaarlamp', maar
sedert de opkomst van ledlampen is ook voor dat
type lichtbron de term 'spaarlamp' gebruikelijk ⁽¹⁾.

Kwiggasontlading vereist steeds een hulpappara-
tuur tussen de lichtbron zelf en het net. Die hulpap-
paratuur zorgt voor het opstarten van de lamp en het
stabiliseren van de elektronenstroom. Bij tl-lampen
is deze hulpapparatuur steeds extern, terwijl ze bij
CFL-lampen vaak ingebouwd is. Er bestaan echter
ook CFL-lampen met externe ballast. Ze heb-
ben dan een specifieke lampvoet en worden vaak
aangeduid met de term CFLni (waarbij 'ni' voor
not integrated ballast staat). De klassieke CFL met
schroefvoet (E27 of E14) en geïntegreerde ballast
krijgen vaak de naam CFLi (waarbij 'i' voor *inte-
grated ballast* staat) mee.

Als een kwiggasontladingslamp wordt gedimd, ge-
beurt dat via de hulpapparatuur: de stroom wordt
dan lager, het aantal botsingen vermindert, waar-
door ook het aantal uitgestraalde fotonen kleiner
wordt. Omdat er historisch gezien voor een particu-
lier of installateur geen compatibiliteitsproblemen
zijn tussen ballast en lamp ⁽²⁾, richten we ons in dit
document op de compatibiliteit tussen het dimsys-
teem en de hulpapparatuur van de lamp, en meer
bepaald op de aanstuursignalen (zie § 2.2.3).

2.1.2.1 FLUORESCENTIELAMP (T8 EN T5)

In de onderstaande tekst beperken we ons tot de
klassieke T5- en T8- lampen ⁽³⁾. T5- en T8-lam-
pen worden altijd gevoed door een ballast die ervoor
zorgt dat de lamp wordt gedimd (door vermind-
ring van de elektronenstroom). T8-lampen kunnen
gevoed worden door een elektromagnetische bal-
last of een elektronische ballast. Een elektromag-
netische ballast is niet bedoeld om te dimmen, of
althans enkel over een beperkt bereik. Anders valt
de spanning te ver terug om de elektronenstroom in
stand te houden. Daarnaast bestaat een hoger risico
op beschadiging van de elektroden als deze niet
voldoende warm blijven. Een elektronische bal-
last bestaat wel in dimbare of niet-dimbare versie.
Voor T5-lampen zijn enkel elektronische ballasten
verkrijgbaar.

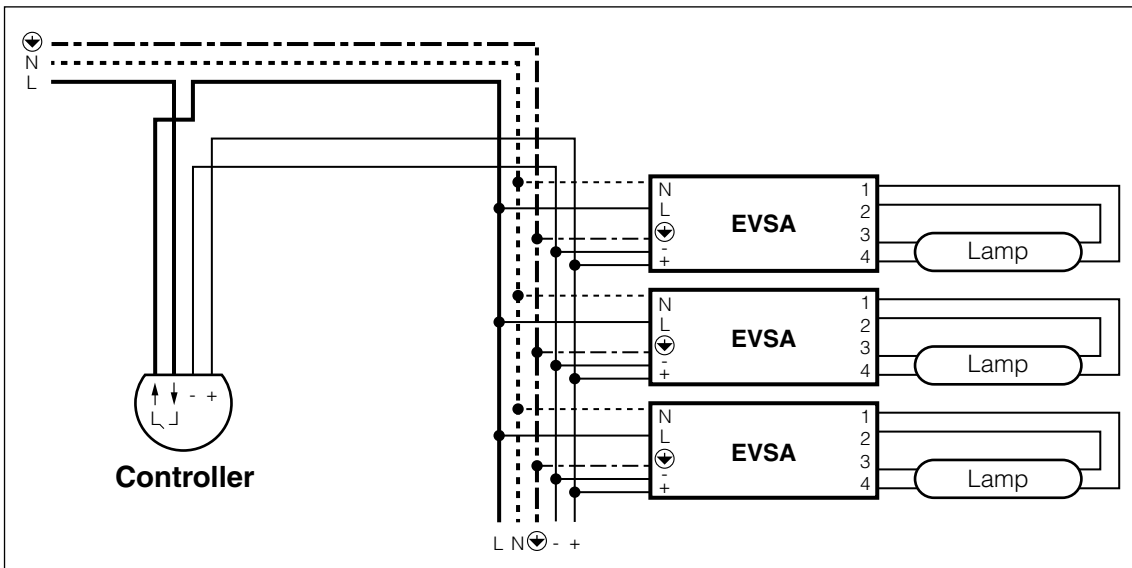
Elektromagnetische en niet-dimbare elektronische
ballasten zijn met geen enkel dimsignaal compati-
bel. Inspelen op de netspanning kan wel een impact
hebben op de lichtstroom, maar dat zal meestal
over een beperkt dimbereik zijn, instabiel verlopen
(geflinker, ...) of nefast zijn voor de levensduur van
lamp en/of ballast.

Dimbare ballasten hebben behalve een aansluiting
voor de netspanning een bijkomende ingang voor
het dimsignaal. De eigenlijke dimming gebeurt
op basis van het stuursignaal. De meest courante
systemen zijn ballasten die werken volgens het
1-10 V systeem (zie § 2.2.3.2) en het DALI-sys-
teem (zie § 2.2.3.3). Deze zijn onderling niet
uitwisselbaar, al bestaan er hulpsystemen die een
DALI-signaal kunnen omzetten in een signaal van
1-10 V en dus als extra 'vertaler' kunnen wor-
den ingeschakeld. Op de ballast staat in principe
aangegeven met welk type stuursignaal hij kan
worden aangestuurd.

⁽¹⁾ De verordening 244/2009 stelt dat aan bepaalde voorwaarden moet voldaan worden om een lamp als 'spaarlamp' te bestempelen.

⁽²⁾ Voor lampen van het type CFLi is het probleem onbestaande omdat de eigenlijke lamp en de hulpapparatuur in dezelfde behuizing zitten. Voor de andere lampen kiest men in principe lampen die overeenstemmen met de vermelding op de ballast.

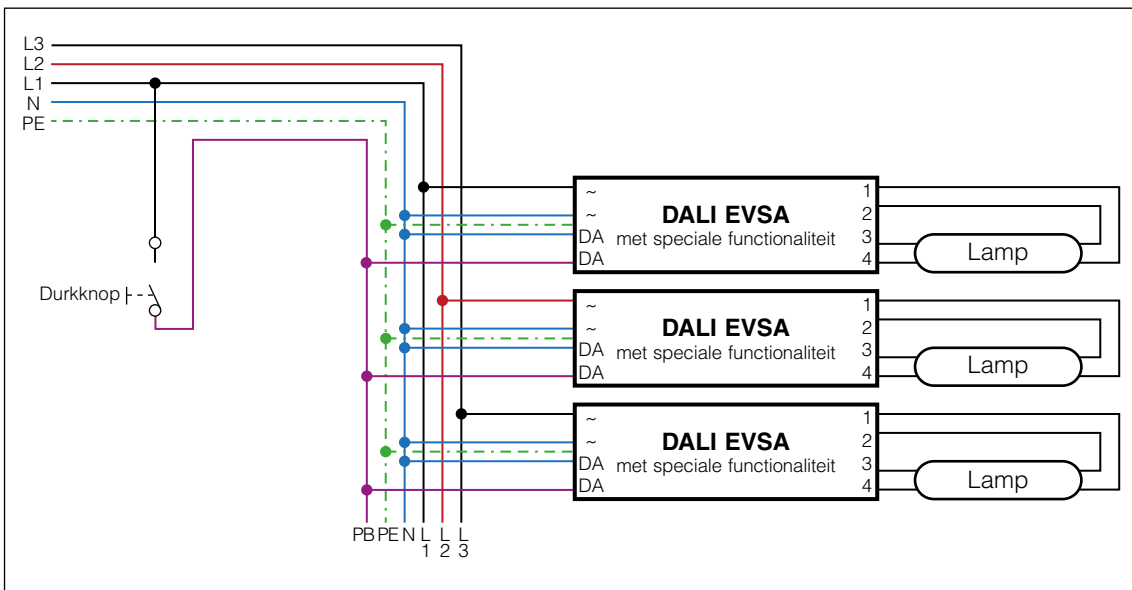
⁽³⁾ Het cijfer achter de letter 'T' duidt, in achtsten van een 'inch' (1 inch = 2,54 cm), op de diameter van de buis. Andere afmetingen bestaan, maar zijn zo goed als van de markt verdwenen (bv. T12) of worden enkel voor uitzonderlijke toepassingen gebruikt. Voor T12-lampen bestaan trouwens enkel elektromagnetische ballasten die niet in dimbare uitvoering bestaan.



Afb. 7 Voorbeeld van een 1-10 V configuratie (bron: Osram).

Een uitzondering op de onmogelijkheid om ballasten op netspanning te sturen zijn bepaalde, fabrikanteigen varianten op DALI-ballasten. Een drukknop, op netspanning, kan op dergelijke bal-

lasten aangesloten worden aan de DALI-ingangen. Een fabrikanteigen protocol bepaalt hoe de ballast (schakelen, dimmen) reageert op de signalen van de drukknop.



Afb. 8 Dimmen via een drukknop en ballasten met speciale functionaliteit (bron: Osram).

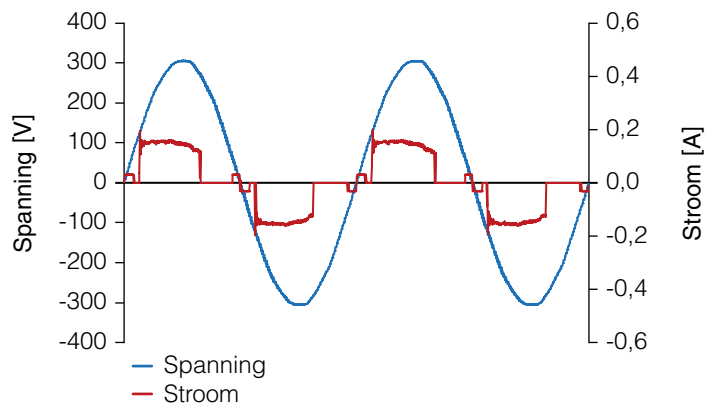
2.1.2.2 COMPACTE FLUORESCENTIELAMP (CFL)

CFLni-lampen zijn, zoals reeds aangegeven, niets anders dan mini-versies van de klassieke buisontladingslampen. Ze zijn enkel compatibel met daarvoor voorziene ballasten⁽⁴⁾, waarvan er – voor de meeste types – dimbare versies bestaan. Wat hun dimmogelijkheden betreft, gaan dezelfde zaken op die we reeds onder § 2.1.2.1 hebben vermeld.

CFLi worden gebruikt als één-op-éénvervangingslampen voor klassieke gloei- of halogeenlampen. Ze hebben dezelfde lampvoet (de meest courante zijn E14, E27 en GU10) en worden rechtstreeks op de netspanning gevoed, zonder dat er een extra ingang voor dimsignalen is voorzien. Dimmen zou dus enkel mogelijk zijn door het variëren van de netspanning, zoals ook voor gloei- en halogeenlampen geldt.

De meeste CFLi-lampen op de markt zijn evenwel niet dimbaar en dus met geen enkele dimmer compatibel. Ook al kan de lamp mogelijk wel dimbaar lijken, de impact op visueel comfort en levensduur van de componenten kan dramatisch zijn. De laatste jaren zijn nochtans dimbare versies op de markt gekomen, maar die zijn niet zonder meer compatibel met om het even welke dimmer. De meeste CFLi vertonen een eerder capacatieve werking, waardoor faseaansnijding stroompieken veroorzaakt die de levensduur van lamp en dimmer reduceren.

Toch zijn er ook CFFi waarvoor compatibiliteit met faseaansnijdingsdimmers wordt geclaimd. Uit afbeelding 9 zou intuïtief kunnen afgeleid worden dat – voor de CFLi-lamp in kwestie – faseaansnijding in eerste instantie weinig impact zal hebben. Dit zou ook het beperkte dimbereik (en het hoge minimumniveau) van de meeste dimbare CFL, in combinatie met faseaansnijding, kunnen verklaren.



Afb. 9 Stroom en spanning van een CFLi-lamp van 18 W.

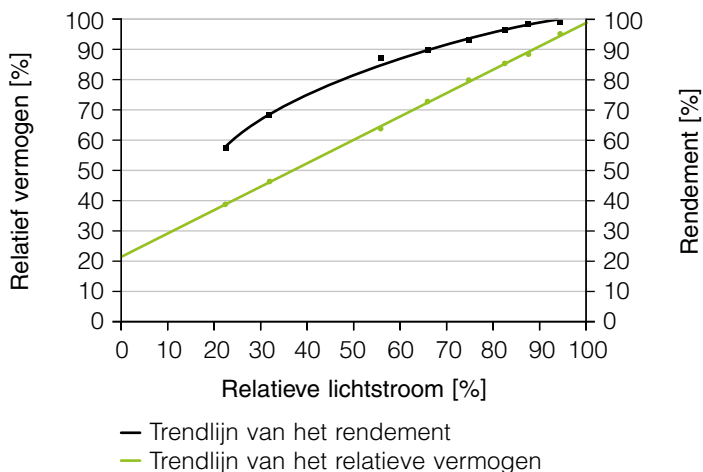
Problemen die kunnen voorkomen bij het dimmen van CFL, zijn:

- geen opstart op het laagste dimniveau (door onvoldoende voorverwarming)
- geflikker
- stapsgewijze dimming.

Er bestaan ook CFLi-lamptypes die dimbaar zijn met een gewone (puls)schakelaar. Intern zit bij die lampen een stukje intelligentie ingebouwd die de pulsen of signalen (en dus de sprongen in de voedingsspanning) interpreteert als een dimsignaal. De conventies van het protocol zijn in dat geval eigen aan de lampenfabrikanten.

Op zich neemt het rendement van de ontladingsbuis zelf niet af wanneer we een ontladingslamp dimmen. Dat is goed te zien in afbeelding 10, die resulteert uit een eigen laboratoriummeting (voor een CFLi in combinatie met een faseaansnijdingsdimmer): vermogen en lichtstroom variëren zo goed als recht evenredig (groene rechte). De rechte gaat evenwel niet door de oorsprong, omwille van het verbruik van het stuurapparaat. Dit zorgt er dan ook voor dat het energetisch rendement van de volledige lamp (de zwarte curve) afneemt naarmate de lichtstroom kleiner wordt.

⁽⁴⁾ Op de ballasten wordt vermeld met welk type lamp ze moeten worden verbonden – bij elk type lamp hoort ook een specifieke lampvoet, zodat de particuliere gebruiker zich achteraf niet meer kan vergissen.



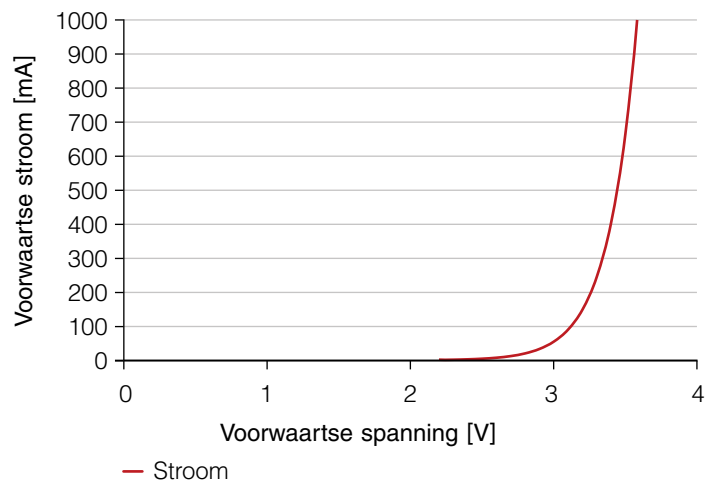
Afb. 10 Gemeten rendement en relatief vermogen (afhankelijk van de relatieve lichtstroom) van een CFLi-lamp van 11 W. De trendlijn van het rendement beperkt zich tot de gemeten punten; die van het vermogen werd verder doorgetrokken om het snijpunt met de Y-as aan te tonen.

2.1.3 LEDLAMPEN

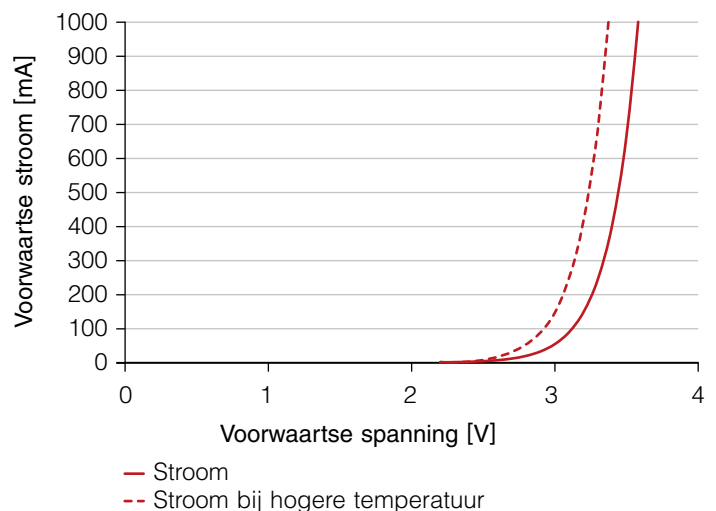
Net als CFL kunnen leds op het vlak van configuratie opgedeeld worden in twee grote groepen: de ledbronnen die voorzien zijn van een apart stuurapparaat (de driver) en de types waarbij stuurapparaat en lichtbron in dezelfde behuizing zitten. De vervangingsleds voor klassieke gloei- of halogeenvlampen vallen onder die laatste groep.

Daarnaast kunnen we een onderscheid maken tussen spanningsgestuurde en stroomgestuurde leds. De lichtstroom van een led is recht evenredig met de elektrische stroom. Dimmen op zich lijkt dus eenvoudig: door in te spelen op elektrische stroom of spanning wordt ook rechtstreeks de lichtstroom beïnvloed. De spanning/stroomkarakteristiek van een diode vertoont niettemin een exponentieel verloop, waardoor elke (zelfs een kleine) spanningsvariatie meteen leidt tot een grote(re) (elektrische en licht-)stroomvariatie.

Hogere stromen zorgen ook voor meer opwarming – eigenlijk wordt de led ‘overgestuurd’ –, waardoor de levensduur van de leds daalt. Dit fenomeen wordt nog versterkt doordat bij stijgende junctietemperatuur de curve in de grafiek naar links verschuift, waardoor voor eenzelfde spanning de stroom nog meer stijgt en de opwarming nog groter wordt. Dit sneeuwbaaleffect wordt in het Engels ‘thermal runaway’ genoemd.



Afb. 11 Spanning-stroomkarakteristiek voor een specifieke led.



Afb. 12 Thermal runaway.

Deze problematiek, in combinatie met de onderlinge variaties tussen leds met betrekking tot de exacte ligging van de spanningscurve, zorgt ervoor dat leds zonder bijkomende (stroombeperkende) maatregelen best gestuurd worden met een constante stroombron. Die is wellicht wat duurder, maar zorgt voor een vrij gelijkmatige lichtstroom tussen verschillende ledstrips (zelfde elektrische stroom = zelfde lichtstroom). Bovendien is het risico op *thermal runaway* nihil. Stroomgestuurde leds worden altijd in serie geschakeld.

Een constante spanningsbron (een batterij) is meer verspreid en ook goedkoper. Als een degelijke bron wordt gebruikt, moeten de ledstrips voorzien zijn van een component die de stroom beperkt. Een eenvoudig, goedkoop, maar minder energie-efficiënt voorbeeld hiervan is een weerstand die in serie met de diodes wordt geschakeld. Er bestaan ook meer geavanceerde oplossingen. Regelen is met dit type sturing wel moeilijker: een kleine spanningsvariatie heeft een grote variatie van de elektrische stroom en van de lichtstroom tot gevolg. Spanningsgestuurde leds worden altijd parallel geschakeld.

2.1.3.1 LEDLAMPEN MET EXTERNE DRIVER

Voor leds met externe driver gaan gelijkaardige zaken op als voor CFLni. Compatibiliteit tussen drivers en leds is een aandachtspunt (spannings- of stroomsturing bijvoorbeeld), maar dit staat in principe los van de dimmingsproblematiek. Met betrekking tot de compatibiliteit moet enkel naar de driver worden gekeken.

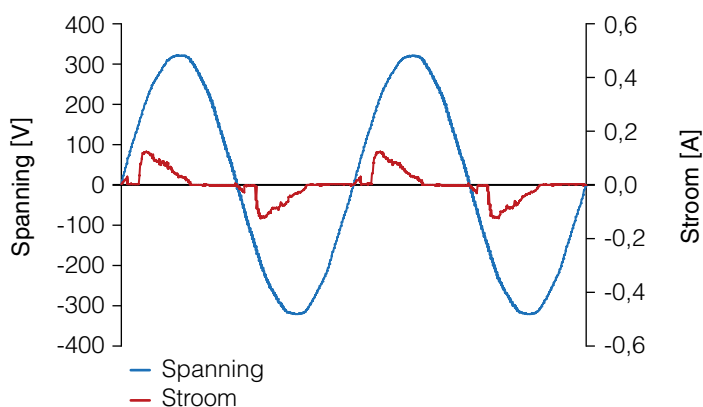
Net als voor de ballasten van CFLni bestaan er dimbare drivers die bijvoorbeeld een signaal van 1-10 V of digitale signalen volgens het DALI- of een ander protocol kunnen verwerken (en dus stroom of spanning navenant aanpassen). Daarnaast bestaan er drivers zonder bijkomende ingang die niet-dimbaar kunnen zijn. Er zijn ook dimbare drivers die werken in combinatie met klassieke dimmers of die het signaal van een pulsschakelaar op netspanning verwerken volgens een merkeigen protocol. Voor die laatste groep stellen zich dezelfde vragen als voor dimbare CFLi (zie § 2.1.2.2) of vervangingsleds (zie § 2.1.3.2).

2.1.3.2 LEDLAMPEN MET INTERNE DRIVER (VERVANGINGSLEDS)

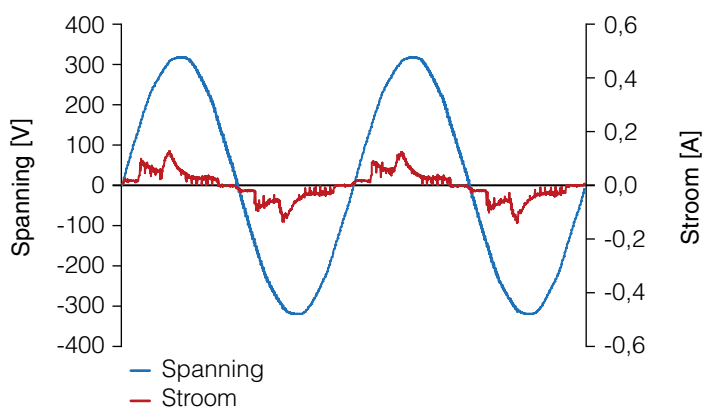
In vervangingsledlampen (met klassieke lampvoet) zitten driver en ledmodule in dezelfde behuizing. Een extra ingang voor een stuursignaal is er niet.

Er zijn niet-dimbare versies van vervangingsled-

lampen, waarbij een klassieke dimmer kan leiden tot ongewenste effecten en/of verminderde levensduur. Voor de dimbare versies is dimmen mogelijk door in te spelen op de netspanning, maar dit kan niet voor om het even welke combinatie van dimmer en lamp (zie hoofdstuk 3). We zouden verwachten dat ledlampen in meer of mindere mate een capacatieve last (zie afbeelding 13 en afbeelding 14 voor twee verschillende fabrikanten en ook § 3.1.1 voor meer uitleg) vormen en dus het best werken met faseafsnijdingsdimmers, maar dat blijkt vaak niet het geval. Vermoedelijk zijn de gebruikte componenten in de driver zo gekozen dat ze optimaal werken met faseaansnijdingsdimmers, omdat die het meest voorkomen op de markt.



Afb. 13 Stroom en spanning van een vervangingsled van 8 W (fabrikant C).



Afb. 14 Stroom en spanning van een vervangingsled van 10 W (fabrikant E).

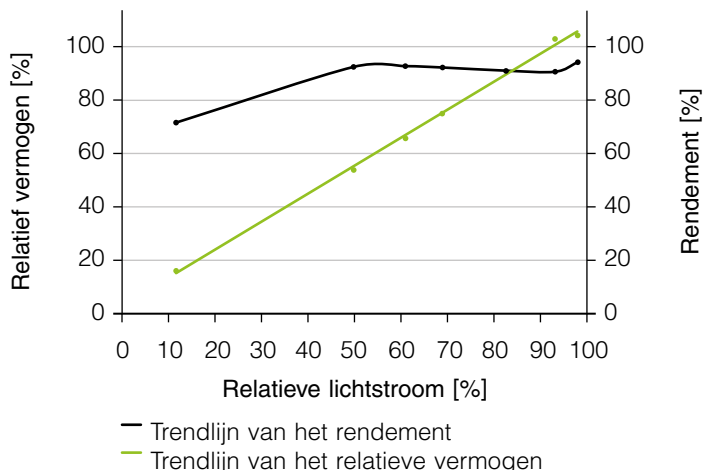
Er bestaan ook leds (met G5.3-voet) die halogeenvlampen op lage spanning vervangen. Voor die laatste groep zijn er twee compatibiliteitsvragen: is de lamp compatibel met de transformator (daarbij is onder andere de minimale last van de transformator van belang) en is de combinatie transformator/lamp compatibel met de dimwijze?

Bij het dimmen van vervangingsleds kan in principe een meer dan lineair verband tussen lichtstroom en vermogen worden verwacht. Het rendement van de diode zelf neemt immers lichtjes toe, dankzij de lagere temperaturen bij lagere lichtstromen. Bij eigen metingen stelden wij doorgaans een eerder lineair verband vast, met een rechte die – in tegenstelling tot wat voor CFLi het geval was – nagenoeg door de oorsprong zou gaan. In werkelijkheid zal er, net als bij de CFL, een residueel vermogen van de driver overblijven, waardoor de rechte trendlijn in afbeelding 15 zal afbuigen tot een horizontale lijn voor de lagere lichtstromen.

Dit is waarschijnlijk te verklaren door het opgenomen vermogen van het stuurapparaat: dat zou bij die lagere lichtstromen ook een hoger verbruik kunnen hebben, onder andere om de werking van de combinatie dimmer/lamp in gedimde stand te corrigeren. De combinatie van beide fenomenen zorgt voor een min of meer lineair verloop van het vermogen naargelang van de lichtstroom en een nagenoeg constant rendement van de vervangingsled, onafhankelijk van de dimstand.

Bij lagere dimstanden neemt het rendement wel af, omdat het opgenomen vermogen van het stuurapparaat steeds belangrijker wordt.

In afbeelding 15 is ook te zien dat het opgenomen vermogen van een vervangingsled in combinatie met de dimmer wat hoger ligt dan dat van de vervangingsled op netspanning, waardoor globaal een rendement wordt gehaald dat iets lager ligt dan 100 %. Ook dit is waarschijnlijk te wijten aan de corrigerende werking van het stuurapparaat. Het rendement van een aantal combinaties dimmer/lamp kan bij bepaalde dimstanden wat hoger of lager liggen, maar de vastgestelde afwijkingen in de uitgevoerde metingen waren niet zo groot (tot maximaal 20 %, zie § 5.3.3).



Afb. 15 Gemeten rendement en relatief vermogen afhankelijk van de relatieve lichtstroom van een vervangingsled van 11 W.

2.2 DIMSYSTEMEN

2.2.1 ALGEMEEN

In dit hoofdstuk behandelen we eerst de vermogenscomponenten die inspelen op de netspanning. Vervolgens overlopen we de meest courante aanstuursignalen op de markt. Deze aanstuursignalen kunnen een vermogensdimmer aansturen, maar zijn vooral gekend voor de aansturing van de hulpapparatuur van ontladingslampen en leds. De feitelijke dimming voor dat type lampen gebeurt door de stuurapparaten zelf. Omdat de compatibiliteitsproblematiek daar veel minder speelt, gaan we in dit document niet verder in op dat aspect.

2.2.2 INDELING VAN DIMMERS VOLGENS DE WERKING VAN DE VERMOGENSCOMPONENT

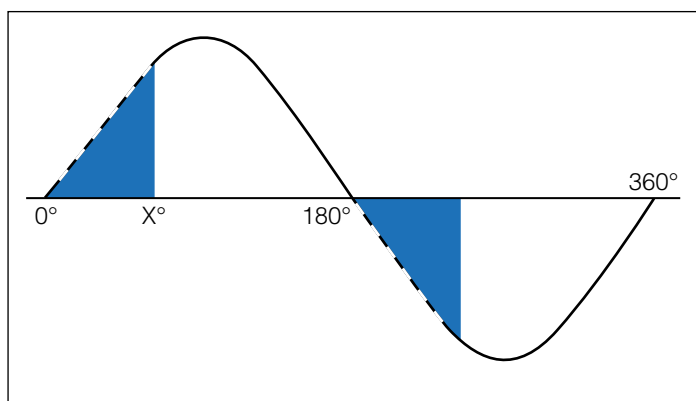
Oorspronkelijk werden vermogenscomponenten ontwikkeld om gloeidraadlampen te dimmen. De temperatuur van de gloeidraad wordt bepaald door het vermogen dat erin opgewekt wordt. Dat vermogen is gelijk aan RI^2 (zie § 2.1.1). Aangezien directe stroomsturing complex is, wordt de stroomregeling door de gloeidraad op economische wijze gerealiseerd met behulp van spanningssturing. Daarbij wordt enkel het gedeelte van de spanning aangelegd dat nodig is om een bepaalde stroom door de gloeidraad te bekomen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van vermogenelektronische componenten zoals thyristoren, triacs en transistoren, die toelaten om snel te schakelen.

De goede werking van vermogenelektronische componenten is gebaseerd op vrije ladingen: het gaat hier om stromen die erdoor vloeien, in combinatie met de juiste spanning over de component. Wanneer bijgevolg de stroom door de dimmer verandert doordat de door de Ecodesign-richtlijn uitgefaseerde gloeilamp vervangen wordt door een CFL of een ledlamp met een veel lagere stroom – die bovendien ook nog verschoven is ten opzichte van de spanning – dan is het mogelijk dat dit leidt tot een niet goed functionerend geheel (zie § 3.1).

Naargelang van de belasting die aangesloten is op de dimmer, komen de volgende soorten dimmers in aanmerking. Elke dimmersoort heeft zijn eigen technologie.

2.2.2.1 FASEAANSNIJDINGSDIMMER (VOOR R-BELASTING)

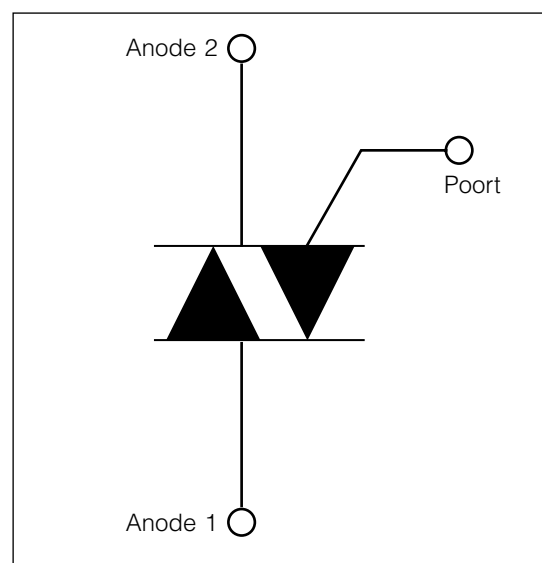
Deze dimmer is opgebouwd uit een regelbare vermogenelektronische schakelaar die een faseaansnijding mogelijk maakt. Eerder dan vanaf de nuldoorgang van de spanning de schakelaar te sluiten (en stroom door te laten), wordt deze enige tijd (uitgedrukt door de ontstekehoek X) later gesloten. De fase wordt ‘aangesneden’, vandaar de benaming faseaansnijdingsdimmer.



Afb. 16 Principe van een faseaansnijdingsdimmer.

De vermogenelektronische componenten die bij voorkeur (om economische redenen) als schakelaar gebruikt worden in deze dimmer zijn twee antiparallel geschakelde thyristoren (een voor elke alternantie van de wisselspanning) of de triac (integratie van twee antiparallel geschakelde thyristoren in een component). Deze componenten hebben 3 aansluitpunten: 2 voor de hoofdkring en 1 voor de ontsteking (de poort). Deze componenten gaan in geleiding wanneer er stroom geïnjecteerd

wordt in de poort⁽⁵⁾. Wanneer de stroom in de hoofdkring van deze componenten voldoende groot wordt – groter dan de zogenaamde vergrendelstroom (I_L) – blijft deze component in geleiding zonder dat er stroom geïnjecteerd wordt in de poort. Hij blijft geleiden tot de stroom terug daalt tot onder de houdstroom (I_H). De grootteorde van I_H varieert tussen 20 en 500 mA afhankelijk van het componenttype, terwijl I_L zich tussen I_H en $2 \times I_H$ situeert. In geval van een resistieve belasting valt het ogenblik waarop de stroom onder de houdstroom terechtkomt praktisch samen met de nuldoorgang.



Afb. 17 Symbol van een triac.

2.2.2.2 FASEAANSNIJDINGSDIMMER (VOOR R- EN L-BELASTING)

Wanneer bij faseaansnijdingsdimmers voor R-belasting (§ 2.2.2.1) de belasting lager is door gebruik van een CFL of ledlamp in plaats van een gloeilamp, bestaat de kans dat de stroom in de hoofdkring niet langer groter is dan de houdstroom. Dat komt enerzijds door de inherent lagere vermogens van de retrofitlampen, anderzijds door het tragere opkomen van de stroom vanwege het inductieve karakter van de last. Bijgevolg blijft de vermogenelektronische component niet meer in geleiding zonder ontsteekpuls, terwijl dat voordien wel het geval was. Om dit te verhelpen, worden in RL-dimmers triacs voorzien met een lagere houdstroom dan de triacs in R-dimmers.

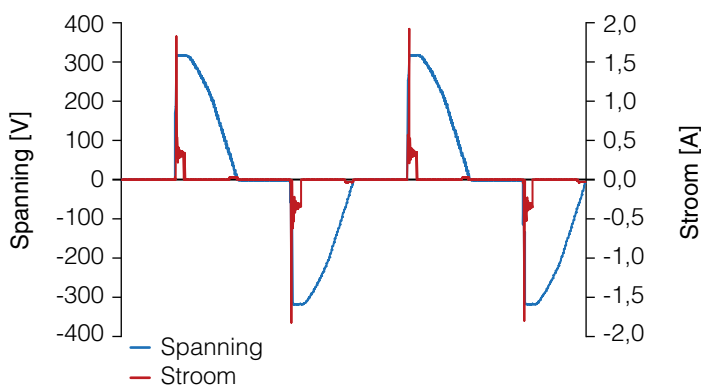
Voor inductieve belastingen blijft een aandachtspunt bestaan: de faseaansnijdingsdimmers voor R-belasting (§ 2.2.2.1) of R- en L-belasting (§ 2.2.2.2)

(5) In geval van een thyristor is een voorwaartse spanningspolarisatie een bijkomende vereiste.

hebben vaak een asymmetrische aansnijding die ontstaat door een verschil in ontsteekhoek tussen de positieve en negatieve alternantie. Die asymmetrie kan bij inductieve belastingen een gelijkstroomcomponent veroorzaken die voor thermische overbelasting zorgt. De norm EN 60669-2-1 ⁽⁶⁾ laat daarom slechts een gedeeltelijke asymmetrie toe.

Wanneer een faseaansnijdingsdimmer gebruikt wordt met een capacatieve belasting – bijvoorbeeld een elektronische transformator met laagspanningslamp – kunnen er bij het aansnijden van de spanning stroompieken ontstaan die de dimmer beschadigen.

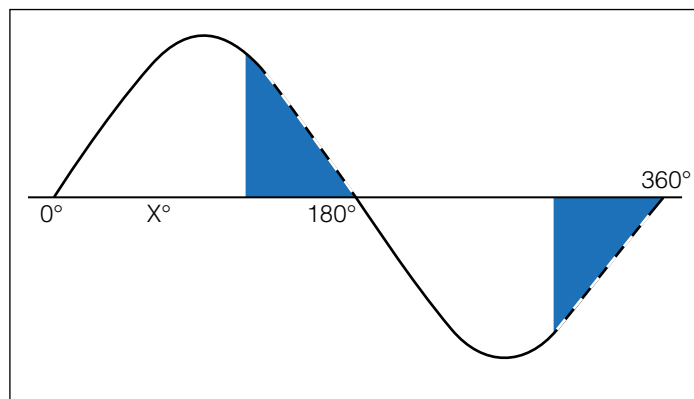
De combinatie dimmer/vervangingslamp zal als gevolg hiervan in een aantal gevallen (naargelang van de soort belasting die de vervangingslamp vormt) niet meer naar behoren functioneren en/of de onderdelen zullen sneller stukgaan. In afbeelding 18 is een piekstroom van zowat 2 A te zien, voor een lamp die in normale modus een elektrische stroom opneemt tot 200 mA. Dit is geen uitzonderlijke vaststelling voor vervangingslampen in combinatie met faseaansnijding.



Afb. 18 Piekstromen bij capacatieve belasting (CFLi van 18 W) in combinatie met faseaansnijding.

2.2.2.3 FASEAFSNIJDINGSDIMMER (GESCHIKT VOOR R- EN C-BELASTING)

Deze dimmer is opgebouwd uit een regelbare vermogenelektronische schakelaar die een faseaansnijding mogelijk maakt. In plaats van de schakelaar te sluiten tot de nuldoorgang van de spanning, wordt de schakelaar sneller geopend, na een tijd die uitgedrukt wordt door de ontsteekhoek X. De fase wordt afgesneden, vandaar de benaming faseaansnijdingsdimmer. Deze dimmer is geschikt voor een resistieve belasting evenals voor een capacatieve belasting.



Afb. 19 Principe van een faseaansnijdingsdimmer.

De vermogenelektronische component die gebruikt wordt in deze dimmers is de vermogentransistor die als schakelaar gebruikt wordt. Vaak wordt een IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) gebruikt die sneller kan schakelen dan de BJT (*BiJunctie-Transistor*). De IGBT vraagt daarenboven een veel kleinere poortstroom (stuurstroom) bij aangeschakelde toestand: grootteorde nA bij de IGBT in plaats van mA tot A bij de BJT, die in harde verzadiging moet worden gestuurd.

Dimmers met vermogentransistoren zijn in principe duurder dan dimmers voorzien van een triac.

Wanneer een faseaansnijdingsdimmer gebruikt wordt met een inductieve belasting – bijvoorbeeld een elektromagnetische transformator met laagspanningslamp – kunnen er bij het afschakelen als gevolg van het plots onderbreken van een inductieve kring overspanningen ontstaan die de dimmer beschadigen. De meeste faseaansnijdingsdimmers zijn evenwel beveiligd tegen overspanning en verkeerdt gebruik.

2.2.2.4 UNIVERSELE DIMMER (GESCHIKT VOOR R-, L- EN C-BELASTINGEN)

Deze dimmer is opgebouwd uit een regelbare vermogenelektronische schakelaar die faseaansnijding en faseaansnijding mogelijk maakt. Afhankelijk van de belasting werkt de dimmer met faseaansnijding of met faseaansnijding. Bij sommige RLC-dimmers moet de keuze manueel ingesteld worden (bv. via *dip switches*). Andere hebben de ingebouwde intelligentie om zelf het soort belasting vast te stellen en in functie daarvan hun werkwijze te kiezen.

De vermogenelektronische component in deze dimmers is de vermogentransistor die als schakelaar gebruikt wordt.

⁽⁶⁾ 'Switches for household and similar fixed electrical installations – Part 2-1: Particular requirements – Electronic switches'.

2.2.3 AANSTUURSIGNALEN

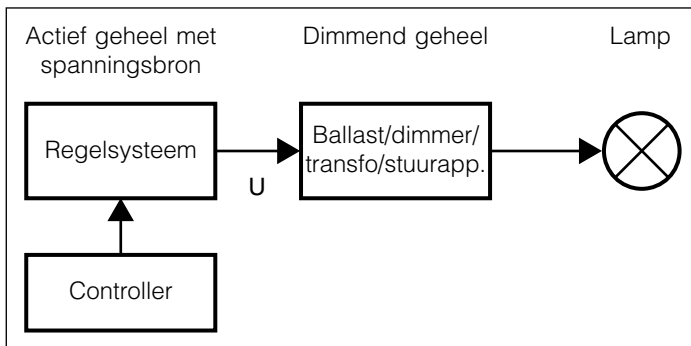
2.2.3.1. ANALOOG DIMSIGNAAL VAN 0-10 V

Dit dimsignaal is ook bekend als analoge spanningssturing 0-10 VDC. De signalen voldoen aan de ESTA E1.3 standaard ('Entertainment Technology – Lighting control system – 0-10 V Analog Control Protocol'). Vanuit het oogpunt van de vermogenscomponent wordt vaak gesproken van een 'current source' signaal: het regelsysteem levert actief een spanning af aan ballast, stuurapparaat, transformator of dimmer.

Van 0 tot 10 V is een lichtregeling mogelijk van 1 % tot maximale lichtsterkte. Een regeling onder de 1 % is met dit systeem niet gegarandeerd.

Als deingangsspanning beneden de drempelspanning (ca. 1 V) ligt, wordt de aangesloten belasting uitgeschakeld. Vandaar soms de benaming '1-10 V spanningssturing'.

De ESTA E1.3 standaard wordt, zoals de naam hierboven al doet vermoeden, voornamelijk gebruikt in theateromgevingen, maar meer en meer gaan ze ook daar over op digitale sturing.



Afb. 20 Principeschema van het analoge dimsignaal van 0-10 V.

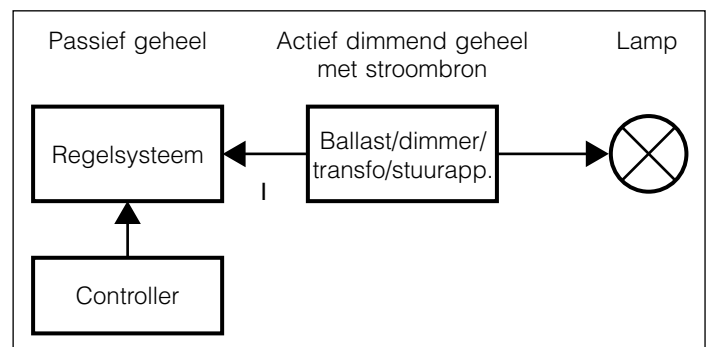
2.2.3.2 ANALOOG DIMSIGNAAL VAN 1-10 V

Dit dimsignaal is ook bekend als analoge stroomsturing 1-10 VDC. De eisen waaraan de voorschakelapparaten voor tl-verlichting moeten voldoen om met dit dimsignaal te werken, zijn beschreven in de norm EN 60929 ('AC and/or DC-supplied electronic control gear for tubular fluorescent lamps – Performance requirements'). De dimmen-

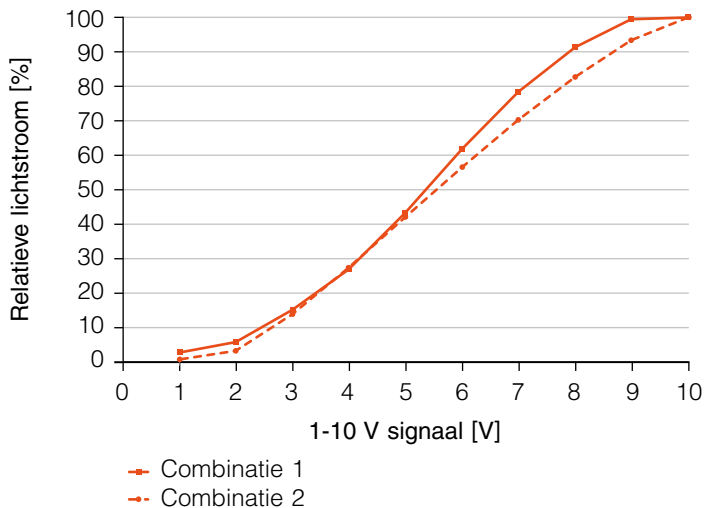
de component bevat een interne (gelijk)stroombron die gekoppeld is aan de ingang van het stuursignaal en dus stroom naar de regeling stuurt. Die regeling is een passieve component, in die zin dat ze niet zelf actief een spanning genereert. Vanuit het standpunt van het regelsysteem (bijvoorbeeld een controller of dimknop) bekeken, wordt deze stuurmethode ook wel 'current sinking' genoemd (de stroom gaat van de ballast, stuurapparaat, transformator of dimmer naar het regelsysteem). Net zoals bij de 'current source' methode, voert het stuurapparaat de eigenlijke dimming uit die continu is, afhankelijk van het stuursignaal.

Dit dimsignaal wordt specifiek toegepast bij dimbare elektronische ballasten en bij bepaalde laagspanningstransformatoren. Toch bestaan er ook al drivers voor leds die met dit protocol werken.

Er is voor dit type regeling afgesproken dat 1 V overeenstemt met het laagste verlichtingsniveau en 10 V met het hoogste. Er bestaat evenwel geen vaste afspraak omtrent de exacte waarde van de minimale lichtoutput (die wordt wel op 1 tot 3 % van de maximale lichtstroom vastgelegd), noch omtrent de vorm van de dimcurve. Dat betekent dat hulpapparaten van verschillende fabrikanten (of zelfs verschillende hulpapparaten van eenzelfde fabrikant) anders kunnen reageren op eenzelfde dimsignaal van 1-10 V. De dimcurve heeft wel een specifieke S-vorm, zoals blijkt uit afbeelding 22. Dit gebrek aan standaardisatie maakt het lastig om in eenzelfde regelzone meerdere ballasttypes te gebruiken. Eenzelfde stuursignaal leidt immers niet noodzakelijk tot eenzelfde vermindering van de lichtstroom. Ook het commissioning-proces wordt erdoor bemoeilijkt.



Afb. 21 Principeschema van het analoge dimsignaal van 1-10 V.



Afb. 22 Verschil in S-curve voor twee verschillende combinaties regelsysteem/ballast.

Wanneer de ingangsspanning lager is dan 1 V, wordt de belasting niet uitgeschakeld en blijft ze op datzelfde minimum werken. Een schakelaar is bijgevolg noodzakelijk om de verlichting te doen. Bij een klassieke potentiometer bv. varieert de draaiknop een weerstand, terwijl een extra schakeluitgang voorzien is om de stroom naar bijvoorbeeld de ballast te onderbreken.

Bij het aansluiten moet in geval van 1-10 V systemen aandacht worden besteed aan de polariteit (+ signaal op de + klem, – signaal op de – klem), om zeker te zijn dat het regelsysteem stroom opneemt aan de juiste aansluitklem. Bij het niet-respecteren van de polariteit, zal de lamp – afhankelijk van de specifieke combinatie van ballast en regelsysteem – altijd op zijn laagste of hoogste niveau branden.

Bij analoge systemen is steeds een bekabeling tussen het regelsysteem en het dimbare hulpapparaat voorzien. We spreken hier van ‘hardwired’ systemen, omdat elke fysieke kabel ook met een reëel stuursignaal overeenstemt. Als men met een bepaald stuursignaal andere hulpapparaten wil aansturen of bepaalde apparaten niet langer controleren, dan is een herbekabeling of loskoppeling noodzakelijk.

2.2.3.3 DALI-SYSTEEM

DALI staat voor *Digital Addressable Lighting Interface* en is een protocol voor de digitale communicatie tussen bedieningsapparaten en elektronische voorschakelapparatuur (EVSA) of andere dimmende componenten. Het dimmen gebeurt bij een dergelijk systeem in een groot aantal discrete stappen (semi-continu).

De voornaamste fabrikanten van EVSA hebben DALI ontwikkeld met als doel een merkoverschrijdende standaard te creëren die voldoet aan elke behoefte van moderne lichtsturing. We kunnen DALI dan ook beschouwen als de basis waarop volledige lichtmanagementsystemen kunnen worden ontwikkeld.

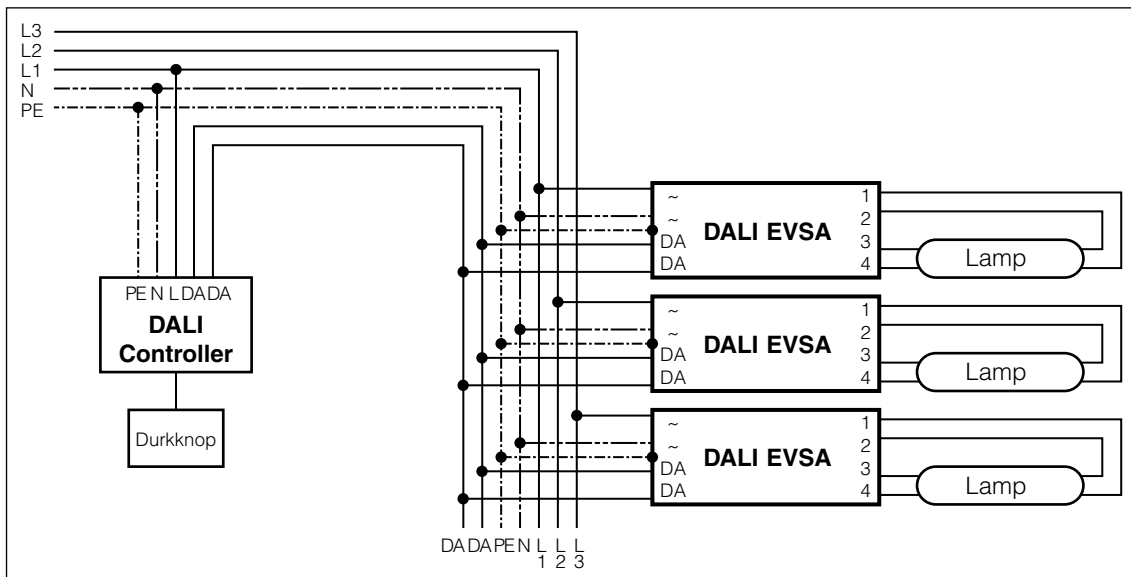
Het DALI-protocol is een onderdeel van de IEC 60929 en ANSI C82 standaard en legt zo de spelregels vast voor alle fabrikanten van DALI-compatibele producten. Elk DALI-product dient het DALI-logo te vermelden. De gebruiker van deze producten kan zo op een eenvoudige manier compatibele producten combineren.



Afb. 23 DALI-logo.

Een DALI-installatie bestaat in wezen uit een regeling (bv. een knop of sensor), een DALI-controller en DALI-voorschakelapparatuur die zich in de armatuur bevindt. Tussen controller en voorschakelapparatuur is er net zoals bij de analoge systemen ook supplementaire bekabeling nodig, namelijk de DALI-stuurlijn. De sterkte van het systeem bestaat erin dat het na de indienstname mogelijk blijft om de sturing van de installatie via herprogrammatie van de controller aan te passen.

We spreken hier van ‘softwired’ systemen: naar elk hulpapparaat dat we wensen te bedienen, moet weliswaar een fysieke kabel worden gelegd, maar er kan later beslist worden welk stuursignaal we erover sturen en dus in functie van welke input het hulpapparaat moet reageren. Een fysieke herbekabeling is niet noodzakelijk. Het systeem is dan ook uitermate geschikt om de nodige flexibiliteit te bieden voor sterk wisselende omgevingen zoals landschapskantoren.



Afb. 24 DALI-topologie.

2.2.3.4 GEBOUWBEHEERSYSTEEM

Wereldwijd bestaan er diverse gebouwbeheersystemen waar, behalve verlichting, ook diverse andere technieken geïntegreerd worden op een centraal stuursysteem. Die systemen staan ook bekend als domotica- of immoticasystemen. Het ene systeem is al uitgebreider dan het andere. Sommige systemen zijn wereldwijde standaarden (bv. KNX), terwijl andere eerder nationaal worden toegepast (bv. Nikobus, PHC, Teletask, ...). Vaak hebben deze systemen eigen dimmers die de verlichting op de een of andere manier dimmen. Het zou ons te verleiden om de verschillende dimmogelijkheden van deze systemen in dit document te behandelen. Het komt erop neer dat de dimmer of het hulpapparaat

de taal dient te spreken van de stureenheid en dat het werkingsprincipe van het vermogengedeelte van de dimmer aangepast moet zijn aan het type verlichting dat wordt aangesloten.

2.2.3.5 ANDERE SYSTEMEN

Naast uitgebreide gebouwbeheersystemen bestaan er nog diverse fabrikantafhankelijke systemen die dimmen mogelijk maken. Zo bestaan er ook draadloze systemen op basis van RF-technologie, Zigbee, ... Om een werkend geheel te verkrijgen, gelden dezelfde voorwaarden als bij de gebouwbeheersystemen. Het valt echter buiten het bestek van dit document om deze systemen verder uit te diepen.

2.2.4 UNIVERSELE COMPATIBILITEIT

De meest gebruikte dimsystemen zetten we samengevat op een rijtje in tabel 1 hieronder. Deze tabel is universeel geldig en voor elke fabrikant identiek.

Tabel 1 Universele dimmercompatibiliteit.

	Gloeilamp	Halogeen 230 V	Halogeen met gewikkelde transfo	Halogeen met elektronische transfo	Hulpapparaat of vermogenscomponent met ingang 0-10 V of 1-10 V	Hulpapparaat of vermogenscomponent met DALI-ingang
Faseaansnijding	X	X	X			
Faseafsijding	X	X		X		
Universeel (= keuzemogelijkheid)	X	X	X	X		
Stuurapparaat 0-10 V of 1-10 V					X	
DALI-stuurapparaat						X

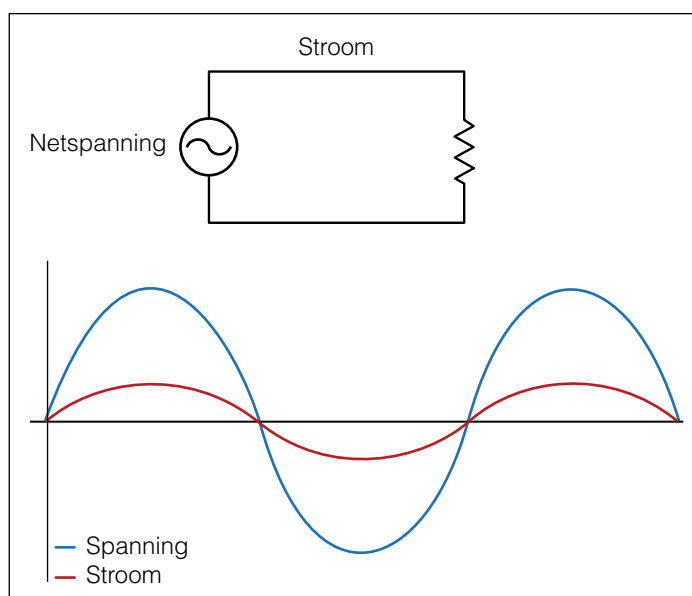
3 INTEGRATIE VAN ENERGIEZUINIGE TECHNOLOGIEËN

Dankzij de toenemende aandacht voor energiezuinigheid, duurzaamheid en de ontwikkeling van energiezuinige lamptechnologieën zoals compacte fluorescentielampen en in het bijzonder ledlampen, ontstond de vraag om bestaande energieverspillende lampen zoals de gloei- en halogeenlampen te vervangen door energiezuinigere alternatieven. Ook de uitfasering van de gloei- en halogeenlampen speelde een grote rol in deze evolutie. Die uitfasering werd door Europa opgelegd in de verordening nr. 245/2009 tot uitvoering van de Ecodesign-richtlijn 2005/32/EG. In september 2012 werd de verkoop van gloei- en halogeenlampen van energieklassen D of lager verboden. Tot 2016 dienen alle nieuwe lampen van klasse C of beter te zijn, terwijl er na 2016 enkel nog lampen van klasse B of beter verkocht mogen worden. Deze richtlijn wordt binnenkort uitgebreid met richtlijnen voor directionele lampen, ledlampen en bijbehorende uitrusting in de verordening nr. 932/2012 van de Ecodesign-richtlijn 2009/125/EG.

3.1 TECHNISCHE ASPECTEN

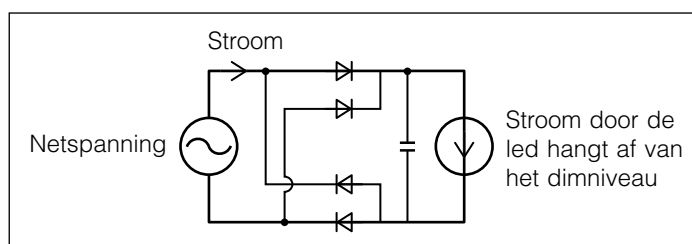
3.1.1 NIET-LINEARITEIT EN FASEVERSCHUIVING

Wat we steeds in het achterhoofd moeten houden, is het feit dat gloei- en halogeenlampen een resistent karakter vertonen en er bijgevolg een lineaire relatie is tussen spanning en stroom. Beide lopen in fase met elkaar en behouden hun oorspronkelijke sinusvorm, zoals voorgesteld in afbeelding 25.



Afb. 25 Equivalent schema van een gloeidraadlamp met karakteristiek spanning/stroomverloop.

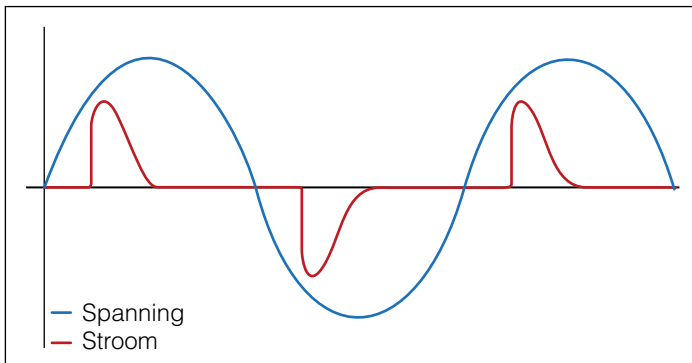
Zeer rudimentair kunnen we een ledlamp voorstellen als een gelijkrichter, met een condensator en de uiteindelijke diode die als lichtbron dient. Dit wijkt sterk af van het gloeidraadprincipe en ligt meteen ook aan de basis van de niet-lineaire relatie tussen spanning en stroom.



Afb. 26 Rudimentair schema van een ledlamp.

Uit afbeelding 26 kunnen we afleiden dat de waarde van de spanning die aan de ledlichtbron aangeboden wordt, afhankelijk is van de mate waarin de condensator opgeladen is. De stroom door de led is afkomstig van de gelijkrichter of van de condensator, afhankelijk van de ogenblikkelijke waarde van de gelijkgerichte spanning en de condensatorspanning. In feite ontladde de condensator zich gedurende een bepaalde tijd via de led. De spanning over de condensator is op haar beurt dan weer afhankelijk van de stroom door de ledbron. Deze stroom is dan weer functie van de helderheid van de led.

Door de fundamentele verschillen tussen gloeidraadlamp en ledlamp ontstaat er een niet-lineair verband tussen spanning en stroom, zoals aangegevoerd in afbeelding 27.

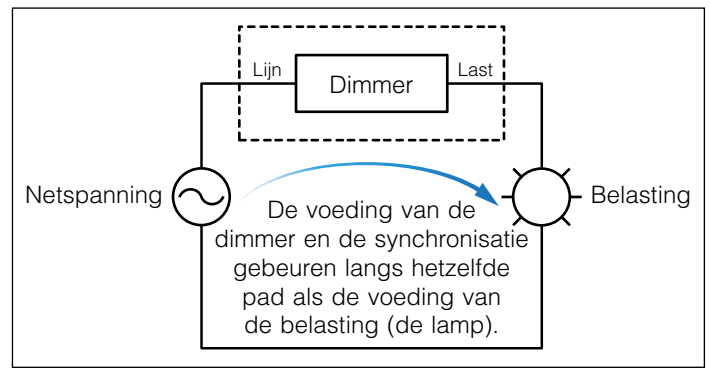


Afb. 27 Vereenvoudigd spannings-/stroomverloop bij een ledlamp.

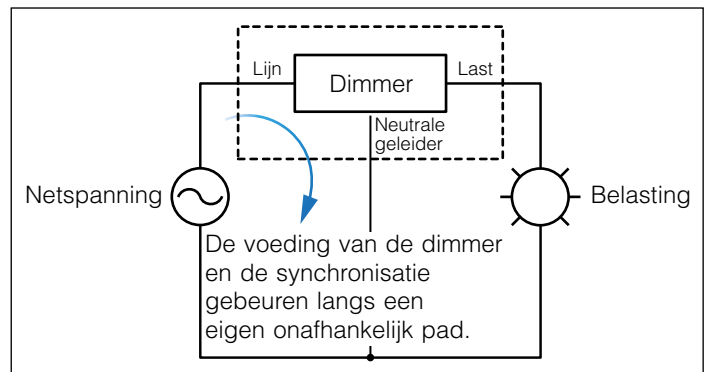
Als we naar een compacte fluorescentielamp kijken, merken we ook hier een niet-lineair verband op tussen spanning en stroom. Zie ook afbeelding 9, eerder in dit document.

3.1.2 VERSCHILLENDE DIMTOPOLOGIEËN

Op de dimmermarkt bestaan er in grote lijnen twee bekabelingssystemen: het tweedraads- en het driedraadssysteem. Bij het tweedraadssysteem staan lamp en dimmer in serie en wordt de neutrale geleider niet rechtstreeks aan de dimmer aangesloten (zie afbeelding 28). Bij het driedraadssysteem heeft de dimmer steeds een connectie, onafhankelijk van de belasting, met deze nulgeleider (zie afbeelding 29).



Afb. 28 Dimmer met tweedraadssysteem.



Afb. 29 Dimmer met driedraadssysteem.

Er bestaat een wezenlijk verschil tussen het pad voor de voeding van de dimmer en de synchronisatie met de netspanning. Dit verschil is verwaarloosbaar bij het gebruik van gloeidraadlampen, maar bij het gebruik van CFL of ledlampen speelt dit wel een belangrijke rol. Ongeacht het systeem is synchronisatie een noodzakelijk onderdeel bij fasegestuurde dimmers. Indien de dimmer de fase spanning en zijn nuldoorgangen niet detecteert, kan hij onmogelijk een juiste aan- of afsnijding van de spanning uitvoeren en dus de lamp op een correcte wijze aansturen.

Met het driedraadssysteem kan de dimmer dankzij het belastingsonafhankelijke stroompad steeds de netspanning en de bijbehorende nuldoorgang detecteren, ongeacht de aangesloten belasting. Dit stroompad zorgt er ook voor dat de dimmer in alle belastingsomstandigheden het eigen circuit voedt.

Bij het tweedraadssysteem vervalt de mogelijkheid om onafhankelijk van de belasting het eigen circuit te voeden en de netspanning te detecteren. Indien in een tweedraadssysteem de gloeidraadlampen vervangen worden door CFL of ledlampen, is de stroom door de belasting veel lager en heeft hij niet langer een zuiver sinusverloop. Het synchronisatieproces verloopt dan ook veel minder evident.

3.2 COMPATIBILITEIT

3.2.1 UNIVERSEEL KARAKTER VERDWIJNT

Zoals vermeld in § 2.2.4 gelden er een aantal regels met betrekking tot de keuze van de juiste combinatie dimmer/lamp bij klassieke dimmers, transformatoren en lampen. Eens gekend zijn de spelregels universeel toepasbaar. Met universeel bedoelen we hier dat een bepaald type lamp altijd al compatibel was met een bepaald type dimmer en/of transformator, ongeacht de fabrikant. Merkgebonden eigenschappen speelden geen rol voor compatibiliteit, enkel de technische aspecten bepaalden de goede werking van de systemen.

Het gebruik van elektronica in voorschakelapparatuur, transformatoren en dimmers is al langer gebruikelijk. Bij het gebruik van elektronische componenten als verlichtingselement (*light emitting diode*) ontstaat er echter een bijkomende dimensie. De lamp is niet langer een resistieve, inductieve of capacatieve verbruiker maar eerder een elektronische schakeling. Daar komt nog eens bij dat gelijkaardige lampen van diverse fabrikanten per definitie niet uitgerust zijn met dezelfde elektronische componenten en/of schakelprincipes. Ook zijn we als gevolg van de snelle ontwikkelingen in de componententechnologie en kostprijs binnen het gamma van een fabrikant lang niet zeker of exact dezelfde componenten gedurende een lange tijd in een bepaald lamptype geïntegreerd worden. Deze problematiek stelt zich trouwens niet alleen bij de lampenfabrikanten, maar evenzeer bij de producenten van elektronische transformatoren en dimmers.

Energiezuinige lampen met transformatoren en/of dimmers combineren, geeft met andere woorden niet langer de zekerheid van een correcte en/of gelijkaardige werking. Algemeen genomen kunnen we spreken over het al dan niet compatibel zijn van een combinatie van lamp met bediening (of beter: actuator). Konden we deze compatibiliteit vroeger nog met universele regels oplossen, dan is dit nu niet meer het geval.

3.2.2 WAT IS COMPATIBILITEIT?

Met het verdwijnen van het universele karakter rijzen er vele vragen omtrent de compatibiliteit van combinaties van lampen met regelsystemen zoals transformatoren en dimmers. In welke mate werkt een combinatie gelijkaardig als voordien? De eisen gesteld aan de werking van een systeem zijn ook afhankelijk van de toepassing. Dient de regeling om een bepaalde sfeer te creëren (bijvoorbeeld om een product op aantrekkelijke wijze aan te prijzen) of om energie te besparen? Deze totaal verschillende uitgangspunten bepalen in grote mate de aanvaarding van de werking van de vervangingslampen door de gebruiker.

Uit marktstudies en literatuur blijkt dat er tot op heden geen normen of wetten zijn die bepalen of een combinatie al dan niet als compatibel mag worden beschouwd. Wel vinden we beschouwingen, vuistregels, technische artikels en compatibiliteitstabellen terug die elk op hun beurt een antwoord trachten te geven op de problematiek.

3.2.3 BESCHOUWINGEN ROND COMPATIBILITEIT

In het document NEMA (7) LSD 49-2010 'Solid State Lighting for Incandescent Replacement – Best Practices for Dimming' worden beschouwingen omtrent compatibiliteit opgesomd. Het document heeft als focus ledlampen met geïntegreerde voorschakelapparatuur. Die worden ter vervanging van bestaande gloei- en halogeenlampen gebruikt. Met dit document wilde NEMA het overleg tussen fabrikanten van lampen, voorschakelapparatuur en regelsystemen op gang brengen, wat dan zou kunnen uitmonden in een standaard omtrent compatibiliteit. Niettegenstaande het document op ledlampen focust, mag het duidelijk zijn dat de verwachtingen bij de gebruikers van compacte fluorescentielampen gelijkaardig zijn.

Bij de gebruikers onderscheiden we drie soorten verwachtingen: comfort, efficiëntie en duurzaamheid.

(7) NEMA: *National Electrical Manufacturers Association* (www.nema.org), een vereniging van producenten van zowel elektrisch als medisch beeldvormend materiaal. Ze is actief op de Amerikaanse markt en richt zich vooral op het ontwikkelen van technische standaarden, activiteiten rond wetgeving, verzamelen van economische data en ontwikkelen van productgerelateerde opleidingen.

3.2.3.1 COMFORT

In vergelijking met de oude situatie kan de gebruiker volgende verwachtingen hebben met betrekking tot de prestaties op het vlak van comfort:

- bij maximaal dimmen wordt een voldoende kleine hoeveelheid licht behouden
- geleidelijke overgang van lichthoeveelheid bij dimmen; bij een bepaalde dimstand dienen alle aangesloten lampen bovendien dezelfde lichtstroom af te geven
- lampen gaan aan op maximale dimstand en het gewenste lichtniveau wordt snel bereikt
- bij elke dimstand hoort een stabiel lichtniveau, er mag geen flikkering optreden
- er mag geen geluid waarneembaar zijn
- bij lage lichtniveaus is een wijziging in kleurtemperatuur aanvaardbaar en soms zelfs gewenst.

3.2.3.2 EFFICIËNTIE

De efficiëntie van een vervangingslamp moet beter zijn dan die van de oude lamp. De efficiëntie van een lichtbron wordt uitgedrukt in lichtstroom per eenheid van vermogen, of lumen/watt (lm/W). De efficiëntie van gloeilampen (± 10 lm/W) daalt als deze worden gedimd (zie § 2.1.1.1). Dit is ook het geval bij CFL waar het rendement met zowat 50 % daalt (zie § 2.1.2.2). Bij het dimmen van ledlampen blijft het rendement min of meer gelijk (zie § 2.1.3.2).

3.2.3.3 DUURZAAMHEID

Een van de sterke punten van zowel CFL als led in vergelijking met een gloeidraadlamp, is de langere levensduur. Het is dan ook wenselijk dat deze levensduur niet negatief beïnvloed wordt als we deze lampen dimmen. Tabel 2 vermeldt de levensduur van verschillende lampsoorten, zowel zonder dimming als met dimming.

Uit tabel 2 leiden we af dat de levensduur van gloei- en halogeenlampen toeneemt ingeval ze gedimd worden. Bij de halogeenlamp moeten we wel de bedenking maken dat de halogeencyclus bij lage dimstand kan stilvallen. Hierdoor wordt de ballon zwart, en daalt de levensduur van de lamp wel degelijk als je ze niet regelmatig op vol vermogen laat branden. Deze tabel houdt daar geen rekening mee. Los daarvan, en meer in het kader van dit document, kunnen we stellen dat dimmen de levensduur van ledlampen positief beïnvloedt,

Tabel 2 Levensduur van lampen in normale en gedimde toestand (BRON: NEMA LSD 49-2010).

Lichtbron	Levensduur indien constant 100 % lichtstroom wordt gevraagd	Levensduur bij gedimde toepassing
Gloeilamp	750-1.500 uur	1.500-6.000 uur
Halogeenlamp	3.000-5.000 uur	3.000-20.000 uur
CFL, niet dimbaar	6.000-8.000 uur	NVT
CFL, dimbaar	8.000-10.000 uur	Neemt af
Fluorescentielamp (tl)	15.000-40.000 uur	Gelijk
Led, niet dimbaar	20.000-50.000 uur	NVT
Led, dimbaar	20.000-50.000 uur	Neemt toe

terwijl het de levensduur van een dimbare CFL vermindert.

Samengevat kunnen we stellen dat de levensduur van vervangingslampen hoger ligt dan deze van de te vervangen lamp. Hoewel dimmen wel degelijk de levensduur van de CFL negatief beïnvloedt, blijft deze in principe altijd hoger dan de levensduur van een gloei- of halogeenlamp.

Na vervanging van de lamp door een energiezuinige variante, is het evenzeer belangrijk dat de levensduur van de dimmer niet negatief beïnvloed wordt. Aspecten waar we rekening mee moeten houden, zijn het schakelvermogen van de aan/uitschakelaar, de temperatuur van zowel halfgeleider-element als PCB, piekstromen en overspanningen. Daarnaast dient het noodzakelijke vermogen voor de eigen circuits steeds voorhanden te blijven. Het is duidelijk dat de correcte werkingsomstandigheden met betrekking tot bovenstaande parameters ook na het vervangen van de lampen gerespecteerd moeten worden, om zo de levensduur van de dimmer te behouden.

3.2.4 OBJECTIVERING

De beschouwingen omtrent comfort, efficiëntie en duurzaamheid mogen dan wel uit een Amerikaans document komen, toch kunnen we ze als algemeen geldend beschouwen. De manier waarop we deze beschouwingen gaan objectiveren is dan weer wel afhankelijk van de plaatselijke wetgeving, procedures en gewoontes. In een volgend hoofdstuk vermelden we een aantal initiatieven, zonder exhaustief te willen zijn.

4 DIVERSE INITIATIEVEN

4.1 VUISTREGELS

Om de compatibiliteitsproblemen tussen bijvoorbeeld ledlampen en bestaande dimmers op te lossen hebben sommige vooraanstaande lampenleveranciers een aantal vuistregels opgesteld. Deze regels bieden geen zekerheid op gelijkaardige esthetische resultaten, maar geven vooral informatie over het minimale en maximale aantal lampen die op een dimmer aangesloten kunnen worden. Op basis van deze regels kunnen we wel inschatten of een bepaalde combinatie werkt, maar niet of ze op identieke wijze werkt.

4.1.1 MINIMAAL AANTAL LAMPEN

Op de verpakking van een lamp geven sommige fabrikanten bijkomende informatie over het minimale aantal ledlampen die op een dimmer kunnen worden aangesloten. Verder vermeldt de verpakking ook het vermogen van de ledlamp en dat van de vervangen halogeenlamp. Op basis van de minimale belastingswaarde van de dimmer kunnen we nu het minimale aantal ledlampen bepalen.

Bv.: lamp GU10 4-35 W 2700 K 40 D, dimmer van 50-600 W. Op deze dimmer moeten we minimaal $50 / 35 \text{ W} = 1,4 \approx 2$ ledlampen van 4 W aansluiten.

Analoog hiermee zouden we kunnen stellen dat we op deze dimmer maximaal $600 / 35 \text{ W} = 17,14 \approx 17$ ledlampen van 4 W kunnen aansluiten. Deze regel geldt evenwel niet voor de bepaling van het maximale aantal ledlampen. Dit vindt zijn oorsprong in het feit dat men zich bij het testen van combinaties dimmer/lamp beperkt tot een welbepaald maximaal aantal lampen. De combinatie zou met meer lampen dan dat maximum kunnen werken, maar dat wordt niet gegarandeerd. Om het

maximale aantal lampen te bepalen, gebruiken we daarom meestal andere vuistregels (zie § 4.1.2).

Deze regel geeft een zicht op het minimale aantal lampen dat we op een welbepaalde dimmer moeten aansluiten en pakt dus maar één compatibiliteitsprobleem aan: de minimale belasting van de dimmer.

4.1.2 MAXIMAAL AANTAL LAMPEN

Diverse fabrikanten raden aan om voor de bepaling van het maximale aantal lampen de 10 % regel te gebruiken. Deze impliceert dat het vermogen van de aangesloten ledlampen maximaal 10 % van het maximale dimmervermogen mag bedragen.

Bv.: dimmer van 50-400 W, ledlamp van 8 W. Op deze dimmer kan men maximaal 10 % van 400 W, hetzij 40 W, aan ledlampvermogen aansluiten. Dit komt overeen met maximaal 5 ledlampen van 8 W.

Ook deze regel behandelt dus slechts één onderdeel van het hele compatibiliteitsverhaal: het maximale aantal lampen.

4.2 COMPATIBILITEITSTABELLEN

Om een meer sluitende oplossing te bieden, stellen fabrikanten van zowel lampen als dimmers compatibiliteitstabellen of een 'online tool' op, gebaseerd op metingen die ze in eigen laboratoria uitvoeren. Deze tabellen worden meestal via hun website gepubliceerd.

Het ligt niet binnen de scope van dit document om deze hulpmiddelen in detail en per fabrikant te bespreken. Wel wensen we aan de hand van enkele voorbeelden van combinaties uit deze tabellen bepaalde punten onder de aandacht te brengen.

VOORBEELD 1

In een compatibiliteitstabel van een dimmerfabrikant selecteren we een dimmer met een vermogen van 300 W. Aan deze dimmer wensen we ledlampen van 12 W op 230 V aan te sluiten. Uit de tabel blijkt dat het minimale aantal lampen afhankelijk is van het merk van de lamp.

	Ledlamp 12 W, merk A	Ledlamp 12 W, merk B
Dimmer 300 W, merk 1	Min. 7, max. 10 stuks	Min. 1, max. 10 stuks

Ter illustratie passen we de in § 4.1.2 vermelde vuistregel toe (10 % van 300 W = 30 W, dus zijn maximaal 2 lampen van 12 W toelaatbaar). Volgens de tabel zouden evenwel maximaal 10 lampen aanvaardbaar zijn. Tabel en vuistregel stemmen, althans in dit voorbeeld, niet overeen. Mogelijke oorzaken hiervan zijn bijvoorbeeld het werkelijke testen van een combinatie (in tegenstelling tot de meer algemene vuistregel) of een verschil in criteria die de dimmer- en lampenfabrikanten vooropstellen.

VOORBEELD 2

We beschouwen een compatibiliteitstabel van een lampenfabrikant. We wensen een ledlamp van 8 W op een RL-dimmer aan te sluiten. De tabel geeft voor twee dimmers met gelijkaardige technische specificaties een verschillend resultaat op het vlak van compatibiliteit.

	RL-dimmer 40-500 W, merk A	RL-dimmer 60-500 W, merk B
Ledlamp 8 W, merk 1	Niet compatibel	Wel compatibel

BESLUIT

De compatibiliteitstabellen/tools zijn zeker een meerwaarde tegenover de vuistregels, aangezien ze steunen op werkelijke testen en metingen. De tabellen geven een beoordeling van verschillende concrete combinaties (en dus niet langer een algemene richtlijn). Toch kunnen ze onmogelijk alle combinaties weergeven. In de praktijk blijkt nog dat de toepassing van de 10 % vuistregel op een bepaalde combinatie een ander resultaat kan opleveren dan wat in de compatibiliteitstabel staat. De fabrikant bepaalt bij gebrek aan standaardisatie/richtlijnen

VOORBEELD 3

Met dezelfde lamp uit voorbeeld 2 controleren we de compatibiliteit van twee verschillende dimmers. De eerste dimmer is van het ledtype en het tweede van het RC-type. Het vermogensbereik van de leddimmer bedraagt 2-100 W en dat van de RC-dimmer van 400 W. Zonder enige voorkennis zouden we uit het vermogensbereik kunnen concluderen dat een dimmer met een maximaal vermogen van 400 W meer ledlampen kan bedienen dan een dimmer van 100 W. Uit de tabel blijkt echter dat de leddimmer maximaal 14 lampen kan regelen en de 'zwaardere' dimmer van 400 W slechts twee. Dit is intuïtief te begrijpen: een leddimmer is specifiek ontworpen om ledlampen op aan te sluiten, in tegenstelling tot een RC-dimmer. Vermogensgegevens kunnen echter de nodige verwarring doen ontstaan bij installateur, handelaar of consument. Hieruit kunnen we ook afleiden dat verlichting via elektronische componenten een heel andere aanpak vergt inzake het ontwerp van de dimmer.

	Leddimer 2-100 W, merk A	RC-dimmer 400 W, merk B
Ledlamp 8 W, merk 1	Max. 14 stuks	Max. 2 stuks

VOORBEELD 4

Een andere combinatie maken we met een specifieke RLC-dimmer waarop we enerzijds ledlampen van 11 W aansluiten en anderzijds ledlampen van 20 W. De compatibiliteitstabel toont aan dat we er maximaal 5 lampen van 11 W en 10 lampen van 20 W op kunnen aansluiten. Logischerwijs zouden we nochtans kunnen verwachten dat we er minder lampen van 20 W dan lampen van 11 W op kunnen aansluiten.

	Ledlamp 11 W, merk A	Ledlamp 20 W, merk B
RLC-dimmer 5-325 W, merk 21	Max. 5 stuks	Max. 10 stuks

de meetmethode en de daaruit volgende beoordeling. Het is dan ook logisch dat de opsteller van de tabel vooral naar de prestaties van zijn eigen product kijkt om de combinatie al dan niet als compatibel te beschouwen. De gebruiker (installateur) behoort te weten dat hij of zij elke combinatie in de tabel moet nagaan, en kan geenszins veralgemenen. In geval van een niet gemeten combinatie dienen we dan ook terug te vallen op de eerder vermelde vuistregels, zonder volledige zekerheid te verkrijgen over een goede werking.

4.3 STANDAARDISATIE

Uit het voorgaande blijkt dat zowel vuistregels als compatibiliteitstabellen/tools weliswaar een hulpmiddel zijn, maar zeker geen algemene zekerheid bieden met betrekking tot de compatibiliteit tussen dimmer en lamp. In Europa maar ook in de Verenigde Staten werken diverse instanties aan standaarden om oplossingen te bieden voor deze problematiek. Daarbij ligt de focus echter voornamelijk op toekomstige producten. Voor bestaande installaties, waar het ongewenst of zelfs onmogelijk is om de bestaande dimmers te vervangen, is via deze weg niet meteen een antwoord beschikbaar.

4.3.1 EUROPA

Op Europees niveau zijn diverse instanties bezig met het opstellen van een standaarddocument dat een oplossing wil bieden voor het compatibiliteitsprobleem. Zo werkt CENELEC binnen CLC/TC 23BX aan de aanpassing van de norm EN 60669-2-1:2004 'Switches for household and similar fixed electrical installations – Part 2-1: Particular requirements – Electronic switches'. Deze laatste heeft betrekking op fasesnijdingsdimmers voor ledlampen, CFL en gloeidraadlampen, maar bevat geen richtlijnen voor lampen en hun voorschakelapparatuur. Hiervoor gelden immers de normen IEC 62612 'Self-ballasted LED lamps for general lighting services – Performance requirements', IEC 62663-2 'Non-ballasted LED lamps – Performance requirements', IEC 62717 'LED modules for general lighting – Performance requirements', IEC 60969 'Self-ballasted compact fluorescent lamps for general lighting services – performance requirements' en IEC 61347-1 'Lamp controlgear – Part 1: General and safety requirements'. Deze normen zullen de nodige aanpassingen ondergaan. Het uiteindelijke doel van deze aanpassingen is het verkrijgen van een eenduidige compatibiliteit, zodat toekomstige installaties minder problemen genereren dan de huidige.

Het document voor dimmers is nog in ontwikkeling, maar zal in grote lijnen de volgende aspecten behandelen:

1. definities
2. eenduidige symboliek voor dimmers
3. dimmereigenschappen zoals dimbereik, minimale en maximale dimwaarde, houdstroom, synchronisatie, stuurstromen, piekstromen, opstarttijd
4. testprocedures voor dimmers.

4.3.2 VERENIGDE STATEN

NEMA stelt richtlijnen op voor fabrikanten van zowel lampen als dimmers, met als doel een betere compatibiliteit te verkrijgen. Voor compacte fluorescentielampen met geïntegreerde ballasten bestaat het document NEMA LSD 56-2011 'Compatibility of Forward Phase Control Dimmers and Dimmable Self-Ballasted Compact Fluorescent lamps'. Dit document stelt diverse technische eigenschappen voorop voor zowel dimmer als lamp. Als beide aan deze voorschriften voldoen, is er volgens NEMA sprake van compatibiliteit. Al deze eigenschappen zijn gebaseerd op het Amerikaanse laagspanningsnet van 120 V en 60 Hz. Inzake dimmereigenschappen vermeldt NEMA voornamelijk de minimale spanning op het moment van aansteking, de minimale spanning bij de laagste dimstand en de minimale belasting die de dimmer moet kunnen aansturen.

Voor de lampen vermeldt NEMA in voornoemd document de minimale spanning waarbij de lamp moet opstarten, de minimale stroomdoorlaat ingeval de verlichting uitstaat (houdstroom is noodzakelijk voor dimmers met triacs) en de stabiele werking die noodzakelijk is bij de laagste dimstand. Behalve deze technische vereisten bevat het document richtlijnen rond testprocedures.

Voor wat betreft ledlampen stelde diezelfde organisatie het document NEMA SSL6 'Solid State Lighting for Incandescent Replacement – Dimming' op. Hierin zijn eveneens richtlijnen opgenomen om compatibiliteit te verkrijgen tussen bestaande dimmers en ledlampen. Uiteraard wordt er ook hier vanuit gegaan dat het elektriciteitsnet gekenmerkt wordt door een nominale spanning van 120 V bij een frequentie van 60 Hz. In grote lijnen behandelt het document drie onderdelen: technische vereisten om zo geen schade aan dimmer én lamp te veroorzaken en systeemvereisten voor een combinatie dimmer/ledlamp.

De vereisten die in de drie hoofdstukken aan bod komen, handelen voornamelijk over start- en houdstroom, resonantieverschijnselen, lichtstroom, wijziging van dimstand, ... Zo worden bijvoorbeeld grenzen opgesteld voor het verloop van de lichtstroom tussen minimale en maximale dimstand. Indien de lichtstroomvariatie van de combinatie binnen deze grenzen blijft, is er volgens dat document sprake van compatibiliteit.

Uit onderzoek is ondertussen gebleken dat bepaalde fabrikanten naar deze richtlijn verwijzen om compatibiliteit te verzekeren.

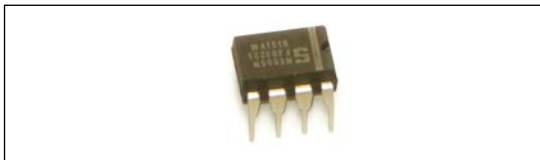
4.4 SLIMME PRODUCTEN

Stilaan verschijnen er op de markt producten waarmee fabrikanten de compatibiliteitskwestie trachten op te lossen. Het is koffiedik kijken welke van deze producten massaal de weg gaan vinden naar de internationale markt, maar het lijkt er in ieder geval op dat er voor de toekomstige producten meerdere oplossingen mogelijk zullen zijn.

4.4.1 SPECIAAL ONTWIKKELDE IC'S (INTEGRATED CIRCUITS)

Diverse chipfabrikanten zijn volop IC's aan het ontwikkelen die bedoeld zijn als intelligente buffer tussen de door de dimmer geregelde spanning en de uiteindelijke lichtopbrengst van de ledlamp. Een aantal ervan zijn vandaag al op de markt verkrijgbaar. Dergelijk IC heeft een grootte van 9 x 6 mm, waardoor de integratie in zowel ledarmatuur als ledlampvoet mogelijk moet zijn. Aangezien deze producten pas onlangs op de markt kwamen, aanpassingen vergen in het productieproces en vermoedelijk een meerkost met zich meebrengen, is er vandaag nog geen massale marktpenetratie. Gezien de belangrijke meerwaarde van dimmogelijkheden, mogen we verwachten dat dit niet erg lang meer op zich zal laten wachten.

Afbeelding 30 toont een aantal van dergelijke chips.



Afb. 30 Diverse modellen van intelligente dim IC's.

Dergelijke IC's hebben naast dimmercompatibiliteit ook nog andere zaken tot doel. Het gaat dan o.a. over een hogere efficiëntie, beheersen van de vermogensfactor, kortsluitbeveiliging, temperatuurbeveiliging, controleren van spannings- en frequentiebereik, ...

Diverse IC-componenten dienen via een PCB (*Printed Circuit Board*) in de lamp of armatuur

geïntegreerd te worden. Deze circuits worden aangesloten op de IC, en zorgen onder andere voor dimmerdetectie, temperatuurbeveiliging, goede vermogensfactor, flikkervrije werking, goede minimale lichtopbrengst, goede stroomregeling, ...

Ter illustratie stellen we in afbeelding 31 de interne huishouding van een ledlamp voor. Deze lamp heeft de volgende afmetingen: ca. 6 cm x 3 cm.

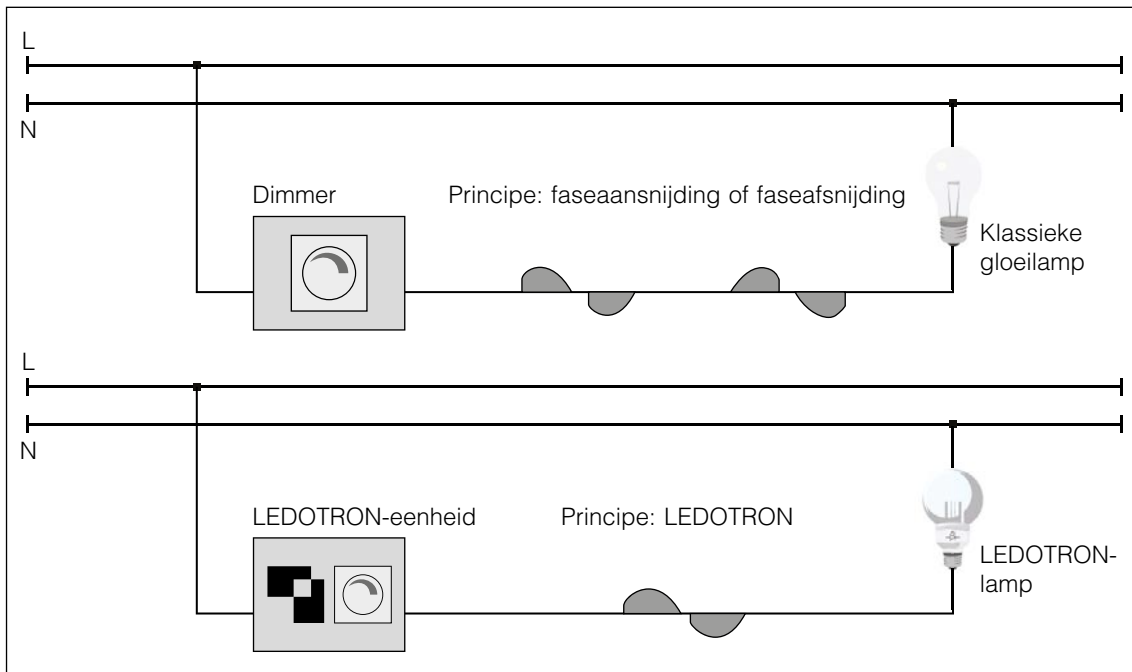


Afb. 31 'Interne keuken' van een ledlamp.

4.4.2 COMMUNICATIEPROTOCOL (LEDOTRON)

Een andere soort ontwikkeling vinden we terug in Duitsland. De groep Insta, die de fabrikanten Osram, Jung, Gira, Merten en Schneider Electric verenigt, ondersteunt de ontwikkeling van een specifiek digitaal dimprotocol (Ledotron). Deze maakt communicatie tussen dimmer en lamp mogelijk, op voorwaarde dat zowel dimmer als lamp dit protocol begrijpen en het op de juiste manier kunnen interpreteren. Beiden moeten dus over het Ledotron-label beschikken. In een bestaande installatie is het bijgevolg noodzakelijk om zowel dimmer als lamp te vervangen.

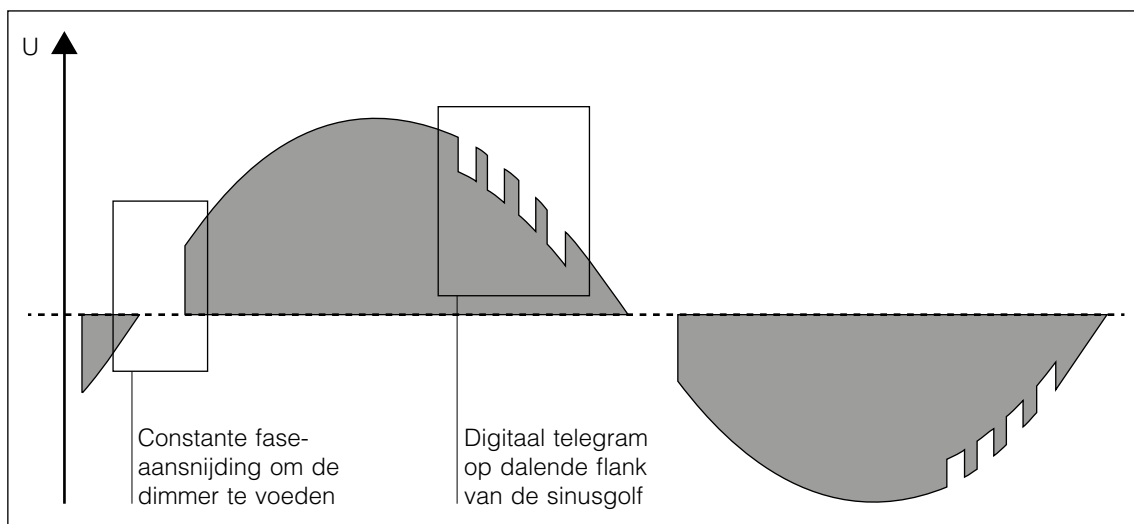
De signalen tussen dimmer en lamp lopen over de bestaande leidingen, waardoor er geen bijkomende bekabeling vereist is. Ledotron richt zich voornamelijk op de residentiële sector, kleine ondernemingen en winkelverlichting. Voor grotere installaties worden er eerder andere systemen geplaatst (bv. DALI).



Afb. 32 Algemeen principe van Ledotron.

Het digitale signaal wordt toegevoegd aan de netspanning en bevat diverse informatie. Naast het gewenste lichtniveau wordt het via dit protocol ook

mogelijk om lampen in groepen te verdelen, kleurtemperatuur te bepalen en RGB-toepassingen aan te sturen, als de lamp tenminste hiervoor uitgerust is.



Afb. 33 Algemeen principe van Ledotron.

Bovenop de spanningssinus wordt een digitaal signaal over de bestaande leidingen gestuurd. De dimmer brengt dat signaal op de leidingen en de lamp interpreteert het.

4.5 BESLUIT

Het is duidelijk dat er momenteel diverse parallelle initiatieven lopen. Iedereen is zich terdege bewust

van de problematiek en laat dat nu net de eerste stap zijn die in elk 'veranderingsproces' moet worden genomen. Niettemin evolueert de technologie zo snel dat het een hele uitdaging vormt om bij te blijven en de juiste beslissingen op het juiste moment te nemen. Vuistregels en compatibiliteitstabellen zijn weliswaar een tijdelijk hulpmiddel maar dekken zeker niet de volledige lading. Nog te ontwikkelen standaarden bieden allicht een oplossing voor toekomstige installaties.

5 METINGEN

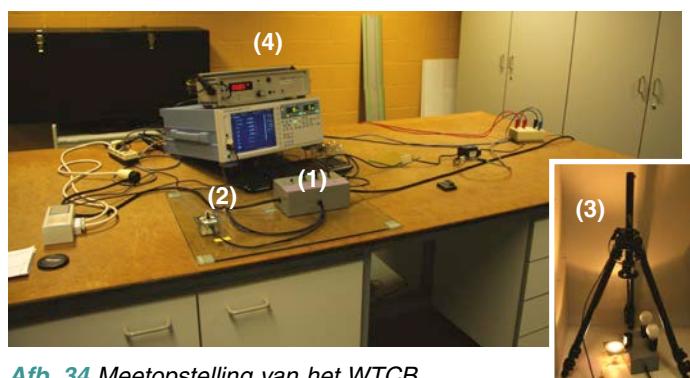
5.1 INLEIDING

Om het onderzoek te ondersteunen, voerde het WTCB (Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf) een aantal metingen uit in zijn laboratorium 'Licht en Gebouw'. De metingen gebeurden meestal op combinaties van dimmers en energiezuinige vervangingslampen, die in de zogenaamde compatibiliteitstabellen (zie § 4.2) van dimmer- en/of lampenfabrikanten als 'compatibel' worden beschouwd. Enkele korte metingen vonden ook plaats op (*a priori*) niet-compatibele combinaties, om zo de problematiek beter te proberen begrijpen. Daarbij werd gefocust op elektrische metingen, in combinatie met een (conventionele) meting van de relatieve lichtstroom.

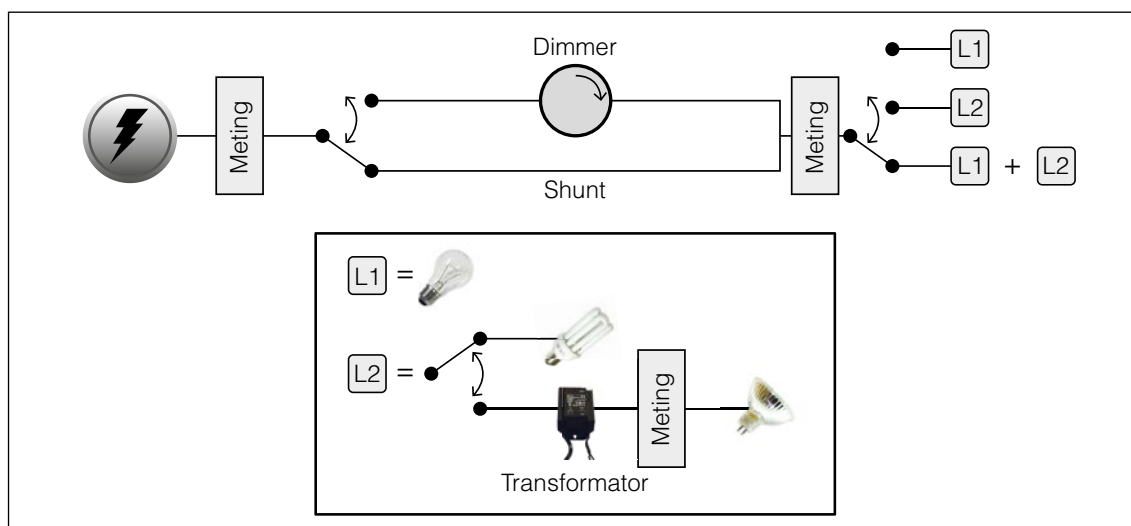
Deze metingen zijn in geen enkele zin exhaustief, noch dekken ze de volledige markt af. De technologie is in constante ontwikkeling en vooral de IC's van vervangingsleeds evolueren voortdurend. De bedoeling van dit hoofdstuk bestaat erin de problematiek te illustreren en enkele algemene tendensen aan te geven.

5.2 MEETOPSTELLING

De meetopstelling wordt voorgesteld in afbeelding 34. Een *switchbox* (1) laat toe om een keuze te maken uit verschillende configuraties en bevat ook de nodige aansluitingen om metingen te doen. Het werkingsprincipe van de *switchbox* komt in afbeelding 35 aan bod. Van de *switchbox* gaat de stroom naar de dimmer (2) en vervolgens naar de lampen (3). Die bevinden zich in een donkere ruimte, in rechtopstaande positie, samen met een driepoot waarop een meetkop voor de verlichtingssterkte is gemonteerd. De informatie van de elektrische en fotometrische metingen wordt naar de meeteenheden (4) gestuurd. Die bestaan uit een vermogenmeter en een ontvangststelsel voor de verlichtingssterktemeting.



Afb. 34 Meetopstelling van het WTCB.

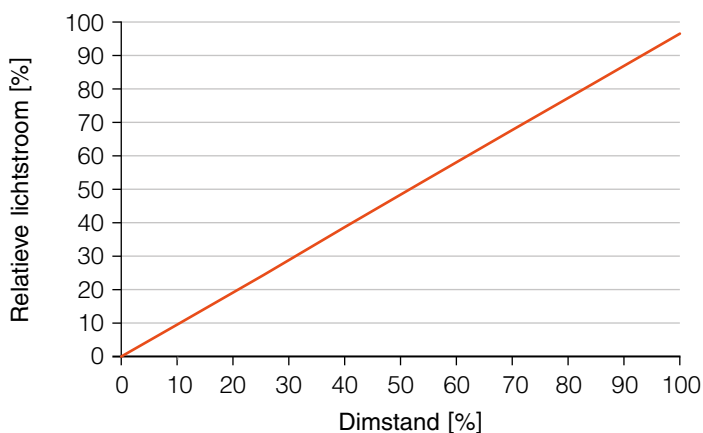


Afb. 35 Werkingsprincipe van de switchbox.

Uit afbeelding 35 blijkt dat de *switchbox* toelaat om twee types metingen uit te voeren: metingen zonder tussenkomst van de dimmer en metingen van verschillende combinaties van lampen – lampen op netspanning of transformator, al dan niet in combinatie met gloeilampen. Tijdens de metingen werd via de *switchbox* omgeschakeld van energiezuinige lamp naar gloeilamp om de dimstand te bepalen.

Omdat je op de meeste dimmers geen dimstand kunt aflezen, werd de dimstand uitgedrukt naar gelang van de relatieve lichtstroom (t.o.v. de lichtstroom zonder dimmer) die een gloeilamp bij die dimstand uitstraalt. Daarbij nemen we expliciet aan dat een dimstand van 0 % overeenstemt met 0 % relatieve lichtstroom. Dit blijkt duidelijk uit afbeelding 36. Dimstand en relatieve lichtstroom van de gloeilamp variëren evenredig met elkaar. De rechte verschilt van dimmer tot dimmer. Aangezien de rechte (bij conventie) door de oorsprong gaat, kan ze voor elke dimmer immers worden bepaald door de relatieve lichtstroom van de lamp te bepalen bij een dimstand van 100 %. Klassiek ligt dit punt een klein beetje lager dan 100 % relatieve lichtstroom – de lichtstroom zonder dimmer –, omdat de meeste dimmers in hun maximale stand nog steeds een klein stukje van de sinus afsnijden en dus niet de volledige spanning doorlaten. De grootte van het afgesneden stuk in die maximale stand bepaalt de ligging van de rechte.

De conventie die we hier voor de dimstand aannemen, laat ons toe om aan de hand van grafieken met die dimstand op de X-as aan te geven in welke mate voor een bepaalde dimmer het gedrag van de vervangingslamp afwijkt van dat van een gloeilamp.



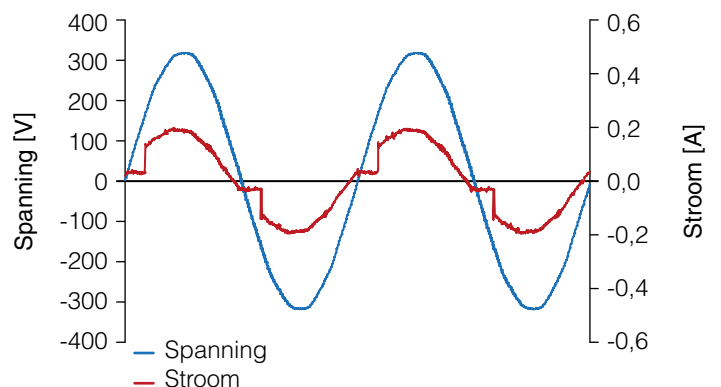
Afb. 36 Basisprincipe dimstand.

5.3 RESULTATEN

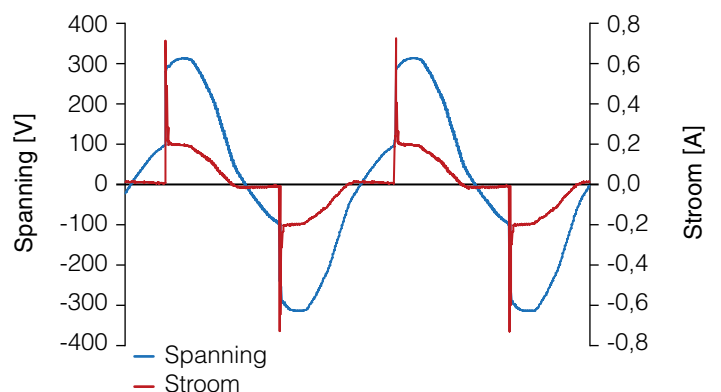
Zoals vermeld voerden we metingen uit op verschillende combinaties dimmer/lamp. In de volgende hoofdstukken bundelen we de resultaten ⁽⁸⁾ per lamptype om het overzicht te behouden.

5.3.1 ECOHALOGEENLAMPEN

Er werd één ecohalogeenlamp getest. Afbeelding 37 laat de golfvorm van de stroom voor de lamp op gewone netspanning zien. Uit deze figuur blijkt dat de ecohalogeenlamp zoals verwacht een eerder capacatieve last is (elektronische transformator). Dat blijkt ook duidelijk uit afbeelding 38 als deze lamp gedimd wordt met een faseaansnijdingsdimmer: de plotse spanning over de capaciteit leidt tot piekstromen. In het voorbeeld zijn die piekstromen tot vier keer hoger dan de lamp in normale werking. Voor dit type lampen komt de compatibiliteitsproblematiek weinig tot nooit ter sprake. Toch tonen de piekstromen aan dat de nodige oplettendheid geboden is, zeker als we de levensduur van de componenten niet in het gedrang willen brengen.



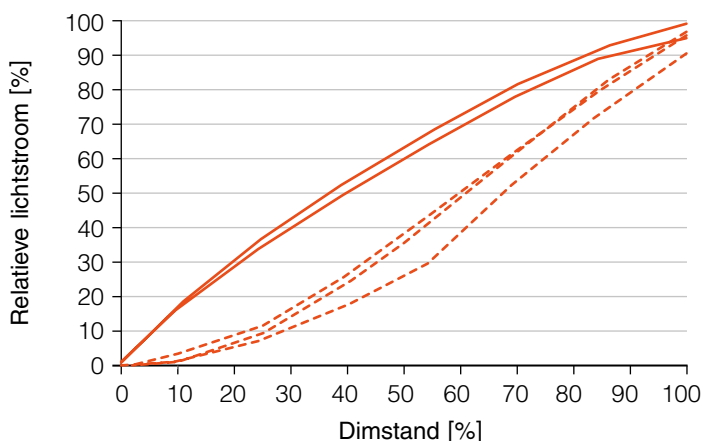
Afb. 37 Stroom en spanning door ecohalogeenlamp (op netspanning).



Afb. 38 Stroom en spanning door ecohalogeenlamp (gedimd).

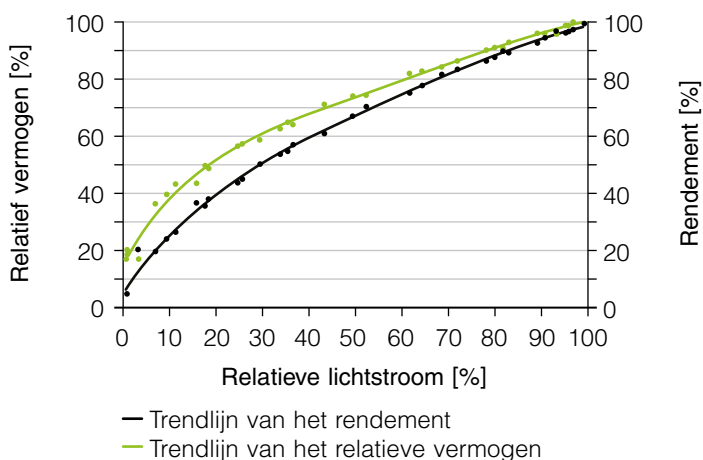
⁽⁸⁾ Niet alle resultaten komen aan bod. Om de zaken overzichtelijk te houden tonen we enkel een selectie van de meest representatieve resultaten.

De capacatieve werking van de lamp verklaart ook intuïtief de evolutie van de lichtstroom van de lamp naargelang van de dimstand, zoals weergegeven in afbeelding 39. De volle lijnen geven metingen weer met faseaansnijdingsdimmers, terwijl de onderbroken lijnen metingen weergeven met faseafsnijdingsdimmers. Voor de faseafsnijding is te zien dat de lichtstroom van de lamp bij hoge dimstanden trager varieert dan de lichtstroom van een gloeilamp op dezelfde dimmer. Bij de lagere dimstanden is de variatie groter. Bij faseaansnijding zien we een omgekeerd effect.



Afb. 39 Evolutie van de lichtstroom naargelang van de dimstand voor een ecohalogeenlamp, gedimd met faseaansnijdingsdimmers (volle lijnen) en faseafsnijdingsdimmers (onderbroken lijnen).

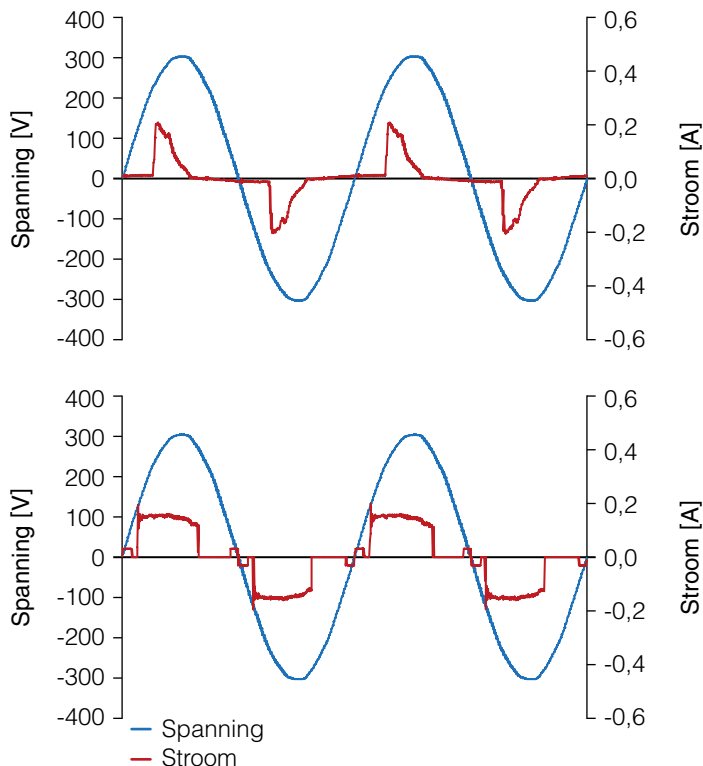
De manier waarop gedimd wordt, blijkt weinig invloed te hebben op het rendement of de mate waarop lichtstroom en vermogen zich onderling verhouden. In afbeelding 40 zien we dat de evolutie van vermogen en rendement gelijkaardig is aan die van de gloeilamp.



Afb. 40 Evolutie van het rendement en het opgenomen vermogen afhankelijk van de relatieve lichtstroom (voor een ecohalogeenlamp).

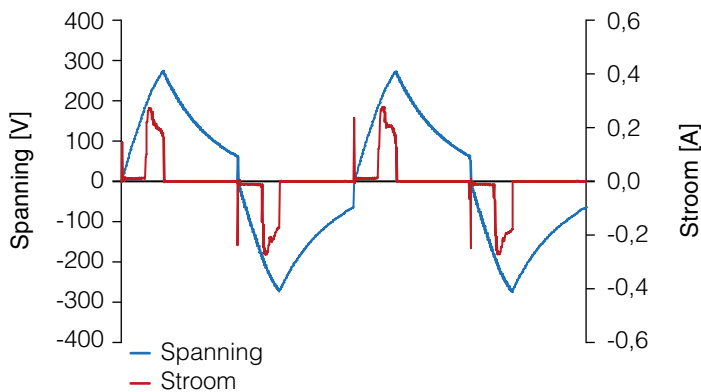
5.3.2 COMPACTE FLUORESCENTIE-LAMPEN (CFL)

Tijdens de laboratoriummetingen testten we twee dimbare CFL van twee verschillende fabrikanten (respectievelijk 11 W en 18 W). Hoewel beide golfvormen sterk verschillen, merken we in afbeelding 41 toch op dat een CFL een eerder capacatief gedrag vertoont.

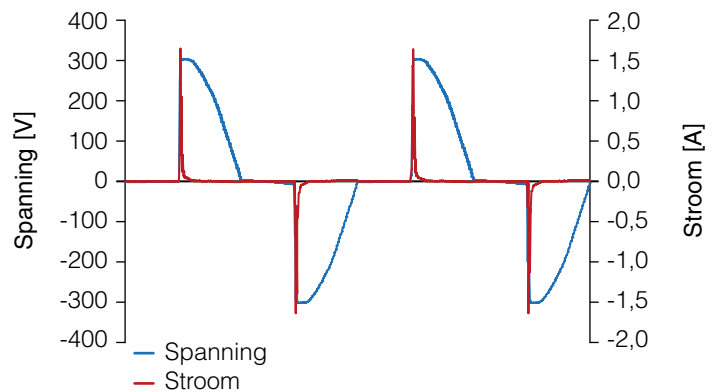


Afb. 41 Stroom en spanning van resp. een CFL van 11 W (fabrikant A) en een CFL van 18 W (fabrikant B).

A priori zouden we dus verwachten dat een faseafsnijdingsdimmer eerder aangeraden is, maar in de praktijk blijken beide lampen met de meeste dimmers van dit type minder goed te werken. De lamp van 11 W vertoont met die dimmers meestal een eerder horizontale dimcurve, terwijl de lamp van 18 W in de meeste van de testen met faseafsnijdingsdimmer zelfs niet werkte in de laagste dimstanden. We stellen in afbeelding 42 ook vast dat de spanning na de faseafsnijding relatief traag afneemt, wat nogmaals de capacatieve werking demonstreert.



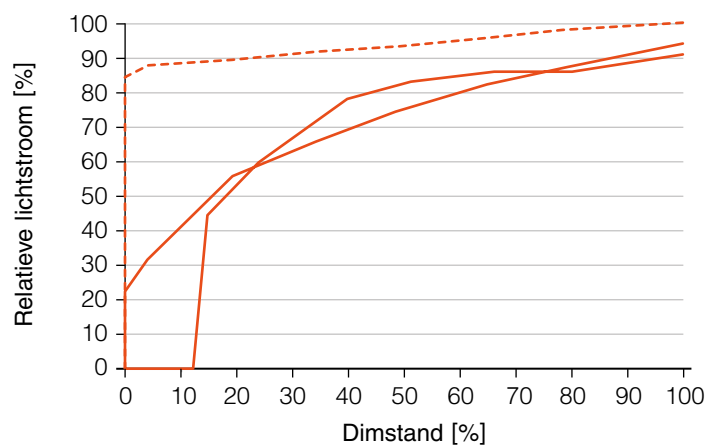
Afb. 42 Stroom en spanning van een CFL van 11 W (fabrikant A), gedimd met een faseafsnijdingsdimmer.



Afb. 43 Stroom en spanning van een CFL van 11 W (fabrikant A), gedimd met een faseaansnijdingsdimmer.

Met faseaansnijdingsdimmers vertonen beide lampen merkwaardig genoeg wel een relatief normaal gedrag. In de compatibiliteitstabellen van de fabrikanten gelden die combinaties trouwens ook vaak als 'compatibel'. Zoals verwacht, uit de capacatieve werking van de lamp zich wel in stroompieken. Deze kunnen naargelang van de concrete combinatie (heel) hoog oplopen. Voor een combinatie van de lamp van 11 W met een bepaalde faseaansnijdingsdimmer registreerden we pieken tot 1,5 A of zowat zeven keer de hoogste stroom bij nominale werking.

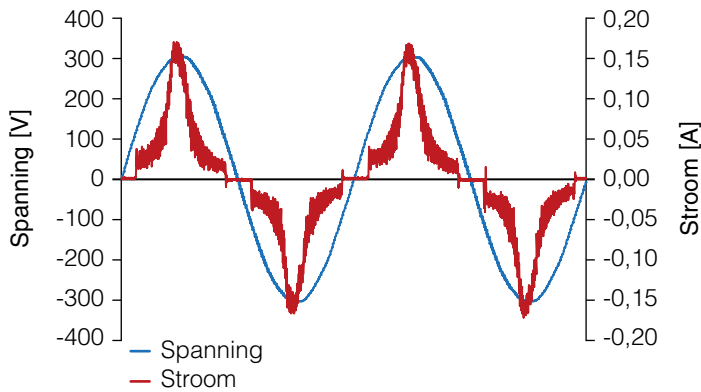
Niettemin kan het verloop van de lichtstroom bij faseaansnijding als relatief normaal worden bestempeld. Afbeelding 44 geeft een relatief vlakke curve weer voor de geteste faseafsnijdingsdimmer (onderbroken lijn), terwijl het dimverloop voor faseaansnijdingsdimmers (volle lijnen) in de hogere dimstanden iets meer geleidelijk evolueert dan een gloeilamp, om in de lagere dimstanden dan weer sterk toe te nemen. Voor een bepaalde geteste combinatie weigerde de lamp ook dienst in de laagste dimstanden, zoals blijkt uit de horizontale lijn vanaf ca. 12 % dimstand. Voor de combinatie waarbij de lamp wel werkte, verwijzen we naar afbeelding 10 (p. 11). Die geeft het verloop weer van het opgenomen vermogen en het rendement afhankelijk van de relatieve lichtstroom.



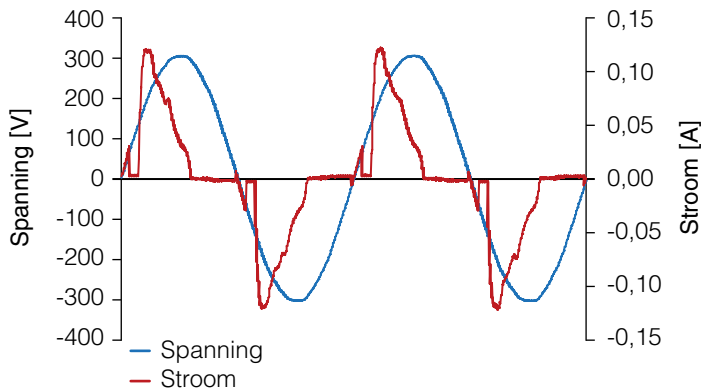
Afb. 44 Evolutie van de lichtstroom afhankelijk van de dimstand voor een CFL van 11 W, gedimd met faseaansnijdingsdimmers (volle lijnen) en faseafsnijdingsdimmer (onderbroken lijn).

5.3.3 VERVANGINGSLEDS

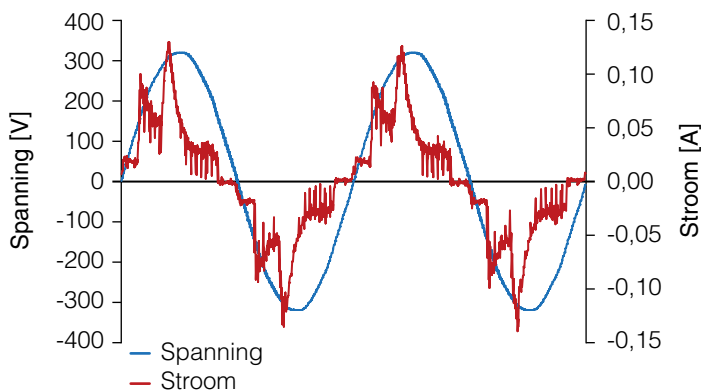
Zeven verschillende vervangingsleds van vier verschillende fabrikanten kwamen in de test aan bod. Toen we deze vervangingsleds aan de normale netspanning aanlegden, konden we drie golfvormen waarnemen. Binnen het golftype waren er afhankelijk van de lamp wel kleine verschillen waar te nemen, zoals bijvoorbeeld de piekspanning die uiteraard samenhangt met het vermogen. Niettemin was de overeenkomst tussen de golfvormen – ongeacht de fabrikant – op zijn minst frappant te noemen, zoals te zien is in de afbeeldingen 45, 46 en 47.



Afb. 45 Golfvorm 1, voor een vervangingsled van 12 W van fabrikant C, maar ook waargenomen voor een vervangingsled van 17 W van diezelfde fabrikant C en voor een vervangingsled van 9 W van fabrikant D.

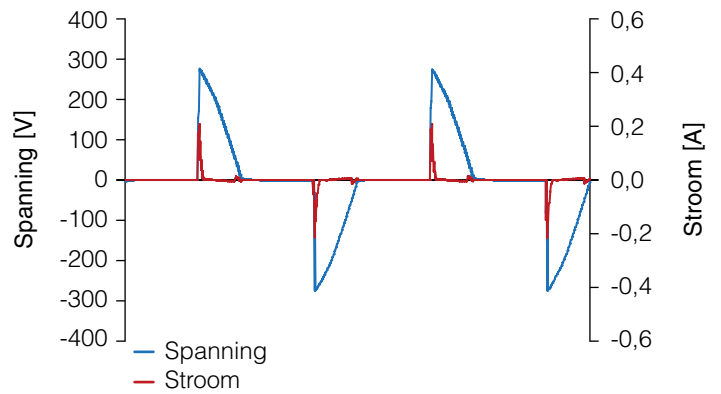


Afb. 46 Golfvorm 2, voor een vervangingsled van 8 W van fabrikant C, maar ook waargenomen voor een vervangingsled van 7 W van diezelfde fabrikant C en voor een vervangingsled van 8 W van fabrikant A.



Afb. 47 Golfvorm 3, voor een vervangingsled van 10 W van fabrikant E.

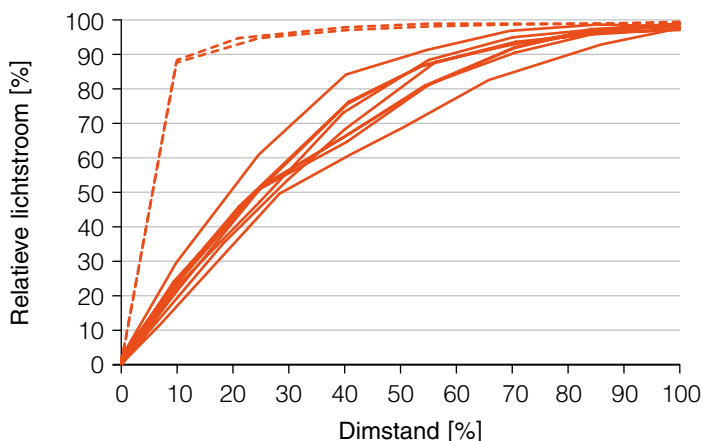
Uit golfvorm 1 kunnen we niet afleiden of het gedrag van de lamp eerder capacitief of inductief is, maar de twee andere golfvormen suggereren een eerder capacitief gedrag. Toch is het dimgedrag bij deze golfvormen vaak beter met faseaansnijdingsdimmers dan met faseafsnijdingsdimmers. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat bepaalde elektronische componenten in de hulpapparatuur van de lamp ervoor zorgen dat de lamp kan gecombineerd worden met faseaansnijdingsdimmers. Deze komen historisch gezien het vaakst voor in bestaande installaties. Bij een aantal metingen konden we slechts beperkte stroompieken bij faseaansnijding waarnemen, in het bijzonder voor golfvorm 2. In afbeelding 48 bedraagt de piekstroom zowat 200 mA, tegenover ca. 120 mA in nominale werking.



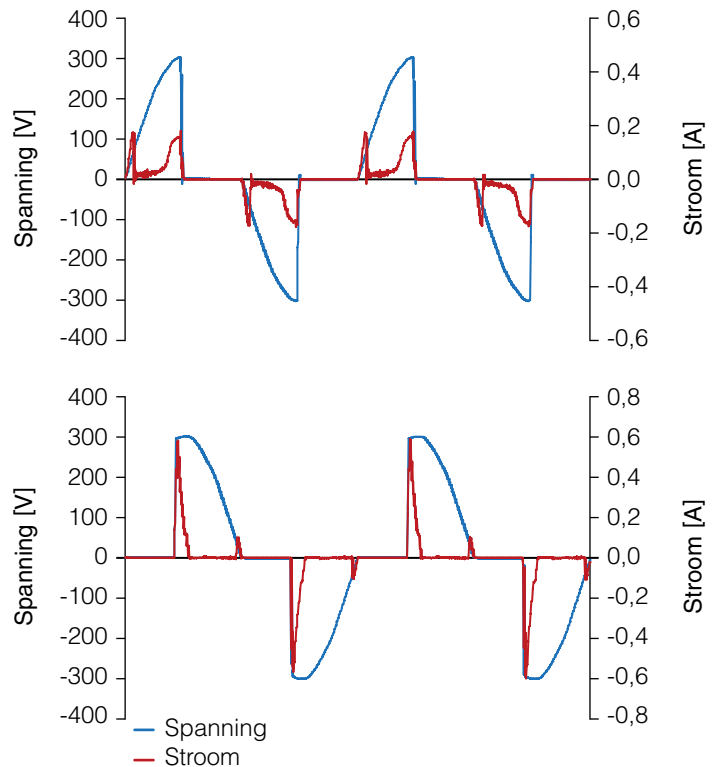
Afb. 48 Golfvorm 2, in combinatie met een faseaansnijdingsdimmer.

In afbeelding 49 is het resultaat te zien van de metingen op lampen met golfvorm 2, waarbij we enkel combinaties testten die in de compatibiliteitstabellen als 'compatibel' gelden. Faseafsnijdingsdimmers leiden er doorgaans tot een zeer vlak verloop, terwijl de faseaansnijdingsdimmers een gelijkaardig verloop vertonen als dat van de gloeilamp. We stellen telkens vast dat de lampen bij hoge dimstanden iets trager dan een gloeilamp dimmen, terwijl we bij lage dimstanden een sneller verloop waarnemen.

Golfvorm 3 leidde in de metingen doorgaans wel tot hogere stroompieken en ook de dimcurve week sterk af van wat we bij golfvorm 2 konden waarnemen: een eerder gelijklopend verloop of een verloop dat zich onder de dimcurve van de gloeilamp bevindt. Hierbij moeten we wel opmerken dat er voor deze lamp geen compatibiliteitstabel beschikbaar was en dat de metingen ook combinaties bevatten die in een dergelijke tabel mogelijk als 'incompatibel' zouden worden bestempeld. Vandaar dat de dimcurves voor deze golfvorm niet in dit document zijn opgenomen. Voor golfvorm 1 werden geen dimcurves opgemeten omdat ze pas later aan het meetprogramma werden toegevoegd. Ter informatie tonen we in afbeelding 50 de stroom en spanning voor een vervangingsled van 17 W in combinatie met een RC- en een RL-dimmer. Voor laatstgenoemde combinatie is opnieuw een hogere stroompiek waarneembaar.

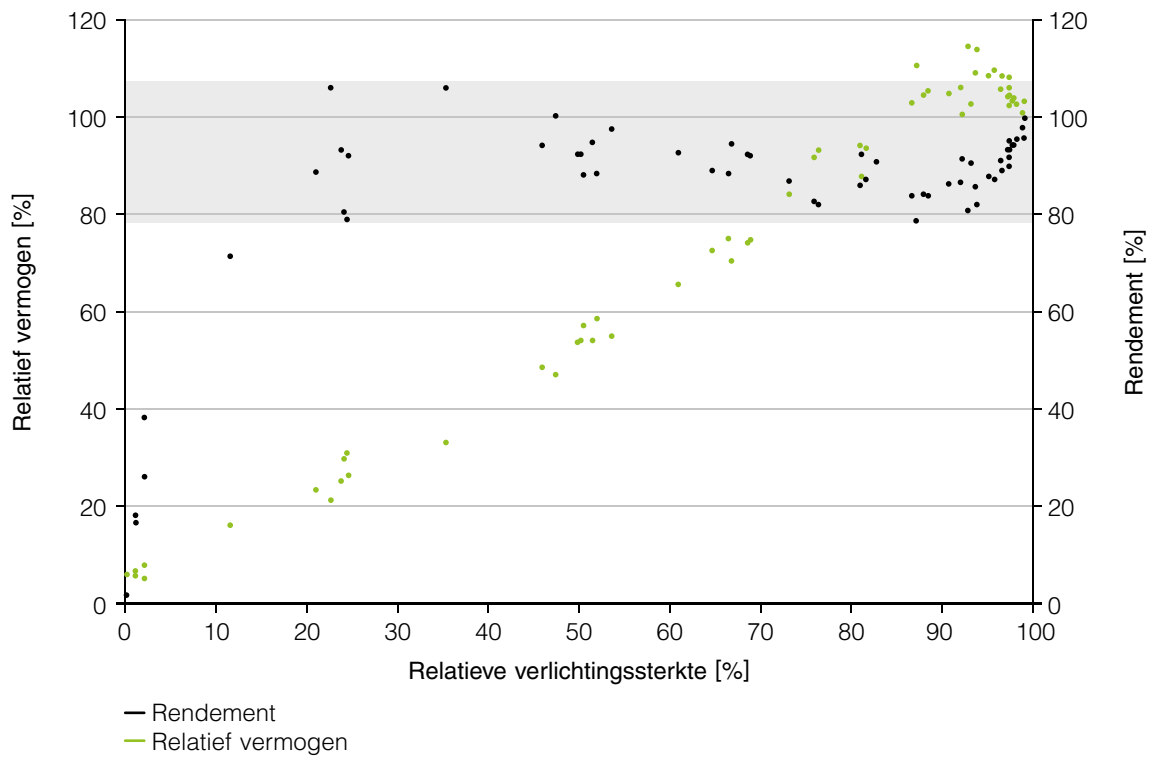


Afb. 49 Evolutie van de lichtstroom afhankelijk van de dimstand, voor combinaties van faseafsnijdingsdimmers (onderbroken lijnen) en faseaansnijdingsdimmers (volle lijnen) met drie lampen die golfvorm 2 vertonen.



Afb. 50 Stroom en spanning voor een vervangingsled van 17 W (golfvorm 1) in combinatie met een RC- en een RL-dimmer.

Voor de vervangingsleds op faseaansnijdingsdimer uit afbeelding 49 (de volle lijnen) geeft afbeelding 51 het verloop van het rendement en het vermogen afhankelijk van de uitgestraalde lichtstroom weer. Hierop is te zien dat het gemeten rendement zich in een brede band tussen 80 en 105 % van het rendement van een lamp zonder dimmer bevindt. Doorgaans ligt het rendement in het begin wat lager, omdat voor ongeveer eenzelfde lichtstroom een hoger vermogen wordt opgenomen. Als we verder dimmen, blijft het rendement min of meer constant. De mogelijk licht stijgende trend is te wijten aan het hogere rendement van de diode bij lagere lichtstromen. Dit wordt echter gedeeltelijk tenietgedaan door het vermogen van het stuurapparaat dat constant blijft en misschien zelfs wat toeneemt om het dimmen mogelijk te maken. Het residuele vermogen van het stuurapparaat blijkt zeer beperkt te zijn, maar zorgt er toch voor dat het rendement van de vervangingsled voor lagere verlichtingssterkten (10 % en minder) afneemt en onder de 80 % terechtkomt.



Afb. 51 Evolutie van het rendement en het opgenomen vermogen afhankelijk van de relatieve lichtstroom voor een aantal leds (golfvorm 2) op faseaansnijdingsdimmers.

6 REFERENTIES

1. Glaser C.
Dimming LEDs for effect and maximum energy savings, EDs Magazine weekly newsletter for November 21, 2012.
2. Illuminating Engineering Society of North America
IES TM-23-11 Lighting Control Protocols, IES, New York, 2011.
3. Lighting Research Institute
Reducing barriers to Use of High Efficiency Lighting Systems. Progress Report, TROY, 2001.
4. Megaman
Megaman Compatible dimmer list
http://www.megaman.be/library/files/LP_MEGAMAN_LED_2013_COMPATIBLE_DIMMER_LIST.pdf - last access 9/04/2014.
5. National Electrical Manufacturers Association
NEMA LSD 49-2010 Solid State Lighting for Incandescent Replacement – Best Practices for Dimming, Virginia, NEMA, 2010.
6. National Electrical Manufacturers Association
NEMA LSD 56-2011 Compatibility of Forward Phase Control Dimmers and Dimmable Self-Ballasted Compact Fluorescent lamps, Virginia, NEMA, 2011.
7. National Electrical Manufacturers Association
NEMA SSL6-2010 Solid State Lighting for Incandescent Replacement – Dimming, Virginia, NEMA, 2011.
8. Niko
Niko Dimmer Zoeker
<http://www.niko.eu/nlbe/niko/producten/dimmers/dimmer-zoeker/> - last access 9/04/2014.
9. OSRAM
Osram Dimming Compatibility List
<http://www.osram.de/media/resource/HIRES/342572/56716/superstar-classic---dimming-compatibility.pdf> - last access 9/04/2014.
10. OSRAM
Quicktronic Dimmable Technical Guide, München, 2000.
11. Philips
Philips Master LEDlamps range – recommended dimmer list
<http://www.lighting.philips.com/main/led/Recommended-Dimmer-List-LED-Lamps.pdf> - last access 9/04/2014.
12. Taranta R.
Repetitive peak and inrush currents - Technical note, Troy, ASSIST, 2011.
13. Taranta R.
Variations in Household Wall Dimmers for Lighting - Technical note, Troy, ASSIST, 2011.
14. van der Steen M.
Praktijkmetingen aan dimmers door OliNo gebruikt, OliNo
<http://www.olino.org/articles/2010/05/25/praktijkmetingen-aan-dimmers-door-olino-gebruikt> - last access 9/04/2014.
15. van der Steen M.
Achtergronden meetgegevens lampmeetrapport, OliNo
<http://www.olino.org/articles/2009/10/19/achtergronden-meetgegevens-lampmeetrapport> - last access 9/04/2014.

Verantwoordelijke uitgever : Jan Venstermans



WTCB

MAATSCHAPPELIJKE ZETEL

Lombardstraat 42, B-1000 Brussel
tel. 02/502 66 90
fax 02/502 81 80
e-mail: info@bbri.be
website: www.wtcb.be

KANTOREN

Lozenberg 7, B-1932 Sint-Stevens-Woluwe
tel. 02/716 42 11
fax 02/725 32 12

- technisch advies – publicaties
- beheer – kwaliteit – informatietechnieken
- ontwikkeling – valorisatie
- technische goedkeuringen – normalisatie

PROEFSTATION

Avenue Pierre Holoffe 21, B-1342 Limelette
tel. 02/655 77 11
fax 02/653 07 29

- onderzoek en innovatie
- vorming
- bibliotheek

DEMONSTRATIE- EN INFORMATIECENTRUM

Marktpllein 7 bus 1, B-3550 Heusden-Zolder
tel. 011/22 50 65
fax 02/725 32 12

- ICT-kenniscentrum voor bouwprofessionelen (ViBo)
- Digitaal documentatie- en informatiecentrum voor de bouw- en betonsector (Betonica)

BRUSSELS MEETING CENTRE

Poincarélaan 79, B-1060 Brussel

TECNOLEC VZW

VOLTA-GEBOUW

Marlylaan 15/8 b3, B-1120 Brussel
tel. 02/612 99 60
fax 02/612 99 61
e-mail: info@tecnolec.be
website: www.tecnolec.be