

OVER ELEKTRISCHE VERLICHTING, VAN EEN CENTRAAL-STATION UITGAANDE.

DOOR

Dr. E. VAN DER VEN.

Wanneer men een gegeven hoeveelheid elektrisch arbeidsvermogen verbruikende dit aanwendt om, bij voorbeeld, twee of meer gloeilampen te doen branden, dan zal, als alle andere omstandigheden gelijk zijn, het nuttig effect, dat men verkrijgt, niet veranderen door eene verandering in de rangschikking dier lampen. Men moge ze achter elkander plaatsen, zoodat alle kooldraden deelen zijn van ééne, onverdeelde leiding, of naast elkander, zoodat de stroom, zich aan deze zijde over alle kooldraden vertakkend aan gene weder tot één stroom samenvloeit, het ontwikkelde licht zal in beide gevallen even sterk zijn.

Immers, het in een stroombaan verbruikt elektrisch arbeidsvermogen is evenredig aan *twee* grootheden: aan de stroomsterkte, dat is aan de hoeveelheid elektriciteit, die in een bepaalden tijd door een doorsnede der leiding gaat en aan het spanningsverschil in hare uiteinden, dat vereischt wordt om die hoeveelheid in dien tijd daar door te drijven. En aangezien nu dit verschil toeneemt in reden van den weerstand, door de leiding geboden, zal bij grooten weerstand de factor *kracht*, bij kleinen de factor *hoeveelheid* tot het verbruikt elektrisch arbeidsvermogen meest kunnen bijdragen. De waarde van elk dezer factoren moge dus in de beide genoemde gevallen verschillen, zoolang hun product standvastig blijft zal dit ook het geval zijn met het nuttig effect, dat verkregen wordt.

Onderstel eens, om de gedachten te bepalen, dat ieder der beide gloeilampen den stroom een weerstand biedt van 60 ohms en dat er een stroomsterkte wordt vereischt van 0.75 ampères om een lamp

normaal te doen branden, dan bedraagt het daartoe noodige spannings-verschil, dat zelf aan stroomsterkte en weerstand evenredig is, 45 volts. Het voor het doen branden van ééne lamp onontbeerlijk arbeidsvermogen bedraagt dan $45 \times 0.75 = 33.75$ volt-ampères, het voor twee lampen vereischte 67.5. Plaatst men deze beiden achter elkander, dan zal het spanningsverschil, wegens het verdubbelen van den weerstand, 90 volts moeten bedragen, indien de stroom de vereischte sterkte van 0.75 amp. wil behouden. Plaatst men ze naast elkander, verdeelt zich dus de stroom, waar hij door de lampen gaat, in twee takken, die zich later weér vereenigen, dan zal wel in de leiding hare sterkte 1.5 amp. moeten zijn, maar daarentegen het spanningsverschil aan weerszijde van de lampen, wegens den tweemaal zoo kleinen weerstand, zijne waarde van 45 volts kunnen behouden. In beide gevallen zijn dan 67.5 volt-amp. verbruikt en is daardoor hetzelfde nuttig effect verkregen. .

Past men deze redeneering toe op een willekeurig aantal lampen, dan blijkt het, dat als deze *naast* elkander zijn geplaatst, het vereischte spannings-verschil aan de uiteinden hetzelfde blijft als voor ééne lamp, dat daarentegen bij eene plaatsing *achter* elkander, dit verschil in dezelfde verhouding als het aantal lampen moet toenemen. Met de stroomsterkte heeft juist het omgekeerde plaats; terwijl zij in het eerste geval in dezelfde reden moet toenemen als het aantal lampen, kan zij onveranderd blijven in het tweede.

Brengt men dus het eerste stelsel in toepassing, dan zal men, omgekeerd, er voor moeten zorgen, dat het spannings-verschil aan de electroden der dynamo onveranderd blijft, al vermindert ook tijdelijk het aantal brandende lampen. Het uitdooven van een lamp zal dan eenvoudig kunnen geschieden door in haar den stroom te verbreken. Bij standvastig spannings-verschil toch neemt daardoor de totale stroomsterkte in dezelfde verhouding af als waarin de totale weerstand toeneemt, zoodat de eerste steeds rechtstreeks evenredig blijft met het aantal nog brandende lampen. Daarentegen zal bij eene toepassing van het tweede stelsel de productie van de dynamo zoo zijn te regelen, dat de stroomsterkte in de gansche stroombaan door het blusschen van eenige lampen geen verandering ondergaat. Dit laatste zal dus moeten geschieden door een korte sluiting — een sluiting met geen noemenswaardigen weerstand — in plaats van de lamp te stellen, waardoor het spannings-verschil aan de electroden in dezelfde verhouding zal afnemen als de weerstand, dat is als het aantal brandende lampen.

Daar dan, bij doelmatige inrichting der productie van den stroom, in beide gevallen het in de stroombaan ontwikkeld elektrisch arbeidsvermogen aan de consumptie van licht in die baan evenredig blijft, zullen *in dit opzicht* beide stelsels gelijkelijk geschikt zijn om bij eene elektrische verlichting, van een centraal-station uitgaande, te worden toegepast.

Toch zou het verkeerd zijn hieruit alleen reeds te besluiten, dat dan ook in de praktijk de rangschikking van een groot aantal lampen geheel willekeurig is. Men zou dan uit het oog verliezen, dat het opvoeren van elk der beide factoren der elektrische energie in de praktijk zijne grenzen heeft.

Wanneer een stroom van buitengewoon hooge spanning gaat door de windingen van het anker en van de magneten eener dynamo, dan liggen er in elkanders onmiddellijke nabijheid punten van deze, waar het spannings-verschil zoo groot is, dat geene isolatie op den duur in staat is het overslaan van vonken, en daarmede de vernieling van het werktuig, te beletten. Is het dus reeds moeilijk stroomen van zoo groote spanning voort te brengen, dezulke in de maatschappij te bezigen is om dezelfde reden hoogst gevaarlijk. Wanneer door de hoofdleiding eener verlichting en door hare vertakkingen een stroom gaat van groote spanning, dan is, bij het minste gebrek aan de isoleerende bekleeding, de verbruiker niet veilig meer; bij aanraking van twee blanke plaatsen kan dan het spannings-verschil daar zoo groot zijn, dat er door het lichaam heen een korte sluiting van den stroom plaats heeft, die het leven in gevaar brengt.

Vloeit daarentegen een groote hoeveelheid elektriciteit met gering spannings-verschil door de geleiding, dan bestaat dit bezwaar niet meer. Toch is men ook in dit geval aan een grens gebonden, die gesteld wordt door de hoeveelheid warmte in de leiding en in de windingen van magneten en anker opgewekt. Aangezien deze hoeveelheid aan de tweede macht der stroomsterkte evenredig is, zal zij spoedig kunnen stijgen tot een bedrag, waarbij, zooal niet de isolatie dier windingen vernield wordt, dan toch in de leiding een te groot deel van het aangewend arbeidsvermogen in warmte, in plaats van in elektriciteit, wordt omgezet. Alleen daarin, dat die warmte-hoeveelheid evenredig is aan den weerstand in de leiding, bezit men een middel dit stijgen tegen te gaan, zoodat men bij het aanwenden van stroomen van geringe spanning en groote sterkte aan de draden een veel grooter doorsnede zal moeten geven dan in het tegenovergesteld geval.

Toch heeft men van den aanvang af aan het laatstgenoemd stelsel bij elke verlichting op groote schaal boven het eerste de voorkeur gegeven, al mochten dan ook, door de toepassing daarvan, de kosten der geleiding op die van den ganschen aanleg zelfs zwaarder drukken dan alleen ter voorkoming van te groote warmte-ontwikkeling noodig zijn zou. En dat dit inderdaad het geval is, zal ons blijken bij eene nadere beschouwing van de wijze waarop daartoe — o. a. door EDISON en door SIEMENS en HALSKE —, van een centraal-station uitgaande, de stroom moet worden verdeeld over de verschillende kwartieren, die men verlichten wil.

Wil men zich daarbij bedienen van stroomen van zeer geringe spanning, dan moeten even als in elk kwartier de lampen, ook alle kwartieren te zamen *naast*, niet *achter* elkander in de leiding worden gebracht.

Wat wij hiermede bedoelen, is dit. Men zou, van het centraal-station uitgaande, één kabel kunnen brengen tot een naastbij gelegen kwartier, daar de stroom kunnen verdeelen in zooveel takken als er lampen moeten gevoed worden, die takken weder kunnen vereenigen en met de hoofdleiding het tweede kwartier opzoeken, en zoo, langs alle kwartieren met één kabel voortgaande, weder tot het station kunnen terugkeeren. In dit geval zouden wel al de lampen in hetzelfde kwartier naast elkander, maar de kwartieren afzonderlijk achter elkander in de stroombaan liggen. Waren er zoo zes kwartieren, en in ieder kwartier 100 lampen, ieder van 60 ohms weerstand, dan zou de weerstand — als wij die in de hoofdleiding en in de verbinding der lampen met de hoofdleiding buiten rekening laten — $6 \times \frac{60}{100} = 3.6$ ohm bedragen. De stroomsterkte in de hoofdleiding zou dan, elke lamp weder op 0.75 amp. stellende, 75 amp. en het noodige spanningsverschil aan de uiteinden $75 \times 3.6 = 270$ volts moeten zijn.

Zulk een gemengd stelsel van rangschikking der lampen is echter in de praktijk reeds daarom niet aan te bevelen, dat het aanleiding geeft tot eene exploitatie, die met vermindering in de consumptie geen rekening kan houden. Daartoe toch zou, om der wille van de *achter* elkander geplaatste kwartieren, door den kabel een stroom moeten gaan van standvastige sterkte, terwijl om der wille van de in elk kwartier *naast* elkander staande lampen, het spanningsverschil aan de elektroden der dynamo standvastig zou moeten blijven. Daar het nu onmogelijk is aan deze beide voorwaarden tegelijk te voldoen, is het eenige wat er overblijft, dat men trachte in den kabel alles onveranderd te laten, ook als er lampen worden uitgebluscht. En daar dit

wederom niet anders kan geschieden, dan door voor den weerstand van elke buiten gebruik gestelde lamp een gelijken, metallieken weerstand in de plaats te stellen, zal er te haren behoefte in den keten steeds hetzelfde arbeidsvermogen worden verbruikt, of zij brande of niet.

Wenscht men om al deze redenen al de kwartieren naast elkander in de stroombaan te plaatsen, dan zal men langs allen een dubbele hoofdleiding moeten leggen, wier eene tak met de positieve, de andere met de negatieve electrode der dynamo is verbonden. Op de hoogte van het eerste kwartier gekomen, geleidt men daarheen den stroom door twee draden, waarvan de eene met den rechter, de andere met den linker tak der hoofdleiding is verbonden en plaatst in den afgeleiden stroom alle lampen naast elkander. Handelt men zoo voor alle kwartieren, dan staan zoowel deze als alle lampen in elk van haar naast elkander in de stroombaan. Letten wij nu weder uitsluitend op den weerstand der lampen zelve, hetgeen op hetzelfde neerkomt als dat wij al de zes vertakkingen op dezelfde punten uit de dubbele hoofdleiding afleidde en in ieder van haar 100 lampen naast elkander plaatsten. De 600 lampen in de zes kwartieren bieden dan niet meer weerstand dan wanneer zij allen in hetzelfde kwartier naast elkander in de stroombaan stonden. En hoewel wij nu, wanneer allen branden, een stroomsterkte van $600 \times 0.75 = 450$ amp. noodig hebben, zal toch het standvastig spanningsverschil aan de electroden niet meer dan $450 \times 0.1 = 45$ volts behoeven te bedragen. Maar nu is het tevens duidelijk, dat dit groote voordeel dadelijk wegvalt als de weerstand in de hoofdleiding, die wij gelijk *nul* onderstelden, niet zooveel mogelijk daartoe nadert; dat dus die, toch reeds dubbele kabel eene zeer groote doorsnede zal moeten hebben.

Daarenboven eischt deze stroomverdeeling, dat de kabel dikker wordt naarmate hij verder van het station ligt; zijne doorsnede zal bij het passeeren van elk kwartier grooter moeten worden genomen.

Om dit duidelijk te maken willen wij wederom een voorbeeld stellen, daarbij eenvoudigheidshalve aannemende, dat door een centraal-station twee kwartieren moeten bediend worden, die in dezelfde richting op afstanden van dat station liggen, welke 100 meter verschillen. De punten dus, waar uit de beide deelen van den kabel de vertakkingen voor de beide kwartieren moeten worden afgeleid, liggen op dien afstand van elkander. Onderstellen wij nu verder, dat in beiden een ongeveer gelijk aantal lampen moet worden gevoed, dan moeten beide afgeleide stroomen ongeveer even sterk zijn; van het punt gerekend

waar de eerste wordt afgeleid, zullen daartoe de weerstanden in beiden ongeveer gelijk moeten zijn. Volkomen gelijk zouden zij slechts dan kunnen wezen, als de beide kwartieren op dezelfde hoogte van de hoofdleiding lagen, bij voorbeeld het eene rechts, het andere links van haar. Wil men ze nu ongeveer gelijk maken, wil men het dus zóó inrichten, dat in beide kwartieren de lampen even helder branden en niet die in het tweede zwakker dan die in het eerste, dan zal men een van beiden moeten doen. Men zal of den weerstand in de 100 meter langen, dubbelen kabel, die beide kwartieren verbindt, zoo klein mogelijk moeten maken, of in de leiding door het eerste kwartier den weerstand zooveel grooter dan in die door het tweede, dat het verschil opweegt tegen den weerstand in die 200 meters kabel. En aangezien nu het groote voordeel van dit stelsel van stroomverdeeling, de veiligheid van den verbruiker, door toepassing van dezen maatregel ten deele zou verloren gaan, moet men wel zijn toevlucht nemen tot de toepassing van gene.

Wat nu geldt als slechts twee kwartieren moeten verlicht worden, geldt in hoogere mate wanneer er drie of meer in dezelfde richting zijn gelegen; koper dus, veel koper, kan alleen aan het bezwaar tegemoet komen; en koper is duur.

Geen wonder dan ook dat men heeft gezonnen op middelen, die dienen konden om, ook zonder daartoe de kosten van de leiding hoog op te drijven, zich te verzekeren van de voordeelen aan stroommen van geringe spanning verbonden. En een zoodanig middel heeft men gevonden in de zoogenaamde *transformatoren*.

Wat een transformator is, hoe die werkt en hoe door bemiddeling van transformatoren de stroom wordt verdeeld, werd in dit tijdschrift reeds vroeger uiteengezet¹. Hier willen wij er slechts aan herinneren, dat zoodanige toestel zijn naam daaraan ontleent, dat men door zijn bemiddeling stroommen van groote spanning en geringe sterkte kan omzetten in stroommen van tegenovergesteld karakter. In hoofdzaak dus een klos van RUHMKORFF, maar in omgekeerden zin gebruikt; een klos waarin de primaire draad een kleine, de secundaire een groote doorsnede heeft. En, aangezien dus de omzetting alleen kan plaats hebben door in den primairen draad met snelle opeenvolging een stroom van groote spanning of te verbreken en te herstellen, of om te keeren, zoo is, bij het gebruik van transformatoren, de wissel-

¹ Jaargang 1887, blz. 403 en vervolgens.

stroom-machine — d. i. een zoodanige, die met zeer korte tusschenpoelen stroomen geeft van tegenovergesteld teeken — als het ware de tot het voortbrengen van den stroom aangewezen. En zij is dit daarom te meer, omdat een zoodanige machine eerder in staat is aan de ontwikkeling van een stroom met sterke spanning weerstand te bieden dan eene, die een standvastig gerichten stroom levert.

Schoon onder een anderen naam — die van Volta-inductoren — zijn toestellen, van hetzelfde beginsel uitgaande en tot hetzelfde doel vervaardigd, reeds gedurende eenige jaren bekend. In zeer speciale gevallen werden zij dan ook daartoe aangewend; maar het is eerst sedert transformatoren van veel doelmatiger inrichting, door hen die — door aankoop van de octrooien der uitvinders — uitsluitend gerechtigd zijn ze te vervaardigen en te leveren, bij elektrische verlichting op groote schaal in het algemeen werden aanbevolen, dat hunne meerdere of mindere waarde aan de kritiek, vooral van op dit gebied concurreerende maatschappijen, is onderworpen.

Dat op de kosten van aanleg de prijs van de leiding veel minder zwaar drukt als men bij de stroomverdeeling transformatoren aanwendt, dan wanneer men dien verdeelt op de zoeven uiteengezette wijze, kan niet worden tegengesproken. De dubbele hoofdleiding, waarin de verschillende transformatoren naast elkander worden geplaatst, kan dan een veel kleinere doorsnede hebben.

Toch zou men zich het verschil te groot voorstellen, indien men de prijzen der kabels eenvoudig evenredig stelde met die hunner koperen kernen. Van den prijs van een kabel maakt het materiaal en het arbeidsloon, aan zijne isolatie besteed, een groot deel uit en dit wast in die verhouding niet; zoodat, wanneer de doorsnede van de koperkern tot 5 pct. van hare oorspronkelijke waarde vermindert, de prijs van den dunneren kabel toch nog 40 pct. bedraagt van die des dikkeren. Alleen dus wanneer een blanke draad kan worden aangewend, die, buiten het bereik van het publiek, als onze telegraafdraden, wordt aangebracht, nemen de verschillen de bovengenoemde proportiën aan; zoodat men zeggen kan, dat overal, waar men genoodzaakt is het station op verren afstand buiten het verlichtingsgebied te plaatsen, en vooral daar, waar op grooten afstand arbeidsvermogen als om niet — bijv. door een waterval — wordt aangeboden, het gebruik van transformatoren als met den vinger is aangewezen. Maar afgezien nog daarvan, dat eene geleiding boven den grond onze steden zou ontsieren en hare bevolking, wegens de buitengewoon hooge spanning van den

daardoor gebrachten stroom, aan onmiddellijk gevaar zou blootstellen, is in blanke, door de lucht gespannen, draden de stroom onderworpen aan den invloed van de atmospherische elektriciteit, wier storende werking op telegraafverbindingen ieder genoeg kent, om niet te willen dat hij daaraan ook wat de verlichting van huis en werkplaats betreft zou zijn blootgesteld. In groote steden bovenal, maar toch eigenlijk overal waar men zich voor storende invloeden zooveel mogelijk wenscht te vrijwaren, zijn geïsoleerde, in den grond geborgen kabels niet te vermijden. Waarbij dan ook niet moet worden vergeten, dat de kosten van aanleg niet met de volle uitwinst op die van den kabel worden verminderd. Immers, de transformatoren krijgt men ook niet om niet; en deze toestellen, waarin door de windingen van den primairen draad een stroom gaat van zeer groote spanning, zijn blootgesteld aan dezelfde ongevallen, als waarvan wij boven zeiden, dat zij steeds den levensduur van een dynamo bedreigen.

Een tweede vraag is deze, in hoeverre het bedrag van de jaarlijksche uitwinst op rente en amortisatie van de kosten van aanleg, door het gebruik van transformatoren verkregen, door de exploitatie-kosten wordt vermeerderd of verminderd.

Bij elke omzetting van arbeidsvermogen in anderen vorm, gaat een deel van het oorspronkelijk beschikbare verloren. Dat is ook hier het geval, waar het geldt een elektrisch arbeidsvermogen, waarin de factor *kracht* groot en de factor *hoeveelheid* klein is, om te zetten in een, waarin het tegenovergestelde geldt. Volgens betrouwbare onderzoekingen heeft men het in dit opzicht zoover gebracht, dat bij de transformatoren van de nieuwste constructie — ZIPERNOWSKY-DERÉ — het product van spanning en stroomsterkte aan de electrodën van den secundairen draad slechts ongeveer 5 pct. kleiner is dan aan die van den primairen. Waaruit men dan gewoonlijk het besluit trekt, dat ook bij de exploitatie 5 pct. van het in de primaire draden der transformatoren ontwikkeld arbeids-vermogen verloren gaat. Toch is op deze conclusie af te dingen. Dit verlies immers is grootendeels daaraan toe te schrijven, dat eerst bij een bepaald spanningsverschil aan de elektroden van den primairen draad een stroom in den secundairen ontstaat. Houdt men dit in het oog, dan hebben de genoemde procenten voor datzelfde deel betrekking op het arbeidsvermogen, dat in de gansche primaire leiding is ontwikkeld, op het oogenblik dat de transformatoren normaal werken. Laat men — als in EDISON's stelsel van stroomverdeeling — den stroom onmiddellijk door de kooldraden der lampen gaan, dan

ontstaat dit verlies niet; het arbeidsvermogen, dat bij de transformatoren wordt verbruikt eer hunne werking op de lampen aanvangt. — aan hunne *hysteresis* — dient dan onmiddellijk ter verwarming van de draden, die men wil doen gloeien.

Waarbij dan nog moet worden opgemerkt, dat van het in den primairen draad verbruikt arbeidsvermogen slechts dan 95 pct. in de secundaire stroombaan beschikbaar wordt, als daarin al de lampen branden waarop de constructie van den transformator berekend is. Naarmate de consumtie in die stroombaan afneemt, wordt dit verlies grooter; zoodat bij eene ten dienste van het publiek ingerichte, van een centraal-station uitgaande verlichting, die met het zoo weinig gelijktijdig ter ruste gaan der consumenten rekening houden moet, het verlies in den laten avond zeker grooter is.

Eene keuze dus tusschen beide stelsels zal in elk bijzonder geval gegrond moeten zijn op de overweging, in hoeverre de jaarlijksche uitwinst op rente en amortisatie van het aanleg-kapitaal, door het gebruik van transformatoren verkregen, wordt opgewogen of overtroffen door het meerdere verlies, daardoor in hetzelfde tijdperk geleden wegens minder voordeelige omzetting van het aangewend mechanisch arbeidsvermogen in licht.

Ten slotte nog eene opmerking. Bij onze beschouwingen werd steeds op den voorgrond gesteld, dat de stroomverdeeling uitsluitend dienstbaar zou zijn ter *verlichting* van een eenigzins uitgestrekt gebied; en met het oog hierop alleen stelden wij de voor- en nadeelen van de beide stelsels tegenover elkander. Stelt men echter hogere eischen, moet die verdeeling der maatschappij nog op andere wijze ten goede komen, bij voorbeeld door het overbrengen van arbeidsvermogen naar de werkplaatsen der kleine industrie of door het leveren van stroom voor de galvanoplastiek, dan kan een stelsel, waarbij van transformatoren wordt gebruik gemaakt, eenvoudig daarom niet worden toegepast, dat het een stroom levert die voortdurend van teeken wisselt. Wat dan in het eene oogenblik door zulk een stroom wordt voortgebracht, wordt in het daarop volgende door hem vernietigd; alleen waar het doen gloeien van draden het hoofddoel is, blijft het effect onveranderd, de stroom moge voortdurend in dezelfde richting of bij snelle opeenvolging in tegenovergestelde richting door die draden worden gedreven.