

Hoogspanning kortsluiting

Citation for published version (APA):

ter Horst, D. T. J. (1960). *Hoogspanning kortsluiting*. Wolters.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1960

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

HOOGSPANNING KORTSLUITING

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING
VAN HET AMBT VAN GEWOON HOOGLERAAR
IN DE ELEKTROTECHNIEK
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL TE EINDHOVEN
OP VRIJDAG 4 NOVEMBER 1960

DOOR

DR. D. TH. J. TER HORST

J. B. WOLTERS, GRONINGEN, 1960

*Mijne Heren Curatoren,
Mijne Heren Hoogleraren en Adviseurs,
Dames en Heren leden van de wetenschappelijke, de technische
en de administratieve staven van deze Hogeschool,
Dames en Heren Studenten, en voorts gij allen, die door Uw
aanwezigheid van Uw belangstelling in deze plechtigheid blijk
geeft,*

Zeer gewaardeerde toehoorders,

Op 25 augustus 1891, dus ongeveer zeventig jaren geleden, werd van Lauffen aan de Neckar naar de internationale elektriciteitstentoonstelling te Frankfurt aan de Main de eerste elektrische driefasen-energieoverdracht tot stand gebracht.

Kort tevoren, in 1889, had Dolivo-Dobrowolski de eerste driefasenmotor ontwikkeld en daarmee de bruikbaarheid van „draaistroom” voor het op elektrische wijze produceren van motorische energie aangetoond. De term „draaistroom” voor een driefaswisselstroom was reeds wat eerder door Ferraris in de elektrotechniek geïntroduceerd.

De technische leider van de internationale tentoonstelling van 1891 te Frankfurt, Oscar von Miller, achtte het de moeite waard een experiment op ware grootte te nemen, teneinde de bruikbaarheid van energieoverdracht over grote afstand volgens het elektrische driefasensysteem aan te tonen.

Het is interessant na te gaan hoe een aantal ingenieurs van die dagen meenden te moeten bewijzen dat dit experiment niet zou kunnen gelukken. Deze kritiek verscheen in de technische pers nadat von Miller op 24 maart 1891 zijn plannen in een voordracht had uiteengezet. De kritiek hield onder meer in dat men trachtte te bewijzen, dat er tussen de draden van de verbinding onderling een zo grote capaciteit zou bestaan dat dit praktisch een kortsluiting zou betekenen. Een man als Steinmetz moest er aan te pas komen om deze veronderstelling te ontzenuwen.

De installatie werd gebouwd onder leiding van twee vooraanstaande technici van die dagen. De eerste was Charles Brown, toentertijd ingenieur bij de Maschinenfabrik Oerlikon te Zürich en later mede-

oprichter van de firma Brown Boveri te Baden in Zwitserland. De tweede was de oprichter en eerste directeur van de Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft „A.E.G.” in Duitsland, Emil Rathenau.

De bouw van dit driefasensysteem voor elektrische energie-opwekking en het daarbij behorende transmissiesysteem leverde grote moeilijkheden op. Dat zij overwonnen werden was mede te danken aan het doorzettingsvermogen van deze twee mannen en hun vaste geloof in het succes.

De kosten van de machines, transformatoren en verdere apparatuur namen de beide fabrieken, de Maschinenfabrik Oerlikon en de A.E.G., voor hun rekening, mits de lijn gebouwd werd op kosten van de regeringen van de landen waardoor de lijn zou lopen. De firma Oerlikon was bovendien nog bereid de isolatoren voor de lijn te leveren. De regeringen van de landen vonden het uitermate moeilijk om de kosten van de lijn op zich te nemen. De medewerking van een derde onderneming, Hesse & Sohn, die het koperdraad voor de lijn op uiterst voordelige wijze wilde leveren, hielp hen over hun aarzeling heen. De Reichspost bleek de palen voor de lijn te lenen.

Ik denk niet dat de elektriciteitsproducenten van de huidige tijd bij de bouw van transmissiesystemen op een zo grote medewerking van de industrie kunnen rekenen.

Het vermogen dat in Lauffen op hydraulische wijze geproduceerd werd, was ongeveer 200 kW bij 40 Hz. De spanning welke de machine leverde was ca. 50 V, de transmissiespanning ongeveer 15 kV. De lijn had een koperdoorsnede van ca. 12 mm² en een lengte van 175 km. De Maschinenfabrik Oerlikon had voor het eerst met olie gevulde transformatoren geïnstalleerd.

Het verzet tegen de uitvoering van een voor die tijd vermetel lijkend plan kwam niet alleen van de zijde van sommige technici maar ook van de lagere overheid en de bevolking van de gebieden waardoor het lijntje gebouwd zou worden.

De boeren meenden, dat de koeien geen melk meer zouden geven, indien de lijn over hun weilanden werd gespannen. De geheimzinnigheid van zo een dradensysteem werd door sommige bewoners van de streek als een onheilspellend voorteken beschouwd. Het was uiteraard zeer moeilijk de eigenaars van de gebieden waarover de lijn zou worden gespannen ervan te overtuigen dat zij, noch hun vee enig risico zouden lopen. De bouwers zelf hadden immers geen enkele ervaring om op te steunen.

Op 25 augustus 1891 bleek het inderdaad mogelijk elektrische energie op de genoemde wijze te vervoeren. Dit werd destijds als een bijna fantastische prestatie beschouwd.

Wanneer wij deze eerste transmissie van elektrische energie over grote afstand vergelijken met de enorme installaties voor energieoverdracht van onze tijd, dan kan men nauwelijks geloven, dat zich in slechts zeventig jaar deze ontwikkeling heeft kunnen voltrekken.

Indien wij nu aan overdracht van elektrische energie denken dan gaan onze gedachten uit naar spanningen van honderden kilovolts en vermogens van honderden megawatts.

Enkele jaren geleden werd in Zweden reeds een energieoverdracht onder een spanning van 380 kV in bedrijf gesteld. De onderzoekingen welke voor dit Zweedse ontwerp nodig waren, vormden op de internationale congressen voor elektrotechniek te Parijs van 1952 en 1954 nog hoogtepunten van discussie. Thans wordt de transmissie onder spanningen van de orde van 400 kV in vele landen reeds als vrij normaal beschouwd. Zeer recent is een plan gepubliceerd om in Amerika een proeflijn voor 750 kV te bouwen.

Generatoren voor vermogens van 200-300 MW worden in verschillende fabrieken gebouwd. Onlangs is de bouw van 800MW turbines door de firma Westinghouse aangekondigd. Transformatoren eveneens voor vermogens van 200-300 MW en spanningen van de orde van 400 kV zijn op weg gemeengoed te worden.

Ondanks de groei van het vermogen verschilt de methode van de tegenwoordige transmissie in principe niet veel van die van 1891. In het eerste project werden reeds een generator, transformatoren, een bovengrondse lijn, smeltveiligheden en schakelaars gebruikt. De ondergrondse kabels waren reeds bekend. In hetzelfde jaar demonstreerde de firma Siemens & Halske een energietransport onder een spanning van 40 kV over een kleine afstand met behulp van kabels.

Ook de meeste types van vermogensschakelaars welke wij nu kennen, waren rond 1900 alle bekend dank zij de zo juist genoemde Brown en o.a. Ferranti, Hewlett, Hilliard en Parson.

De vooruitgang in de bereikbare spanningen en vermogens is in de eerste plaats te danken geweest aan onderzoekingswerk op velerlei gebied. Men speurde naar geschikte materialen voor de isolatie van geleiders en probeerde voor de magnetische circuits van generatoren

en transformatoren constructies te ontwerpen welke grotere vermogens en kleinere verliezen per eenheid mogelijk maakten. In de belangrijkste fabrieken op het gebied van de elektrische energetica werden onderzoekingslaboratoria ingericht om nieuwe materialen te ontwikkelen voor de toepassing in de bouw van elektrische apparaten. Het was daarbij van het grootste belang de elektrische meettechniek verder te ontwikkelen teneinde tot kwantitatief vergelijkbare resultaten te komen.

Men voerde onderzoeken uit aan alle onderdelen van een elektriciteitsnet. Het zij mij vergund bij enkele voorbeelden een ogenblik stil te staan.

De nu zeer algemene toepassing van kabels voor distributie van elektrische energie zou niet mogelijk zijn geweest zonder grondige kennis van het gedrag van de isolatie. Het onderzoek van de diëlektrische verliezen welke in de isolatie van kabels optreden, heeft de weg gewezen naar de verdere ontwikkeling.

In Nederland heeft Van Staveren, reeds rond 1920, zich zeer voor dit onderwerp geïnteresseerd en toen al gewezen op het belang van de meting van de diëlektrische verliezen in de kabelisolatie als functie van de aangelegde wisselspanning tussen de geleider en de mantel van de kabel. De techniek van de meting van diëlektrische verliezen moest ten dele nog worden ontwikkeld. De eerste metingen werden uitgevoerd met een wattmeter in het laboratorium van Hallo te Delft. Later, in 1923, begon de brug van Schering haar intrede in dit onderzoek te doen. Bij deze metingen werd vastgesteld dat boven een bepaalde waarde van de wisselspanning de verlieshoek met toenemende spanning een sterke toename vertoonde. Dit verschijnsel werd toegeschreven aan ionisatie in holtes in de isolatie. Deze ionisatie leverde een stroomdoorgang door de holte, hetgeen tenslotte leidde tot beschadiging van de isolatie.

Deze onderzoeken zijn in 1923 door Smit Kleine, Van Staveren en Proos gepubliceerd. Enige tijd later voerde Fallou in Frankrijk een reeks onderzoeken uit omtrent de thermische stabiliteit van kabels. Hierbij werd het duidelijk dat de holtes tijdens het gebruik van de kabels kunnen ontstaan. Deze onderzoeken van Fallou zijn tenslotte de basis geweest waarop Emanuël voortbouwde. Hij construeerde kabels waarbij in de isolatie olie onder druk werd toegevoegd. Dit type werd reeds voor de laatste wereldoorlog in het Nederlandse elektriciteitsnet voor hoge spanning toegepast.

Door het verbeterde natuurkundige inzicht is men erin geslaagd

kabels te construeren welke onder de voorkomende bedrijfstoestanden een zo homogeen mogelijk dielektricum blijven behouden. Nog steeds worden de onderzoeken op het gebied van de kabelisolatie voortgezet, mede in verband met de mogelijkheid van toepassing van kunststoffen als isolatie.

Andere onderzoeken waren gericht op de vergroting van het vermogen van generatoren. Men ontdekte dat de stroomdichtheid van de geleiders in de groeven verre van constant was, maar toenam als functie van de hoogte van de geleider in de richting van de luchtspleet. Zodra de afmeting van een geleider, gezien in de radiale richting van de machine, van belang is, worden de verliezen groter dan uit een meting van de weerstand zou volgen. Dit verschijnsel kan worden omzeild door de geleider uit vele deelgeleiders te vervaardigen, welke onderling van elkaar geïsoleerd zijn en bovendien regelmatig in radiale zin van plaats verwisselen.

Een studie van de eigenschappen van het magnetische circuit van generatoren en transformatoren heeft geleerd, dat men de daarin optredende verliezen kan beperken door het circuit uit te voeren als een pakket van onderling geïsoleerde platen van ijzer. Maken we de platen voldoende dun – van de orde van 0,5 tot 0,35 mm – dan blijken de wervelstroomverliezen af te nemen. Nog betere resultaten bereikte men door aan het ijzer enige procenten silicium toe te voegen, omdat daardoor de specifieke weerstand werd vergroot.

Recenter is de ontdekking dat de tweede soort verliezen, de zogenaamde hysteresisverliezen, konden worden verkleind door niet warmgewalst blik, maar koudgewalst blik toe te passen, dat een voorkeursrichting voor de magnetisatie vertoont. Dit laatste type blik wordt nu in transformatoren algemeen toegepast en kan ook voor generatoren nuttig zijn.

Een belangrijke stap voorwaarts heeft men gedaan op het gebied van de koeling van generatoren. Het gebruik van speciale gassen als koelmiddel, waaronder vooral die met klein moleculair gewicht, heeft het vermogen dat per gewichtseenheid geleverd kon worden, zeer vergroot.

Men is nu op weg voor de koeling van generatoren vlocibare media, als olie en ook water, te gebruiken.

Tenslotte heeft de isolatie van de geleiders in generatoren een soortgelijke ontwikkeling doorgemaakt als die van kabels. De toepassing van moderne kunstharsen als isolatiemateriaal heeft de dielektrische

eigenschappen zeer verbeterd. Halfgeleidende lagen aan de buitenzijde van de isolatie van de geleiders, vooral daar waar deze geleiders uit het magnetische circuit treden, heeft de vorm van het elektrostatische veld gunstig beïnvloed.

Dank zij al deze resultaten van onderzoek kon de spanning van de generatoren verder worden opgevoerd, zodat in plaats van de generator van 50 V van het eerste project nu generatoren voor 10 à 20 kV gebouwd kunnen worden.

Ik heb getracht U enkele voorbeelden te noemen welke de betekenis van onderzoek voor de bouw van apparaten op het gebied van de elektrische energetica illustreren.

Uiteraard kon ik U daarbij slechts een summiere opsomming geven van enkele gevallen, waarbij deze ontwikkeling min of meer duidelijk tot uiting is gekomen.

Het onderzoek hiervoor werd veelal door de industriële laboratoria uitgevoerd. Men mag grote bewondering hebben voor de bereikte resultaten. De bijdrage die de onderzoekers van deze laboratoria hebben geleverd tot de fundamentele kennis van de materialen welke voor de constructie van apparaten gebruikt worden, is van niet te onderschatten betekenis geweest.

Het spreekt echter welhaast vanzelf dat de beheerder van een transmissiesysteem de garantie wenst te hebben, dat de door hem gekochte apparaten onder alle voorkomende condities hun functie naar behoren zullen blijven vervullen. Deze wens is de grondgedachte geweest welke leidde tot de stichting van beproevingslaboratoria. De primaire taak van deze laboratoria is controleproeven uit te voeren op de goede werking van de toestellen welke in een elektriciteitsnet worden opgesteld. Het ligt voor de hand dat deze beproevingsinstanties onafhankelijk van de industrie behoren te zijn.

Indien een beproevingslaboratorium zijn werk op brede basis wenst uit te voeren is het noodzakelijk dat de staf niet alleen op de hoogte is van de ontwikkeling in de industrie, maar vooral tot een deskundige beoordeling van nieuwe constructies in staat moet zijn. Een beproevingsinstantie zal dus in ruime mate in de gelegenheid moeten zijn zelf onderzoekingswerk te doen op het gebied van de elektrische energetica en op de hoogte moeten zijn van speurwerk dat in de laboratoria van de industrie en van de technische hogescholen wordt uitgevoerd.

Evenzo zullen de academische laboratoria kennis moeten kunnen nemen van de problemen waarmee de industrie geconfronteerd wordt. Deze wisselwerking zal en voor de academische laboratoria welke onderzoekingen op het hier bedoelde gebied uitvoeren én voor de industriële en beproevingslaboratoria een verbreding van het inzicht bevorderen.

We kunnen ons afvragen welke onderwerpen zich lenen om door de academische laboratoria ter hand te worden genomen.

De steeds toenemende vermogens welke in de elektrische centrales overal ter wereld worden opgewekt, verhogen onvermijdelijk het kortsluitvermogen in de netten. Het zal niet altijd gemakkelijk zijn de totale relatieve kortsluitspanning van een energiebron ten minste op 30 procent te houden. De gevaren van dit groeiend kortsluitvermogen zijn in sommige gevallen maar al te duidelijk gebleken.

De elektrodynamische krachten tussen de geleiders kunnen een gigantische omvang aannemen. Vooral komt dit tot uiting daar waar de afstand tussen de geleiders gering is dus in transformatoren en generatoren, echter ook in railsystemen en kabels.

Indien inderdaad de produktie van elektrische energie in steeds grotere „blokken” zal geschieden zullen deze elektrodynamische krachten een overwegende factor worden bij de constructie van transformatoren. In verband daarmee heeft men de laatste tijd er dan ook naar gestreefd de geleiders materieel sterker te maken en beter bestand tegen mechanische krachten. En om welke krachten het hierbij gaat? In beproevingslaboratoria voor schakelaars zijn elektrodynamische krachten van duizenden newtons per meter geleider normaal te noemen.

Men probeert daarom bijvoorbeeld in generatoren nieuwe materialen zoals legeringen van koper-cadmium.

Een verder onderzoek naar de invloed welke de samenstelling van een geleider heeft op de mechanische eigenschappen is van grote waarde. Wij zouden daarbij niet moeten aarzelen geheel nieuwe materialen voor te stellen.

Ook de mogelijkheid van toepassing van andere isolatiemiddelen, wellicht in de vorm van kunststoffen, moet verder worden onderzocht. Hierbij is de mechanische sterkte en de hardheid van de isolatie van het grootste belang.

De huidige opvatting om uit economische overwegingen steeds grotere „energiecentra” te bouwen, en de verder doorgevoerde koppeling van deze centra leiden ertoe dat de energie over grotere af-

standen getransporteerd wordt. Zullen wij op den duur met steeds hogere wisselspanning blijven werken? Zal de overdracht van elektrische energie met hooggespannen gelijkstroom tenslotte gerealiseerd worden?

Het opstellen van grotere eenheden zal bovendien voeren tot grotere eigenfrequenties van de netten. Zullen we in staat zijn de onderbrekingsorganen voor elektrische stroom zover te ontwikkelen dat deze de hun toegemeten taak naar behoren zullen blijven vervullen?

Kunnen we tijdig middelen ontwikkelen om gelijkstroom onder zeer hoge spanning te onderbreken? Al deze vragen verlangen een oplossing.

Het antwoord kan slechts gevonden worden door een fundamenteel en breed onderzoeksprogramma op te zetten waarbij een samenwerking tussen de genoemde laboratoria dringend noodzakelijk lijkt.

Men heeft nog altijd de hoop dat het tenslotte zal gelukken om langs thermonucleaire weg tot produktie van elektrische energie te komen. Enkele jaren geleden dacht men dat de realisatie daarvan nabij zou zijn. U weet allen hoe de experimenten welke onder meer in Engeland zijn uitgevoerd, de aandacht van de wereldpers hebben getrokken. Het is nu bekend dat de natuurkundige problemen welke zich daarbij voordoen, uitermate gecompliceerd zijn. Het onderzoek wordt thans in vele landen met kracht ter hand genomen.

In ons eigen land heeft de Stichting Fundamenteel Onderzoek der Materie (F.O.M.) dit probleem op haar programma gezet. Onder meer heeft zij in Jutfaas een speciaal daarvoor ingericht laboratorium gesticht.

Deze onderzoeken op het gebied van de thermonucleaire reacties hebben een nieuwe ontwikkeling van de plasmafysica in de hand gewerkt.

De vooruitgang op dit gebied zal zonder twijfel een sterke invloed hebben op onze opvattingen omtrent de verschijnselen in ontladingen welke in de onderbrekingstechniek van elektrische stroom bij hoge spanning voorkomen.

De onderbrekingstechniek van elektrische stroom was vele jaren uitsluitend op de empirie aangewezen. Slechts hier en daar is enig fundamenteel onderzoek verricht, maar dit werd geremd door de noodzaak experimenten op ware grootte uit te voeren. De laboratoria daarvoor waren de beproevingsinstanties die echter voortdurend be-

zet waren met het uitvoeren van proeven ten behoeve van afnemers van schakelmateriaal. De tijd die nu eenmaal nodig is voor het verrichten van fundamentele onderzoeken kan zelfs door die instituten welke onafhankelijk van de industrie zijn nauwelijks ter beschikking worden gesteld.

Toch zijn in de loop der jaren vorderingen gemaakt. Zo is onze kennis omtrent het gedrag van transiente spanningen welke na onderbreking van een kortsluiting kunnen optreden, zeer uitgebreid. We hebben enig inzicht gekregen in het verloop van de gasdruk als functie van de tijd in bluskamers onder olie. We weten vrij veel omtrent het verloop van de druk en de stroomsnelheid van de lucht in luchtdruk-schakelaars, en voorts hebben we enig idee van de invloed van de steilheid van de wederkerende spanning op de doving van ontladingen in schakelaars.

Het merendeel van deze onderzoeken raakt echter alleen de netconstellatie en de constructievorm. Men weet zeer weinig van de verschijnselen welke bij de onderbreking kunnen optreden. De fysische factoren welke een herontsteking van de ontlading na een nuldoorgang van de wisselstroom verhinderen, zijn slechts ten dele bekend.

Zo heeft Kesselring bij Siemens, rond 1940, met een groep onderzoekers, waaronder Steenbeck, getracht de theorie van dit type ontladingen te ontwikkelen.

Hij kon onder bepaalde vereenvoudigde condities de tijdsafhankelijkheid van die veldsterkte berekenen welke nodig was om de ontlading na doving door een intrinsieke elektrische doorslag tot herontsteking te brengen.

Enele jaren geleden is echter gebleken dat na de laatste nuldoorgang van de stroom de uitstervende gasontlading nog gedurende tientallen microseconden een meetbare stroom voert als gevolg van de als functie van de tijd snel toenemende spanning tussen de elektroden. Het uitstervende plasma heeft dus een van nul verschillende geleidingscoëfficiënt. Dit fenomeen is door vele onderzoekers voor de ontladingen in lucht vastgesteld. Hoewel men de grootte van deze stroom en ook de veldsterkte heeft kunnen registreren, zou het zeer gewenst zijn te beschikken over metingen van de stroomdichtheid of nog liever van de concentratie van de ladingsdragers. De moderne methode om elektronconcentraties te meten met behulp van microgolven zou hier wellicht resultaten kunnen leveren.

Het zou van groot belang zijn deze onderzoeken uit te breiden tot andere gassen.

In de beginne heb ik uiteengezet dat de essentiële samenstelling van een elektriciteitsnet niet veel verschilt van die van het eerste driefasenlijntje van 1891, omdat dit samenhangt met de opwekkingsmethode. Tot nu toe heeft men altijd, hetzij door middel van waterkracht, hetzij door middel van brandstof, turbines aangedreven en met deze turbines weer generatoren. Men heeft dus steeds elektrische energie geproduceerd via de tussentrap van mechanische energie.

Of men nu deze mechanische energie verkrijgt door waterkracht, conventionele brandstof of atoomkernenergie heeft daarbij tot nu toe geen rol gespeeld.

In de laatste jaren zijn er tenminste vier methoden aangegeven welke een directe omzetting van warmte in elektrische energie, althans in principe, mogelijk maken. Deze vier methoden berusten achtereenvolgens op het opwekken van energie door het produceren van elektriciteit langs thermo-elektrische weg, door toepassen van thermionische methoden, door gebruik te maken van magnetohydrodynamische middelen en tenslotte door toepassen van brandstofelementen.

Het is opmerkelijk dat de ontwikkeling van de ruimtevaart een sterke stimulans heeft geleverd tot onderzoek van de bruikbaarheid van deze methoden. De reeds bereikte vermogens zijn uiteraard nog bescheiden vergeleken met die van moderne conventionele generatoren. Het is interessant dat het thermische rendement van die nieuwe methoden, dus de verhouding van nuttig verkregen elektrische energie tot toegevoerde warmte-energie, in vele gevallen groter blijkt te zijn dan die van de conventionele methode.

Dit is niet alleen te danken aan het wegvallen van de tussentrap van de mechanische energie, maar ook aan een efficiënter gebruik van de toegevoerde warmte.

Het is van belang daarbij op te merken dat het thermische rendement van sommige van deze methoden onafhankelijk is van de grootte van de gebruikte eenheden. Bij de conventionele methode neemt het rendement toe naarmate de eenheden groter zijn. Het thermische rendement van de produktie van elektrische energie langs conventionele weg met zeer grote eenheden zal volgens recente publikaties tot ca 35 % kunnen toenemen. Het thermische rendement van sommige nieuwe methoden zal daar wezenlijk bovengaan komen en tot 60 % kunnen gaan, onafhankelijk van de grootte van de eenheden.

We zullen de vraag moeten bestuderen in hoeverre het economisch verantwoord zal zijn met grote eenheden te blijven werken. In geval deze vraag in ontkennende zin zal worden beantwoord, zal in de toe-

komt een welhaast revolutionaire verandering in de methode van elektriciteitsproductie en -transmissie kunnen worden tegemoet gezien. Het zou voor de Technische Hogescholen de moeite waard kunnen zijn aan de verdere ontwikkeling van deze methoden daadwerkelijk deel te nemen.

Dames en Heren,

Bij de aanvaarding van mijn ambt past het mij allereerst mijn eerbiedige dank te betuigen aan *Hare Majesteit de Koningin* voor mijn benoeming tot hoogleraar aan deze Technische Hogeschool.

Mijne Heren Curatoren,

Dat U mij heeft willen voordragen voor een benoeming tot hoogleraar heeft mij met grote erkentelijkheid jegens U vervuld. Het heeft mij echter geconfronteerd met de moeilijkheid als natuurkundige een elektrotechnisch vak te moeten doceren. Ik hoop zeer dat ik in staat ben om het vertrouwen waardig te zijn, dat U desondanks in mij stelde. Ik verzeker U dat ik al mijn krachten daartoe zal inzetten.

Mijne Heren Leden van de Senaat,

Ik reken het mij tot een hoge eer waardig gekeurd te zijn in Uw midden te worden opgenomen. Het contact dat ik reeds met enkelen Uwer mocht hebben, heeft mij overtuigd van de grote geestelijke waarden welk in Uw college zijn verzameld. Ik hoop zeer dat U bereid zult zijn mij daarvan zo nu en dan iets mede te delen.

Mijne Heren Voorzitter, Secretaris en leden van de afdeling der elektrotechniek,

De wijze waarop U mij bent tegemoetgetreden is ver uitgegaan boven datgene wat ik daarvan redelijkerwijs kon verwachten.

De waardige en prettige wijze waarop in Uw afdeling de onderlinge samenwerking is geregeld, heeft grote indruk op mij gemaakt. Ik hoop dat U ook in de toekomst mij de raad en hulp zult willen verlenen die ik zozeer nodig heb.

Dames en Heren, het zij mij vergund hier de namen te noemen van twee mensen die bij mijn vorming een grote rol hebben gespeeld.

De eerste was mijn leermeester, wijlen *Prof. Dr. L. S. Ornstein*. De grote vormende en bezielende invloed welke hij op zijn leerlingen

had, zal voor ieder die onder zijn leiding te Utrecht studeerde, altijd een lichtend voorbeeld blijven. Talloze van zijn leerlingen bekleden nu belangrijke functies. Velen maken deel uit van de Senaten van de Nederlandse Universiteiten en Hogescholen.

De tweede waart gij *hooggeleerde van Staveren*. Gedurende een aantal jaren heb ik het voorrecht gehad onder Uw leiding in één Uwer laboratoria te Arnhem te mogen werken. Ik heb daarbij niet alleen veel geleerd van Uw grote doorzicht in vaak moeilijk te verwerken materie, maar ook van Uw onverwoestbare vertrouwen in een uiteindelijk succes, ook wanneer ernstige tegenslagen in Uw kortsluitlaboratorium het tegendeel tijdelijk waarschijnlijk maakten. Ik heb Uw organisatietalent bewonderd waarmee gij Uw instelling te Arnhem hebt uitgebouwd tot een van de grootste neutrale elektro-technische onderzoekingscentra ter wereld.

Ik ben U erkentelijk voor het persoonlijke contact dat ik zoveel malen met U had.

Mijne Heren Collega's van de N.V. KEMA,

Het contact dat ik gedurende vele jaren met U heb kunnen onderhouden, heeft een grote invloed gehad op mijn denkwijze over elektrotechnische problemen. Ik heb mede daarom de vriendschappelijke omgang met U altijd bijzonder gewaardeerd. Ik hoop zeer dat ik ook in de toekomst bij voorkomende gevallen nog eens om raad bij U mag aankloppen. In het bijzonder wens ik mijn directe medewerkers bij de Kema nogmaals hartelijke dank te zeggen voor de denk- en werkkraft, welke zij ook in vaak moeilijke momenten hebben ontplooid.

Dames en Heren Studenten,

Wanneer ik mij tenslotte tot U richt, is het niet omdat U in de laatste plaats komt. Gij zijt het immers die deze jonge hogeschool tot leven brengt, gij zijt het die het de moeite waard hebt gevonden aan deze hogeschool Uw academische vorming te krijgen. De verwachting die U van die vorming hebt, is ongetwijfeld zeer hoog.

Gij rekent erop later een eervolle positie te verwerven om van daaruit mede te werken aan de verdere ontwikkeling van de techniek. Ik ben er mij ten volle van bewust dat ik door de aanvaarding van dit hoogleraarschap mede de verantwoordelijkheid heb te dragen voor Uw vorming. Ik hoop dat de besprekingen welke ik met U over de

elektrische energetica zal hebben, U ervan kunnen overtuigen dat ook dit vak belangrijk is. Al is de elektrische energetica wellicht het oudste deel van de elektrotechniek, het is niet het deel dat geen problemen meer kent. Ik heb getracht U te wijzen op grote onontgonnen gebieden. Ik heb tevens gepoogd U te laten zien dat er vele nieuwe mogelijkheden voor onderzoek in dit vak aan de gezichtseinder opdoemen. Ik zal het op hoge prijs stellen daarover niet alleen met U van gedachten te wisselen, maar ook tezamen met U enig onderzoekswerk te doen. Ik neem aan dat U de weg naar mijn werk-kamer zult vinden.

Zeer gewaardeerde toehoorders,

Ik hoop U enigermate te hebben geïllustreerd welk gebied het vak van de technieken van de hoge spanning en hoge stroom omvat, en U tevens te hebben getoond dat deze tak van de technische wetenschap nog grote ontwikkelingsmogelijkheden heeft en daardoor een bijdrage zal kunnen leveren tot verdere verbetering van de levensomstandigheden van de mensheid.

Ik heb gezegd.