

DE VERDEELING VAN DEN ELEKTRISCHEN STROOM

DOOR

MIDDEL VAN TRANSFORMATOREN.

DOOR

P. VAN CAPPELLE.

Het elektrisch verlichten van steden is een vraagstuk, dat in den laatsten tijd hoe langer hoe meer op den voorgrond treedt. Zoowel de elektro-dynamo-machines als de boog- en gloeilampen hebben een

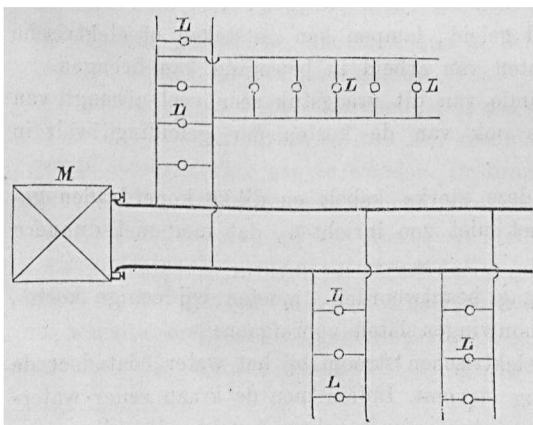


Fig. 1.

zoodanigen graad van volmaaktheid verkregen, dat er hoegenaamd geene technische bezwaren meer bestaan, om het elektrisch licht van een centraalpunt uit aan de consumenten te leveren; slechts redenen van finanti-eelen aard kunnen de algemeene invoering van het elektrisch licht als stadverlichting nog

in den weg staan. Een groote vooruitgang op dit gebied is de uitvinding der zoogenaamde transformatoren of secundaire generatoren,

wier doel en werking in het volgend opstel mogen worden verklaard.

Het systeem van EDISON, die het eerst bovengenoemd vraagstuk praktisch oploste, bestaat, zooals bekend is, daarin, dat de elektrische stroom door een geheel net van geleidingen, dat onder het plaveisel der straten zorgvuldig is aangebracht, naar de verschillende huizen wordt aangevoerd, op de wijze zooals in fig. 1 is aangegeven. De elektrische stroom door de dynamo-machine (M) opgewekt, wordt door zeer dikke kabels in dit dradennet geleid en vertakt zich zoodoende in de verschillende straten, in de huizen en eindelijk in de lampen. De kosten van deze onderaardsche geleidingen zijn zeer aanzienlijk en maken een der voornaamste posten uit op de begrooting van een elektrisch centraalstation. Vooral wanneer men gedwongen is het centraalstation op eenigen afstand van het te verlichten stadskwartier aan te brengen, kunnen deze kosten zoo groot zijn, dat men onmogelijk met andere lichtsoorten kan concurreren, hoe groot de voordelen van het elektrisch licht boven andere lichtbronnen anders ook mogen zijn.

Hetzelfde geval doet zich dikwijls voor, wanneer men natuurkrachten aan het algemeen of particulier belang wil dienstbaar maken. De watervallen b. v. vertegenwoordigen eene groote hoeveelheid arbeid, die nutteloos voor den mensch verloren gaat. Bevindt zich een waterval in de nabijheid der stad, dan kan men door het vallende water turbines in beweging brengen, die weder dynamo-machines drijven, en zoo doende een elektrischen stroom verkrijgen, die, door kabels of koperdraden in de stad geleid, lampen kan ontsteken of elektrische motoren tot het verrichten van arbeid in beweging kan brengen.

Dat hierbij de economie van dit vraagstuk zeer veel afhangt van het aanlegkapitaal, dus ook van de kosten der geleiding, valt in het oog.

Is men echter aan deze sterke kabels en dikke koperdraden gebonden en kan men het niet zoo inrichten, dat men met dunnere geleidingen volstaat?

Voordat wij deze vraag beantwoorden, moeten wij eenige korte, meer theoretische, beschouwingen laten voorafgaan.

Wij vergelijken den elektrischen stroom bij het water, dat door de buizen eener waterleiding stroomt. Indien men de kraan eener waterleiding openzet, zal het water er met zekere kracht uitspuiten tengevolge van de drukking waaronder het verkeert. Deze drukking is het gevolg van het hoogteverschil tusschen de kraan en het reservoir,

waarin het duin- of rivierwater wordt opgepompt. Deze waterstraal is in staat arbeid te verrichten; zoo zag ik b. v. in Duitschland dikwijls zaagmachines gedreven door kleine watermotoren, die aan de waterleiding werden aangesloten en waarmede men dan den voorraad hout, dien men 's winters als brandstof noodig had, in blokjes zaagde. De arbeid nu, dien zoo'n waterstraal kan verrichten, is afhankelijk van de drukking en van de hoeveelheid water, die uitstroomt; hoe grooter de drukking is en hoe meer water er in een bepaald tijdsverloop uitstroomt, des te meer arbeid zal hij kunnen verrichten.

Dezelfde rol, die in dit geval de drukking speelt, vervult bij den elektrischen stroom de spanning, terwijl de hoeveelheid water, die in een bepaalden tijd uitstroomt met de stroomsterkte analoog is. Hoe sterker dus de spanning en hoe grooter de stroomsterkte is, des te grooter de arbeid zal zijn, dien een elektrische stroom kan verrichten.

Hetzij men den elektrischen stroom gebruikt tot het verrichten van mechanischen arbeid (overbrenging van kracht), hetzij men er elektrische lampen mede ontsteekt of chemische processen door in het leven roept (galvanoplastiek), steeds zal de arbeid, dien deze elektrische stroom kan verrichten, evenredig zijn aan het produkt van spanning en stroomsterkte. Om eene bepaalde hoeveelheid arbeid te verkrijgen kan men nu aan de beide factoren van dit produkt verschillende waarden geven. Heeft men b. v. een stroom van 100 Volts¹ en 20 Ampères en een anderen stroom van 20 Volts en 100 Ampères, dan zal in beide gevallen het produkt 2000 Volt-Ampères bedragen, en zullen deze elektrische stroomen dus in beide gevallen dezelfde hoeveelheid arbeid kunnen verrichten.

De vraag is nu of het voordeeliger is een stroom van hooge spanning en geringe stroomsterkte of wel een zoodanige van lage spanning en groote stroomsterkte aan te wenden. De beantwoording van deze vraag staat in het nauwste verband met het vraagstuk van de afmetingen der geleidingen, dat wij ons hierboven stelden.

Een elektrische stroom verwarmt den geleider waardoor hij stroomt; m. a. w. een gedeelte van den arbeid, dien hij kan verrichten, wordt in warmte omgezet en gaat dus voor ons verloren. De hoeveelheid warmte, die wordt ontwikkeld, hangt af van de sterkte van den

¹ De eenheid van spanning noemt men Volt, die van stroomsterkte Ampère en die van weerstand Ohm. Zoodat in een geleider van 1 Ohm weerstand bij een spanning van 1 Volt de stroomsterkte 1 Ampère bedraagt.

elektrischen stroom en van den weerstand van den geleider: bij 2maal grootere stroomsterkte is de ontwikkelde warmte 4maal grooter, terwijl bij 2maal grooteren weerstand deze warmte 2maal grooter is.

De weerstand der geleiding is afhankelijk van de lengte en de dikte der kabels of koperdraden. Hoe dikker de geleiding is hoe minder weerstand zij den elektrischen stroom biedt, en hoe geringer dus ook de hoeveelheid warmte zal zijn, die door den elektrischen stroom in haar wordt ontwikkeld. Bij sterke stroomen moet men dus dikke geleidingen aanwenden, daar er anders te veel beschikbare arbeid nutteloos voor ons verloren zou gaan, en bovendien de temperatuur der koperdraden zoodanig zou kunnen stijgen, dat er gevaar ontstond voor de omgeving.

Uit een economisch standpunt is het dus wenschelijk stroomen aan te wenden van hooge spanning en geringe stroomsterkte, daar men dan met betrekkelijk dunne geleidingen kan volstaan, hetgeen bij eenigszins groote inrichtingen veel gewicht in de schaal legt.

Het streven om de aan te wenden stroomsterkte gering te maken, openbaart zich ook bij de vervaardiging der elektrische gloeilampen. Terwijl de vroegere Edisonsche gloeilampen van 16 kaarsen, bij circa 100 Volt spanning, een stroom van 0.75 Ampère vereischten, maakt men sedert het afgelopen jaar lampjes, die slechts een stroom van 0.56 Ampère noodig hebben. Bij eene inrichting van 2000 gloeilampen maakt dit reeds een verschil uit van 380 Ampères.

Wil men dus de elektriciteit op grooten afstand voortleiden, dan zal men, om economisch te werk te gaan, dynamo-machines moeten aanwenden, die stroomen leveren van zeer hooge spanning. Natuurlijk kan men hierin weder niet te ver gaan; in de eerste plaats zou dan het levensgevaar te groot worden en ten tweede zou men ook moeilijkheid hebben met de isolatie der geleidingen. Spanningen van 2000 Volt heeft men reeds aangewend; dit is echter wel het maximum waartoe men gaan kan.

Men kan de elektrische stroomen van zoo hooge spanning niet dadelijk gebruiken voor verlichting. De gloeilampjes vereischen, zooals wij zagen, slechts 100 Volt en bovendien moet alle gevaar, dat door het omgaan van leeken met zoo hoog gespannen stroomen zou ontstaan, worden vermeden.

Het zijn nu de secundaire generatoren of transformatoren, die de taak vervullen, op de plaats waar men de elektriciteit voor een of ander doeleinde gebruiken wil, b. v. voor verlichting, deze stroomen van

hooge spanning te veranderen (transformeeren) in stroomen van lage spanning en grootere stroomsterkte.

Over de toepassing dezer transformatoren zullen wij later met een enkel woord spreken; gaan wij eerst eens na, waarop hunne werking berust.

Het omgekeerde vraagstuk wordt opgelost door den welbekenden inductor van RUHKORF; door middel van dit instrument toch verkrijgt men, bij aanwending van slechts weinige galvanische elementen, zeer aanmerkelijke spanningen.

In het opstel getiteld »de geschiedenis van het elektrisch licht'', voorkomende in het Januari-nummer van dit tijdschrift, maakten wij kennis met de onderzoekingen van FARADAY en AMPÈRE omtrent het ontstaan der inductie-stroomen. In den inductor van RUHKORF en in de transformatoren wordt het resultaat dezer onderzoekingen toegepast.

Eerstgenoemd toestel bestaat uit een bundel ijzerdraden, waaromheen twee verschillende geïsoleerde koperdraden zijn gewikkeld. De eerste (primaire) draad is betrekkelijk dik en heeft slechts weinig windingen, terwijl de andere (secundaire) zeer dun is, doch uit zeer vele windingen bestaat. De stroom van de galvanische batterij gaat door den primairen draad en wordt door eene bijzondere inrichting automatisch vele malen in de minuut beurtelings gesloten en weder verbroken, ongeveer op de wijze zooals dit bij de elektrische schellen geschiedt. Door dit beurtelings sluiten en verbreken van den stroom in den primairen draad, wordt er een stroom in den secundairen draad geïnduceerd, en bovendien wordt hierdoor de bundel ijzerdraden evenveel malen in de minuut magnetisch en weder onmagnetisch, hetgeen ook weder een geïnduceerden stroom in den secundairen draad ten gevolge heeft, die eerstgenoemden versterkt. Deze inductie-stroom heeft een zeer hooge spanning, zoodat op deze wijze een stroom van geringe spanning wordt veranderd in een zoodanigen van hooge spanning; juist het omgekeerde dus van de taak, die de transformatoren moeten vervullen.

GAULARD en GIBBS waren de eersten, die het vraagstuk op eenigszins bruikbare wijze oplosten. De secundaire generatoren, die zij construeerden, bestaan uit holle cylindere; waarop twee verschillende koperdraden, de primaire en secundaire, gewikkeld zijn. Ieder apparaat bestaat uit 4 zulke toestellen. Door middel van commutatoeren kunnen deze 4 zuilen op verschillende wijzen met elkander worden gecombineerd, zoodat men naar willekeur een, twee, drie of alle vier zuilen in de keten kan schakelen. Zooals men ziet, is uit deze transformatoren

het ijzer verbannen en de inductie-stroom in den secundairen draad uitsluitend verkregen door stroomveranderingen in de primaire geleiding; dit nu is een fout, want het ijzer speelt bij de inductie-apparaten een gewichtige rol.

De stroom, dien men door den primairen draad zendt, wordt niet opgewekt door eene gewone dynamo-machine, die stroomen levert van steeds dezelfde richting, doch door zoogenaamde wisselstroom-machines, waarbij de stroomrichting vele malen in de seconde, circa 200 malen, verandert. Door deze snelle wisseling der stroomrichting in den primairen draad, wordt in de secundaire geleiding een stroom geïnduceerd en deze inductie-stroom wordt naar de lampen geleid.

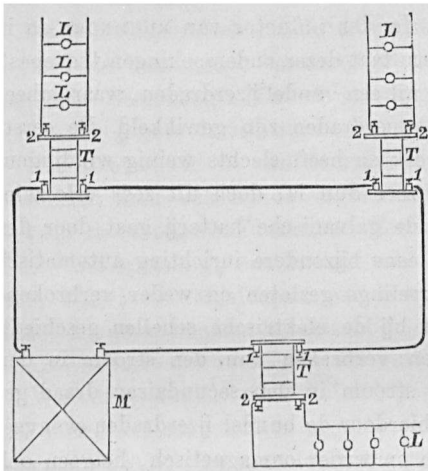


Fig. 2.

Ofschoon dit systeem reeds toegepast is, heeft het toch verschillende nadeelen, die het voor eene centrale verlichting minder bruikbaar maken. Fig. 2 geeft eene voorstelling van de wijze, waarop deze transformatoren worden toegepast. M is de dynamo-machine, die den primairen stroom levert, T zijn de transformatoren, 1 de klemschroeven waarin de einden van den primairen draad zijn geklemd, terwijl de secundaire draad in 2 eindigt, L zijn de gloeilampen.

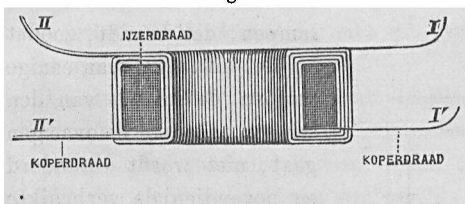
Zooals men ziet, bestaat de

geheele primaire geleiding uit een doorlopenden draad, die van de dynamo-machine uitgaat en, na de verschillende toestellen te hebben doorlopen, weder tot haar terugkeert. In de geheele keten, waarin de primaire leidingen der verschillende transformatoren zijn gelegen, heerscht dus overal dezelfde constante stroomsterkte.

Dooft men nu in een secundaire stroombaan eenige lampen uit, dan wordt de stroomsterkte voor de overige lampjes te groot, zoodat deze gevaar zouden loopen te breken en in ieder geval hun levensduur daardoor zou worden verkort. Wilde men nu deze stroomsterkte regelen door den primairen stroom te verzwakken, dan zou dit natuurlijk ook invloed hebben op de overige secundaire stroombanen, zoodat

daarin de lampen donkerder zouden branden. Men kan de uitgedoofde lampen ook vervangen door een weerstand bestaande uit koper- of ijzerdraden, zoodat men daardoor de stroomsterkte in de secundaire stroombaan, waarin de lampen zijn uitgedoofd, direkt zou regelen. Dit zou echter verlies zijn, daar een deel van den stroom verbruikt zou worden tot het verwarmen dezer weerstanden en dus nutteloos voor ons verloren zou gaan. Dit systeem voldoet dus niet aan de eischen, die men billijkerwijze aan een elektrisch centraalstation kan stellen: nl. 1^e dat de consumenten geheel onafhankelijk van elkander zijn, dat dus het aansteken en uitdooven van lampen geen invloed heeft op de werking der overigen, en 2^e dat het krachtverbruik evenredig is aan het aantal lampen, dat brandt.

Fig. 3.



Zeer goede uitkomsten heeft men verkregen met het systeem Zipernowsky-Deri, ingenieurs bij de firma GANZEN & C^o. te Buda-Pest, dat dan ook in den laatsten tijd de aandacht der elektro-technici in hooge mate wekt.

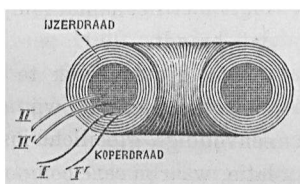


Fig. 4.

De transformator van ZIPERNOWSKY-DERI is ringvormig. Hij bestaat uit een bundel ijzerdraden, waarom heen weder de primaire- en secundaire leidingen zijn aangebracht (fig. 3). Bij de nieuwe constructie

hebben ijzer- en koperdraad van plaats verwisseld, zoodat het ijzer als een beschuttende mantel het koper omgeeft (fig. 4). Door den primairen draad wordt de stroom afkomstig van een wisselstroom-machine geleid; door deze stroomwisselingen en door het beurtelings magnetisch en niet magnetisch worden van het ijzer, ontstaat in den secundairen draad een inductie-stroom, die weder de lampen in deze secundaire stroombaan kan spijzen, mechanische arbeid kan verrichten enz.

Het groote verschil tusschen dit systeem en dat van GAULARD en GIBBS bestaat in de wijze, waarop deze transformatoren in de keten worden geschakeld. Terwijl GAULARD en GIBBS, zooals wij zagen, in den primairen draad van alle transformatoren eene constante stroomsterkte

trachten te behouden, waardoor de besproken nadeelen van dit systeem ontstaan, streven ZIPERNOWSKY-DERI er naar, de spanning aan de einden van den primairen draad constant te houden. Door eene bijzondere inrichting zijn zij in staat aan de poolklemmen van de wisselstroom-machine steeds dezelfde spanning te behouden, en door de wijze, waarop de primaire draad aan de hoofdleiding, die van de machine komt, is verbonden (hij is, zooals men dit noemt, parallel met de hoofdleiding geschakeld) (fig. 5) zal ook aan de primaire klemschroeven van de transformatoren steeds dezelfde spanning heerschen. Door

Fig. 5.

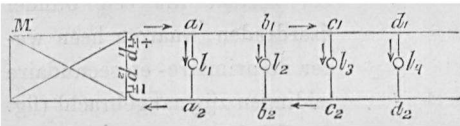
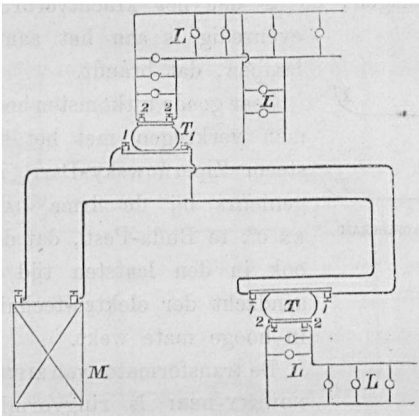


Fig. 6.

deze constante spanning nu regelt de stroomsterkte in een secundaire stroombaan zich steeds naar het aantal lampen, dat brandt, zoodat bij het uitdooven van eenige lampen de sterkte van den stroom, die door de overigen gaat, niet wordt veranderd en bovendien de verbruikte arbeid ongeveer evenredig blijft met het aantal lampen, dat brandt.

Om dit duidelijk te maken beschouwen wij eene eenvoudige gloeilicht-installatie, waarbij eene compound dynamo-machine den elektrischen stroom levert. Deze compound dynamo-machines

geven stroomden, die bij veranderden weerstand in de buitenleiding steeds dezelfde spanning hebben. Indien er aan de poolklemmen ($p_1 p_2$) der dynamo-machine steeds dezelfde spanning heerscht, hoeveel lampen er ook branden, zal dit ook het geval zijn tusschen $a_1 a_2$, $b_1 b_2$ enz. en daar de weerstand *tusschen deze punten* onveranderd blijft, zal ook de sterkte van den stroom, die door de lampjes, l_1 en l_2 enz. gaat, constant zijn; want volgens de bekende wet van OHM is voor elk gedeelte van de keten steeds

$$\text{stroomsterkte} = \frac{\text{spanning}}{\text{weerstand}};$$

blijven dus zoowel spanning als weerstand constant, dan zal dit noodzakelijk ook met de stroomsterkte het geval moeten zijn.

Zeer vernuftig is de wijze, waarop ZIPERNOWSKY-DERI eene constante spanning bij hunne wisselstroommachine hebben verkregen. Het zou ons echter te ver voeren deze methode uitvoerig te behandelen, daar wij dan de geheele inrichting van de machine moesten beschrijven en verschillende theoretische beschouwingen moesten laten vooraf gaan.

Allicht zullen eenige lezers zich de vraag stellen: gaat er bij het gebruik der transformatoren niet veel arbeid voor ons verloren?

Dit nu is niet het geval en hierin ligt vooral de groote waarde van dit systeem. Onderzoekingen, door geheel onpartijdige personen gedaan, hebben aangetoond, dat er slechts 5 pct. in de transformatoren verloren gaat; een resultaat dat de stoutste verwachtingen overtreft. De praktische uitkomsten, met dit systeem verkregen, zijn dan ook zeer gunstig.

In den zomer van het jaar 1886 was op de tentoonstelling te Buda-Pest een centraalstation met transformatoren Zipernowsky-Deri ingericht. De primaire stroom werd op een maximalen afstand van 1300 M. door middel van een slechts 4.5 millimeter dikken koperdraad naar de transformatoren geleid, die in de verschillende gebouwen, die verlicht moesten worden, waren opgesteld. Het aantal gloeilampen bedroeg 1060, verdeeld over 7 stations.

Na dit uitstekend resultaat besloot men op verschillende plaatsen centraalstations volgens dit systeem aan te leggen¹. Zeer belangwekkend is de inrichting te Luzern, waar men partij wilde trekken van den waterval bij Thorenberg.

De wisselstroom-machines (voorloopig 2), die hier zijn opgesteld, leveren ieder een stroom van 35—38 Ampères bij 1800 Volt. Deze stroomen worden door middel van blanke koperdraden, die slechts 6 mM. dik zijn en aan telegraafpalen zijn bevestigd, naar de transformatoren geleid. Het centraalstation zelf wordt door 15 gloeilampen verlicht, die door een kleinen transformator gespijst worden. De tweede zoodanige toestel bevindt zich op een afstand van 2,4 K.M., waar hij den stroom levert voor 40 gloeilampen, die een molen moeten verlichten. Weder 2,2 K.M. verder, dus 4,6 K.M. (bijna een uur gaans) van het centraalstation, bevinden zich de bekende hotels Schweizerhof

¹ *Centralblatt für Elektrotechnik*, Band VIII, n^o. 1.

en Luzernerhof, die met behulp van 7 transformatoren, ieder berekend voor 200 gloeilampen à 10 kaarsen, worden verlicht.

Welke voordeelen dit systeem oplevert, kan men nagaan, indien men bedenkt, dat het systeem van EDISON slechts op afstanden van 500—600 M. economisch kan worden toegepast.

De transformatoren hebben ongetwijfeld een groote toekomst en zullen er veel toe bijdragen dat het elektrisch licht algemeen wordt ingevoerd.

Nürnberg, Februari '87.
