



EEN INLEIDING IN DE WERELD VAN HARMONISCHEN

De blinde vlek bij ledverlichting

Het zijn razend interessante tijden voor theatertechnici, vooral op het gebied van licht. Ledverlichting maakt een snelle opmars, met nieuwe mogelijkheden op het gebied van kleur, variatie, aansturing en energiegebruik - van groot belang in tijden van duurzaamheid en hoge elektriciteitsprijzen. Er zijn zelfs al nieuwbouwtheaters met 100 procent ledverlichting: niet alleen de theatertechnische installatie, maar ook alle utiliteitsverlichting. | TEKST: BRUNO VAN WAYENBURG |

Toch moet de technicus daarbij één ding in de gaten houden. Door de fundamenteel andere manier waarop ledverlichting - en ook andere moderne elektronica - gevoed en aangestuurd worden, kunnen harmonischen, blindstromen ontstaan die de netspanning vervuilen: dit kan leiden tot doorslaande zekeringen en lekstroomschakelaars, verminderd effectief energieverbruik, en apparatuur die elkaar storend beïnvloedt. Dit artikel is een inleiding in de wereld van harmonischen, de problemen die daarbij kunnen optreden, en mogelijke voorzorgsmaatregelen en oplossingen.

Eerst een (korte) les elektrotechniek. Als je een apparaat - van led-armatuur tot versterker, van klimaatinstallatie tot bierpomp - aan het plaatselijk net hangt, dan gebeurt in de regel het volgende: de netspanning van 220-230 volt wisselspanning doet een elektrische stroom door het apparaat lopen, waardoor dat apparaat gaat doen waar het voor bedoeld is: licht geven, of geluid, of frisse lucht, of bier.

Maar er is ook een tegenreactie: de stroom die door het apparaat loopt, heeft weer invloed op de spanning en stroom op het elektriciteitsnet; het net binnen het theater

en mogelijk zelfs daarbuiten. Dat is natuurlijk ontworpen om zo stabiel mogelijk te zijn, maar toch kunnen deze invloeden zich over het plaatselijk net verspreiden en voor problemen zorgen.

Om te begrijpen hoe dat precies in zijn werk gaat, moeten we even een uitstapje maken naar een wat meer industriële setting: de wereld van elektriciteitsopwekking en industrie. Veel methodes om elektriciteit op te wekken,

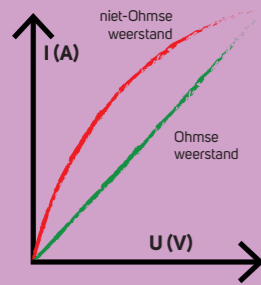
van dynamo's tot windturbines en gasgeneratoren, leveren wisselstroom op. De spanning varieert volgens een sinus-profiel met een frequentie van 50-60 Hz met pieken van +220

en dalen van -220 volt.

Als je op zo'n wisselspanning een eenvoudig apparaat aansluit, bijvoorbeeld een verwarmingselement, zal de elektrische stroom die door het apparaat loopt precies hetzelfde sinusprofiel volgen als de spanning. Deze soort 'belasting' van het net heet een 'ohmse weerstand', omdat hij precies de wet van Ohm volgt: de elektrische stroom I is de elektrische spanning V , gedeeld door de weerstand R . Als de spanning V zijn hoogste piek van volt bereikt, doet de stroom I dat ook. Dit is gunstig voor

De zaken worden iets ingewikkelder als je een elektromotor aansluit op een wisselspanning

Ohmse weerstand



Wet van Ohm

$$U = I * R$$

U (spanning) volt (V)
I (stroomsterkte) ampère (A)
R (weerstand) ohm (Ω)

De Wet van Ohm kun je alleen gebruiken bij zogenoemde Ohmse weerstanden: weerstanden met een constante waarde.

wegvalt. Bij een wisselstroom betekent dit dat het profiel van de stroom constant achter dat van de spanning aanloopt. Ofwel: op het moment dat de V zijn piek bereikt, doet de I dat nog niet.

Bij zo'n 'niet-ohmse-weerstand' is de overdracht van energie zonder extra maatregelen niet optimaal: de pieken in spanning lopen uit de pas met de stroompieken. De details hangen af van de eigenschappen van de spoel en de frequentie van de wisselspanning. Naast spoelen bestaan er ook condensatoren. En ook dat zijn niet-ohmse weerstanden: daarbij loopt de stroom juist voor op de spanning, met een vergelijkbaar effect.

Als de wisselstroom uit de pas loopt met de wisselspanning, is het vermogen (de geleverde energie per seconde) dat effectief gebruikt wordt - het 'werkzame vermogen' - kleiner dan het product van de gemiddelde stroom en spanning - het 'schijnbaar vermogen'. Het verschil tussen die twee heet 'blind vermogen': het is vermogen dat wel door de toevoerleidingen loopt, maar niet effectief bijdraagt aan het functioneren van het apparaat. Het kan zelfs juist een storende werking hebben op het elektriciteitsnet en andere apparatuur die daaraan hangt. Vaak wordt het blind vermogen vergeleken met de schuimkraag op een biertje: het glas (het maximumvermogen van de installatie) moet groot genoeg zijn om ook

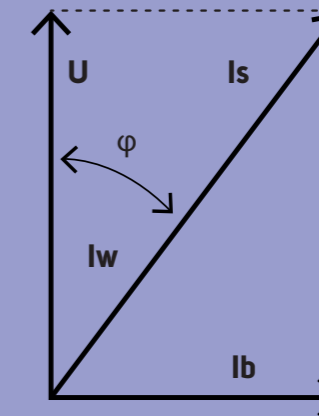
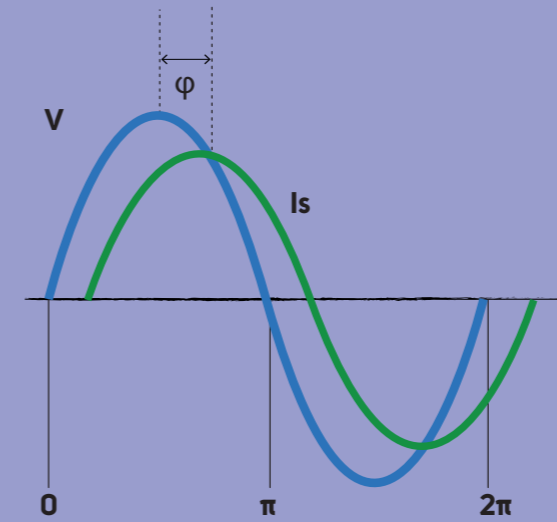
de overdracht van energie: op het moment dat de elektriciteit de meeste kracht heeft (de spanning V) stromen de elektronen ook het hardst door het apparaat (de stroom I). De formule voor het elektrisch vermogen (energie per seconde) is dan immers V maal I.

De zaken worden iets ingewikkelder als je bijvoorbeeld een elektromotor aansluit op een wisselspanning. In zo'n motor zitten spoelen, elektrische wikkelingen bedoeld om magneetvelden op te wekken. Een eigenschap van een spoel is dat het even duurt voordat de stroom op gang komt als je er een spanning op zet. Ook ijlt de stroom nog wat na als de spanning

Bij niet-ohmse-weerstand is de overdracht van energie zonder extra maatregelen niet optimaal

hebben op het elektriciteitsnet en andere apparatuur die daaraan hangt. Vaak wordt het blind vermogen vergeleken met de schuimkraag op een biertje: het glas (het maximumvermogen van de installatie) moet groot genoeg zijn om ook

Faseverschuiving - Na-ijlen van stroom



I_s = schijnbare stroom
P_b = Watt-stroom
P_s = blindstroom
I_w = I_s * cos φ
I_b = I_s * sin φ

het schuim binnen te houden, maar het effectieve bier-volume (het effectieve vermogen) is kleiner. Deze metafoor werkt overigens minder goed in de Nederlandse, bierschuim-minnende, biercultuur.

Een andere vergelijking is die met roeien in de golven: dat gaat het best als de bladen van de riemen diep in het water steken op het moment dat de roeier de riemen met volle kracht naar zich toe haalt. Als de riemen op dat moment maar half in het water steken, bijvoorbeeld doordat de boot dan net opgetild wordt door de golven, gaat er roeiers-energie verloren. Als de riemen vervolgens onbedoeld wel in het water steken bij het terughalen, betekent dat nog meer inspanning van de roeier die niet in snelheid wordt omgezet. Bovendien krijgen de roeiers op den duur last van hun spieren door de afwijkende, onregelmatige belasting.

Vaak wordt het blind vermogen vergeleken met de schuimkraag op een biertje


De verhouding tussen het werkzame vermogen en het schijnbare vermogen heet ook wel 'cosinus-phi', of 'cosphi', of de 'arbeidsfactor', tegenwoordig steeds meer aangegeven als 'vermogensfactor'. Als die onder de 85 procent komt, beginnen veel energieleveranciers te steigeren: hun wisselspanning wordt uit het lood getrokken door de klant. Maar ook voor de gebruiker is zo'n getal ongunstig: zo kan een zekering te vroeg, dus onnodig, doorslaan door een te hoge blinde stroom. Wat heeft dit alles te maken met ledverlichting en andere apparatuur in een theater, waar doorgaans maar weinig zware elektromotoren staan? Veel. Halogeenlampen

hebben nadelen, maar het zijn wel ohmse weerstanden, die dus weinig blindvermogen zullen veroorzaken.

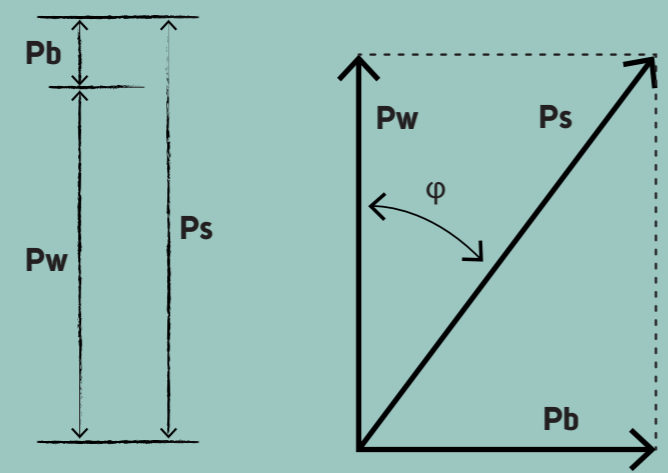
Maar led-elektronica, en daarnaast ook schakelende voedingen, zonnepanelen en computers, worden intern geregeld met hoogfrequente blokpulsen: transistoren schakelen de spanning snel aan of uit, duizenden keren per seconde. Die blokpulsen kunnen een forse invloed hebben op het elektriciteitsnet.

In termen van wisselspanning is een blokpuls een optelsom van harmonischen. Dat zijn veelvoud van een basisfrequentie, bijvoorbeeld die van 50 Hz. De tweede harmonische is dan 100 Hz, de derde 150 Hz, en de n-de harmonische is n maal 50 Hz. Hoe meer er aan- en uitgeschakeld wordt, en hoe scherper de overgangen tussen 'aan' en 'uit' bij het schakelen, hoe groter het aandeel hogere harmonischen in het totale signaal. De led-elektronica is daarop berekend, maar zoals hierboven uitgelegd, gaan de harmonischen onvermijdelijk ook het elektriciteitsnet op, waar ze tot storingen kunnen leiden.

Dat heeft onder andere te maken met de frequentieafhankelijkheid, die hierboven al genoemd werd. De effecten van condensatoren en spoelen worden sterker naarmate de frequentie hoger is. Zo kan een klein aandeel aan harmonischen, die immers hogere frequenties hebben, al leiden tot vervorming van het sinus-signaal en tot relatief veel blindvermogen leiden.



Zinvolle energie



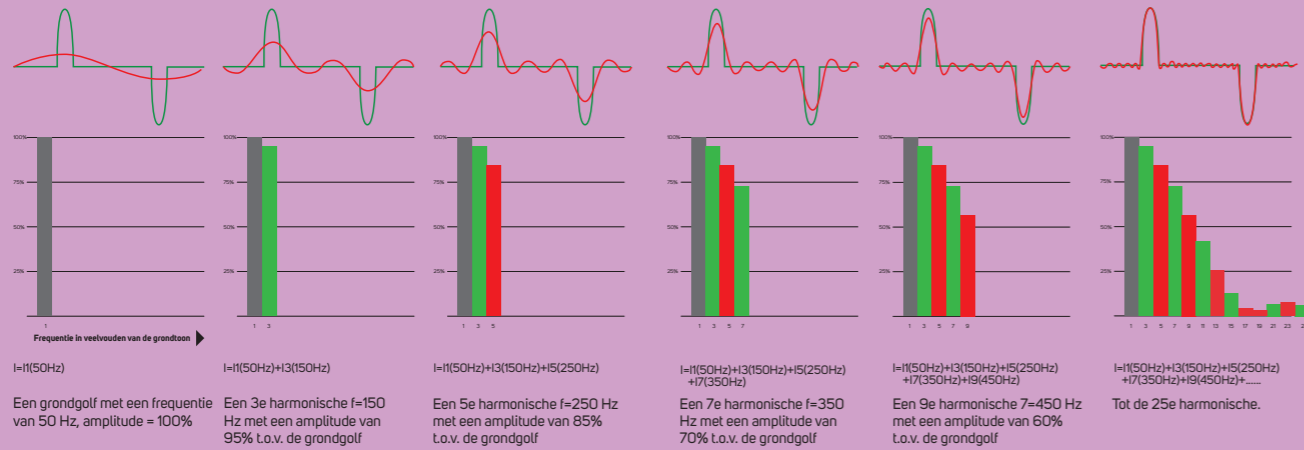
P_w = werkelijk vermogen = U * I * cos φ (Watt)

P_b = blind vermogen = U * I * sin φ (Var)

P_s = schijnbaar vermogen = U * I (VA)

Blokpuls

Normaal gesproken is de netspanning zuiver sinusvormig. Als hier een lineaire belasting op wordt aangesloten, is de stroom zuiver sinusvormig. Indien de sinus wordt vervormd, kan deze worden beschreven als de som van meerdere sinussen met een frequentie die gelijk is aan een veelvoud van de grondfrequentie (50 Hz): $IRMS = \sqrt{I^2(50Hz) + 95\% \cdot I^2(150Hz) + 85\% \cdot I^2(250Hz) + 70\% \cdot I^2(350Hz) + 60\% \cdot I^2(450Hz) + \dots}$



Dit kan leiden tot het te vroeg doorslaan van zekeringen of lekstroomschakelaars en andere verstoringen. Doordat hogere frequenties vooral aan het oppervlak van stroomdraden geleid worden (het skin-effect) worden kabels bijvoorbeeld warmer dan nodig is. Ook kunnen de harmonischen een storende werking hebben op andere apparatuur aan het net, zoals brom, geflikker, of een resonantie, waarbij bepaalde frequenties onevenredig versterkt worden.

"Er is eigenlijk geen slechte led meer te koop"

"Er is eigenlijk geen slechte led meer te koop, in de zin dat ze allemaal licht geven, dat de kleuren aan te sturen zijn, en een heleboel uren draaien", zegt een hoofd technische dienst uit Zuid-Holland. "Maar de impact van die armaturen op je arbeidsfactor (vermogensfactor) is enorm, en dat is sterk onderbelicht, een passende term in dit verband." Led-armaturen verschillen behoorlijk in de kwaliteit van de regelektronica, en daarmee in de hoeveelheid vervuiling die ze het lichtnet opsturen.

Bij de aanleg van een nieuw theater in een nieuw pand werd er een meting gedaan, vertelt het hoofd technische dienst. "Dat was een eis vanuit de gemeente. Toen bleek dat wij, als we alle installaties van het gebouw aanzetten, niet goed uitkomen wat betreft de harmonischen."

Het pand had verschillende installaties: de theatertechniek inclusief licht en geluid, maar ook de gebouwgebonden installaties zoals verlichting, klimaatbeheersing, stroomvoorziening voor de bar, et cetera. Daarnaast liggen er ook zonnepanelen op het dak, met regelapparatuur. Wanneer alle installaties tegelijk aangeschakeld worden, zoals natuurlijk vereist wanneer er een voorstelling plaatsvindt, blijken de normen voor de netbelasting en harmonischen niet gehaald te worden. Ook was er een risico op een resonantie.

Mogelijke oplossingen voor deze problemen zijn filters, die de harmonischen wegfilteren. Er bestaan twee typen filters: passieve filters en actieve filters.



Actief filter

Passieve filters halen de harmonischen met bepaalde frequenties uit het signaal met behulp van condensatoren.

Maar als dit niet voldoende is, zijn er actieve filters nodig: installaties die voortdurend de vorm van de wisselspanning- en stroom meten, en waar nodig elektrische stroom in het systeem injecteren om het signaal weer netjes sinus-vormig te maken en de arbeidsfactor op te hogen. Actieve filters zijn in het algemeen prijziger dan passieve, maar zijn dan ook opgewassen tegen ernstiger netvervuiling. "In ons geval moest er een filter geplaatst worden", vertelt het hoofd technische dienst, à raison van 45.000 euro.

Kortom: als theatertechnicus hoef je niet precies de inhoud van de normen voor harmonischen en de belasting van het lichtnet te weten, maar je moet wel weten dat ze bestaan. Laat je adviseren over welke normen van toepassing zijn en neem die mee in je eisenpakket. <<

HARMONISCHEN & NORMEN

EN50150 SPANNINGSKWALITEITNORM VOOR OPENBARE NETTEN VOOR LAAG- EN MIDDENSPIJNING

Deze norm beschrijft de minimale eisen waaraan de kwaliteit van de netspanning dient te voldoen op het overdrachtspunt van de netbeheerder naar de klant. De EN50160 is onderdeel van de netcode. De EN50160 beschrijft onder andere de maximale harmonische spanningsvervuiling tot de 25e orde.

EN61000-2-4 SPANNINGSKWALITEITSNORM VOOR NIET OPENBARE INDUSTRIËLE NETTEN TOT 35KV

Deze norm beschrijft de minimale eisen waaraan de kwaliteit van de netspanning dient te voldoen in het niet openbare (privé) domein. Deze norm beschrijft onder andere de maximale harmonische vervuiling tot de 50e orde en geeft bovendien aanbevelingen voor interharmonischen en harmonischen tot 9kHz. De installatieverantwoordelijke is ervoor verantwoordelijk dat de spanningskwaliteit aan deze norm voldoet.

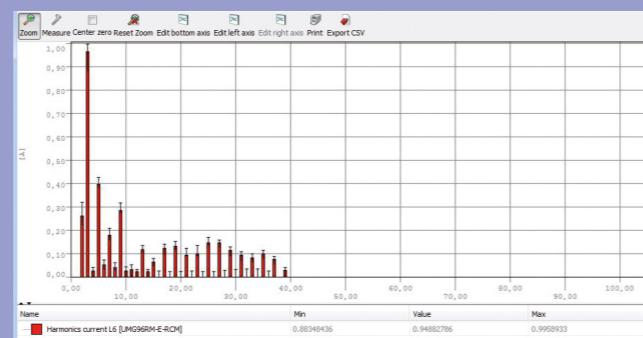
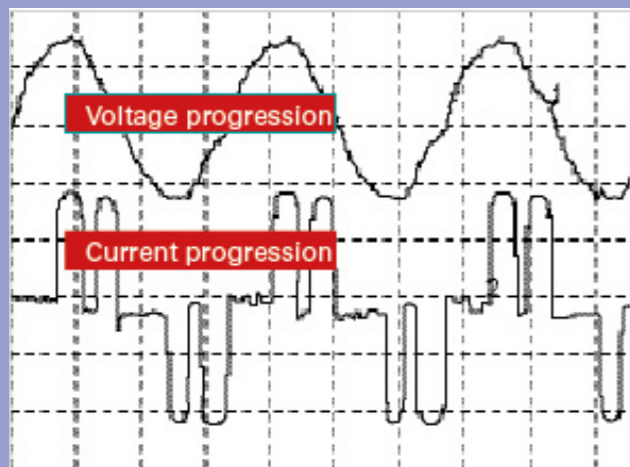
EN61000-2-2 SPANNINGSKWALITEITSNORM VOOR OPENBARE LAAGSPANNINGNETTEN

Deze norm komt voor een groot deel overeen met de EN50160 maar beschrijft de maximale harmonische spanningsvervuiling tot de 40e orde.

GridVis

GridVis is een energiemangementool van Janitza die data verzamelt van verschillende verbruiksmeters en power analysers. De software zet deze data om in begrijpelijke rapportages, visualisatie en alarmen.

Een voltage- en een stroomprofiel



Een analyse in harmonischen

