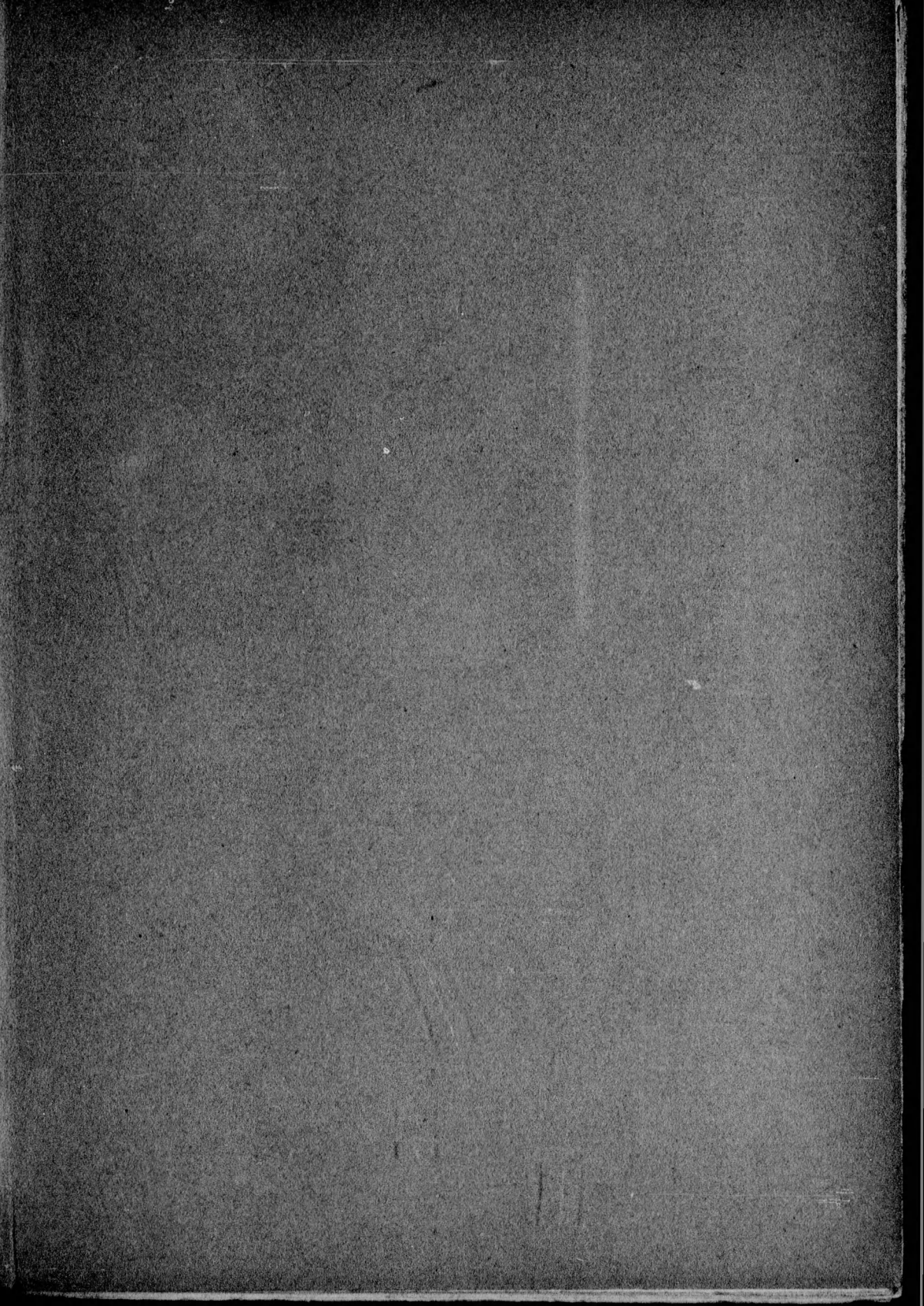


Q. oct.

2015



E

TIEN VOORDRACHTEN

over

ELECTROTECHNIEK.

Met 30 Figuren.

100-100000-100000
100-100000-100000
100-100000-100000

g^r 2015

L. n^o 674.

TIEN VOORDRACHTEN

OVER

ELECTROTECHNIEK

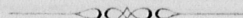
GEHOUDEN

voor de leden der Vereeniging voor Fabrieks- en Handwerksnijverheid,
Afdeling UTRECHT.

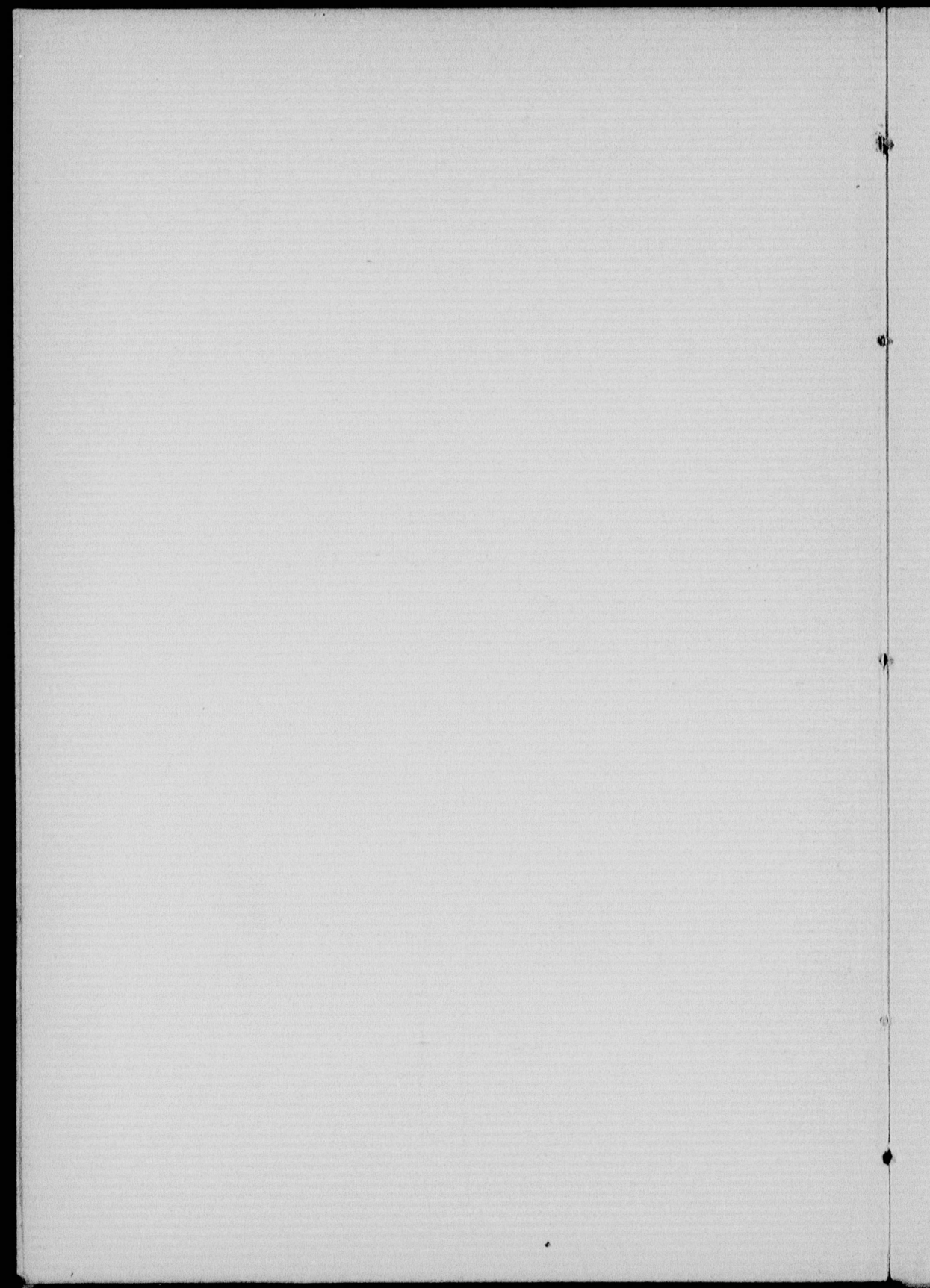
DOOR

Dr. J. L. HOORWEG,

Leeraar aan de R. H. B. S. te Utrecht.



UTRECHT,
KEMINK & ZOON,
(over de Domkerk).
1895.

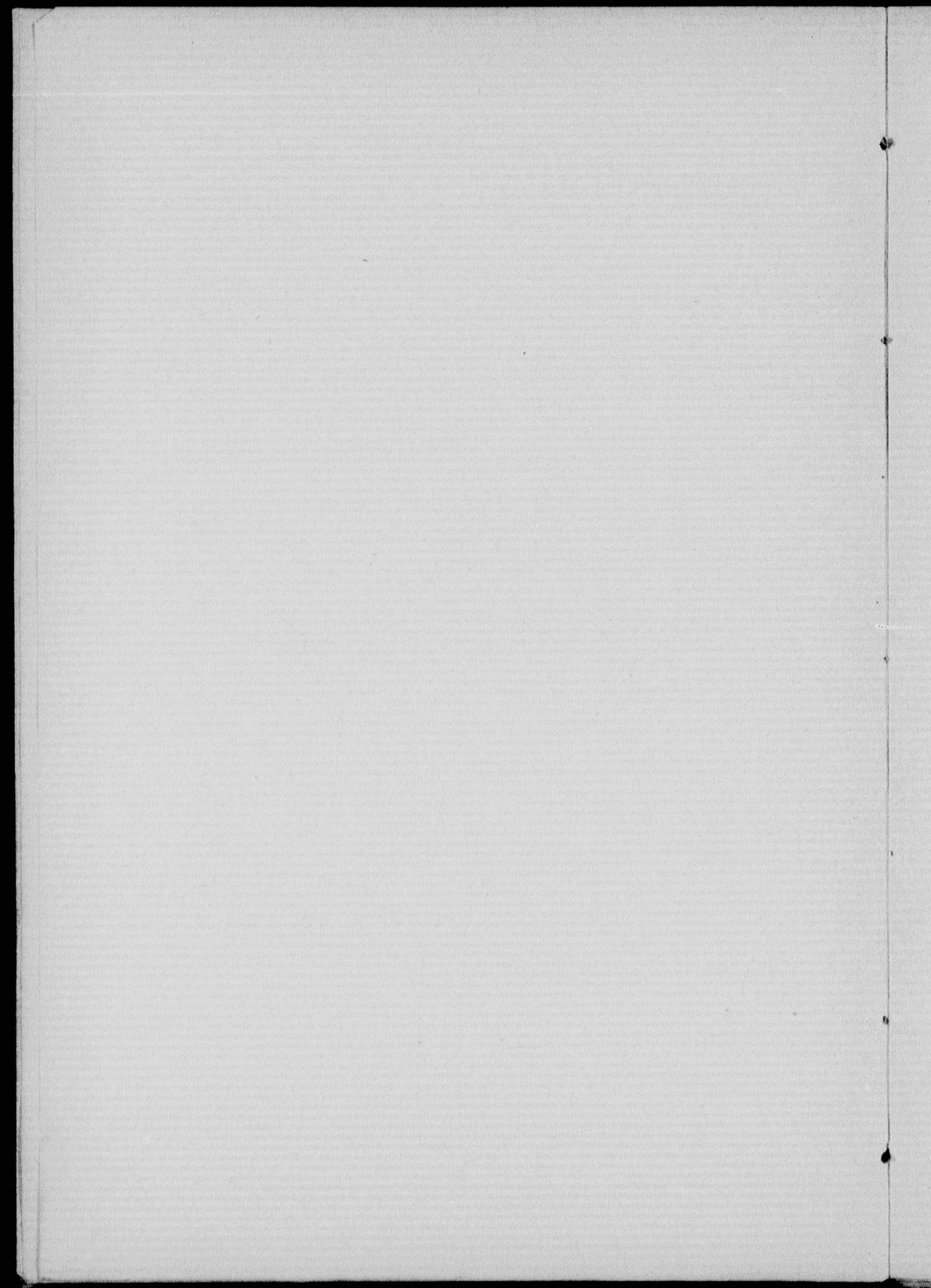


VOORREDE.

Op verzoek van eenige belangstellende toehoorders is dit beknopt overzicht van mijnen populairen Cursus over Electro-techniek samengesteld.

Moge dit werkje ook in ruimeren kring eenig nut verspreiden.

DE SCHRIJVER.



1^e Voordracht.

Toen ik de vereerende uitnoodiging van het Bestuur dezer Vereeniging aannam, om voor de leden eenen Cursus over Electrotechniek te houden, heb ik mij de moeilijkheden niet ontveinsd, die aan het vervullen van die taak verbonden waren.

De Electrotechniek is een vak, waarin wiskundige beschouwingen en berekeningen, en lang niet altijd van de eenvoudigste soort, schering en inslag zijn. Aan de hulp der wiskunde heeft dit vak een groot gedeelte van de snelle ontwikkeling te danken, waardoor het de bewondering van de wereld heeft opgewekt.

Hoe nu van dit vak een goed denkbeeld te geven aan personen, die met de taal der wiskunde slechts ten deele bekend zijn?

Dit is een groot bezwaar en een bezwaar, dat nooit geheel is weg te nemen.

Maar toch meende ik, door het gezegde met proeven op te helderen en door mij tot het allernoodzakelijkste te beperken, aan welwillende toehoorders zooveel kennis van de Electrotechniek te kunnen mededeelen, dat zij de hooge beteekenis van dezen nieuwen tak van nijverheid leeren begrijpen en belangstellen in de ontwikkeling er van.

Dit doel te bereiken, zal mijn streven zijn.

Laten wij beginnen met het bespreken van de eigenschappen der magneten.

In Klein-Azie en Arabie, op Ceilon en andere plaatsen vindt men eenen steen, die de eigenschap bezit, ijzer aan te trekken.

Deze steen, magneetsteen genaamd, was reeds in zeer oude tijden bekend en de Chinezen wisten reeds zeer vroeg dat een staafje, op behoorlijke wijze uit dien steen gesneden, de eigenschap bezat, om, opgehangen zijnde, naar het Noorden en Zuiden te wijzen, dat men dus dat staafje als kompas kon gebruiken. Later ontdekten ook andere volken deze laatste eigenschap en zoo verkreeg de magneetsteen ook de naam van zeilsteen.

Spoedig ook ontdekte men dat door wrijving met dezen steen aan staal dezelfde eigenschappen konden worden medegedeeld en zoo ontstonden de kunstmagneten, die nu bijna geheel den natuurlijke magneet hebben vervangen.

Deze kunstmagneten onderscheidt men naar den vorm in staaf- en hoef-magneten en naar den aard in permanente en tijdelijke magneten.

De permanente magneten zijn van staal vervaardigd en behouden jaren lang de verkregene eigenschappen, de tijdelijke magneten zijn van week ijzer en verliezen voor het grootste gedeelte het magnetisme, zoodra de magnetiseerende werking ophoudt. Echter blijft in het eenmaal gemagnetiseerde ijzer steeds een klein gedeelte magnetisme als remanent magnetisme over.

Door dezelfde magnetiseerende kracht wordt ijzer niet alleen gemakkelijker maar ook veel sterker magnetisch dan staal; van daar dat buitengewoon krachtige magneten altijd van ijzer gemaakt zijn. Men heeft ijzeren, dus tijdelijke, magneten van buitengewoon omvang, hoeven met dikke armen van 2 meter lengte b.v., die honderden kilogrammen wegen. Zij worden door eenen electrischen stroom gemagnetiseerd en heeten daarom electro-magneten.

Iedere regelmatig gemagnetiseerde magneet heeft twee helften van ongelijke eigenschappen, die door een neutraal punt van elkander gescheiden zijn. Vrij opgehangen, richt zich de eene helft naar het Noorden, de andere naar het Zuiden. Daarom noemt men de eerste helft de noordelijke, de andere de zuidelijke helft. De sterkste werking vindt men op iedere helft in een bepaald punt, dat dicht bij het uiteinde ligt en dat de pool heet. Iedere magneet heeft dus een noordpool en een zuidpool.

Wanneer men nu twee magneten bij elkander brengt, dan bespeurt men, dat zij op elkander inwerken en wel zoodanig dat: gelijknamige polen elkander afstooten en ongelijknamige elkander aantrekken. De kracht waarmee dit geschiedt is des te grooter naarmate de magneten sterker zijn en de afstand der op elkander werkende polen kleiner is.

Een magneetpool zal de beide uiteinden van een staafje ijzer aantrekken, maar van de beide uiteinden van eenen magneet zal zij het eene aantrekken en het andere afstooten.

Door een stuk karton, waaronder een sterken magneet geplaatst is, met ijzervijlsel te bestrooien, kan men waarnemen, dat een magneet reeds op grooten afstand op dat ijzervijlsel werkt en het rangschikt volgens bepaalde lijnen, die men de magnetische krachtlijnen noemt. Men verkrijgt dan nevensgaand figuur 1.

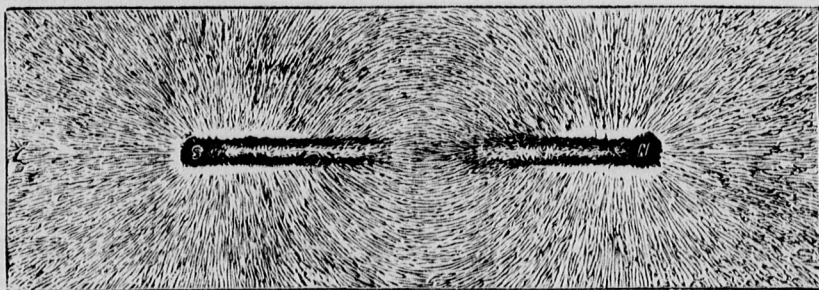


Fig. 1.

De krommen lijnen, die men daar ziet zijn de magnetische krachtlijnen. Zij geven in ieder punt van de ruimte de juiste richting aan van de magnetische kracht, die daar heerscht door den invloed van den onder het karton verborgen magneet. Hoe sterker die magneet is, hoe verder men de krachtlijnen met het oog kan vervolgen.

Men komt daardoor tot het besluit, dat iedere magneet aan de geheele ruimte, die er om heen is, bijzondere eigenschappen mededeelt, of zooals men dat uitdrukt, dat iedere magneet om

zich heen vormt een magnetisch veld, waarvan de krachtlijnen den aard aangeven. Zijn deze krachtlijnen, zooals tusschen de polen van eenen hoefmagneet, rechte lijnen, dan is overal het veld even sterk, loopen daarentegen de krachtlijnen in kromme lijnen met groote bochten uit elkander, dan is de sterkte van het veld in de verschillende punten verschillend en wel daar het kleinst waar de krachtlijnen het verst uit elkander loopen.

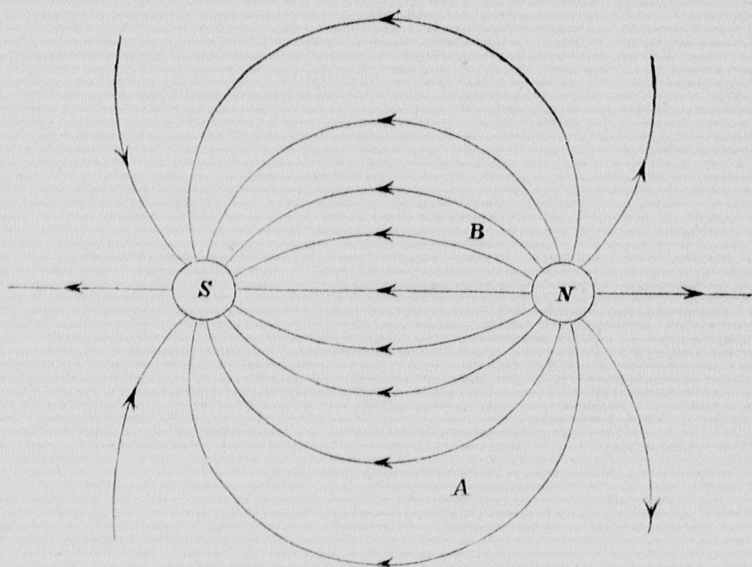


Fig. 2.

Zie fig. 2 waar de krachtlijnen geteekend zijn van het veld in de nabijheid van twee ongelijknamige polen. Dat veld nu is in B veel sterker dan in A.

Brengt men een stuk ijzer in de nabijheid van eenen magneet, dan ziet men de krachtlijnen van richting veranderen. Zij worden als het ware door dat ijzer aangetrokken en opgeslorpt. Tusschen de nabijzijnde pool en het ijzer ontstaat daardoor eene aanmerkelijke versterking van het magnetische veld, kenbaar aan het dichter oopenpakken der krachtlijnen.

Door sterke electromagneten in hoefvorm met stukken ijzer van gepaste gedaante tot eenen bijna geheel gesloten magnetischen kring te vereenigen, kan men het magnetische veld in de overgeblevene ruimte tot eene buitengewone sterkte opvoeren, zooals gemakkelijk door allerlei voorbeelden kan worden aangetoond.

2^e Voordracht.

Evenals men in overoude tijden bekend was met de eigenschappen van den magneetsteen, evenzoo kende men oudtijds reeds de merkwaardige eigenschap van het barnsteen, om, gewreven zijnde, stofdeeltjes en andere ligte voorwerpen tot zich te trekken.

Naar de Grieksche naam van het barnsteen, is deze eigenschap de electricische eigenschap genoemd en zoo is ook de naam electriciteit afgeleid.

Niet alleen barnsteen, maar vele andere stoffen zooals: glas, lak, eboniet en bergkristal bv. bezitten deze eigenschap.

Wrijft men eene ebonieten staaf met een droog kattevel en brengt men ze dan bij papiersnippers, houtzaagsel, vlierpitballetjes dan ziet men deze met groote snelheid er naar toe vliegen. Maar ook neemt men waar, dat deze ligte voorwerpen, na de staaf te hebben aangeraakt, er met even groote snelheid van weg vliegen, alsof zij afgestooten werden door dezelfde staaf, die ze even te voren aantrok.

Dat werkelijk op de eerste aantrekking eene blijvende afstooting volgt, blijkt duidelijk, als men de proef doet met vlierpitballetjes die met eenen dunnen zijden draad aan eenen glazen standaard zijn opgehangen. Met twee op die wijze opgehangen vlierpitballetjes laat zich ook gemakkelijk aantonen, dat de electriciteit van eboniet, met een kattevel gewreven, van eene andere soort is als die

van eenen met zijde gewreven glasstang. Want dezelfde balletjes, die door het eboniet worden afgestooten, worden door het glas afgestooten en omgekeerd.

Men moet dus twee soorten van electriciteit onderscheiden, die men de positieve en de negatieve electriciteit noemt en met behulp der zelfde vlierpitballetjes kan men gemakkelijk ontdekken, dat hier weder de regel geldt:

Gelijksnamige electriciteiten stooten elkander af, ongelijksnamige trekken elkander aan.

De electriciteit van den met zijde gewrevenen glasstang noemt men positief, die van den bovenvermelden ebonietstang negatief. Een lichaam dat niet electrisch is, noemt men neutraal.

Verder blijkt ook dat de proef met de vlierpitballetjes geheel anders uitvalt, wanneer men ze niet met zijden draden aan glazen stangen maar met katoenen draden aan metalen standers ophangt. In dat laatste geval ziet men nooit anders dan aantrekking, onverschillig met welke geelectriseerde staaf men ze eerst heeft aangeraakt of naderhand nadert. Daar nu eene dergelijke eenvoudige aantrekking alleen bij de werking op neutrale voorwerpen plaats grijpt, zoo volgt hieruit, dat de katoenen draad en de metalen stander de electriciteit der vlierpitballetjes hebben weggenomen. Men moet dus onderscheid maken tusschen goede en slechte geleiders voor de electriciteit.

Goed geleiden alle metalen, katoen, water, kool, enz. Slecht geleiden bv.: glas, eboniet, barnsteen, zijde, gutapercha en droge lucht.

Het blijkt nu verder dat men met eenen koperen bol al dezelfde proeven kan overdoen, die men eerst met de ebonietstaaf gedaan heeft, mits de electriciteit van den koperen bol door een droog glazen handvatsele belet wordt naar den grond af te stroomen. Men zegt nu dat de koperen bol door het glazen handvatsele is geïsoleerd.

Als isolatoren kan men alle slechte geleiders gebruiken. Een koperdraad wordt dus geïsoleerd door ze met zijde te omspinnen of met gutapercha te bedekken.

Aan eenen geïsoleerden metalen geleider, conductor, kan men,

ook zonder hem te wrijven of aan te raken, electriciteit mededeelen, door hem nl. te naderen met een lichaam, dat reeds electrisch is. Is dat bv. een gewrevene, derhalve met negatieve electriciteit beladene ebonietstang, dan wordt het naastbij gelegene deel van den conductor positief, het afgewende deel echter negatief en wel zoolang als de ebonietstaaf in de nabijheid is en des te sterker naarmate zij dichter bij komt.

Dit is het verschijnsel der electrische influentie. Deze geschiedt van conductor op conductor, dwars door de tusschen liggende, niet geleidende middenstof, hier de lucht, heen.

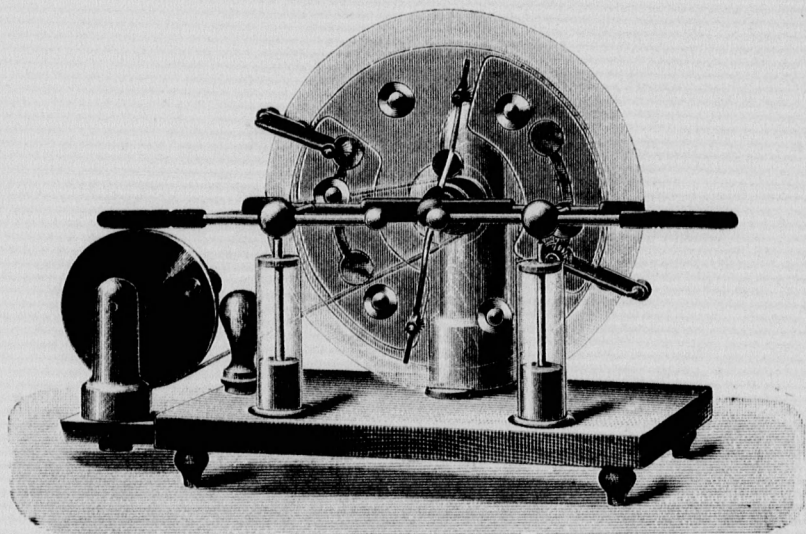


Fig. 3 1).

Eindigt het naastbijgelegene deel van den conductor in eenen metalen kam met fijne spitsen, dan stroomt in het donker van die

1) Deze en eenige andere clichés dank ik aan de welwillendheid van den Heer Marius, Voorzitter van de vroeger genoemde Vereeniging. De overige figuren zijn aan bekende werken over Electrotechniek ontleend.

fijne spitsen een zacht licht af en tegelijk verdwijnt de positieve electriciteit die aldaar door de influentie van de ebonietstaaf was opgehoopt.

Men kan dus eenen geïsoleerden conductor electrisch maken, hetzij direct door wrijving, hetzij indirect door influentie.

Hierop nu berust de inrichting van alle electriscermachines (Fig. 3), die dienen om grootere hoeveelheden electriciteit op te zamelen, dan met eene eenvoudige ebonietstaaf mogelijk is

Deze machines bestaan hoofdzakelijk, uit glazen of ebonieten schijven, waarvan enkele van eene kruk voorzien zijn. Door deze kruk te draaien wordt de wrijving en de influentiwerking zoodanig in samenwerking gebracht, dat zich op 2 geïsoleerde conductors groote hoeveelheden electriciteit van tegenovergesteld teeken verzamelen.

Met deze machine kan men nu allereerst opmerken het optreden van den electrischen vonk, een eigenaardig lichtverschijnsel, dat op geene andere wijze dan door electriciteit kan worden verkregen.

De electrische vonk springt over, wanneer twee met verschillend teeken geladene conductors elkander naderen. Den afstand waarbij de vonk begint over te springen noemt men de slagwijdte.

Met eene draaiende schijf, waarop letters zijn geplaatst, kan men aantonen, dat de electrische vonk eenen bijzondere korten duur heeft, want, hoe snel men deze schijf ook draait, wanneer de vonk overspringt, kan men altijd de letters lezen, wat bewijst dat in den korten tijd, waarin de vonk oversprong, de schijf niet merkbaar was gedraaid.

Men kan met den electrischen vonk een stuk karton doorboren en ether aansteken en zoo bewijzen dat hij warmte bezit.

De vonken van onze electriscermachine hebben bij grooten afstand der conductorknoppen den bekenden zigzagvorm der bliksemstralen maar geven weinig geluid. De knal wordt echter veel sterker wanneer wij met de machine eene zoogenaamde Leidsehe flesch verbinden, eene flesch nl. die van binnen en van buiten tot zekere hoogte met bladtin is bekleed. Men ziet dan dat bij hetzelfde aantal omwentelingen van de electriscermachine, derhalve

bij de voortbrenging van gelijke hoeveelheden electriciteit, de vonken schaarscher worden maar veel sterker knetteren en dikker en daardoor meer lichtgevend zijn. De Leidsche flesch heeft dus veroorzaakt, dat er zich eerst meer electriciteit moest ophoopen, eer er een vonk kon overspringen. Zij heeft de electriciteit verdicht.

Tegelijk zien wij dat de vonken knetterender en lichtgevender worden, als de hoeveelheid electriciteit, die bij iederen vonk overspringt, grooter wordt.

De lengte echter van den vonk hangt van die hoeveelheid niet af.

Wij laden eerst één Leidsche flesch door een zeker aantal omwentelingen van de electriscemachine en meten de lengte van den vonk die bij de ontlading overspringt. Daarna laden wij bij precies hetzelfde aantal omwentelingen van de machine twee Leidsche flesschen, even groot als de eerste en meten weder de lengte of slagwijdte van den vonk. Het blijkt nu, dat in het eerste geval de slagwijdte aanmerkelijk grooter is dan in het tweede geval. Toch is in beide gevallen maar één vonk en ook dezelfde hoeveelheid electriciteit overgesprongen. Hieruit volgt weder dat de slagwijdte van den vonk niet door de hoeveelheid electriciteit wordt bepaald.

Neen, men moet bij de electriciteit twee verschillende grootheden onderscheiden, die wel samenhangen maar niet dezelfde zijn: men moet onderscheid maken tusschen de hoeveelheid der electriciteit en de spanning der electriciteit.

Het is hiermede juist als met het water van verschillende beeken. Sommige beeken bevatten weinig water maar storten zich door hun groot verval met donderend geweld van den berg af. Andere beeken voeren aanzienlijke hoeveelheden water af, maar door hun gering verval stroomt dit vele water bijna onmerkbaar voort naar de rivier. Wat bij het water het verval is, dat is nu bij de electriciteit de spanning.

Evenzoo kunnen wij het met den stoom vergelijken. Men kan in eenen kleinen stoomketel stoom van groote spanning ontwikkelen en in eenen grooten ketel stoom van weinig spanning. Toch bevat altijd de groote ketel meer liters stoom dan de kleine.

Zoo kan men ook hebben: veel electriciteit van weinig spanning maar even goed weinig electriciteit van hooge spanning. Het is nu deze spanning die door de lengte van den vonk, door de slagwijdte dus, wordt aangewezen.

Op de volgende wijze kan men het onderscheid tusschen hoeveelheid en spanning nog duidelijker maken. Men verbindt den eenen knop van de electriseermachine met den grond en den anderen, A, door eenen katoenen draad van een paar meters lengte met den knop B van een koperen stang die zich in eene flesch bevindt en aan het uiteinde een dun goudblaadje L draagt. Tegenover het goudblaadje L bevindt zich een koperen stang T, die buiten de flesch uitkomt en eveneens met den grond verbonden is.

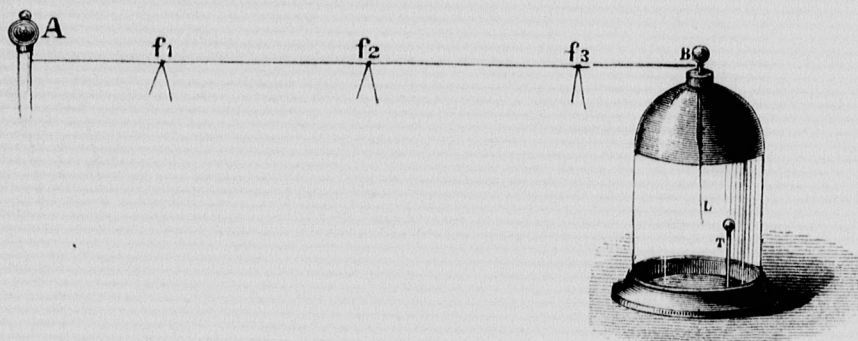


Fig. 4.

Wanneer men nu de electriseermachine in werking stelt, dan ontstaat er een continueele stroom van electriciteit van A uit door den katoenen draad en door het toestel B naar den grond en wel zoodanig, dat telkens als er op het goudblaadje L eene bepaalde hoeveelheid electriciteit is verzameld, de aantrekking op T zoo groot wordt dat L tegen T aanslaat en de opgezamelde electriciteit aan den grond afstaat. Elke keer dat L tegen T slaat is er dan eene bepaalde hoeveelheid electriciteit door den katoenen draad gepasseerd, zooals men ook hieraan bespeurt, dat bij gelijkmatige beweging van de kruk van de machine ook in denzelfden tijd het goudblaadje even veel keeren tegen T slaat. Omgekeerd kan men

uit het aantal slagen dat het goudblaadje per minuut doet, de hoeveelheid electriciteit beoordeelen die in dien tijd door den draad gaat.

Door iedere doorsnede van den draad gaat natuurlijk in denzelfden tijd dezelfde hoeveelheid electriciteit, want anders zou immers tusschen twee opvolgende doorsneden de electriciteit zich tot in het oneindige ophoopen!

Terwijl dus per minuut door iedere doorsnede van den draad precies dezelfde hoeveelheid electriciteit stroomt, is de spanning in die verschillende doorsneden volstrekt niet gelijk, maar neemt van A af naar B toe geregeld af, zooals blijkt uit de papierstrooken f_1 , f_2 en f_3 die op verschillende afstanden aan den draad zijn opgehangen. Deze papierstrooken worden door de electriciteit van de doorsnede, waarop zij hangen, gelijknamig geladen en daardoor stooten de uiteinden er van elkander af en vormen eenen hoek, die nu duidelijk bij f_1 grooter is dan bij f_2 en bij f_2 grooter dan bij f_3 .

De hoek der papierstrooken geeft de spanning der electriciteit aan, de beweging van het goudblaadje de hoeveelheid.

Vervang ik den katoenen draad door eenen, die vier malen zoo dik is, dan ziet men bij gelijke snelheid van de kruk van de machine het goudblaadje L veel sneller bewegen dan vroeger, wat bewijst dat er per minuut meer electriciteit door den draad passeert.

Het blijkt dus, dat de afmetingen van den draad invloed hebben op den stroom van electriciteit, die er door gaat, dat nl. meerder dikte gepaard gaat met grooter hoeveelheid per minuut. Evenzoo heeft ook de lengte van den draad invloed: hoe langer de draad, hoe langzamer het goudblaadje zich beweegt. Een draad biedt dus aan het doorstroomen van de electriciteit des te meer weerstand naarmate hij langer en dunner is.

Bij de ontlading van eene Leidsche flesch zou men oppervlakkig meenen, dat het geheele verschijnsel zich bepaalt tot het overspringen van eenen meer of minder krachtigen vonk. Dit is echter het geval niet: ook in de geleidende keten, waarmede men de flesch ontlaaft, heeft de ontlading uitwerking, zooals ten duidelijkste blijkt als men de verbinding tusschen binnen- en buiten-

bekleedsel van de geladene flesch vormt uit een keten van personen, die elkander de hand reiken. Bij de ontlading gevoelt iedere persoon dan eenen krachtigen schok, die soms tot in den schouder voelbaar is.

Deze krachtige werking op ons lichaam, de electricische schok genaamd, is even als de electricische vonk, een verschijnsel dat geheel eigenaardig bij de beweging der electriciteit voorkomt, dat door niets anders dan door electriciteit kan worden voortgebracht.

Een zeer sterke electricische schok kan een mensch dooden.

3^e Voordracht.

Van alle dieren is wel de kikvorsch het meest gevoelig voor den electrischen schok. Sporen van electriciteit, die anders bijna niet merkbaar zouden zijn, brengen het lichaam van den kikvorsch in hevige trekking en dat geschiedt niet alleen bij den levenden kikvorsch maar ook bij versch geprepareerde deelen er van.

Zeer bekend is het kikvorsch preparaat van Galvani, fig. 5, dat

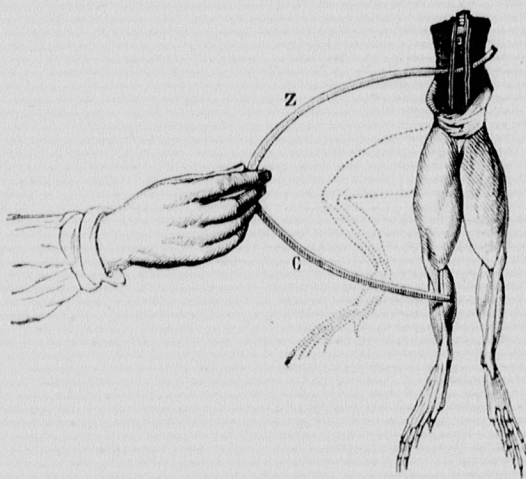


Fig. 5.

bestaat uit de beide achterste ledematen, van het overige deel van het lichaam afgesneden en van de huid ontdaan.

Wanneer men nu de zenuwen dezer achterste ledematen blootlegt en deze aanraakt met een zinken staaf, die den eenen arm vormt van eene tang, waarvan de andere arm van koper vervaardigd is en men drukt dan den

koperen arm tegen een der spieren, zooals in de teekening is aangewezen, dan trekken de pooten zich krachtig samen, als een bewijs dat er electriciteit ontwikkeld is.

Men kan ook het kikvorsch preparaat aan eenen glazen standaard ophangen en de beide zenuwen der beide ledematen met dunne koperen geleiddraden verbinden. Zoo men nu één dezer met den zinken arm van den tang aanraakt, verkrijgt men weder sterken trekkingen; de pooten echter blijven rustig, zoo men dezelfde proef met den koperen arm der tang herhaalt. Uit dit wegblijven der trekkingen, zoo men alleen met koper werkt, blijkt dat de oorzaak der electriciteitsontwikkeling in de ongelijkheid der beide metalen moet gezocht worden. Aldus geraakt men tot het besluit, door Volta met tal van proeven opgehelderd, dat overal waar twee verschillende geleiders elkander aanraken, in de aanrakingsplaats een bron van electriciteit aanwezig is. M. a. w. electriciteit wordt niet alleen ontwikkeld door wrijving maar ook door eenvoudige aanraking, door contact.

Deze contact-electriciteit is de grond van de werking van alle zoogenaamde elektrische cellen of galvanische elementen, die by. in de telegrafie en in de telefonie zulk eene menigvuldige toepassing vinden. Zulk eene cel bestaat in hare eenvoudigste gedaante uit een glas met eene zure of zoute oplossing gevuld, waarin twee verschillende, zoogenaamde poolplaten, geplaatst zijn, die van boven in koperen knoppen of klemschroeven eindigen. Door de electriciteit, die in de aanrakingspunten van deze beide platen, met het koper én met de vloeistof, ontwikkeld wordt, ontvangen deze klemschroeven eene blijvende lading en wel, zoo de cel geïsoleerd opgesteld is, de eene knop positieve en de andere negatieve electriciteit.

De eerste knop heet nu de positieve pool, de andere de negatieve pool en zoo men deze beide polen door eene metalen draad verbindt, zoodat er een geheel gesloten kring of keten tot stand komt, dan ontstaat er in deze keten een voortdurende stroom van electriciteit, dien men een galvanischen stroom noemt. Deze stroom gaat in den metalen draad of in het samenstel van draden, dat de polen verbindt, van de positieve naar de negatieve pool en is des te sterker, naar mate de beide polen meer in elektrische spanning verschillen en naarmate de deelen waaruit de keten is samengesteld en waartoe ook de cel zelve behoort, min-

der weerstand bieden aan het doorstroomen van de electriciteit. Eenen sterken stroom verkrijgt men dus, wanneer de polen de cel een groot verschil in electriche spanning hebben en tegelijk de keten eenen zeer geringen totalen weerstand bezit. Dit laatste is het geval als de poolplaten der cel zeer groot zijn en zeer dicht bijeen staan en daarenboven de metaaldraad, die de polen verbindt, zeer goed geleidend en daarbij zeer dik en zeer kort is. Maar hoe langer en hoe dunner die draad is en hoe slechter hij geleidt, des te meer weerstand biedt hij aan den electriche stroom aan en des te zwakker dus is de stroom, dien dezelfde cel levert. Men kan dan echter op geschikte wijze een tal van cellen van dezelfde soort tot eene zoogenaamde batterij verbinden en daardoor de poolspanning, d. i. het verschil van spanning der polen, zoodanig vergrooten, dat ondanks den grooten weerstand in de keten, toch de stroom vrij sterk wordt.

Terwijl eene cel of eene batterij stroom levert, hebben daarbinnen scheikundige werkingen plaats, waardoor de oplossingen veranderen en de poolplaten worden aangetast. De galvanische stroom bestaat dus ten koste van de chemische werkzaamheid in de cel.

Iedere cel vereischt voortdurend herstel en vernieuwing.

Met behulp van de galvanische cellen is het gemakkelijk de verschillende eigenschappen van den galvanischen stroom te doen opmerken.

In de eerste plaats neemt men dan waar, dat de galvanische stroom nabij zijnde kompasnaalden doet afwijken, dat hij derhalve magnetisch werkt of zooals men het noemt, een magnetisch veld om zich heen vormt. Dit blijkt ook, als men eenen metalen draad dwars door eene glasplaat steekt en, nadat er door dien draad een stroom is gevoerd, de glasplaat met ijzervijlsel bestrooit. Men verkrijgt dan weder magnetische krachtlijnen, die nu bestaan uit concentrische cirkels, met den draad tot middenpunt. Deze magnetische werking van den galvanischen stroom wordt veel sterker, wanneer men (fig. 6) den geleiddraad geheel om den magneet heen windt, zoodat de stroom een raampje vormt, binnen welke de magneetnaald bewegelijk is opgehangen. Een zwakken stroom zal dan den magneet al doen afwijken.

Nog gevoeliger wordt de inrichting, zoo het raampje, waar binnen de magneetnaald zich bevindt, uit talrijke windingen van

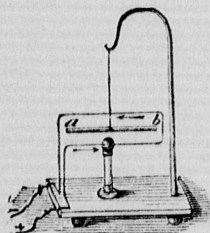


Fig 6.

den geleiddraad is samengesteld, wanneer dus de stroom vele malen om den magneet heen gaat. Hoe meer windingen, hoe sterker de invloed. Wanneer men den stroom in eene andere richting door de windingen laat gaan, dan wijkt ook de naald naar de andere zijde af. Men kan dus uit de richting van de afwijking de richting van den stroom beoordeelen. De instrumenten, met welke men aldus de richting

en de sterkte van galvanische stroomen meet, heeten galvanometers; zij worden in allerlei verschillende vormen gebruikt.

Met den galvanometer kan men gemakkelijk aantoonen, dat er volstrekt geen galvanische stroom bestaat, wanneer de keten ergens, waar ook, is afgebroken en dat de stroom zeer zwak is, wanneer er slechte aanraking is tusschen de verschillende deelen van eene keten. Ook kan men er mede bewijzen, dat de stroom des te zwakker is naarmate de totale weerstand grooter is en dat, als een stroom zich vertakt in 2 of meer verschillende takken, door dien tak de meeste electriciteit gaat, die den minsten weerstand biedt, terwijl door alle takken te samen weer evenveel per seconde doorstroomt als door den hoofdtak alleen. Verdeelt dus een stroom zich in tweeën en wordt in den eenen tak weerstand ingeschakeld, dan neemt de stroom in dien tak af, maar in den anderen toe.

Maar de magnetische werking van den stroom is niet beperkt tot het doen afwijken van bewegelijke magneten; zij openbaart zich ook in het magnetisch maken van ijzer, dat in de nabijheid is.

Wanneer men eene ijzeren staaf met eenen goed geïsoleerden geleiddraad spiraalsgewijs omwikkelt of wel de ijzeren staaf AB, fig. 7, als kern in eenen draadklos C brengt, door welks windingen een galvanische stroom gaat, dan wordt dit ijzer tijdelijk magnetisch. Breekt men den stroom af, dan verdwijnt ook grootendeels het magnetisme van het ijzer; keert men de richting van den

stroom in de windingen om, dan keeren ook de polen om. Een dergelijke ijzeren staaf of hoof met draadklossen omgeven heet

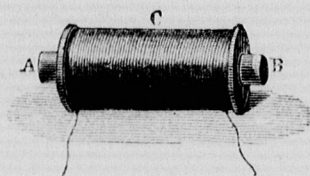
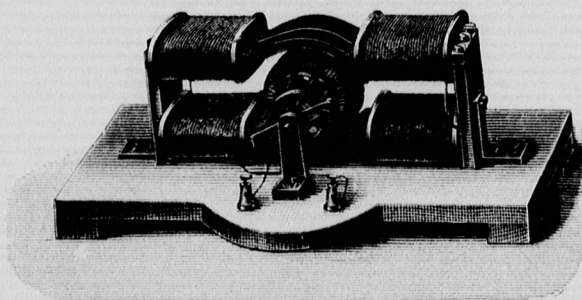


Fig. 7.

electromagneet en kan in sommige gevallen buitengewoon krachtig worden, maar altijd slechts zoo lang als de stroom door de windingen gaat. In alle electriche schellen en alle telegraafstoestellen bevindt zich een electromagneet, die door het aantrekken van een ijzeren anker, zoodra de stroom door de windingen gaat,

de gevraagde beweging doet ontstaan. Zoo berusten ook alle electriche arbeidswerktuigen, de zoogenaamde electriche motoren zooals die van de electriche trams en der electriche kranen, op de aantrekking en afstooting die de polen van eenen sterken vastliggenden electromagnetischen hoofmagneet op die van eenen electromagnetischen ring of trommel uitoefenen, die tusschen de



GA. $\frac{1}{6}$ NAT. GRÖSSE

Fig. 8.

polen van den eersten om eene as kan draaien. Zie fig. 8, waar men duidelijk den sterken vastliggenden hoof, den zoogenaamden veldmagneet en even duidelijk het draaibare met draad omwondene ijzeren ring-

vormige anker kan onderscheiden, waarvan door den electriche stroom de polen telkens zoo gewisseld worden, dat door de magnetische aantrekking en afstooting de draaiing steeds in denzelfden zin plaats grijpt. Electriche motoren, allen op dat beginsel berustende, worden tegenwoordig in allerlei afmetingen vervaardigd, van $\frac{1}{10}$ tot 200 en meer paardekrachten toe.

Evenals een galvanische stroom eene nabijzijnde magneetnaald doet afwijken, evenzoo werkt omgekeerd een magneet bewegend op eenen metaaldraad of eenen draadklos, waardoor een stroom gaat.

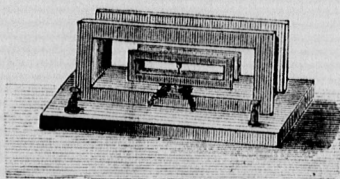


Fig. 9.

Ook twee draadklossen werken op elkander wanneer er stroomen doorgaan. Wanneer men dus den magneet *a b* van fig. 6 door eenen bewegelijken draadklos (fig. 9) vervangt, dan zal deze door den vasten klos even goed bewogen worden als te voren de magneet. Het verschil is dat de magneet zich tracht te stellen lood-

recht op het vlak der windingen, terwijl de bewegelijke klos van fig. 9 zich stelt in het vlak der windingen zelf. Hieruit volgt dat iedere draadklos werkt als een magneet, waarvan de as loodrecht staat op het vlak der windingen. Omgekeerd zal de werking van eenen magneet altijd vervangen kunnen worden door een behoorlijk gestelden draadklos, waardoor een stroom van bepaalde sterkte stroomt.

Het innig verband tusschen magnetisme en electriciteit wordt nog duidelijker aan het licht gebracht door de ontdekking van Faradaj, dat men in eene keten, waarin overigens volstrekt geen bron van electriciteit aanwezig is, elektrische stroomen kan opwekken, door haar te bewegen in de nabijheid van magneten, of anders gezegd, dat in iedere gesloten keten elektrische stroomen optreden, zoodra men haar beweegt in een magnetisch veld. De aldus opgewekte stroomen heeten inductiestroomen.

Wanneer men (fig. 10) eenen draadklos *A* met eenen galvanometer *M* verbindt tot eene geslotene keten en men duwt plotseling den magneet *NS* in de opening van den klos, dan ziet men de magneetnaald van den galvanometer sterk afwijken, als een bewijs dat er een galvanische stroom is opgetreden.

Evenzoo ontstaat eene afwijking, maar in tegengestelden zin, wanneer men den magneet weder uit de opening wegtrekt of wanneer men hem met den omgekeerden kant, dus nu met de noordpool, er in duwt. Eveneens verkrijgt men eenen stroom, als

de magneet vast staat, maar de draadklos er over heen geschoven wordt.

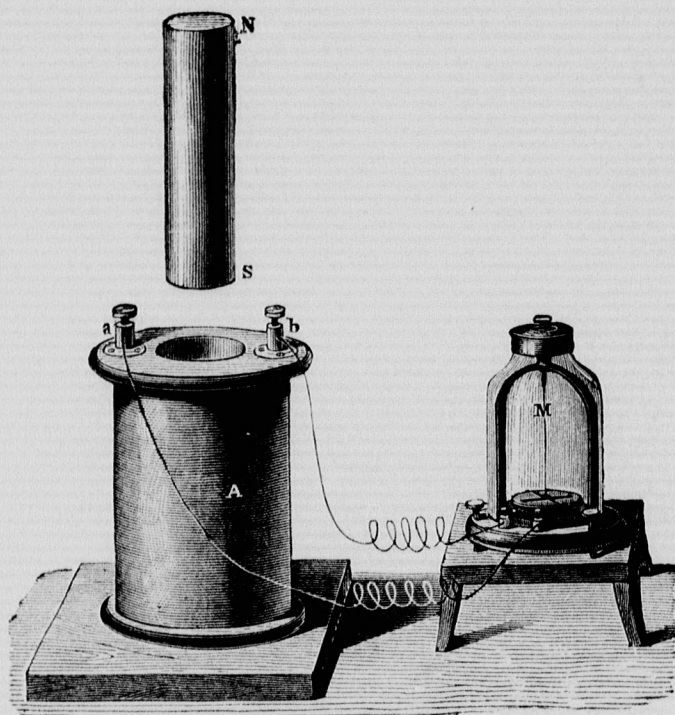


Fig. 10.

Deze inductiestroomen duren allen zeer kort, slechts zoo lang als de beweging duurt; het rustig in de nabijheid zijn van eenen magneet heeft geen inductiestroom ten gevolge; beweging is noodzakelijk. Door echter de beweging te herhalen, door bv. den draadklos over den magneet op en neer te bewegen of door de proef zoo inrichten, dat eene draaiende beweging in de plaats treedt van de op en neergaande, kan men een rij van inductiestroomen voortbrengen, die, zoo zij kunstmatig allen in dezelfde richting in eene keten worden gezonden, bij snelle beweging samensmelten tot eenen continueelen galvanischen stroom, die in

al zijne eigenschappen overeenstemt met dien, welke de galvanische cellen of batterijen opleveren.

De toestellen, waarmede men aldus door draaiing van draadklossen ten opzichte van sterke staalmagneten galvanische stroomen voortbrengt, heeten magneto-inductietoestellen of kortweg magneto's. Zij hebben dit groote voordeel boven de cellen, dat zij niet zoo dikwijls herstel en vernieuwing noodig hebben. Voert men ze in het groot uit, dan kan men ze door middel van water- of stoomkracht bewegen en zoo electrische stroomen van groote sterkte en van langen duur op goedkoope wijze voortbrengen.

4^e Voordracht.

De vorige keer hebben wij ons bezig gehouden met den invloed dien de galvanische stroom op nabijzijnde voorwerpen vertoont. Nu moeten wij nog de werking nagaan, die de stroom in de eigene keten uitoefent.

Wanneer men een deel van de keten van eene galvanische batterij vervangt door eenen zeer dunnen ijzerdraad, dan ziet men bij het sluiten van den stroom dezen draad in sterke gloeiing geraken.

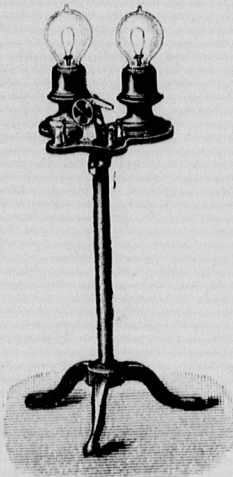
In den ijzeren draad wordt dus door den stroom eene groote hoeveelheid warmte ontwikkeld.

Bij langeren duur van den stroom bespeurt men dat ook de andere deelen van de keten, hoewel minder sterk dan de ijzerdraad, hoe langer hoe warmer worden. Warmteontwikkeling is dus eene algemeene eigenschap van den galvanischen stroom.

In ieder deel van de keten wordt warmte ontwikkeld: hoeveel, dat hangt af van de sterkte van den stroom en van den weerstand van het bedoelde deel. Bij gelijke lengte en dikte zal een ijzerdraad eerder gloeien dan een koperdraad. Is echter de koperdraad zeer dun en de ijzerdraad dik, dan zal de koperdraad warmer worden.

Men weet tegenwoordig zeer fijne draden van koolstof te maken, die door eenen sterken stroom zoodanig gaan gloeien, dat zij een licht verspreiden, gelijk aan dat van twee of meer gaspitten. Zoo men verder dezen fijnen kooldraad in een glazen bolletje bevestigt, dat luchtledig is gemaakt, dan kan het niet verbranden en dan

kan deze zoogenaamde gloeilamp ook maanden achtereen licht verspreiden.

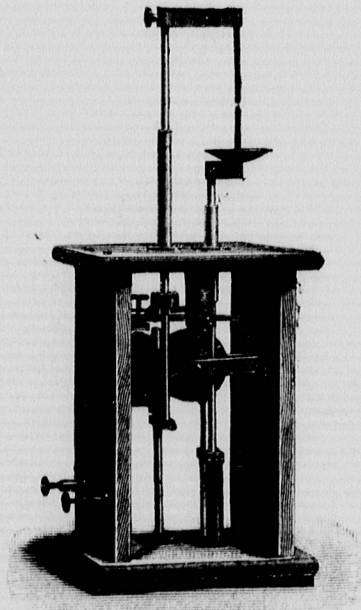


1/9 NAT. GRÖSSE

Fig. 11.

Zie fig. 11 waar twee dergelijke gloeilampen zijn afgebeeld, op een kandelaber bijeengevoegd.

Een sterker licht verkrijgt men met de zoogenaamde elektrische booglamp, (fig. 12) in welke zich twee stevige koolstaven bevinden, die met de spitsen tegen elkander rusten. Zoo men nu door deze staven eenen sterken stroom voert, beginnen de koolspitsen te gloeien en licht te verspreiden, vooral wanneer men ze onder het gloeien eenigzins uit elkander trekt, zoodat er een afstand van bv. $\frac{1}{2}$ mM. tusschen beiden spitsen ontstaat.



ca 1/7 NAT. GRÖSSE

Fig. 12.

Bij de sterke gloeiing begint de koolstof te koken en de daarbij naar alle kanten wegsplattende kooldeeltjes vormen eene lichtende brug, den zoogenaamden lichtboog, langs welke de elektrische stroom ondanks den afstand der spitsen kan blijven voortgaan de koolspitsen kokend en gloeiend te houden. Hierbij branden de koolstaven gaandeweg af en wel de positieve ongeveer twee malen zoo snel dan de negatieve. De positieve staaf holt zich langzamerhand tot een soort krater uit, terwijl de negatieve hare spitse gedaante behoudt.

Om nu gedurende dat alles het licht te onderhouden moeten door een zeker mechanisme de koolspitsen voortdurend naar elkander toe gedreven worden en juist zooveel als voor een sterk licht noodig is. Dit geschiedt meestal door den stroom zelven en wel met behulp van draadklossen, die magnetisch op ijzeren kernen werken, die met de koolstaven verbonden zijn.

Met deze zoogenaamde booglampen verkrijgt men een vrij constant licht van 10—1000 en meer gaspitten.

De warmte-ontwikkeling is niet de eenige werking, die de stroom in de eigene keten uitoefent.

Zoo men een deel van de keten vloeibaar maakt, door bv. de draden die met de beide polen van eene galvanische batterij verbonden zijn, niet direct aan elkander vasttemaken, maar ze beiden van platinaplaten te voorzien en deze in een glas met bv. eene koperoplossing te stellen. De electrische stroom moet dan zijnen weg door deze koperoplossing nemen. Men ziet nu, dat deze oplossing door den stroom scheikundig ontleed wordt, want aan de plaat, die met de positieve pool aan de batterij verbonden is, ziet men gasbelletjes oprijzen en de andere, de negatieve plaat ziet men zich langzamerhand met eene laag roodkoper bedekken.

Keert men de richting van den stroom om, zoodat de positieve plaat de negatieve wordt en omgekeerd, dan zet zich ook op de andere plaat het roode koper af, terwijl dit metaal nu van de plaat, waarop het eerst nedersloeg, wordt opgelost en weggenomen.

Deze scheikundige werking van den electrischen stroom noemt men electrolyse.

Alle metaaloplossingen worden zoodanig ontleed, dat het metaal zich afscheidt aan de negatieve plaat en wel in denzelfden tijd in des te grooter hoeveelheid, naarmate de stroom sterker is. Uit het gewicht van het metaal dat zich in eenen bepaalden tijd afscheidt, kan men dus de sterkte van den stroom beoordeelen.

Door de electrolyse kan men ieder metaal met eene laag van een ander metaal bedekken, dat bv. beter tegen den invloed van het weêr bestand is of dat glanzender is. Het galvanisch verkoperen, vernikkelen, verzilveren en vergulden is eene geheel afzonderlijke

en belangrijke tak van nijverheid geworden, die men de galvanoplegie noemt.

Door dezelfde electrolytische werking kan men de metalen uit de ertsen bereiden (Electro-metallurgie). Men lost dan de ertsen in passende vloeistoffen op, verwijdt zooveel mogelijk door neerslag de verontreinigingen en voert dan door de oplossing eenen galvanischen stroom, die het metaal op de binnenvlakte van het vat neerslaat, daar dit vat zelf de rol van de negatieve poolplaat vervult. De electro-metallurgie heeft zich in den laatsten tijd enorm ontwikkeld. Aan haar heeft men o. a. den tegenwoordigen goedkoop prijs van het aluminium te danken.

De negatieve poolplaat behoeft niet eens een metaal te zijn of ander goeden geleider. Zelfs op gips en andere dergelijke voorwerpen slaat het metaal zich neer, zoo men slechts de oppervlakte er van geleidend maakt met potlood- of graphiet-poeder. Op deze wijze kan men in metaal afdrukken maken van gipsmodellen, beelden, ornamenten, enz. Deze tak van nijverheid heet de galvanoplastiek en wordt eveneens op kolossale wijze toegepast. Alle zilveren en gouden kunstvoorwerpen, zelf van grooten omvang, worden tegenwoordig in de ateliers der zilverfabrieken galvanoplastisch vervaardigd.

Wanneer men twee metaalplaten van dezelfde soort in water stelt, dan leveren zij geen electrischen stroom, daar de contact-electriciteit van de eene plaat juist opgeheven wordt door die van de andere.

Voert men echter eenigen tijd achtereen eenen anderen stroom van buiten af door dit toestel heen, dan wordt het water ontleed en de ontledingsproducten zetten zich op de metalen platen af, maar op de negatieve plaat de waterstof, op de positieve de zuurstof.

Deze beide gassen nu werken zeer verschillend op de oppervlakte dier platen in en deze ondergaan daardoor zoodanige scheikundige verandering, dat zij elkander niet meer in electrisch evenwicht houden. Neemt men nu den hoofdstroom of ladingstroom weg en stelt men het ontleedtoestel in eene afzonderlijke eigene keten, dan werkt het als eene cel, die eenen stroom levert, in richting

tegen gesteld aan den hoofdstroom. Door dezen eigen stroom, den ontladingsstroom genoemd, worden nu de waterstof en de zuurstof juist op de andere poolplaten afgescheiden dan te voren en de scheikundige werking is dus ook tegengesteld aan die van vroeger. Hieruit volgt dat de metaalplaten langzamerhand elkander weer hoe langer hoe meer gelijk worden, dat dus de eigen stroom hoe langer hoe zwakker wordt en eindelijk geheel verdwijnt. Het ontleedtoestel is dan ontladen.

Men kan er nu op nieuw van buiten af een stroom invoeren, dan geschiedt dezelfde werking weder als de eerste keer en zoo kan het laden en ontladen van het ontleedtoestel zoo dikwijls plaats hebben als men verkiest.

5^e Voordracht.

Maat en getal zijn de grondslagen, waarop alle degelijke kennis berust. Wanneer men de dingen niet bij namen weet te noemen en het aangewende niet in getallen weet uitte drukken dan is alle vooruitgang en ontwikkeling onmogelijk.

Dit heeft men in de Electrotechniek ook ingezien en daarom hebben de beroemdste geleerden en technici op internationale congressen de vraag van de eenheden voor de electriciteit van alle kanten bekeken en toegelicht. Het gevolg van dit overleg is, dat men over de geheele wereld een volledig stel van electrische eenheden heeft aangenomen, die in alle talen dezelfde namen behouden.

Het is noodig, U met deze eenheden bekend te maken, maar al weder zal ik mij tot het allernoodzakelijkste beperken.

Onmisbaar is eene eenheid voor de spanning van de electriciteit, en wel voor het spanningsverschil, dat zich openbaart in de lengte van den vonk, in de kracht der zuivere electrische aantrekking en afstooting, kenbaar bv. door den hoek van twee gelijknamige geëlectriseerde goudblaadjes en in de sterkte van den stroom, die bij gelijken weerstand door een cel geleverd wordt.

Als eenheid van spanningsverschil is nu algemeen aangenomen, 1 Volt, aldus genoemd naar den beroemden Italiaanschen natuurkundige Volta.

Zonder ons nu in de wetenschappelijke definitie van deze een-

heid te verdiepen, geef ik eenvoudig op dat de meeste galvanische cellen eene poolspanning bezitten, die tusschen 1 en 2 Volts gelegen is.

Ook merk ik op dat er tusschen de knoppen van eene electriseermachine een spanningsverschil van 4500 Volts moet bestaan om eenen electrischen vonk van slechts 1 mM. lengte voorttebrengen. Daar nu de vonken, die wij van de electriseermachine verkregen veel grootere slagwijdte hadden, volgt hieruit, dat daarbij spanningsverschillen van verscheidene duizenden Volts optraden, dat er dus een kolossaal verschil in de electrische spanning bestaat bij proeven met de electriseermachine en bij die met galvanische cellen.

Het tweede waarvoor wij eene bepaalde eenheid niet kunnen missen is de hoeveelheid electriciteit, maar daar wij voornamelijk te doen hebben met electrische stroomen, is het voldoende als er eene eenheid wordt aangewezen voor de hoeveelheid electriciteit, die elke secunde door ieder deel van de keten passeert. Deze per secunde doorstroomende hoeveelheid electriciteit is het ook die de sterkte, de intensiteit van den stroom aangeeft en die bv. bepaalt hoe sterk een magneet door den stroom afwijkt, hoeveel metaal er zich in een zekeren tijd uit zijne verbindingen afscheidt enz. Daarom heeft men eene eenheid van intensiteit of stroomsterkte vastgesteld en deze den naam gegeven van 1 Ampère, naar een beroemd fransch natuurkundige van dien naam. De sterkte van iederen galvanischen stroom wordt dus in Ampères of onderdeelen en veelvouden daarvan uitgedrukt. Een stroom van 1 Milli-Ampère bv. is een stroom, die duizend malen zoo zwak is als die van 1 Ampère; er passeert dan ook per secunde door iedere doorsnede slechts $\frac{1}{1000}$ deel van de hoeveelheid electriciteit, die bij een stroomsterkte van eene volle Ampère door de keten gaat.

Een stroom van 1 Ampère is in staat een gloeilampje tot gloei-hitte te brengen.

Een stroom van 1 Ampère ontwikkelt door electrolyse van water in 1 minuut 10,5 cM³. knalgas en slaat uit de verbindingen in 1 uur 1,18 gram koper of 4 gram zilver neder.

Een derde eenheid is noodig voor den galvanischen weerstand

dien eene zekere keten of een deel daarvan aan den electrischen stroom aanbiedt.

De eenheid van weerstand nu heet 1 Ohm en is de weerstand van een kolom kwikzilver, die 106 cM. lang is en 1 mM². doorsnede heeft. Deze weerstand is voor alle stroomen gelijk, zoo lang de temperatuur dezelfde blijft.

Een koperdraad van 1 mM². doorsnede moet 61 meter lang zijn om den weerstand van 1 Ohm te bezitten; een ijzerdraad van de zelfde doorsnede daarentegen slechts 12 Meter.

Een gewone bovenaardsche ijzeren telegraafdraad heeft voor iedere kilometer lengte eenen weerstand van nagenoeg 10 Ohms.

Volgens het geleerde in de derde voordracht is de sterkte van eenen stroom des te grooter naarmate de poolspanning, dus het aantal Volts, van de cel of batterij grooter en naarmate de weerstand van de keten, derhalve het aantal Ohms, kleiner is. De bovenstaande eenheden zijn nu zoodanig gekozen dat als men het aantal Volts van de poolspanning der batterij deelt door het aantal Ohms van den totalen weerstand in de keten, de uitkomst, direct in Ampères, de sterkte van den stroom oplevert. Men heeft dus:

$$\text{Aantal Ampères van de intensiteit} = \frac{\text{Aantal Volts der poolspanning.}}{\text{Aantal Ohms van den totalen weerstand.}}$$

Zoo bv. eene cel eene poolspanning van 1 Volt heeft en zij bevindt zich in eene keten met eenen totalen weerstand van 1 Ohm, dan levert zij eenen stroom van 1 Ampère; eene cel van 2 Volts geeft in eene keten van 10 Ohms eene stroom van $\frac{1}{5}$ Ampères enz.

Eindelijk hebben wij nog eene eenheid noodig voor het electrisch arbeidsvermogen.

Voor iedere verrichting is arbeid noodig: eene magneetnaald draaien, een rad in beweging zetten, een lamp laten branden, dat alles vereischt arbeid.

Om derhalve te kunnen nagaan of een zekere electrische stroom in staat is te doen, wat men er van eischt, moet men het arbeidsvermogen er van weten.

Dit arbeidsvermogen nu hangt af van intensiteit en poolspanning te zamen en wel van het product er van.

Dit is geheel in overeenstemming met hetgeen men bij de stoommachines opmerkt: het aantal paardekrachten van zulk een machine wordt niet alleen bepaald door de spanning van den stoom, ook niet alleen door de hoeveelheid stoom die per seconde door de machine stroomt, maar door beiden te samen en wel door het product.

Evenzoo is het met het arbeidsvermogen van het water, dat op een waterrad valt: dit hangt niet alleen af van de hoeveelheid water, die per seconde op het rad valt, evenmin alleen van het hoogteverschil of het verval van het water, maar wel van beide factoren, met elkander vermenigvuldigd.

Als eenheid van electrisch arbeidsvermogen heeft men nu aangenomen het arbeidsvermogen van eenen stroom, die bij eene spanning van 1 Volt eene intensiteit heeft van 1 Ampère.

Deze eenheid van arbeidsvermogen heeft men, ter eere van den onsterfelijken uitvinder der stoomwerktuigen, 1 Watt genoemd.

Volgens het bovengezegde berekent men nu het aantal Watts arbeidsvermogen van eene electrische keten door de poolspanning van de bron van electriciteit te vermenigvuldigen met de sterkte van den stroom, dien zij levert. Heeft men bv. in eene keten eene poolspanning van 20 Volts en een stroom van 5 Ampères, dan is het electrische arbeidsvermogen 20×5 of 100 Watts.

Tot recht begrip van de grootte van dit arbeidsvermogen geef ik er bij op dat 1 paardekracht gelijk staat met 736 Watts. Men heeft dus een stroom van 73,6 Volts en van 10 Ampères noodig om daarmede dezelfde uitwerking te kunnen verrichten als met eene machine van 1 paardekracht.

Even goed echter zou het doel bereikt worden door eenen stroom van 1000 Volts en van 0,736 Ampères, hoewel deze stroom in andere opzichten verbazend veel van den anderen verschilt. In het geven van vonken en schokken zal de laatste het ver van den eersten winnen, in het verwarmen van draden of het magnetiseeren van ijzer zal omgekeerd de eerste de overhand hebben.

Zeer dikwijls drukt men het electrische arbeidsvermogen uit in Kilo-Watts, waarmede men een arbeidsvermogen van 1000 Watts bedoelt; 1 Kilo-Watt is $\frac{1000}{736}$ of 1,36 paardekracht.

Met deze vier eenheden nu, Volts, Ampères, Ohms en Watts kan men in de praktijk volstaan.

Het is dus zaak naar middelen om te zien om van eene zekere keten deze vier grootheden te kunnen bepalen.

Wat nu het aantal Ohms van den weerstand betreft, dat kan men ten naastenbij uit de afmetingen enz. van de aangewende draden opmaken. Een afzonderlijk meetinstrument daarvoor is dus niet absoluut noodzakelijk, daar toch ook de totale weerstand uit het quotient van poolspanning en stroomsterkte berekend kan worden.

Maar aangezien iedere gewenschte verandering in de stroomsterkte door verandering van den weerstand kan verkregen worden, is het wel noodig in iedere keten en in iederen tak van de keten eene inrichting te hebben, waardoor men op gemakkelijke wijze willekeurige weerstanden in of uit de keten brengen kan. Deze instrumenten heeten rheostaten, en bestaan in den regel uit een bord waarop verschillende spiralen van slecht geleidende metaaldraden, van nieuw-zilver bv. van verschillende lengte en dikte, geïsoleerd vastgemaakt zijn. De uiteinde dier spiralen zijn zoodanig in een rij knoppen vereenigd dat door met een kruk achtereen volgens deze knoppen geleidend aan te raken, de weerstand in de keten met dien van een of meer dier spiralen wordt vermeerderd of verminderd, als naarmate de kruk van links naar rechts of omgekeerd wordt bewogen.

Meestal is een dergelijke rheostaat met anderen hulpmiddelen voor het meten en regelen van den stroom op een enkel groot bord vereenigd (Schaltbrett, Switzboard), zeer tot het gemak van dengenen, die met het toezicht op den electrischen stroom is belast.

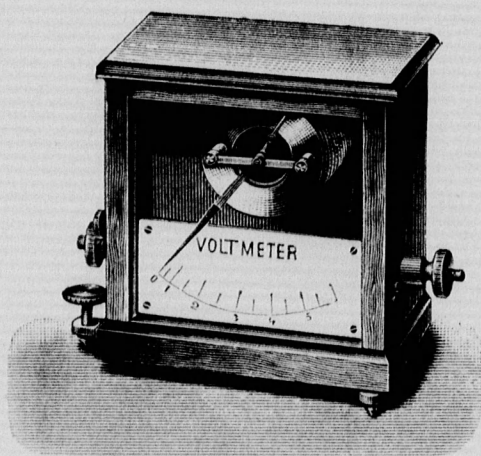
De instrumenten voor het meten van spanningen heeten Voltmeters.

Zij zijn zoodanig ingericht dat een wijzer op eene schaal direct het aantal Volts van de keten aanwijst. In Fig 13 is zulk een Voltmeter afgebeeld. Deze berust geheel op de magnetische werking, die een draadklos, met talrijke windingen van eenen fijnen draad, op daarbinnen geplaatste stukjes ijzer uitoefent.

De Voltmeters moeten natuurlijk op wetenschappelijke wijze geijkt worden, zoodat men de aanwijzingen er van ten volle vertrouwen kan. Voor deze

wetenschappelijken ijking bestaat er te Berlijn eene Rijks-inrichting, aan het hoofd waarvan bekwame natuurkundigen zijn en waar men alle electrische meetinstrumenten van behoorlijke constructie tegen geringe kosten kan laten verifiëren.

Op dezelfde wijze als de Voltmeter is ook gewoonlijk de Amperometer ingericht, waar-

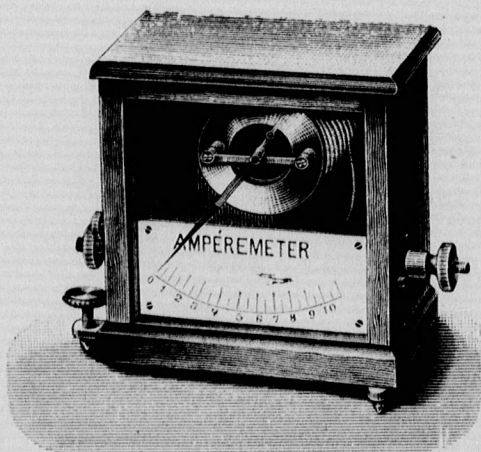


CA. $\frac{1}{4}$ NAT. GRÖSSE

Fig. 13.

in eene bewegelijke naald op eene verdeling direct het aantal Ampères van de stroomsterkte aanwijst. fig. 14. Ook dit instrument berust meestal op de magnetische werking van eenen draadklos, door welken de te meten stroomen gevoerd worden.

Verder bestaan er ook afzonderlijke Wattmeters, die direct het arbeidsvermogen van eene electrische keten aanwijzen of dit zelf opteekenen op een stuk



CA. $\frac{1}{4}$ NAT. GRÖSSE

Fig. 14.

papier. Absoluut noodig zijn echter de Wattmeters niet, daar toch het product van het aantal Volts met het aantal Ampères het gevraagde aantal Watts oplevert.

Ook zijn er nog instrumenten, zoogenaamde regulateurs, waarin de stroom zelf den kruk van een rheostaat zoodanig verplaatst, dat door verandering van weerstand de stroom voortdurend op dezelfde intensiteit terug gebracht wordt als deze door omstandigheden plotseling veranderd was. De stroom houdt dan zichzelf voortdurend op een constante aantal Ampères.

Eindelijk heeft men nog toestellen; electriciteitsmeters genaamd, die, bij de verdeling van den electrischen stroom in verschillende woningen, voor iedere woning afzonderlijk opgeven, hoeveel per week of per maand verbruikt is. Deze instrumenten zijn voor het gebruik van electriciteit, wat de gasmeters zijn voor dat van gas.

6^e Voordracht.

Langen tijd achtereen was de zoogenaamde galvanische cel de eenige bron voor electrische stroomen. Men gebruikte deze alleen of wel met eenige van gelijke soort en afmeting tot eene batterij vereenigd.

De cellen, die het meest worden aangewend zijn die van Bunsen, Grove, Daniell en Leclanché, benevens de dompelementen waarvan de zinkplaat uit de vloeistof opgetrokken kan worden, zoo men de cel niet gebruikt.

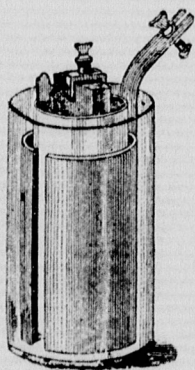


Fig. 15.



Fig. 16.

In fig. 15 en 16 zijn een paar galvanische elementen afgebeeld, nl. die van Bunsen en een dompelement van Gaiffe. De

cellen van Bunsen en Grove en ook de dompelelementen zijn meer bestemd om gedurende korten tijd eenen vrij krachtigen stroom te leveren, die van Daniell geeft eenen zwakken stroom, die echter maanden achtereen aanhoudt, die van Leclanché zijn uiterst geschikt, om zoo nu en dan, dus bij tusschenpoozen, eenen zwakken stroom te leveren, en blijven dan ook jaren achtereen bruikbaar zonder dat men ze behoeft natezien. De cellen van Daniell en van Leclanché zijn daarom uiterst geschikt voor de telegrafie, de telefonie en voor electrische schellen.

Hoe sterk de stroom is, die eene zekere cel levert, hangt niet alleen af van hare poolspanning, maar ook in hooge mate van den inwendigen weerstand er van, d. i. van den weerstand dien de vloeistoffen enz. waaruit de cel bestaat, aan den stroom aanbieden. Deze inwendige weerstand toch voegt zich altijd, bij het inschakelen van eene cel in eene keten, bij den weerstand van die keten zelve en verzwakt daardoor den stroom.

Iedere cel van Bunsen bv. heeft eene poolspanning van 2 Volts.

Een groote cel echter heeft eenen inwendigen weerstand van bv. $\frac{1}{4}$ Ohm, een kleine eenen veel grooteren bv. van 2 Ohms.

Zoo men dus de groote cel in eene keten brengt, die zelve eenen weerstand van 1 Ohm bezit, dan zal de verkregen stroomsterkte $\frac{2}{1\frac{1}{4}}$ of $\frac{8}{3}$ of $1\frac{3}{5}$ Ampère zijn. In dezelfde keten geeft echter de kleine cel maar eenen stroom van $\frac{2}{5}$ Ampère, dus een stroom die bijna $2\frac{1}{2}$ malen zwakker is dan de eerste.

Het is dus zaak om cellen aan te wenden met zeer geringen inwendigen weerstand, wat men verkrijgen kan door de poolplaten buitengewoon groot van oppervlak te maken en zeer dicht bij elkander te plaatsen.

Eene batterij van dergelijke cellen kan in eene keten, die zelve niet al te grooten weerstand heeft, zeer sterke stroomen voortbrengen. Maar altijd stuit men bij de aanwending dezer cellen voor sterke stroomen op het groote bezwaar, dat zij zeer veel kosten aan onderhoud. Telkens moet men de zinkplaten en de zuren vernieuwen.

Het was dus een belangrijke stap vooruit, toen Faraday ontdekte dat men door beweging van geleiders in een magnetisch

veld stroomen kon opwekken, zooals dat aan het einde van den derden Voordracht beschreven is. Deze inductiestroomen bestaan niet ten koste van de bestanddeelen van het toestel. De magneten kosten weinig aan reparatie en onderhoud. Wat men verbruikt dat zijn voornamelijk de steenkolen, die voor het drijven van de stoommachine noodig zijn.

Deze magnetos hebben allerlei verschillende inrichting, maar in allen zijn twee hoofddeelen te onderscheiden, nl. 1° de groote staalmagneten, die het magnetische veld voortbrengen en die dus de veldmagneten worden genoemd en 2° de week-ijzeren ring of trommel, waarop de draden zijn gewikkeld, in welke, door de beweging in het magnetische veld, de inductiestroomen moeten worden opgewekt; dit tweede draaibare deel van het toestel heet het anker.

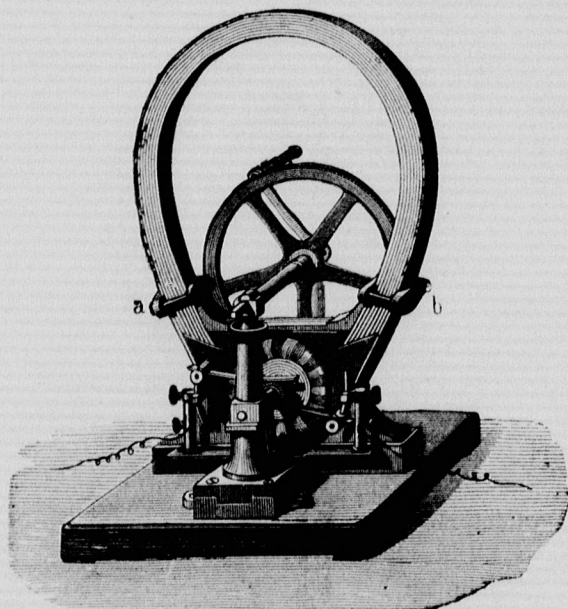


Fig. 17.

In fig. 17 is een van de beste vormen van magnetos afgebeeld, nl. de Gramme-machine van Breguet te Parijs. Men ziet

den grooten hoefvormigen stalen veldmagneet, die van onderen eindigt in ijzeren uitgeholde poolstukken. In de daardoor ontstane cirkelvormige holte, waar nu een sterk magnetisch veld is, dat door het ijzer van den ring versterkt wordt, draait de weekijzeren ankerring, waarop in vele windingen de draad is gewonden, in welken de stroom ontstaan moet. Door zijdraden is deze ankerdraad met de koperen as van den ring verbonden, welke as in zoovele geïsoleerde deelen is verdeeld als er zijdraden zijn. Tegen deze verdeelde as drukken van boven en van onderen twee metalen borstels, die onder het draaien de opgewekte inductiestroomen steeds in dezelfde richting naar buiten in de keten voeren.

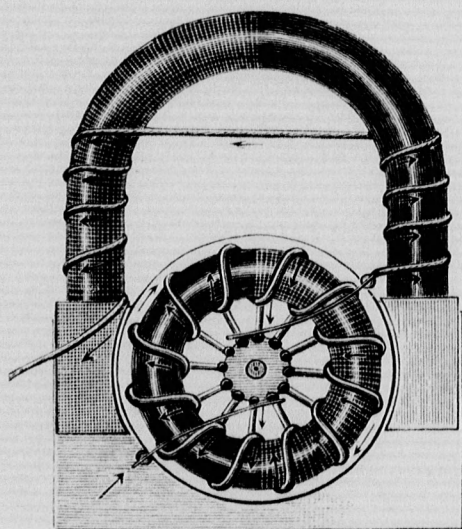
Deze stroomen hebben des te grooter spanning naarmate de veldmagneet sterker en de snelheid van omwenteling der as grooter is.

De snelheid van omwenteling nu kan men aanmerkelijk doen stijgen maar aan de sterkte der staal-magneten zijn grenzen, die men gaarne zou willen overschrijden.

Daarom was het eene hoogst geniale ingeving van Wheatstone en Siemens beiden, om den stalen veldmagneet in eenen electro-magneet te veranderen en de in het anker opgewekte stroomen zelve aan te wenden om dezen electro-magneet te magnetiseeren.

De inrichting wordt dan als volgt: Fig. 18.

De stalen veldmagneet is door eenen grooten hoof van ijzer vervangen, waarop een draad gewon-



1 10

Fig. 18.

den is, die, zooals uit de figuur blijkt, met den rechtschen metaalborstel is verbonden. Daardoor vormen de draden, die op het

anker gewonden zijn, met die van den veldmagneet een enkele keten, waarvan aan de linkerzijde der teekening de uiteinden zichtbaar zijn. Worden deze uiteinden nu met eene gesloten keten verbonden, dan zal bij het draaijen van het anker het volgende gebeuren.

De stroom, die in de ankerdraden door inductie opgewekt wordt, gaat door de windingen van den veldmagneet en versterkt het magnetisme daarvan. Daardoor wordt het magnetisch veld, waarin zich het anker beweegt, sterker en dus ook de opgewekte stroom.

Deze echter gaat weder door de windingen van den veldmagneet en versterkt op nieuw het magnetisme daarvan en daardoor weer het magnetisch veld, waarin het anker draait en zoo gaat het steeds voort tot de kolossale ijzeren hoef van magnetisme verzadigd is en de opgewekte stroomen eene tot nog toe onbekende hooge poolspanning hebben bereikt. Men kan op die wijze gemakkelijk tot 100 en meer Volts opklimmen, terwijl de intensiteit van den stroom soms meer dan 1000 Ampères bedraagt, en deze sterke werking wordt niet eerst na langen tijd bereikt, maar in weinige seconden is de werking van het toestel tot die kolossale hoogte opgevoerd. Maar het is noodzakelijk, dat de veldmagneet in den beginne reeds een spoor van magnetisme bezit, want anders geeft hij geen magnetisch veld en ontstaan er volstrekt geen inductiestroomen. Dit is echter geen bezwaar, daar ieder stuk ijzer allicht een spoor van magnetisme bezit en anders behoeft men maar even een stroom door de windingen te voeren: alsdan blijft er in den veldmagneet genoeg remanent magnetisme over, om de werking te kunnen aanvangen.

Dit vruchtbaar beginsel noemt men het electro-dynamisch beginsel en de electrische machines, die daarop berusten, heeten dynamos.

Eerst door de uitvinding van de dynamos is het mogelijk geworden op goedkoope wijze stroomen voort te brengen van bijna willekeurige spanning en sterkte, die dagen en des noods weken achtereen, zonder te verzwakken, aanhouden.

Er bestaan tegenwoordig verscheidene groote fabrieken van dynamos zooals die van Siemens en Halske te Berlijn, die van

Schuckert in Neurenberg, die van Oerlikon in Zürich, enz., enz. Deze fabrieken leveren dynamos van verschillende constructie en van zeer verschillende afmetingen van $\frac{1}{10}$ tot 1000 Paardekrachten toe, voor water-, stoom- of gas-kracht; soms is de dynamo met de stoommachine tot een geheel vereenigd, (stoom dynamos); in één woord, in groote verscheidenheid worden daar electrische machines voor allerlei doeleinden afgeleverd.

Met deze machtige bron van electriciteit heeft men nu, en dikwijls met groot voordeel, eene andere vereenigd, nl. die der accumulatoren.

Een accumulator is een bak, van eboniet of van andere isoleerende stof vervaardigd, gevuld met verdund zwavelzuur waarin twee groote loodplaten zeer dicht bijeen staan. Deze loodplaten zijn kunstmatig met een laag oxyde bedekt en houden elkander in ongeladenen toestand in electrisch evenwicht.

Wanneer men nu den stroom van eene dynamo eenigen tijd door den accumulator voert, dan wordt, zooals in de vierde Voorzigt is aangegeven, het electrisch evenwicht verbroken: de accumulator verandert in eene cel en is geladen.

Plaatst men dus den accumulator daarna in eene eigene keten,

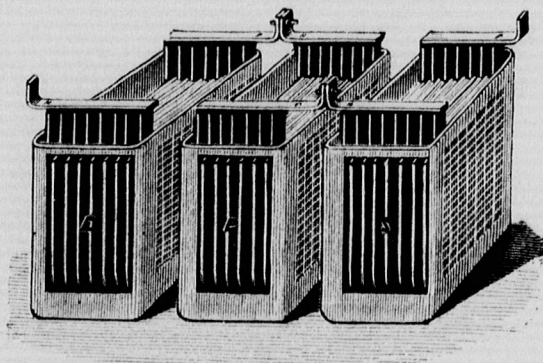


Fig. 19.

dan levert hij zelf eenen stroom, die vrij sterk kan zijn, vooral wanneer men een groot getal er van tot eene batterij vereenigt.

Een geladen accumulator heeft nl. eene poolspanning van 2,5 — 2 Volts en daar de inwendige weerstand er van buitengewoon klein is, bv. $\frac{1}{10000}$ Ohm, kan hij met eenen kleinen uitwendigen weerstand een zeer sterken stroom opleveren. Eene batterij van accumulatoren werkt nog sterker dan een batterij van buitengewoon groote Bunsensche cellen. Zij kan dus electrisch licht voortbrengen, machines doen bewegen enz. en na gebruikt te zijn, is zij niet verteerd en onbruikbaar zooals die van Bunsen, maar nog precies in denzelfden toestand als vóór de lading. Eene zelfde batterij van accumulatoren kan men herhaaldelijk laden en ontladen en zoo nu dit laden door eene geschikte dynamo geschiedt, dan heeft men hier weder eene goedkoope bron van electriciteit, die daarenboven gemakkelijk van de eene plaats naar de andere vervoerd kan worden.

Men zou bv. op eene plaats waar een waterval is, door middel van de kracht daarvan, eene groote dynamo kunnen drijven, die nergens anders voor dient dan om accumulators te laden.

Deze geladene accumulators zou men per spoor naar ver verwijderde plaatsen kunnen vervoeren, waar zij dan als bronnen van electriciteit voor allerlei doeleinden zouden kunnen worden aangewend. Alsdan kan het arbeidsvermogen van eenzame watervallen op andere plaatsen dienstbaar gemaakt worden van de eischen der nijverheid.

In Fig. 19 is eene batterij van 3 accumulatoren afgebeeld.

Men rekent dat iedere accumulator per KG. lood, die hij bevat ongeveer eene capaciteit heeft van 5 Ampère-uren, wat beteekent dat hij per KG. lood 5 uren achtereen een stroom van 1 Ampere kan leveren of wel gedurende $2\frac{1}{2}$ uur een stroom van 2 Ampères.

Willen de accumulators behoorlijk werken, dan moet de uiterste zorg worden besteed aan het behoorlijk isoleeren van den grond en van elkander.

7^e Voordracht.

Hoe vernuftig ook de uitvinding der dynamos was, even als aan iedere nieuwe uitvinding werden later verbeteringen aangebracht, die voor de praktijk van beteekenis zijn.

Een groot bezwaar der eenvoudige dynamos is dat de sterkte van den stroom, die zij leveren, in zoo hooge mate afhankelijk is van den weerstand in de keten.

In iedere electrische keten neemt bij vermeerdering van weerstand de intensiteit van den stroom af en daar iedere lamp en ieder ander instrument dat men in de keten wil brengen, eenen bepaalden weerstand bezit, kan het inschakelen daarvan niet geschieden dan ten koste van de stroomsterkte.

Maar volgens de vijfde voordracht hangt de stroomsterkte van twee factoren af, nl. behalve van den weerstand ook van de poolspanning. In eene keten van galvanische cellen is deze poolspanning nagenoeg geheel constant, in de keten van eene magneto hangt zij ook van de snelheid van draaien af, maar kan, door deze snelheid te regelen, ook gemakkelijk op eene constante hoogte worden gehouden, maar in eene keten van eene dynamo gaat dat niet zoo gemakkelijk.

De poolspanning van eene dynamo hangt toch behalve van de snelheid van draaien, ook af van de sterkte van het magnetisch veld, waarin het anker draait en dit veld wordt geleverd door den veldmagneet, die zelf weder zijn magnetisme van den stroom die in de ankerdraden is opgewekt, ontvangen moet. De stroom, die opgewekt wordt levert dus zelf het magnetisme, dat hem moet

opwekken en daarom zal iedere verandering in de sterkte van den stroom ook weder invloed hebben op de sterkte van het magnetisch veld en daardoor ook op de oogenblikkelijke poolspanning der dynamo.

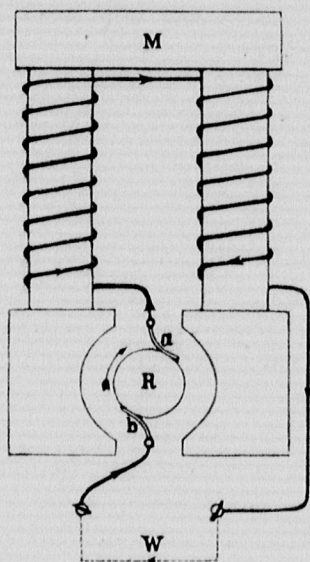


Fig. 20

Derhalve wijzigt iedere lamp, die in de keten wordt geschakeld, door middel van haren weerstand, op dubbele wijze het aantal Ampères van den stroom, ten eerste direct door de vermeerdering van het aantal Ohms van den totalen weerstand, ten tweede indirect door vermindering van het aantal Volts van de poolspanning.

In fig. 20 is de stroomloop bij eene gewone of hoofdstroomdynamo nogmaals voorgesteld, ten einde het gezegde te verduidelijken.

Ook het laden van accumulators met deze dynamos levert moeilijkheden op, daar op een zeker tijdstip der lading de tegenstroom van de accumulators die van de dynamo overwint en dan den veldmagneet

ommagnetiseert, d. w. z. andere polen geeft.

Ten einde, nu deze gebreken te verhelpen, heeft men later de draden van anker en veldmagneet op andere wijze verbonden, zooals in fig. 21 te zien is.

Aan de borstels a en b zijn bij m en n twee draden bevestigd waarvan de eene met de draadwindingen van den veldmagneet, de andere met de hoofdketen $k_1 W k_2$ waarin de lampen ingeschakeld zijn, verbonden is.

De stroom, die van het anker komt, verdeelt zich nu in de punten m en n in twee takken en dan is, volgens het geleerde in de derde Voordracht, de intensiteit in iederen tak ook van den weerstand van den anderen tak afhankelijk.

Wordt de weerstand in den eenen tak k_1 W k_2 door inschakeling van lampen bv., vermeerderd, dan wordt daardoor de stroom in dienzelfden tak zwakker, maar daarentegen in den anderen tak sterker. Deze andere tak echter vormt juist de windingen van den veldmagneet.

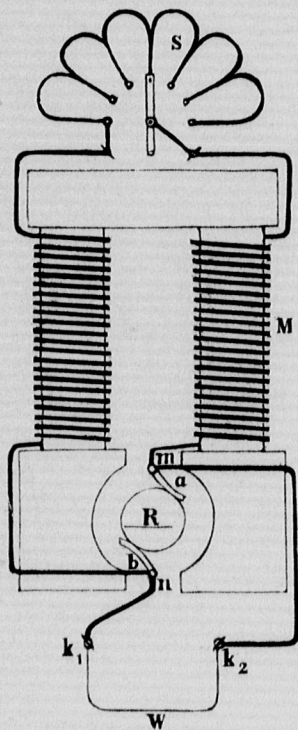


Fig. 21.

Indien men dus in de hoofdketen eenige lampen inschakelt, zal daardoor juist het magnetisme van den veldmagneet en dus ook de poolspanning van den ankerstroom toenemen. Deze verhooging van de poolspanning vergoed dan weder den nadeeligen invloed van de vermeerdering van den weerstand. Deze dynamos heeten Shunt-dynamos. Zij leveren bij zeer verschillende belasting van de hoofdketen stroomen van vrij constante intensiteit, die nog gewijzigd kan worden door middel van den rheostant S , die in den tak van den veldmagneet is aangebracht.

Voor het laden van accumulators zijn deze dynamos bijzonder geschikt daar dan het magnetisme van den

veldmagneet nooit om kan keeren.

Nog liever dan op eene constante stroomsterkte brengt men de dynamo op eene poolspanning, die onder allerlei verschillende omstandigheden zichzelf gelijk blijft.

Voor dat doel echter is de shunt-dynamo niet voldoende. Men behoeft dan eene zoogenaamde compound-dynamo. Fig. 22.

Hier zijn de armen van den grooten veldmagneet met twee afzonderlijke, goed geïsoleerde draadwindingen omgeven, die beiden invloed hebben op het magnetisme er van.

Van den ankerring R gaat door de borstels de hoofdstroom (met dikke lijn geteekend) om den veldmagneet M en door de

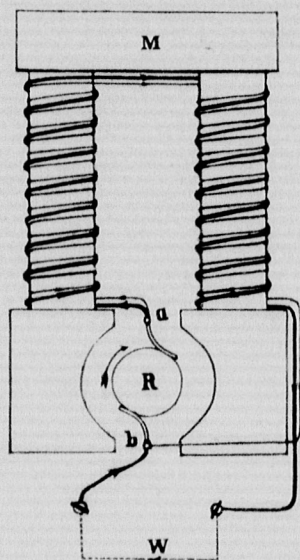


Fig. 22

uitwendige keten w ; daarenboven echter gaat van a en b nog de (met dunne lijn geteekende) neventak uit, die in vele windingen om den veldmagneet gewonden is. Bij deze dynamo zal dus de invloed van de inschakeling van meerdere lampen of toestellen in de hoofdketen van tweeërlei aard zijn en wel gedeeltelijk zooals bij de eenvoudige hoofdstroom-dynamo en gedeeltelijk ook als bij de shunt-dynamo.

Bij de eerste soort heeft inschakeling van weerstand in de hoofdketen vermindering van het magnetisme van den veldmagneet en dus vermindering van de poolspanning der dynamo ten gevolge; bij de shunt-dynamo daarentegen wordt door dezelfde oorzaak de

poolspanning der dynamo grooter: bij de compound-machine is het dus mogelijk door behoorlijke verhouding van de weerstanden en van het aantal windingen der twee draden, die afzonderlijk op den veldmagneet gewonden zijn, het zoo ver te brengen dat onder allerlei verschillende omstandigheden de poolspanning der machine bij gelijkmatigen gang van de as bijna precies werkt als eene zeer sterke galvanische batterij.

Voor eene gemakkelijke verdeeling van den electrischen stroom over een groot aantal verbruiksplaatsen is eene dergelijke compound-dynamo van groote waarde.

Men ziet, dat het electrodynamisch beginsel op allerlei verschillende wijzen kan worden veranderd en uitgebreid en aldus de dynamo voor zeer verschillende doeleinden de meest geschikte werking kan doen.

Zoo bv. had men altijd moeite om eene dynamo behoorlijk door

eenen windmolen te laten werken tot het laden van accumulatoren, omdat de snelheid van den wind en daardoor die van de as der dynamo zoo ontzettend veranderlijk is. De opgewekte stroom was aan al te groote schommelingen in sterkte onderhevig. Zoo men de dynamo inrichtte voor geringe windsnelheid, dan gaven plotseling windstooten veel te sterke stroomen.

Nu bedacht men om de hoofdstroomwinding op den veldmagneet van de compoud-dynamo (in fig. 22 dik geteekend) in tegenovergestelde richting op den veldmagneet te winden. De windingen werken dan verzwakkend op het magnetisme van den veldmagneet en dus ook op de poolspanning van de dynamo. Daar zij echter weinig in getal zijn, hebben zij bij matigen wind weinig of geen invloed, maar neemt plotseling de kracht van den wind sterk toe, dan verzwakken zij zoodanig het magnetisch veld, dat daardoor de poolspanning nooit te hoog kan klimmen en bij alle windsnelheden vrij wel tusschen 100 en 120 Volts blijft.

Andere verbeteringen in de dynamo betreffen meer de soliditeit der constructie en het nauwgezet toepassen van alles wat voordeelig kan wezen voor de sterkte van het magnetisch veld en voor de inductiewerking daarvan op den ankerdraad.

Ten einde een denkbeeld te geven van eene moderne dynamo vermeld ik nog de zeer groote stoomdynamo van Siemens en Halske te Berlijn van 500 paardekracht, eene zoogenaamde „Innenpolmaschine”, waarin de veldmagneten binnen in den ankerring geplaatst zijn, in plaats van die, zooals gewoonlijk, te omgeven. Deze machine levert bij 160 omwentelingen per minuut een electrisch arbeidsvermogen van 380 kilo-watts. Men kan er ongeveer 7600 gloeilampen, ieder van 16 kaarsen, mede laten branden.

8^e Voordracht.

Na de uitvinding en de daaropvolgende verbetering van de dynamo heeft zich de Electrotechniek op reusachtige wijze ontwikkeld.

Men schat het kapitaal, dat nu reeds in allerlei electriciteitswerken gestoken is, op meer dan $1\frac{1}{2}$ milliard of 1500 millioen guldens.

De „Allgemeine Electriche Gesellschaft” te Berlijn, maakte in 1893 eene netto winst van bijna twee millioen mark. Men kan dus nagaan welke kolossale zaken deze enkele Maatschappij, ééne van de velen, die er bestaan, nu reeds doet.

In Berlijn waren in 1892 reeds 150.000 gloeilampen in dagelijksch gebruik, in Londen 500.000 en in vele steden van de Vereenigde Staten van Noord-Amerika is dit getal nog grooter.

Alleen voor het maken van gloeilampen bestaan reeds meer dan 10 groote fabrieken, waaronder er ééne is, die er dagelijks 25000 aflevert.

Wanneer men nu verder denkt aan de massa booglampen, die overal ontstoken worden, aan de veelvuldige aanwending der electriciteit voor het bereiden der metalen en voor het bewegen van werktuigen in fabrieken, wanneer men dan nog denkt aan de talrijke electriche trams, die hoe langer hoe meer de paardentrans en de stoomtrams verdringen, dan krijgt men eenig denkbeeld van de groote bloei der Electrotechniek.

In de Vereenigde Staten alleen strekten zich in 1894 de rails der electriche trams reeds uit over eene totale lengte van 12000 kilometers, d. i. meer dan een vierde deel van den omtrek der aarde.

De verdeeling van de electriciteit over een zeker verbruiksgebied gaat uit van een zoogenaamd „electrisch centraalstation of Centrale” als middelpunt. Van deze Centralen zijn er in Europa alleen reeds meer dan 300 en het aantal er van wordt voortdurend nog vergroot.

Eene electrische Centrale levert in eenen kring om zich heen, van grooteren of kleineren omvang, den stroom die noodig is voor verlichting van huizen en terreinen en voor de beweging van machines als boormachines, kranen, enz.

In een groot gebouw zijn de motoren en de dynamos vereenigd.

Meestal gebruikt men waterkracht of stoomkracht, waarvan men het aantal paardekrachten berekent, naar het vermoedelijk maximum van het arbeidsvermogen, dat geleverd moet worden. Voor deze berekening schat men iedere gloeilamp van 16 kaarsen op 50 Watts en iedere booglamp van 500 kaarsen op 200 Watts. De aldus verkregen som wordt door 736 of liever, wegens allerlei verliezen door warmteontwikkeling enz., door 500 gedeeld en aldus op paardekrachten herleid. Tel hierbij op het aantal paardekrachten van de machines, die gedreven moeten worden en den totale som geeft in het ruwe het minimum van de benoodigde water- of stoomkracht.

Hieruit volgt dan ook de grootte en het aantal der dynamos, die vermoedelijk noodig zullen zijn, waarbij men ook op reserve-machines moet rekenen.

Het meest gebruikt men tegenwoordig het compound-systeem van dynamos en brengt men aan het begin van het leidingsnet eene constante poolspanning aan van 100 à 110 Volts.

Van deze dynamos worden nu zware kabels van geleiddraden naar alle kanten heengeleid, die den stroom over het geheele gebied der Centrale moeten verdeelen.

Deze verdeeling kan op twee verschillende wijzen geschieden, die echter op allerlei manieren met elkander kunnen worden vereenigd.

De eerste wijze van stroomverdeeling is de serieverbinding, waarbij een enkele kabel het geheele gebied doorloopt en alle toestellen in zich opneemt: de stroom gaat dan achtereenvolgens door alle toestellen heen.

Deze wijze van verdeelen wordt alleen gevolgd bij het uitsluitend gebruik van booglampen bv. voor straatverlichting.

De tweede manier van verdeling is die der parallelverbinding, zie fig. 23, waarbij van iedere pool der dynamo D een afzonder-

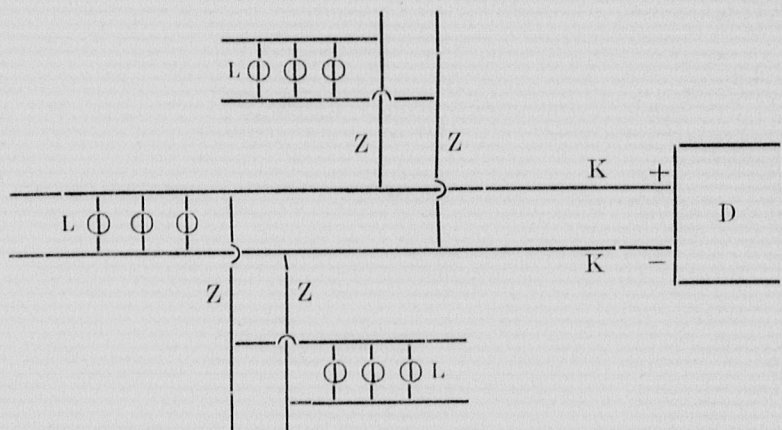


Fig. 23.

lijke goed geïsoleerde kabel K uitgaat, die beiden het geheele gebied doorloopen.

Van alle toestellen L wordt de eene klemschroef met den eenen, den positieven kabel, de ander met den anderen, den negatieven kabel verbonden en de stroom gaat door alle toestellen tegelijkertijd.

Deze wijze van verdeelen is zeer algemeen in gebruik, zoowel voor gloeilampen als voor motoren, daar zij dit groote voordeel oplevert dat het in- of uit-schakelen van een of meer toestellen niet den minsten invloed heeft op de goede werking der anderen, zoo men slechts zorgt voor eene constante spanning aan de polen der dynamo en dit wordt immers juist door het compound-systeem bereikt.

Men kan nu dit parallel-systeem op de volgende wijze verder uitwerken, dat men op sommige punten van de beide hoofdkabels K zijkabels Z doet uitgaven, die zich op hunne beurt weder in verschillende neventakken kunnen vertakken, maar zoo-

danig dat ten slotte ieder neventak eene rij van lampen L in parallel verbinding opneemt.

Voor grootere centralen verdeelt men het geheele gebied, dat te verzorgen is, in twee zooveel mogelijk gelijke helften en voorziet iedere helft door eene afzonderlijke dynamo. Om kabels uittesporen wendt men dan het driekabelsysteem (fig. 24) aan. Hierbij worden de twee dynamos met de ongelijke polen aan elkander verbonden, zoodat de totale poolspanning op 200 Volts klimt en nu leidt men zoowel van de beide eindklemmen als van de middelklem eenen afzonderlijken kabel af, zoodat er drie kabels in 't geheel zijn, die met hun drieën ook verder het geheele gebied doorloopen. Van de eene helft der toestellen wordt de eene klem-schroef aan den eersten kabel, de andere aan den middelsten kabel vastgemaakt, van de andere helft de eerste klem-schroef aan den middelsten, de tweede aan den derde kabel.

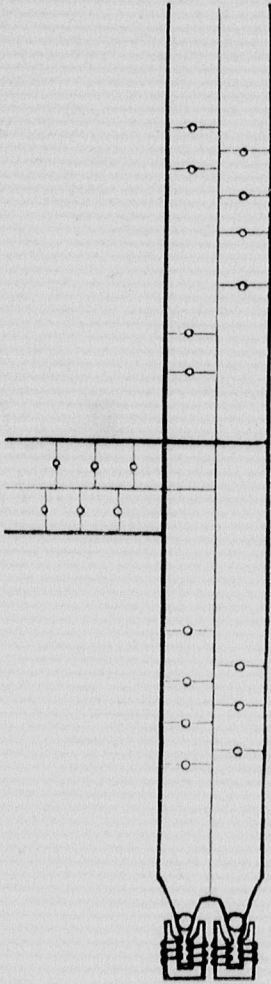


Fig. 24.

Ook deze drie kabels kunnen nu weder zooals de teekening aanwijst op verschillende plaatsen zijtakken uitzenden, altijd drie tegelijk.

Voor nog grootere centralen heeft men zelfs het vijf-kabel-systeem ingevoerd met 4 dynamos en 5 kabels.

De hierbij gebruikte kabels worden in den grond geplaatst en moeten met bijzonderen zorg samengesteld zijn, willen zij volkomen isoleren en daarenboven tegen allerlei invloeden van weer en lucht en van stooten en duwen enz. bestand zijn.

Daarvoor is de in elkander gedraaide snoer van koperdraden,

die den eigenlijken geleiddraad vormt, door een dikke laag van guta-percha omgeven en dit omhulsel is samengevat in eene looden buis, die het geheel bijeenhoudt. De looden buis zelve is weder bedekt met eene dikke laag jute-hennep en asphalt, die op hare beurt weder beschermd wordt door ijzeren banden, die het geheel omgeven en voor mechanische belediging, van welken aard ook, beschutten. Een dergelijke hoofdkabel is zeer kostbaar en heeft somtijds bij eene dikte van 10 cM., een gewicht van 17 kilogram voor iedere meter lengte.

De zijkabels zijn dunner en ligter en van nog minder omvang zijn natuurlijk de laatste kabels, die direct aan de afzonderlijke toestellen verbonden zijn.

Waar twee kabeleinden aan elkander zijn gezet of waar een kabel een zijtak uitzendt, daar is overal de verbinding zorgvuldig door afzonderlijke koperen klemmen gevormd, die met de kabeleinden geheel in gietijzeren moffels zijn opgesloten, die ze beschermen maar tegelijk het nazien der verbindingen van tijd tot tijd mogelijk maken.

Waar de zijkabels in de huizen dringen, is bijzondere zorg besteed aan het isoleeren en daarenboven zijn er in de leiding looden reepen in geschakeld, die bij onverwachte plotselinge stijging van den stroom afsmelten en de keten verbreken, eer de toestellen in de huizen beschadigd zijn.

Wanneer de geheele inrichting goed beraamd en door beproefde werklieden aangelegd is en dan door bekwame ingenieurs gedreven wordt, dan levert eene dergelijke Centrale alle zekerheid voor eene goede en geregelde exploitatie, zoowel voor verlichting als voor beweging van werktuigen.

Deze zekerheid wordt echter nog aanmerkelijk verhoogd, wanneer men met de compound-dynamos eene batterij van accumulatoren verbindt, die de geregelde werking der dynamos ondersteunt en zoo noodig de taak er van tijdelijk overneemt.

Men kan nl. zeer geschikt eene groote batterij van accumulatoren zoodanig opstellen, dat zij in eenen zekeren stand van eene kruk door de dynamo geladen worden, terwijl in den anderen stand van dezelfde kruk de batterij haren ontladingsstroom voert

in hetzelfde kabelnet, dat anders van de dynamo zelve stroom ontvangt.

Dit is vooral voordeelig als het voornaamste doel de electriche verlichting is: voor den nachtdienst kan men dan de stoommachine in rust brengen en alleen met den stroom der accumulatoren werken. Ook kan men het zoo inrichten, dat terwijl sommige accumulatoren door de dynamo geladen worden, de anderen hunnen stroom bij dien der dynamo voegen, om te samen voor de uitoefening van het bedrijf te zorgen, terwijl daarenboven het getal van beiden gemakkelijk gewijzigd kan worden. Bij nauwkeurig toezien op de aanwijzingen van Volt- en Ampère-meter kan men aldus voor den geregelde gang van zaken volkomen instaan.

Centralen met compound-dynamos in verbinding met eene batterij van accumulatoren zijn lang niet zeldzaam en voldoen goed. Wat eindelijk de prijs betreft, waartoe de Centralen gemiddeld de electriciteit leveren, deze is van 24 tot 50 cent per kilowatt-uur, wat beteekent dat men van 24 tot 50 cent moet betalen voor ieder uur dat men 1000 Watts of 2 paardekrachten arbeidsvermogen verbruikt. Dit is ongeveer van $1\frac{1}{2}$ à 3 cent per uur voor iedere gloeilamp van 16 kaarsen lichtsterkte, eene lichtsterkte die met die van eene goede gaslamp overeenstemt.

Men heeft uitgerekend dat een prijs van 15 cent per kilowatt-uur noodig zou zijn, om voor alle mogelijke technische doeleinden met voordeel van de electriciteit gebruik te kunnen maken.

9^e Voordracht.

Het is nu gebleken dat er een volledig en vertrouwd systeem van electrische stroomverdeeling bestaat, dat aan alle eischen der praktijk voldoet.

Het eenige gebrek dat het bezit is, dat de kabels, die voor de geleiding dienen, kolossaal dik moeten zijn, om door de sterke stroomen, die er doorgaan, niet merkbaar verhit te worden. Hierdoor worden de kabels buitengewoon kostbaar en daardoor ontstaat een groot geldelijk verlies, gelijk aan de rente, die het daarvoor benoodigde kapitaal anders zou opbrengen.

Met het doel dit verlies zooveel mogelijk te verminderen, heeft zich nu naast het boven beschrevene systeem van levering van electrisch arbeidsvermogen, een geheel ander systeem ontwikkeld, dat op de aanwending van wisselstroomen berust.

Men heeft dus het systeem der gelijkgerichte stroomen, in de vorige Voordracht beschreven, en daarnaast het systeem der wisselstroomen, dat ik nu wensch uiteen te zetten.

Een wisselstroom is een stroom, die in plaats van steeds dezelfde sterkte en dezelfde richting te behouden, voortdurend en geregeld in sterkte en richting verandert. Hij begint bv. met zeer geringe intensiteit van links naar rechts te stroomen, klimt dan geregeld tot een zeker maximum van sterkte, om daarna afnemen tot nul, maar nu houdt hij niet op maar begint nu van rechts naar links te stroomen eerst met geringe sterkte, welke echter voortdurend herneemt tot een maximum, om daarna weder afte-

nemen tot nul. Hierna stroomt hij weder van links naar rechts en zoo gaat het voort, telkens na een bepaald tijdsverloop, dat men de periode noemt, weder tot dezelfde richting en dezelfde sterkte terugkeerende.

Al die uitwerkingen nu, die onafhankelijk zijn van de richting van den stroom, kunnen de wisselstroomen even goed te weeg brengen als de constante stroomen.

Bijv. voor warmteontwikkeling zijn de wisselstroomen even goed bruikbaar als de gewone stroomen, want de warmte, die in eenen kooldraad ontwikkeld wordt, is even groot, wanneer de stroom van links naar rechts gaat als omgekeerd.

Ook de aantrekking van ijzer door eenen electromagneet is onafhankelijk van de polen, die deze magneet verkrijgt en dus ook van de richting, waarin de stroom door de windingen van den electromagneet gaat.

De werking van twee electromagneten op elkander, echter, zal wel degelijk van de richting van den stroom afhangen: evenzoo de afwijking, die een magneet door den stroom ondervindt. Gewone galvanometers kunnen dus voor wisselstroomen niet gebruikt worden.

Evenmin kan men met wisselstroomen accumulators laden want dan zouden de beide gassen beurtelings op de beide loodplaten afgescheiden worden en elkanders werking daarop vernietigen.

In 't algemeen zijn de wisselstroomen voor electrolytische werking niet geschikt. Maar warmte en licht ontwikkelen, dat kunnen zij evengoed als de gelijk gerichte stroomen.

De eerste groote electrische lichtmachine, die der Alliance te Brussel, was ook een wisselstroom-machine, evenzoo die van de Méritens, die daarna veel in gebruik kwam.

Deze machines bestonden uit eene rij van sterke staalmagneten als veldmagneten, in eenen kring gesteld om een anker, bestaande uit straalsgewijze gestelde, van ijzeren kernen voorziene draadklossen, waarin, door het draaien van het anker in het magnetisch veld der staalmagneten, inductiestroomen optraden, die op bovenbeschreven wijze in sterkte en richting wisselden, daar iedere noordpool der veldmagneten aan weerszijden door zuidpolen omgeven was en omgekeerd.

Naderhand heeft men de stalen veldmagneten door groote electromagneten vervangen, die door eene afzonderlijke dynamo van de gewone soort sterk gemagnetiseerd werden, zoodat er een magnetisch veld ontstond, oneindig veel krachtiger dan vroeger.

De as van de dynamo en die van het anker van de wisselstroommachine worden door dezelfde stoommachine gedreven.

Volgens dit beginsel zijn de tegenwoordige wisselstroommachines

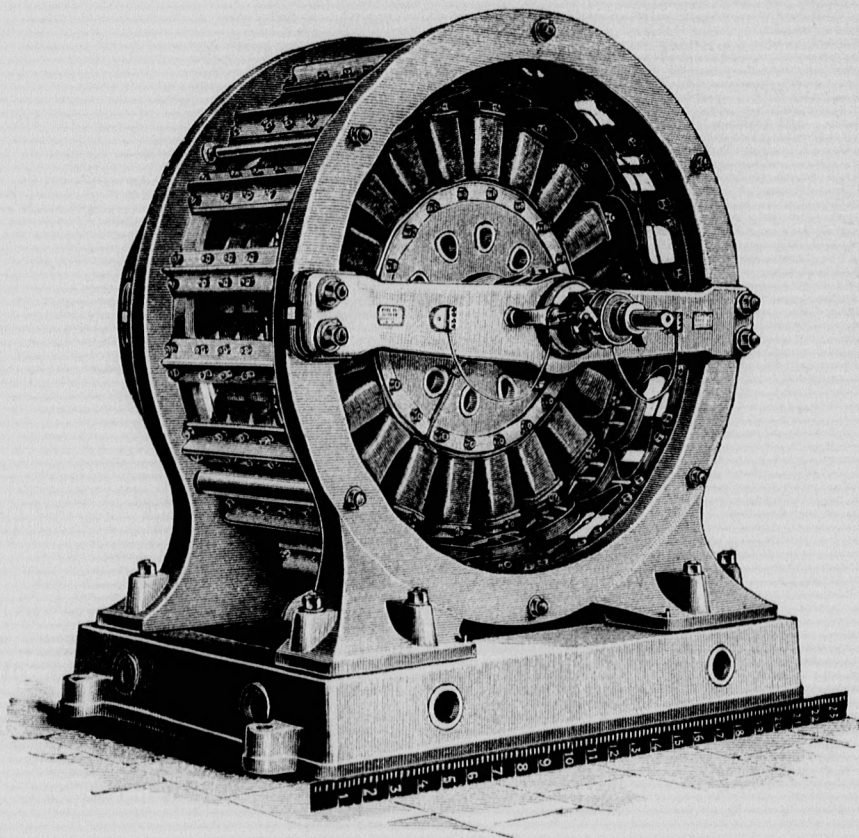


Fig. 25.

geconstrueerd, die somtijds in reusachtige afmetingen worden uitgevoerd.

Een der vele soorten van wisselstroommachines is in fig. 25 afgebeeld. Men ziet het draaibare anker met de daarop straalsgewijze bevestigde draadspoelen, die allen zorgvuldig van elkander zijn geïsoleerd en waarvan de uiteinden zoodanig verbonden zijn, dat al de opgewekte stroomen elkander versterken en tot een geheel samensmelten. Verder ziet men een ringvormige mantel, die inwendig, zooals duidelijk in de teekening rechts boven is aangegeven, een krans van naar binnen uitstekende electromagneten draagt, even groot in aantal als de stralen van het anker.

Al deze electromagneten tezamen vormen den ringvormigen veldmagneet, die door zijne beurtelings omwisselende polen den wisselstroom in de draden van het draaiende anker opwekt. De draden van de veldmagneten zijn weder tot een geheel samengekoppeld, zoodat men daarin den stroom kan voeren van eene afzonderlijke dynamo, die in de teekening is weggelaten.

Meestal laat men het anker dezer wisselstroommachine zoo snel ronddraaien, dat er duizend wisselingen in de minuut plaats grijpen. De periode is dan $\frac{60}{500}$ of $\frac{3}{25}$ seconde.

De hier afgebeelde wisselstroommachines worden door de firma Ganz en Co. in verschillende afmetingen vervaardigd. De grootste is van 550 paardekracht.

Siemens en Halske in Berlijn maken ze nog grooter tot 3000 paardekrachten toe. De poolspanning bedraagt 2000 Volts en meer.

De wisselstroomen hebben dit groote voordeel boven de vroeger vermelde gelijkgerichte stroomen, dat zij kunnen worden getransformeerd, d. w. z. dat zij, bij behoud van nagenoeg hetzelfde arbeidsvermogen, kunnen worden omgezet in stroomen van geheel andere spanning en geheel ander stroomsterkte.

Stroomen bv. van 2000 Volts en 2 Ampères kunnen worden veranderd in stroomen van 100 Volts en van 40 Ampères en omgekeerd, altijd op deze wijze nl. dat het aantal Watts, of het product van spanning en stroomsterkte, hetzelfde blijft.

Op die transformatie nu berust het gewichtig feit, dat men de wisselstroomen door veel dunner draden en veel gemakkelijker over een zeker gebied van verbruiksplaatsen kan verdeelen dan met gelijkgerichte stroomen mogelijk is.

Om een tal van electrische lampen in parallelverbinding behoorlijk te doen branden, heeft men eenen hoofdstroom noodig, die vele Ampères sterk is. Deze sterke stroom echter kan niet door dunne draden gaan, zonder die te doen smelten en zoo zij al niet smelten, dan worden zij toch sterk verhit en al de hierbij ontwikkelde warmte is verlies. Van daar de kolossale afmetingen en dus ook de kostbaarheid van de hoofdkabels, die bij het vroeger beschreven systeem noodig zijn.

Stroomen van gering aantal Ampères echter kunnen door dunne draden, gewone telegraafdraden bv. heengevoerd worden zonder ze merkbaar te verhitten, ook al is de spanning van die stroomen zeer hoog. Stroomen van 10000 Volts, zelfs van 30000 Volts heeft men ongehinderd door telegraafdraden geleid, zoo men slechts zorgde voor eene goede isoleering van de palen, waarop zij rusten.

Men heeft voor deze hooggespande stroomen afzonderlijke isolatoren, de zoogenaamde olie-isolatoren, porceleine klokken als die, welke in de telegrafie in gebruik zijn, maar in 2 deelen verdeeld en in de tusschenruimte een laag olie bevattende. Zooals in de praktijk gebleken is, belet deze dunne laag olie het overspringen van de electriciteit volkomen.

Wanneer men nu, door middel van zekere instrumenten, wisselstroomen van hooge spanning en weinig sterkte kan transformeeren in stroom van geringe spanning en groote sterkte, dan is het vraagstuk der electrische verdeeling door middel van gewone telegraafdraden opgelost.

Men kan dan immers door middel der bovengenoemde wisselstroommachine stroomen voortbrengen van hooge spanning en weinig sterkte, bv. van 5000 Volts en van 2 Ampères in maximo en deze stroomen door telegraafdraden ongehinderd over het geheele verbruiksverbiel verdeelen. Zoo men dan op de verbruiksplaatsen den stroom kan transformeeren bv. in eenen wisselstroom van 10 Volts en 100 Ampères, dan zal deze aldaar in staat zijn electrisch licht te ontwikkelen en beweging voort te brengen.

Dergelijke transformatoren bestaan nu werkelijk, maar zij kunnen alleen op wisselstroomen worden toegepast.

Het zijn ijzeren kernen, die door twee afzonderlijke spiralen van geïsoleerd koperdraad omgeven zijn. Door de eene spiraal, de primaire, voert men den stroom, die van de machine komt, deze magnetiseert dan de ijzeren kern, maar daar de stroom een wisselstroom is, verandert ook voortdurend het magnetisme der kern en daardoor ook het magnetisch veld, waarin zich de spiralen bevinden; dit werkt weder induceerend op de tweede, de secundaire, spiraal en aldus ontstaat hierin een nieuwe wisselstroom die dezelfde periode heeft als de primaire maar eene geheel andere spanning bezit. De spanning van dezen secundairen wisselstroom verhoudt zich nl. tot die van den primairen, ongeveer als het aantal windingen van de beide spiralen. Is bv. het aantal windingen van de primaire spiraal 10 malen zoo groot als dat der

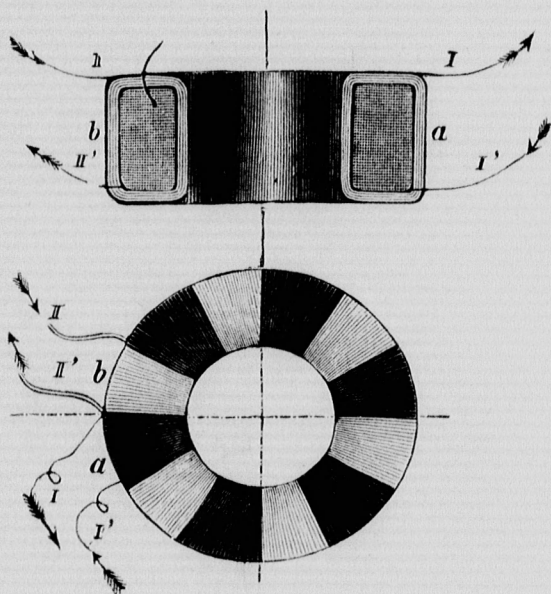


Fig. 26.

secundaire, dan zal een primaire wisselstroom van 1000 Volts in den secundairen draad eenen secundairen wisselstroom van 100 Volts voortbrengen. Deze laatste echter heeft dan ook eene tienmaal zoo groote intensiteit dan de primaire wisselstroom.

In fig. 26 zijn twee teekeningen van denzelfden transformator gegeven.

Uit weekijzeren banden of draden is een tamelijk dikke, geheel geslotene ring vervaardigd, die omwikkeld wordt met twee geheel geïsoleerde spiralen van koperdraad, die zooals de tekening aangeeft in afzonderlijke en afwisselende sectoren op den ring gewonden zijn. De zwarte draad moet de primaire, de lichtere draad, die minder windingen tellen moet, de secundaire spiraal voorstellen.

Het geheel wordt in eene afgesloten kast vereenigd, waarbuiten alleen de 4 geleiddraden uitsteken.

Met behulp dezer transformatoren is nu de verdeeling in den electrischen stroom door middel van eenvoudige telegraafdraden op de volgende wijze gemakkelijk uitvoerbaar. Fig. 27.

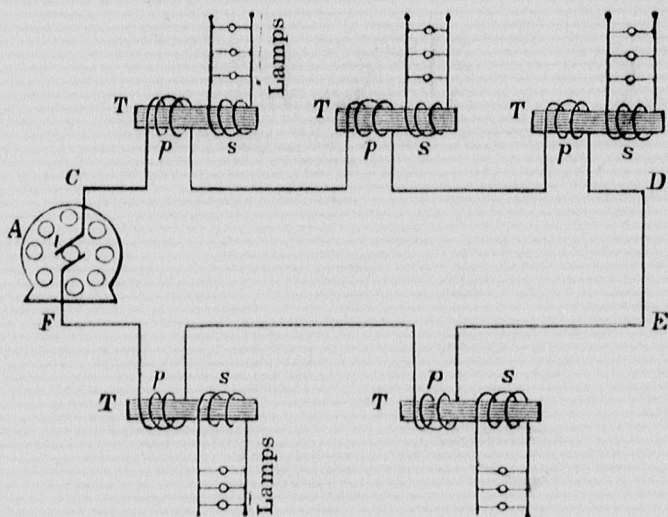


Fig. 27.

Van de groote wisselstroommachine A gaat een enkele hoofd-draad C D E F door het geheele stroomgebied rond.

Op iedere verbruiksplaats is in den kelder of op het dak, goed beschut, een transformator geplaatst die in de tekening voor de eenvoudigheid door eene rechte staaf T is voorgesteld. De hoofd-

draad C D E F is nu met al de primaire spiralen van al de transformers tot eene enkele doorlopende keten verbonden, door welke de hoofdstroom onvertakt rondloopt.

De secundaire draad S echter van iedere verbruiksplaats dringt goed geïsoleerd tot in de woningen en vertakt zich daar volgens het systeem der parallelverbinding door de verschillende gloeilampen die daar voorhanden zijn.

De wisselstroommachines leveren gewoonlijk stroommen van 1000—5000 Volts, maar van weinig Ampères: de hoofddraad kan dus uit gewonen telegraafdraad bestaan. In de secundaire spiralen verkrijgt men stroommen van gemiddeld 100 Volts, die dus 10 tot 50 malen sterker zijn dan de hoofdstroom. Voor deze secundaire wisselstroommen heeft men dus weder flinke kabels noodig, maar deze behoeven nu maar kort te zijn.

Met toenemend succes concurreert dit stelsel der wisselstroommen met dat der gelijk gerichte stroommen, in de vorige voordracht beschreven.

Op tal van plaatsen in de Vereenigde Staten, maar ook in Londen, in Rome en in Milaan bv. heeft men dat systeem met vrucht en op groote schaal toepast.

10^e Voordracht.

Men stelt tegenwoordig aan eene electrische Centrale den eisch, om niet alleen over een zeker gebied electrisch licht, maar ook mechanisch arbeidsvermogen te verdeelen. Men wil niet alleen lampen laten branden, maar ook werktuigen drijven. Het arbeidsvermogen, in de machines van het Centraalstation voorhanden, wil men op verwijderde plaatsen aanwenden om andere machines te bewegen bv. kranen, schaaft- en pons-machines, enz.

Men wil met den electrischen stroom arbeidsvermogen overbrengen van de eene plaats naar de andere.

Dit nu geschiedt zeer geschikt door het systeem der gelijkgerichte stroomen. Men heeft slechts twee gewone dynamos door behoorlijke geleiddraden met elkander te verbinden. Bij het draaien van de eene wordt ook de andere in wenteling gebracht en kan dus als electromotor dienen, om even als een stoommachine, andere machines te drijven.

Met wisselstroomen echter kan men veel moeilijker op afstand beweging te voorschijn roepen. Wisselstroommotoren bestaan wel, maar werken gebrekkig d. i. zij werken goed, wanneer zij eenmaal in vollen gang zijn, maar om zonder hulp op gang te komen, daartoe zijn zij niet in staat.

Dit was een groot gebrek van het nieuwere stelsel der wisselstroomen, maar door allerlei vernuftige uitvindingen heeft men dit gebrek eindelijk weten te verhelpen en zelfs in een voordeel weten te veranderen.

Men maakt tegenwoordig wisselstroommotoren, die even goed,

zelfs bij zware belasting, op gang komen en blijven loopen als die der gelijkgerichte stroomen.

Men werkt dan echter niet met eenen enkelen wisselstroom, maar met meerdere te gelijk, meestal drie.

Men heeft dan op het Centraalstation electrische machines, die bij iedere omwenteling in drie afzonderlijke ketens drie afzonderlijke wisselstroomen voortbrengen, die in periode en in sterkte gelijk zijn, maar van elkander verschillen in phase, d. i. in den tijd, waarop ieder zijne grootste sterkte bereikt. Eerst komt de eerste stroom op zijn maximum van sterkte, dan $\frac{1}{3}$ van de periode later de tweede, $\frac{2}{3}$ van de periode de derde en na drie derden of na eene volle periode heeft n° 1 weder zijn maximum bereikt, en zoo gaat het geregeld voort.

Deze drie wisselstroomen worden nu zoodanig samengekoppeld, dat 3 draden voldoende zijn, om ze naar de verbruiksplaatsen te voeren. Ieder van de drie wisselstroomen gaat door zijn eigenen draad naar het andere station en komt door de beide anderen terug. Zie fig. 28.

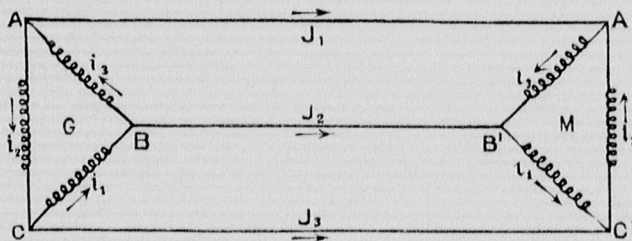


Fig. 28.

Op iedere verbruiksplaats gaan deze drie wisselstroomen door afzonderlijke draadklossen, die op verschillende plaatsen van eenen ijzeren ring, fig. 29, aangebracht zijn. Met hun drieën vormen nu de genoemde wisselstroomen binnen in dezen ijzeren ring een magnetisch veld, waarvan de krachtlijnen voortdurend en geregeld in denzelfden zin van richting en van sterkte veranderen. Want, daar iedere wisselstroom op zijn beurt toe- en afneemt, en in sterkte en in richting verandert, en dit voor de drie wisselstroomen op ongelijke tijden plaats vindt, zoo zal nu eens de eene

draadspiraal en dan weder de andere de overhand hebben in het magnetiseeren van den ijzeren ring. Kon men binnen dien ring ijzervijlsel op eene zeer gladde onderlaag strooien, dan zou men

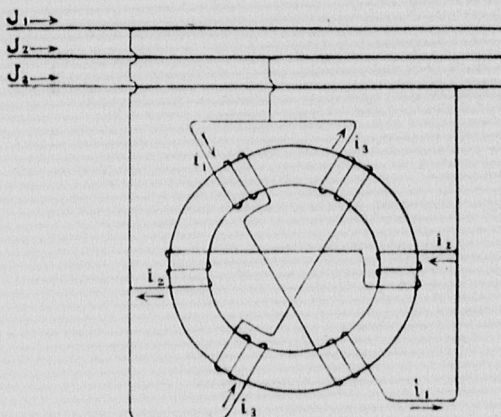


Fig. 29.

dit door de werking dier wisselstroomen telkens anders zien richten en dus in draaiende beweging geraken. Evenzoo zou een kompasnaald binnen dien ring geplaatst, door de werking der wisselstroom gaan draaien. Vandaar dat men het magnetisch veld binnen dien ring een magnetisch draaiveld noemt.

Wanneer men in zulk een magnetisch draaiveld een anker stelt zooals van fig. 25, met een krans van draadspoelen, van ijzeren kernen voorzien, dan zal door de magnetische werking van den ring het anker eveneens worden rondgedraaid, zelfs al is het met een werktuig verbonden, dat arbeid verricht.

Met deze draaistroommotoren, zooals men ze noemt, kan men nu in het wisselstroomstelsel even goed beweging overbrengen als met dat der gelijkgerichte stroomen. Men heeft dan wel drie afzonderlijke geleiddraden noodig, maar dat is geen bezwaar.

Vooreerst wordt in het drieleiderssysteem toch ook van drie kabels gebruik gemaakt, maar ten tweede, de draden kunnen nu gewone telegraafdraden zijn.

Men kan nl. wederom stroomen van hooge spanning en weinig intensiteit uitzenden en deze eerst op de verbruiksplaats door transformatoren in sterke stroomen van geringe spanning omzetten, voordat men ze in den draaistroommotor voert.

Er zijn dan wel drie gelijke transformatoren noodig, maar men kan deze zeer beknopt inrichten en deze goed geïsoleerd tot een

enkel toestel samenvoegen. Dit toestel noemt men een draaistroomtransformator.

De geheele inrichting wordt dan wel eenigszins ingewikkeld, maar in verschillende steden is dit systeem der draaistroomen uitgevoerd en heeft daar in de praktijk gunstige resultaten opgeleverd.

Het nieuwe systeem heeft daarenboven dit groote voordeel, dat men daarmee ook op zeer groote afstanden arbeid kan overbrengen, wat in het stelsel der gelijkgerichte stroomen onmogelijk is wegens de kostbaarheid van de benoodigde hoofdkabels.

Werkelijk heeft men ook door middel van het systeem der draaistroomen het arbeidsvermogen van den waterval te Lauffen aan den Neckar overgebracht naar het op 175 kilometer verwijderde Frankfurt.

Bij dit reusachtige werk werden van de 197.4 paardekrachten, die in Lauffen verbruikt werden, in Frankfurt 145.8 paardekracht ontvangen en aangewend, wat een nuttig effect vertegenwoordigt van 74%.

Eene buitengewoon gunstige uitkomst dus.

Volgens een dergelijk systeem is men nu bezig, aan den grooten Niagara-waterval in N. Amerika een duizendtal paardekrachten te ontnemen en die langs electrischen weg over te brengen naar Chicago, de stad der laatste groote wereldtentoonstelling. Ook in Zwitserland neemt de aanwending van dit systeem hoe langer hoe meer toe.

Laat ons nu ten slotte nog eene andere gewichtige toepassing van de electrische beweegkracht bespreken, nl. de electrische trams.

Reeds vermeldde ik dat in 1894 electrische trams loopen over eene totale weglengte van 12330 kilometer, waarvan in Europa ruim 300 vallen en in Amerika de rest. Men vindt electrische trams in Londen, Parijs, Berlijn, Buda-Pesth, Milaan, Marseille, den Haag en in tal van kleinere steden.

Allen hebben zij een of twee stel drijfzaden, die op rails loopen en die rondgedraaid worden door één of twee dynamos, die door tussenzaden met de drijfzaden zijn verbonden.

De stroom, die hiervoor noodig is, wordt geleverd hetzij door

geladene accumulators, die onder de zitplaatsen zijn aangebracht en direct op de dynamo werken of wel de stroom wordt onder het rijden door bewegelijke geleiddraden voortdurend aangevoerd uit eene aan het Centraalstation opgestelde dynamo.

Het eerste systeem is verreweg het gemakkelijkst.

De rijtuigen voeren zelve de accumulators mede, die aan den electrischen motor onder den wagen de noodige drijfkracht geven. Deze accumulators worden naar behoefte geladen en herladen door eene shunt-dynamo, die zich aan het hoofdstation bevindt. Het bezwaar is echter, dat deze accumulators door het lood, dat zij bevatten, bijzonder zwaar zijn en dat iedere tramwagen dus eene aanzienlijke doode last mede te voeren heeft. Dit bezwaar heeft men wel trachten te overwinnen, door een systeem van accumulatoren, zonder lood, uit te vinden, de zoogenaamde Waddel-Entz-accumulatoren, maar deze uitvinding is nog te nieuw, om er veel op te kunnen vertrouwen.

Meestal ziet men bij het aanleggen van electrische trams het tweede systeem aanwenden, dit nl. om door bewegelijke geleid-

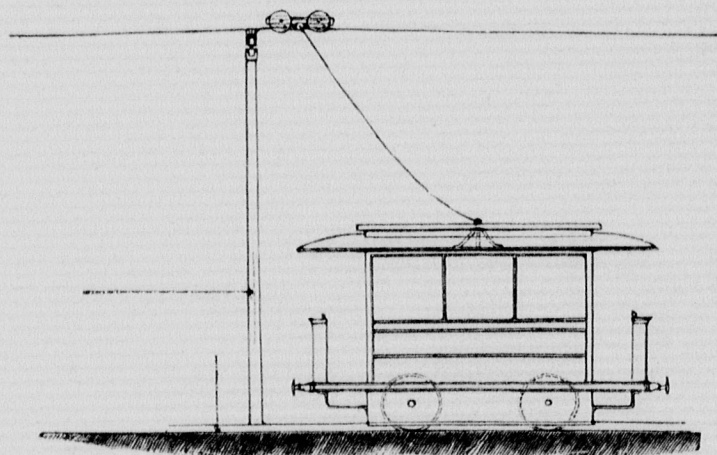


Fig. 30.

draden een stroom van het centraalstation onder het rijden in den wagen te leiden.

Hierbij heeft men zoowel eene bovenaardsche als eene onderaardsche geleiding weten aan te brengen.

In het geval der bovenaardsche geleiding, brengt men langs den trambaan over isolatoren een geleiddraad aan, als in fig. 30, en van dezen draad gaat de stroom door loopende contactrollen op den wagen over en daarna door den electromotor naar den grond, waarna de stroom terugkeert naar de dynamo van het centraalstation, die den stroom levert.

In Amerika en in Engeland heeft men veel succès met het systeem van Thompson-Houston en met dat van Sprague.

Hierbij heeft men eenen enkelen hoofdleidingsdraad, die van het hoofdstation uitgaat naar het einde van de baan. Deze draad die aan het eind goed geïsoleerd is, kan gedeeltelijk onder den grond, gedeeltelijk hoog boven den grond gaan, al naar omstandigheden en heeft verder met de trams niets uittestaan. Hij is met de eene pool van de Centrale dynamo verbonden. Behalve dezen hoofddraad is er echter dicht boven het dak van den tramwagen een zoogenaamde arbeidsdraad tamelijk strak over isoleerende palen gespannen, zoodanig dat hij gemakkelijk bereikbaar is voor eenen stang, die boven op het wagendak in een soort kogelgewricht is bevestigd, zoodat hij vrij naar alle richtingen draaibaar is.

Deze bewegelijke geleidstang draagt aan het einde een metalen rol, die door spiraalveeren stevig tegen den arbeidsdraad wordt gedrukt en daarmede onder het loopen van den wagen voortdurend contact maakt.

De arbeidsdraad nu is op geregelde afstanden van bv. 100 meter door vaste draden met den hoofddraad verbonden en ontvangt daaruit den stroom, dien hij door den contactstang in het rijtuig brengt en in den electrischen motor, vanwaar de stroom dan verder door de rails teruggaat naar de andere pool van de centrale dynamo.

Bij deze aanwending van twee geleiddraden is er meer zekerheid voor den geregelde gang van alle tramwagens, die op de lijn zijn, want ieder gebruikt alleen dat stuk van den arbeidsdraad, waaronder hij zich bevindt en is onafhankelijk van gebreken in andere stukken.

De onderaardsche geleiding is door Siemens en Halske toegepast op de electriche tram te Buda-Pesth en voldoet daar uitstekend. Zij is echter in aanleg veel kostbaarder dan het stelsel met bovenaardsche geleiding.

Onder een der rails, die zelve over de geheele lengte eene groeve heeft, bevindt zich een ijzeren buis, binnen welke twee dikke blanke ijzeren geleidstaven zijn aangebracht, goed van elkander en van den grond geïsoleerd, ook aan het einde.

Tusschen deze twee staven in, hangt aan den tramwagen, door de lengtegroef van de rail heen, een metalen stang, die op de hoogte der twee geleidstaven in twee bewegelijke rollen eindigt, die tegen deze aan drukken en daarmede contact maken en blijven maken onder het loopen van den wagen. De metalen stang is echter geheel in twee geïsoleerde gedeelten verdeeld, de linker en de rechter helft en iedere helft draagt een der beide contactrollen.

De beide geleidstaven zijn ieder in verbinding met een der beide polen van de dynamo op het hoofdstation. Zij hebben dus over de geheele lengte een constant verschil in spanning van bv. 500 Volts. Door de beide rollen van den bewegelijken metalen stang, die aan den wagen is opgehangen, gaat nu de stroom uit de eene staaf in de dynamo van den wagen en daarna door de andere rol op de andere geleidstaaf over.

Iedere wagen, die op de rails staat, ontvangt dus afzonderlijk den stroom, dien hij noodig heeft en is geheel onafhankelijk van de andere. Alle wagens zijn als het ware parallel aan elkander in de keten geschakeld.

Ook in New-York is men bezig een electriche tram met onderaardsche geleiding aan te brengen.

De electriche trams hebben groote voordeelen boven de paarden-tram.

Telkens wanneer een wagen uit den toestand van rust op nieuw in beweging moet worden gebracht of wanneer men eene helling moet beklimmen, wordt er in eens te veel geverg'd van de krachtsinspanning der paarden.

Voor de electriche tram bestaan die bezwaren niet, want

door eenvoudig met den kruk van den rheostaat den weerstand in de keten te verminderen, verhoogt men gemakkelijk de trekkracht van de dynamo tot de gevraagde sterkte, en evensnel is ook weder de gewone trekkracht teruggevonden, als de buitengewone niet meer noodig is.

Wat de locomotief als concurrent van den electrischen moter te vreezen heeft, kan men hieruit opmaken, dat men reeds bedacht heeft, de stoommachine van de locomotief niet direct op de drijfwielen maar eerst op de as van eene dynamo te laten werken en den hierdoor geleverden stroom in eene motorische dynamo te voeren, die dan eerst de wielen zou bewegen.

Ook in mijnwerken, voor het vervoer van de opgegraven stoffen en van de gereedschappen, wordt zeer dikwijls van den electrischen motor gebruik gemaakt.

De stoommachine en de dynamo staan dan boven den grond en door goed geïsoleerde draden ontvangen de electrische motors in de mijngangen den stroom, dien zij voor de beweging der lasten noodig hebben.

Ruimte besparing is het groot voordeel van den electrischen motor en de voorname oorzaak van het toenemend gebruik er van.

Ten slotte geef ik hier nog een tabel van Kapp, ter vergelijking van de kosten der verschillende wijzen van krachtoverbrenging:

Systeem.	Bron der kracht eener stoommachine.		Bron der kracht eener waterval.	
	op 100 M.	op 10 KM.	op 100 M.	op 10 KM.
Electrisch.	14	21	1,5	2,5
Hydraulisch.	13	33	1,2	5,8
Pneumatisch.	16	24	1,7	3,8
Kabel.	8	70	0,6	3,8

INHOUD.

	Bladz.
1 ^e Voordracht.	5
2 ^e Voordracht.	10
3 ^e Voordracht.	18
4 ^e Voordracht.	26
5 ^e Voordracht.	31
6 ^e Voordracht.	38
7 ^e Voordracht.	45
8 ^e Voordracht.	50
9 ^e Voordracht.	56
10 ^e Voordracht.	64

z.
5
0
3

Magazijn van Wetenschappelijke Instrumenten

Kunst-Glasblazerij en Slijperij

Firma J. C. Th. MARIUS

UTRECHT.

Bekroond 1895 met de Gouden Medaille op de Tentoonstelling van Geneeskrachtige en Nuttige Planten te 's Gravenhage.

Eervol vermeld 1892 door de Commissie voor Wetenschappelijke Inlichtingen der Nederl. Maatschappij tot bevordering der Pharmacie.

BACTERIOLOGISCHE
CHEMISCHE
MICROSCOPISCHE
PHARMACEUTISCHE
PHYSISCHE

} APPARATEN.

Prijscouranten worden op aanvraag gaarne verstrekt.

