

Denne fil er downloadet fra
Danmarks Tekniske Kulturarv
www.tekniskkulturarv.dk

Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

Rettigheder

Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på
www.tekniskkulturarv.dk/about

Er du i tvivl om brug af værker, bøger, fotografier og tekster fra siden, er du velkommen til at sende en mail til *tekniskkulturarv@dtu.dk*

Dahlander
Elektricitet

INDUSTRI-
FORENINGEN.

30

5378

5378

5/4 07

6 101

ELEKTRICITETEN.

NYASTE UPPFINNINGAR OCH FORSKNINGAR

FRAMSTÄLDA

AF

G. R. DAHLANDER,

Professor vid Tekniska Högskolan.

ETT SUPPLEMENT TILL FÖRRE FÖRUT (ÅR 1893) UTGIFNA BOK

I SAMMA ÄMNE:

ELEKTRICITETEN OCH DESS FÖRNÄMSTA TEKNISKA TILLÄMPNINGAR o. s. v.

MED 194 FIGURER I TEXTEN.



STOCKHOLM.

ALBERT BONNIERS FÖRLAG.

INDUSTRI-
FORENINGEN.

STOCKHOLM.
ALB. BONNIERS BOKTRYCKERI 1901.

FÖRSTA KAPITLET.

Elektriciteten såsom vågrörelse.

1. Faradays elektriska kraftlinier. — Den slöja, som hvilat öfver elektricitetens inre beskaffenhet, har under de senare åren till en del blifvit lyftad. Man har alltmer kommit till den öfvertygelsen, att de elektriska fenomenen, lika väl som ljudets, ljusets och värmets bero på en vibrations- eller vågrörelse. En mängd viktiga iakttagelser äro gjorda i detta hänseende, hvilka svårligen kunna lämna rum för något tvifvel om att äfven de elektriska företeelserna ytterst bero på en vågrörelse, hvilken fortplantas genom etern analogt med ljuset och det strålade värmets. Att verkan mellan elektriska kroppar icke sker direkt utan genom förmedling af ett mellanvarande ämne är en åsikt, som redan uttalades af den berömda engelske fysikern *Faraday*, hvilken man har att tacka för så viktiga upptäckter inom elektricitetsläran. Faraday införde begreppet kraftlinier för att åskådliggöra den verkan, som äger rum mellan en positivt och en negativt elektrisk kropp. Om man tänker sig att från den positivt elektriska kroppens yta utgår ett positivt elektriskt element, så drifves detta genom repulsionen från den positiva kroppen och genom attraktionen från den negativa efter en kraftlinie, förutsatt att icke elementet äger någon tröghet. Från alla punkter af de elektriska kropparne skulle efter Faradays föreställning sådana kraftlinier utgå. De angifva icke blott kraftens riktning i hvarje punkt af kurvan utan äfven dess intensitet eller styrka, ty de äro hvarandra så mycket närmare ju större denna är. Faraday tänkte sig sålunda rymden genomkorsad af kraftlinierna, hvilka uttrycka verkan på afstånd, i motsats till det bland matematici förut vanliga åskådningssättet: kraftcentra på afstånd repellerande eller attraherande hvarandra. Med andra ord: Faraday såg ett mellanvarande ämnes inflytande, där man förut endast såg afståndets inverkan. Enligt honom utgå alltid sådana kraftlinier från positivt

elektriska ytor och sluta i negativt elektriska ytor, eller om de icke möta sådana bortgå de mot oändligheten. Tänker man sig en positivt elektrisk kropp anbragt i ett rum, gå kraftlinierna från honom mot rummets väggar, tak och golf, åtminstone så framt icke någon negativt elektrisk kropp finnes i närheten. Dessa kraftlinier skulle således vara verkliga elektriska strålar angifvande vägen för den elektriska kraftens utbredning.

2. Maxwells hypoteser. — Det af *Faraday* införda åskådningssättet vann till en början icke vetenskapsmännens gillande, och man kunde icke heller vänta, att en åsikt, så stridande mot den bland dem vanliga uppfattningen, och hvilken dessutom icke var matematiskt utvecklad eller till sina följder pröfvad, skulle kullkasta de teorier, som genom en följd af glänsande matematiska arbeten blifvit utvecklade, och som lämnat en åtminstone skenbart tillfredsställande förklaring öfver electricitetens verkan på afstånd. En framstående engelsk matematiker, *James Clerk Maxwell*, upptog dock och utarbetade med en hög grad af skarpsinnighet Faradays åsikt, användande härvid den högre matematikens finaste hjälpmedel. Han utgick härvid från åtskilliga hypoteser, hvilka hade sin grund i Faradays åskådningssätt, i det de gäfvö detta en mera bestämd karakter. Maxwells teori betecknas i synnerhet genom den framstående betydelse, som de s. k. dielektriska ämnena, hvilka icke äro ledande för electriciteten, erhålla för dennas uppkomst och fortplantning. Äfven luften och tomrummet äro sådana dielektrika. Maxwell antager, att alla dielektrika äro uppfyllda af ett elastiskt osammantryckligt fluidum på samma sätt som man i optiken förutsätter, att etern uppfyller världsrymden och alla kroppars mellanrum. Detta fluidum skulle vara electriciteten. Om alla i en dielektrisk kropp varande ledare äro i neutralt tillstånd, så är äfven det elektriska fluidet därstädes i normal jämvikt. Men om ledarna äro elektriska, ehuru i jämvikt, antager det elektriska fluidet ett nytt jämviktstillstånd. Om en partikel af det elektriska fluidet aflägsnas ur sitt normala jämviktsläge äger, hvad Maxwell kallar, en »elektrisk förskjutning» rum. Utgående från dessa förutsättningar har Maxwell utvecklat en omfattande matematisk teori, innefattande ett stort antal formler, som skulle angifva de elektriska och magnetiska fenomenens lagar och inbördes samband.

Att likväl Maxwells åsikter härutinnan varit tämligen sväfvande och framför allt hans sätt att uttrycka dem dunkelt, framgår redan däraf, att de vetenskapsmän, hvilka försökt återgifva och utveckla hans teori, därom lämnat mycket

olika framställningar.*) Det synes dock, att han tänkt sig, att de magnetiska och elektriska krafterna fortplantades genom molekylära hvirfvelrörelser, »molecular vortices», hvilka alltid skulle äga rum åt samma håll med kraftlinierna såsom axlar. För att göra sig reda för fortplantningen af denna rotationsrörelse antager han, att mellan hvirflarna finnes ett visst antal ofantligt små sferiska partiklar, hvilka rulla utan att glida i beröring med hvirflarnas ytor samt att dessa små sfärer just skulle utgöra elektriciteten och således tillsammans bilda det elektriska fluidet. Det man vanligen brukar förstå med en kropps molekyler skulle vara mycket stort i jämförelse med hvirflarna, hvilkas dimensioner i sin ordning skulle vara mycket större än sferernas. I de isolerande kropparna eller dielektrika skulle sfererna vara ur stånd att öfvergå från molekyl till molekyl, hvaremot i ledarna för elektriciteten en sådan öfvergång kan äga rum, ehuru en friktion därvid uppstår, hvarigenom värme alstras och förlust i energi vid förflyttningen förorsakas. Sfererna föreställas rullande på hvirflarna alldeles som ett kugghjul öfver ett annat utan att någon glidning blifver möjlig. Om man antager, att en elektrisk ström framgår i en ledande tråd samt tager i betraktande den centrala linien af sferiska partiklar, finner man att dessa bringa i rotation alla de dem berörande sfererna kring axlar, vinkelräta mot strömmens riktning, på sätt att de omslutas af hvirfvelringar. Hvarje sådan ring förhåller sig liksom en kautschukring eller torus, när denna frampressas längs en stång. I stället för att glida framskrider den genom rullning. Men denna rörelse hos hvirflarna föranleder, att de små sfererna å deras yttre lager röra sig i motsatt riktning till den centrala liniens partiklar, hvilket återigen åstadkommer, att de närgränsande hvirfvelringarna vrida sig åt samma håll som de ringar de omsluta, emedan sfererna icke kunna rulla mellan de koncentrisk ringarna utan att förflytta sig fram eller tillbaka. Men om det första lagret af sfärer tvingas att röra sig framåt som centralströmmen, bör lagret af hvirflar, som omgifver det, rotera hastigare än detsamma, och så vidare måste de successiva lagren vrida sig allt hastigare ända till ledarens gränsyta. Vid denna sättes i rotation genom samma mekanism det omgifvande dielektriska ämnets yttersta lager af hvirflar, hvilken rörelse meddelas genom allt vidare cirklar till ett

*) Om Maxwells teori se förutom hans förnämsta arbete: »Electricity and Magnetism», London 1873 & 1881, äfven hans »Elementary treatise on electricity», edit. by W. Garnett; H. Poincaré »Electricité et Optique»; L. Boltzmann »Vorlesungen über Maxwells Theorie».

obegränsadt afstånd. Men denna meddelning af rörelsen sker icke ögonblickligt utan erfordrar en viss tid.

Af hvad nu blifvit anfördt synes att efter detta sätt att uppfatta elektricitetens företeelser, skulle en konstant elektrisk ström i en tråd framkalla molekylära hvirflar i det omgifvande dielektriska ämnet, hvilka hvirflars axlar äro vinkelräta mot tråden, under det att hvirflarna själfva tillsammans bildade ringar, som med stor hastighet rullade längs tråden. Men de linier, kring hvilka hvirflarna rotera, äro de magnetiska kraftlinierna. En spänning äger rum längs dessa och ett tryck i däremot vinkelräta riktningar. Den elektriska ledningstråden skulle sålunda omgifvas af magnetiska kraftlinier, hvilka bildade koncentriskt cirklar kring densamma. Riktningen af den magnetiska kraften är den efter hvilken en högergängad skruf skulle vrida sig, om den framgick med strömmen. Det dielektriska ämnet skulle vara underkastadt spänningar efter cirklar koncentriskt med tråden och tryckningar efter plan gående genom denna.

Fig. 1.

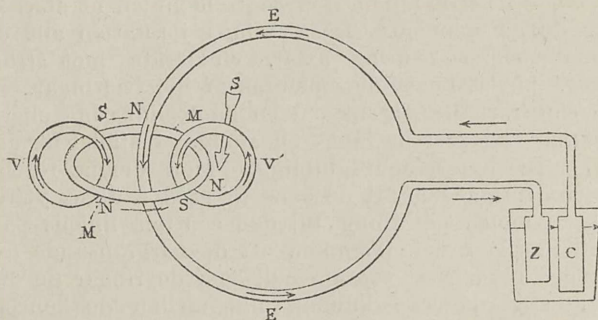


Fig. 1 åskådliggör det samband, som efter denna teori skulle finnas mellan strömmen, kraftlinierna och hvirflarnas rörelse. Strömmen, alstrad af ett galvaniskt element CZ, går genom tråden EE' i den af pilar visade riktningen. Den horisontala cirkeln MM' föreställer en knippa magnetiska kraftlinier, hvilkas riktningar angifvas genom NS och SN . De vertikala cirklarna V och V' föreställa molekylarhvirflar, hvilkas axlar ligga vid de magnetiska kraftlinierna. Det synes af deras rotationsriktningar, att om V och V' vore nära hvarandra, mellan dem liggande partiklar skulle dragas nedåt äfvensom att om partiklarna af någon annan orsak skötos

nedåt, hvirflarna skulle bringas i den rotation figuren antyder *)

Maxwell förklarar genom dylika hvirfvelrörelser och genom den inverkan, som hvirflarna och de elektriska partiklarna utöfva på hvarandra inbördes, elektriska ledares attraktion och repulsion, induktionen och själfinduktionen m. m.

Så t. ex. om två parallela, nära intill hvarandra liggande trådar genomgås af strömmar i lika riktningar. Hvirflarna mellan trådarna sträfva då att rotera åt samma håll genom båda strömmarnas inflytande. Denna rörelse fortplantas medels de sferiska partiklarna, hvilka förmedla rörelsen från hvirfvel till hvirfvel likasom kugghjulen i en utväxling. Till följd häraf åverkas trådarna genom hvirflarna på samma sätt som om trådarna repellerade hvarandra inbördes.

För att lämna en föreställning om den betydelse Maxwell tillägger den elektromotoriska kraften vilja vi anföra några ord, som han därom yttrat i fråga om inducerade strömmar. Den elektromotoriska kraften härrör af verkan mellan hvirflarna och de mellanvarande partiklarna, när rotationens hastighet förändras i någon del af fältet. Den svarar mot trycket på axeln till hjulet i en maskin, när drifhjulets hastighet förökas eller förminskas. Om maskinen plötsligen bragtes i hvila genom att drifhjulet stannades, skulle hvarje hjul i mekanismen erhålla en impuls, lika stor och motsatt till den, som det erhöi, då mekanismen bragtes i rörelse.

3. Den statiska elektriciteten. — Vi skola nu taga i betraktande *Maxwells* hypotes om den i hvila varande elektriciteten. En ledande kropp kan efter hans uppfattning jämföras med en porös membran, som mer eller mindre motsätter sig fluidernas genomgång. De elektriska partiklarnas tryck mot hvarandra motsvarar potentialen. Dielektrika jämföras däremot med ogenomträngliga elastiska membraner, som öfverföra trycket från ett fluidum å ena sidan till ett fluidum å andra sidan. Uti ett sådant ämne, hvilket underkastas induktion, skulle uti hvarje molekyl elektriciteten förflyttas på så sätt, att den ena sidan af molekylen blifver positivt och den andra sidan negativt elektriserad, hvarvid de elektriska partiklarna förblifva vid molekylen utan att öfvergå från den ena till den andra af dem. Men härigenom uppstår dock i hela kroppen en liten förflyttning af nämnda partiklar

*) Denna afbildning är hämtad ur en äldre afhandling af Maxwell i *Philosophical Magazine*, Vol. XXI, 1861, där Maxwell först utvecklade sina hypoteser om magnetismen och elektriciteten.

efter kraftliniernas riktning. En verklig elektrisk ström uppkommer visserligen icke härigenom, utan blott början till en sådan. Om vi antaga, att en kropp är t. ex. positivt elektrisk, så utgå från honom i det omgivande dielektriska mediet en liten förflyttning åt alla sidor, hvilken meddelar sig från kroppens yta. Molekylerna undergå härvid till följd af trycket från de elektriska partiklarna en formförändring, och ett elastiskt tryck uppstår i alla mot förflyttningen vinkelräta riktningar. Med andra ord: ett tryck frambringas vinkelrätt mot kraftliniernas riktningar. Finnas två positivt elektriska kroppar i närheten af hvarandra, föranledes genom båda en liten förflyttning af de elektriska partiklarna, men då dessa tillsammans bilda ett osammantryckligt fluidum, komma kraftlinierna att krökas på samma sätt som om de båda kropparna repellerade hvarandra.

Vi hafva här blott i korthet meddelat några hypoteser, hvilka ligga till grund för Maxwells matematiska teori för magnetismen och elektriciteten. Det vi i detta hänseende anført, kan blott lämna en antydning om beskaffenheten af de hjälpmedel den berömde matematikern använde för att förklara dessa slag af företeelser. Man får för öfrigt icke tänka sig, att han i sina matematiska utvecklingar konsekvent fasthållit en bestämd åsikt om kropparnas och eterns beskaffenhet. Den vetenskapsman, *Hertz*, hvilken man i främsta rummet har att tacka för uppdagandet af elektricitetens inre natur, säger om Maxwells teori: Maxwell har ursprungligen utvecklat sin teori i samband med mycket bestämda och speciella föreställningar öfver de elektriska fenomenens beskaffenhet. Han antog, att eterns och alla kroppars porer äro uppfyllda med ett fint fluidum, men hvilket icke utöfvar någon verkan på afstånd. I ledarna skulle detta fluidum röra sig fritt, och denna rörelse skulle bilda hvad vi kalla en elektrisk ström. I isolatorerna (dielektrika) skulle samma fluidum fasthållas i sitt läge genom elastiska krafter, och dess förskjutning, »displacement», betraktades såsom elektrisk polarisation. Fluidet själf kallade Maxwell elektricitet, såsom varande orsaken till alla elektriska fenomen. Men då han skref sitt stora verk tilltalade honom icke längre de hopade hypoteserna, eller ock fann han dem motsägende hvarandra och lät dem därför falla. Men han uteslöt dem likväl icke så fullständigt, att icke en hel följd af beteckningar, som härstamma från dem, blefvo kvarstående. Sålunda har ordet elektricitet i Maxwells verk uppenbarligen en dubbel betydelse. Ena gången betecknar han därmed en kvantitet, som kan vara positiv och negativ, hvilken tjänar till utgångspunkt för åtminstone skenbart på afstånd verkande krafter. Andra gången betecknas

dermed det hypotetiska fluidum, från hvilket icke ens skenbart på afstånd verkande krafter utgå, och hvars mängd i ett rum under alla omständigheter blott kan vara en positiv storhet.

4. Förhållandet mellan de elektriska enheterna. —

Om *Maxwells* matematiska teori för magnetismen och elektriciteten icke fört till några nya resultat, som af erfarenheten kunnat bekräftas, skulle den icke ägt större värde än flera andra teorier, hvilka i samma syfte af olika vetenskapsmän blifvit framlagda och som snart fallit i glömska. Men flera af de sätter, som Maxwell härledt rörande elektriciteten, voro nya och af den beskaffenhet, att de kunde direkt eller indirekt underkastas pröfning. Af särskildt intresse är härvid det förhållande, som äger rum mellan de elektriska enheterna efter de olika systemen för elektricitetens mätning. Ett sådant är det elektrostatiske systemet, hvars enhet för elektricitetsmängden är den positiva elektricitetsmängd, hvilken, verkande på en lika kvantitet på afståndet ett, repellerar densamma med kraftens enhet. Efter *Maxwells* teori skulle denna enhet variera i omvänt förhållande till kvadratroten ur elasticiteten hos det mellanvarande dielektriska ämnet. Men attraktionen och repulsionen mellan två elektriska laddningar varierar omvänt mot specifika induktionsförmågan hos detta dielektrikum, hvaraf skulle följa, att den elektrostatiske enheten för elektriciteten varierar proportionellt mot kvadratroten ur den specifika induktionsförmågan, hvilken således vore omvänt proportionel mot elasticiteten. Tager man återigen i betraktande t. ex. det elektrodynamiska måttssystemet, vore enheten för strömstyrkan den ström, som genomgående en viss tråd attraherar med kraftens enhet en lika ström i en annan tråd, hvarvid strömstyrkan angifves genom elektricitetsmängden per sekund, genomgången i trådarnas tvärskärningar. Efter *Maxwells* hypoteser är strömstyrkan proportionel mot hastigheten hos de molekyllära hvirlarna, hvilken hastighet varierar omvänt proportionellt mot kvadratroten ur tätheten hos dessa. Strömstyrkan i hvardera af trådarna bör därför variera i omvänt förhållande mot kvadratroten ur denna täthet. Häraf följer, att den elektrodynamiska enheten för elektricitetsmängden äfven varierar omvänt mot kvadratroten ur tätheten. Förhållandet mellan de båda systemens enheter skulle på grund härav vara proportionel mot förhållandet mellan kvadratroten ur elasticiteten och tätheten. Men man vet af den högre optiken, att detta förhållande är lika med de transversella vibrationernas fortplantningshastighet. I själfva verket drog Maxwell häraf den slutsats, att ljuset utgöres af transversella

vibrationer af samma medium, som alstrar de elektriska och magnetiska fenomenen. *) Han försökte äfven själf senare att på experimentel väg genom elektriska undersökningar bestämma ifrågavarande hastighet. Försöken, ehuru ofullkomliga, visade dock ett resultat, som icke allt för långt aflägsnade sig från det nu för ljusets hastighet i luften antagna värdet, 300,000 kilometer i sekunden. Såväl genom dessa som genom af andra forskare gjorda försök, ansåg Maxwell bekräftadt, att förhållandet mellan vissa af de elektriska enheterna betecknar en och samma fysiska kvantitet som ljusets hastighet.

5. C. A. Bjerknes hydro-elektriska och hydro-magnetiska undersökningar. — Om redan *Maxwells* teori och de däraf dragna resultaten gaf en antydning om att ett nära samband förefinnes mellan de elektriska och optiska fenomenen, blef detta ännu tydligare genom de matematiska och experimentella undersökningar, som anställdes af professor *C. A. Bjerknes* i Kristiania öfver isokrona vibrationer hos närgränsande sferiska kroppar i ett osammantryckligt fluidum, och hvarigenom påvisades, att mellan dessa kroppar skenbart attraherande eller repellerande krafter uppstå, jämförliga med dem, som gifva sig tillkänna mellan magneter eller elektriska kroppar. En pulserande sfer, hvilken periodiskt utvidgas och sammandrages, förhåller sig härvid som en magnetpol eller som en elektrisk massa; en oscillerande sfer däremot motsvarar en magnet. Den pulserande sfären får härvid tänkas såsom en nordpol eller som en positivt elektrisk massa, när hans volym förökas. Polen är koncentrerad vid centrum, elektriciteten utbredd på medelytan. Däremot bör den pulserande sfären tänkas såsom en sydpol eller en negativt elektrisk massa, när volymen förminskas. Hydro-magneten, som utgöres af den oscillerande sfären, innehåller två motsatta poler: nordpolen, mot hvilken den oscillerande rörelsen är riktad; sydpolen, från hvilken den utgår. Det gifves dock en bestämd skillnad mellan dessa båda klasser af fenomen. Man måste här antaga, att liknämninga hydro-magnetpoler attrahera hvarandra, hvaremot de oliknämninga repellerar hvarandra, under det att två verkliga magnetiska nordpoler utöfva repulsion sinsemellan. Dessa resultat härledde Bjerknes åren 1868—1875 vid lösningen af ett hydrodynamiskt problem angående flera föränderliga sferers rörelse i ett osammantryckligt fluidum, och han bekräftade dem sedermera på experimentel väg. Vid elektricitetsutställningen i Paris år

*) Maxwell framställde denna sats först i *Philosophical Magazine*, V. XXIII, 1862, p. 22.

1881 förevisades de härför använda apparater af den norske vetenskapsmannen, och hos åskådarna till de af Bjerknæs gjorda demonstrationerna med dessa apparater fick den öfvertygelsen fast insteg, att äfven de magnetiska och elektriska fenomenen äro rörelsefenomen och att deras fortplantning förmedlas genom vibrationer hos ett fluidum. Icke blott den statiska elektriciteten äger här sin motsvarighet, utan jämväl den elektriska strömmens och elektromagnetismens företeelser återgifvas i flera fall genom dessa försök. Dessa hydrodynamiska undersökningar kunna dock icke tjäna till grundval för magnetismens och elektricitetens teori, enär själfva grundfenomenen, såsom nyss anfördes, äro motsatta, men de visa dock möjligheten och sannolikheten af ett likartadt ursprung och utgöra sålunda en bekräftelse å *Faradays* och *Maxwells* åskådningssätt.

Äfven i gasformiga kroppar kunna liknande företeelser framkallas.

6. Hertz' upptäckter. — Det är förnämligast den tyske fysikern *Heinrich Rudolph Hertz*, som man har att tacka för att bestämda bevis för att elektriciteten är en vågrörelse kunnat erhållas.*) Hertz föddes år 1857 i Hamburg och dog år 1894 i Bonn. Han ägnade sig till en början åt studiet af ingenjörvetenskapen, men sedermera åt fysiken och blef assistent till den berömda fysikern *Helmholtz* i Berlin, sedermera professor vid polytekniska skolan i Carlsruhe och slutligen vid universitetet i Bonn. Hertz tillhör raden af de stora upptäckarne inom fysiken, och hans arbeten äro grundläggande inom denna vetenskap. Han fördes till studiet af de nu ifrågavarande fenomenen genom en i vetenskapsakademien i Berlin anordnad pristäflan: att experimentellt ådagalägga ett samband mellan de elektrodynamiska krafterna och den dielektriska polarisationen hos isolatorerna, vare sig det är en elektrodynamisk kraft, som alstras genom företeelser i oledarna eller en polarisation hos dessa genom den elektrodynamiska induktionen. Med anledning häraf började Hertz i Carlsruhe år 1886 de undersökningar, som skulle göra hans namn odödligt. De första försöken öfver elektriska svängningar lämnade medel att framkalla dylika med hastigare rörelse än hvad hittills varit möjligt, hvarvid en märkvärdig växelverkan mellan samtidiga elektriska gnistor iakttoogs, hvarjämte i samband härmed det ultravioletta ljusets inflytande på

*) Hertz' hithörande arbeten äro offentliggjorda i *Annalen der Physik und Chemie*, 1887—1889, äfvensom i ett särskildt verk: *Untersuchungen ueber die Ausbreitung der Elektrischen Kraft*, 1892.

den elektriska urladdningen upptäcktes. Men af ännu större betydelse var iakttagelsen af företeelserna rörande en rätlinig elektrisk svängnings inverkan på en närbelägen ledare samt öfver de induktionsfenomen, som framkallas genom elektricitetens verkan uti isolerande ämnen.

Genom dessa forskningar hade Hertz ådagalagt, att förändringar i den dielektriska polarisationen hos de oledande kropparna utöfva samma elektrodynamiska krafter som motsvarande strömmar. Det återstod att visa, att de elektrodynamiska krafterna lika väl som de elektrostatiska äro i stånd att framkalla den dielektriska polarisationen äfvensom att luften och tomrummet själfva förhålla sig i dessa hänseenden som hvarje annat dielektrikum. För detta ändamål anställde Hertz undersökningar öfver den hastighet, hvarmed de elektrodynamiska verkningarna utbreda sig, för att utröna huruvida den är oändligt stor eller ändlig. Det resultat han slutligen erhöll efter flera misslyckade försök visar, att de elektriska vågorna fortplantas med en ändlig hastighet, att våglängden kan uppgå till flera meter, att dessa vågor kunna reflekteras och att interferens mellan dem kan äga rum o. s. v. Härigenom hade Hertz otvifvelaktigt besvarat den gamla frågan om möjligheten af och sättet för verkan på afstånd mellan kroppar hvad elektriciteten beträffar samt genom enkla och träffande försök visat, att en direkt verkan på afstånd icke här äger rum. Dessa resultat äro oberoende af alla teorier för elektriciteten, men de äro en bekräftelse å de grundhypoteser, på hvilka *Faraday*—*Maxwells* teori hvilat, för så vidt dennas förutsättningar äro bekanta.

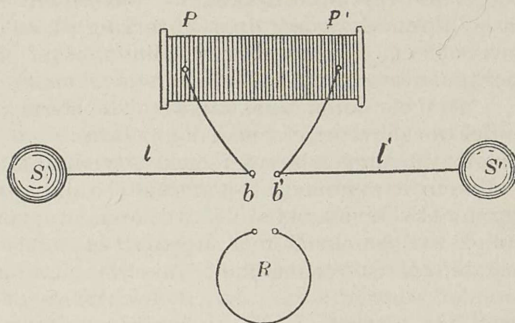
De nu omtalade undersökningarnas resultat äro till de väsentligaste delarna bekräftade af flera forskare.

Vi skola nu något närmare redogöra för det viktigaste af dessa arbeten, som visserligen i första rummet äro af rent vetenskapligt intresse, men hvilka utan tvifvel äfven komma att för tekniken blifva af stor betydelse.

2. Apparater för framkallande och undersökning af elektriska vågor. — En enkel anordning för detta ändamål visas af fig. 2. Den utgöres af en kraftig Ruhmkorffs induktionsapparat, hvars poler P och P' äro förenade med två horisontala koppartrådar l och l' af vid pass 5 mm. diameter. Dessa tråders mot hvarandra vända ändar utlöpa i två väl polerade mässingskuler b och b' med c:a 3 cm. diameter och hvilka närmas till omkring 7,5 mm. afstånd från hvarandra, och deras yttre ändar i två zinkkuler S och S' af 30 cm. diameter. Dessa sistnämnda kulors afstånd, som man efter behag kan variera, utgör omkring en meter. Den nu beskrifna delen

af apparaten utgör den primära ledaren, framkallaren. Dess verksamhet är tämligen invecklad. Om vi först antaga, att kulorna icke äro i för-
 ening med induktionsapparaten, men meddelats olika höga potentialer, tillräckligt att frambringa en

Fig. 2.



gnista mellan b och b' , så sker en urladdning mellan dessa. Såsom *Feddersen* först experimentellt visat, kan i vissa fall en dylik urladdning blifva oscillatorisk. Teorien har ådaga-
 lagt, att om motståndet är R , självinduktionskoefficienten L och laddningskapaciteten C , så är villkoret för att oscillerande urladdning skall äga rum

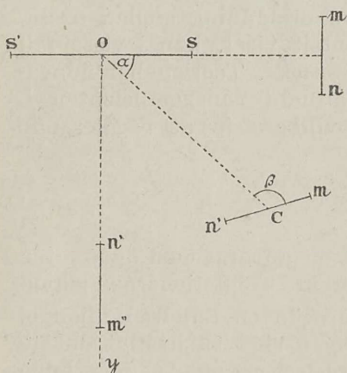
$$R^2 < \frac{4L}{C}.$$

Detta villkor är uppfyllt vid en apparat med de angifna dimensionerna. Enligt lord *Kelvin* äro oscillationernas period $2\pi\sqrt{LC}$, och denna är här mindre än en hundra milliondel af en sekund. Emedan urladdningen sker så hastigt, måste man för att kunna iakttaga företeelserna, mycket ofta ånyo ladda apparaten, och det är för detta ändamål induktionsrullen begagnas. När polerna P, P' förenas med kulorna, laddas dessa omkring hundra tusen gånger i sekunden. — Anbringas i närheten af framkallaren en böjd metalltråd R , hvars ändar äro på en bråkdelen af en millimeters afstånd, synes i allmänhet under apparatens verksamhet en följd af gnistor öfvergå mellan ändarna. Styrkan hos gnistorna är beroende af trådens ställning, form och dimensioner, och det gifves för hvarje form en viss storlek, vid hvilken gnistorna kraftigast framträda. På grund af den analogi, som detta företeer med den akustiska resonatorn, kallas denna sekundära strömkrets, i hvilken framkallaren åstadkommer urladdningar genom induktion, äfven för *resonator*, och denne är stämd efter framkallaren, om den till form och storlek är så beskaffad, att den lämnar de kraftigaste gnistorna den kan gifva. Till en början använde *Hertz* en kvadratisk resonator af 60 cm. sida och 2 mm. tråddiameter, vid hvars afbrottsställe en gnist-

mikrometer var anbragt, så att gnistlängden med största noggrannhet kunde uppmätas. Sedermera gjorde han bruk af cirkelformen, såsom fig. 2 antyder, med 2 mm. tjock tråd och 35 cm. radie. För oscillationer af mycket kort period begagnades cirklar af 1 mm. tjock tråd med 7,5 cm radie.

Det bör anmärkas, att det är tillräckligt att undersöka de induktionsföreteelser, som äga rum i ett plan, hvilket som helst, genomgående sferernas medelpunkter, emedan framkallaren är symmetrisk i afseende å linien genom dessa punkter. Bekvämast sker det i horisontalplanet genom denna linie, hvilken benämnes apparatens axel. Tänker man sig vidare, att ett vertikalt plan, vinkelrätt mot axeln, drages genom

Fig. 3.



framkallarens midt, är detta äfven ett symmetriplan, och detta skär nyssnämnda horisontalplan efter en horisontal linie, hvilken betecknas såsom grundlinie. Man behöver blott undersöka kvadranten mellan denna och axeln för att erhålla kännedom om framkallarens fält. Hertz använde för den skull resonatorer med 35 cm. radie, hvilka voro så anordnade, att de kunde gifvas ett godtyckligt läge med medelpunkten i horisontalplanet genom den ofvannämnda axeln. Vi anföra af de sålunda funna resultaten de följande:

Vid vertikalt resonatorplan.

Vrides resonatorn kring sin medelpunkt, så att den kring afbrottsstället gående diametern beskriver en cirkelbåge, förändras gnistornas längd eller styrka. Om nämnda diameter är vertikal, är deras längd störst, men de försvinna, om diametern är horisontal. Vrider man resonatorn kring samma diameter, visa gnistorna två maxima och två minima, med 180° vinkel mellan de samma och 90° vinkel mellan ett maximum och ett minimum. Det läge, i hvilket resonatorn lämnar ett maximum eller minimum, beror på resonatormedelpunktens ställning i afseende å framkallaren. För att närmare angifva detta låt i fig. 3 SS' beteckna framkallarens axel, mn , $m'n'$ och $m''n''$ olika lägen hos resonatorn samt OC sammanbindningslinien mellan axelns midtpunkt O och resonatorns medelpunkt C äfvensom α och β de å figuren angifna vinklarna $SO C$ och OCm' . Om till en början ett minimivärde äger rum och α får växa från 0° till 90° förändras vid minimi-

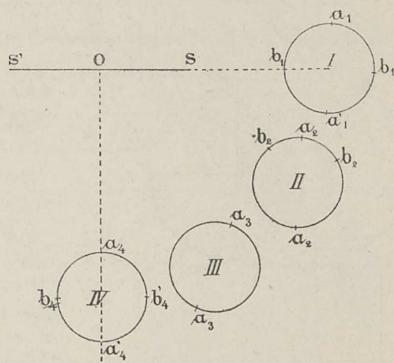
läget β från 90° till 180° , d. v. s. från läget mn till $m'n''$, förutsatt att OC är mindre än 3 m. Vid större afstånd blifver resonatorns ställning vid minimiläget alltid nära nog vinkelrät mot SS' . Men huru stort afståndet än är blifva minima noll, när resonatorns medelpunkt är belägen på grundlinjen Oy och dess plan går genom denna.

Vid horisontalt resonatorplan. Låt fig. 4 angifva olika lägen af resonatorn i horisontalplanet genom punkten O . Då beteckna $a_1, a'_1, a_2, a'_2 \dots$ afbrottsställenas lägen vid maxima och $b_1, b'_1, b_2, b'_2 \dots$ vid minima. Öfvergår man från ställningen *I* till *II* hos resonatorn, så närma sig till hvarandra de lägen hos denna, hvilka motsvara gnistminima, och visa ett maximum mellan sig. Men vid ställningen *III* sammanfalla dessa två lägen och blott ett maximum, nämligen vid a'_3 erhålles. Slutligen visar sig på c:a 3 m. afstånd från framkallaren en följd af punkter, där hvarken maxima eller minima förefinnas. Hertz har i denna företeelse funnit den första antydning om en ändlig fortplantningshastighet hos de elektriska verkningarna på afstånd.

De nu omnämnda apparaternas verksamhet beror dels på den elektrostatiske och dels på den elektrodynamiske kraften samt den vågrörelse dessa framkalla. Det omnämnda

afståndet af 3 m. motsvarar gränsen för det område, där den förstnämnda kraften upphör att utöfva märkbart inflytande, hvaremot vid mindre afstånd än 1 m. den elektrostatiske kraften företrädesvis bestämmer företeelsens karakter. Man kan äfven vid mycket stora afstånd från framkallaren iakttaga gnistorna i resonatorn. Sålunda fann Hertz, att då framkallaren anbragtes i ett hörn till en sal af 14 m. längd och 12 m. bredd, likväl gnistorna blefvo synliga i salens mest aflägsna delar, visande att hela rummet var uppfyllt af de elektriska vågorna. Men genom de fasta väggarna dämpades nästan fullständigt dessas utbredning.

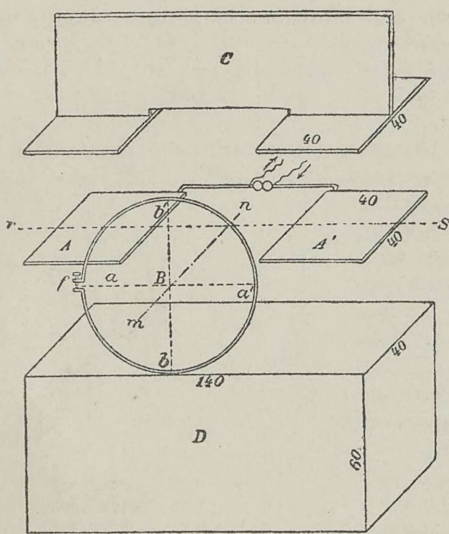
Fig. 4.



8. Dielektrikas inflytande på de elektriska vågorna. — Om det rum, i hvilket de i § 7 anförda försöken utföras, innehåller andra ledare än de härför begagnade apparaterna, så utöfva

dessas ledare ett störande inflytande, hvilket redan följer af elektricitetens sedan länge bekanta verkan på de i närheten varande ledarna. Men *Maxwells* teori förutsätter, att jämväl närbelägna oledande kroppar, d. v. s. dielektrika, på liknande sätt inverka. Fig. 5 visar en apparat, som *Hertz* använde för att undersöka riktigheten häraf. *A* och *A'* äro kvadratiske mässingsskifvor med 40 cm. sidor, hvilka äro anbragta i horisontalt läge och förenade med en 70 cm. lång, 5 mm. grof koppartråd. I dennas midt finnes ett 7,5 mm. långt afbrott mellan två väl polerade mässingskulor, och från dessa

Fig. 5.



föras från en stor induktionsapparat kraftiga urladdningar genom afbrottet. Härvid laddas skifvorna *A* och *A'* i motsatta riktningar och urladdas genom gnistor, hvarvid elektriska oscillationer uppstå, hvilkas svängningstid är vid pass en hundramilliondel af en sekund. Resonatorn *B* är i cirkelform med 35 cm. radie och af 2 mm. grof koppartråd samt med afbrottet vid *f*, där de här alstrade gnistornas längd kan uppmätas från några hundradels millimeter till flera millimeter med tillhjälp af en fin skruf.

I vissa fall kunna se-

kundära gnistor af 6 till 7 mm. längd erhållas. Resonatorn kan vridas kring axeln *mn*, som är vinkelrät mot resonatorns plan, så att läget hos *f* förändras. Det minsta afståndet mellan *AA'* och *B* är 12 cm.

Bland de af *Hertz* med denna apparat gjorda försök anföras vi de följande:

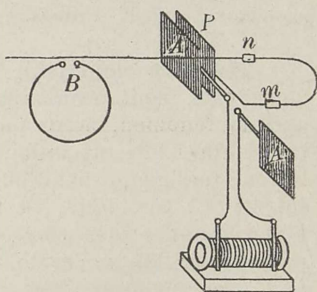
Om afbrottet *f* är beläget i horisontalplanet *AA'*, d. v. s. vid *a* eller *a'*, så erhållas inga gnistor. Men vid resonatorns vridning kring *mn* uppstå gnistor, och maxima erhållas när *f* kommit till *b* och *b'*, d. v. s. till de lägsta och högsta lägena. Detta beror på den elektriska vågrörelse, som alstras i den diametralt mot *f* varande delen af resonatorn och som

härrör af den elektrostatiske kraften, hvilken här är verksamast, och den motsatt riktade elektrodynamiska kraften. — Om nu en ledare C af t. ex. ett metallbleck närmas apparaten uppifrån, aftager gnistlängden vid högsta punkten b , men tilltager vid b' . För att undersöka dielektriska kroppars inverkan användes först papper. En parallelepiped af hoplagda böcker af 1,5 m. längd, 0,5 m. bredd och 1 m. höjd anbragtes tätt under AA' . Det visade sig då, att i de förut gnistfria lägena hos B gnistor uppträdde, hvilka först utsläcktes genom att f vreds cirka 10^0 . Sedan lades ett asfaltblock D af 1,4 m. längd, 0,4 m. bredd och 0,6 m. höjd under AA' , då en ännu kraftigare verkan erhöles. Gnistan vid den högsta punkten blef nu betydligt starkare än vid den lägsta punkten. Nollpunkterna vredos nedåt 23^0 . Samtliga verkningar af en ledare med liten svängningstid gäfvos sig tillkänna. Dessutom kunde ledaren C 's inflytande kompenseras genom oledaren D . Liknande förhållande visade beck, trä, sandsten, petroleum o. s. v.

9. De elektriska vågornas fortplantning vid metalltrådar. — För att undersöka på hvad sätt de elektriska vågorna utbreda sig med ändlig

hastighet i eller vid en metalltråd, begagnade *Hertz* en apparat sådan fig. 6 antyder. Här finnes en framkallare med två vertikala skifvor A , A' samt bakom A en tredje lika stor skifva P , från hvilken en 12 m. lång isolerad metalltråd mn utgår horisontalt 40 cm. från grundlinien i det vertikala symmetriplanet. Resonatorn B uppställles så att dess medelpunkt innehålles i grundlinien och afbrottet högst upp samt med sitt

Fig. 6.



plan i nämnda vertikalplan. I detta läge skulle inga gnistor uppstå i resonatorn, om ej metalltråden funnes. Men nu alstras i allmänhet lifliga gnistor, och detta måste därför bero på trådens inverkan. Förflyttas resonatorn längs tråden från dennas fria ända mot framkallaren, visa sig icke några gnistor vid den fria änden och icke heller vid de punkter, som äro 2,8 m., 5,6 m., 8,4 m. . . . från denna. Däremot äro gnistorna starkast på 1,4 m., 4,2 m., 7,0 m. . . . afstånd från änden, d. v. s. vid midtpunkterna mellan de förutnämnda lägena. Dessa motsvara således knutpunkterna till en svängande sträng, och det är påtagligt att man här har att göra med en vågrörelse fullkomligt analog med den, som fortplantar ljudets

vibrationer i en sträng eller i en orgelpipa. Afskäres tråden vid en sådan knutpunkt, förblifva företeelserna på hela längden mellan framkallaren och skärningspunkten oförändrade, och jämväl vid det afskurna stycket framträda de på liknande sätt, ehuru svagare. Det visar sig äfven, att afståndet mellan knutpunkterna är oberoende af trådens diameter samt af materialet. Järntråd förhåller sig på samma sätt som koppartråd. Med rör af vid pass 2 cm. diameter, hvilka fylldes med utspädd svafvelsyra, erhöles samma knutpunkter som med trådar.

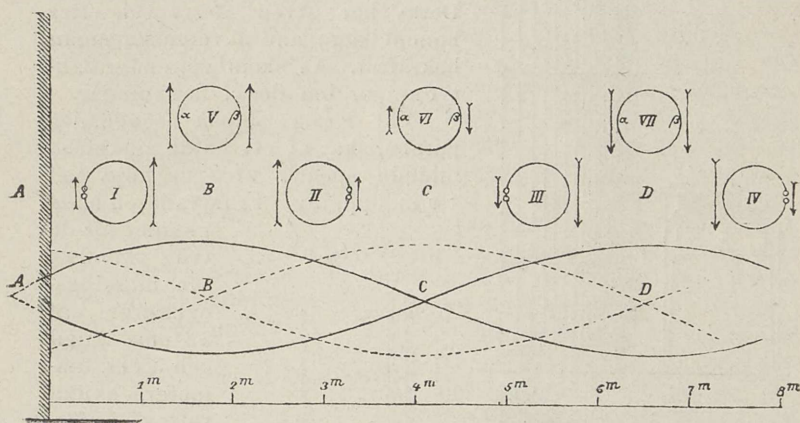
Hertz har på grund af dessa iakttagelser försökt att beräkna de elektriska vågornas fortplantningshastighet i trådar och fann för denna 200,000 kilometer i sekunden. *Blondlot**) har senare genom fullständigare undersökningar härledt den sats, att de elektriska vågorna äga en enda fortplantningshastighet, oberoende af våglängden, och att denna hastighet har ett värde nära 297,600 km. i sekunden. Enligt *Maxwells* teori är denna hastighet lika med förhållandet mellan de elektromagnetiska och elektrostatiska enheterna för elektricitetsmängden, och för detta ha flera forskare funnit värden mellan 296,000 och 300,900 km. Här äger således en så pass stor öfverensstämmelse rum, som man skäligen kan begära vid så ytterst svåra undersökningar.

10. De elektriska vågornas reflexion. — Den stående vågrörelse, som framkallar de i näst föregående paragraf beskrifna fenomen, beror på en reflexion af vågorna vid trådens fria ända. För att undersöka dylika företeelser, sådana de i luften försiggå, anställde *Hertz* följande försök. I en stor sal af 15 m. längd, 14 m. bredd och 6 m. höjd, som innehöll två rader järnpelare med 8,5 m. afstånd mellan de båda med salens längd parallela raderna, uppställdes framkallaren på 2 m. afstånd från den ena sidoväggen på 2,5 m. afstånd från golfvet. En cirkelformig resonator med 35 cm. radie anbragtes på en ställning, så att den kunde gifvas olika lägen. Den vägg, från hvilken reflexionen skulle äga rum, bekläddes med ett zinkbleck af 4 m. höjd och 2 m. bredd, hvilket sattes i ledande förbindelse med vattenledningen för att hindra samling af elektricitet. Blecket var på 13 m. afstånd från framkallaren. De från denna utgående elektriska vågorna återkastades af blecket och undersöktes med resonatorn. Fig. 7 lämnar en vertikal genomskärning af blecket och golfvet samt antyder resonatorns lägen i olika afstånd från det förstnämnda. Om man vände afbrottsstället mot blecket

*) Journal de physique, 1891, p. 549.

eller från detta, erhöles i allmänhet olika starka gnistor. På 0,8 m. afstånd (*I*) voro gnistorna starkast, när afbrottet var vändt mot blecket; på 3 m. afstånd (*II*) var förhållandet motsatt; på 5,5 m. afstånd (*III*) hade omkastning ånyo ägt rum o. s. v. Någon omkastning försiggick dock icke på större afstånd än 8 m., emedan den direkta verkan utöfvade för stort inflytande. Vid medellägena mellan *I* och *II* samt mellan *II* och *III* o. s. v., hvilka lägen äro betecknade med *V*, *VI* och *VII*, erhållas ett slags knutpunkter. I *B* och *D*, motsvarande *V* och *VII*, aftager gnistans intensitet, när afbrottet

Fig. 7.



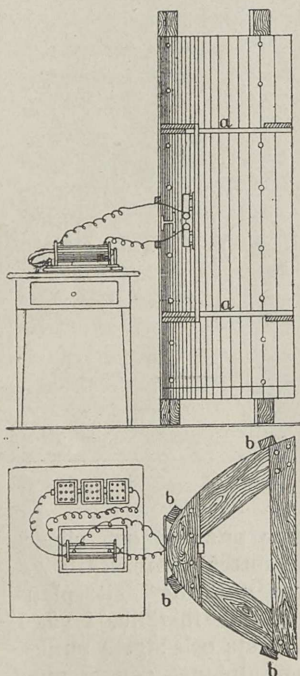
aflägsnas från α , bliver noll vid högsta punkten och växer ånyo till ursprungliga värdet, när afbrottet kommit till β . Vid *C* bliver däremot under resonatorns vridning i sitt plan gnistan nära oförändrad. Om nämnda plan inställes i vågplanet, blifva gnistornas styrka noll i högsta och lägsta punkterna af cirkeln och maximum i horisontalplanet genom medelpunkten, vid läget *B* bliver detta maximum störst. *A* och *C* äro tydliga knutpunkter, och vid *B* och *D* finnas svängningsbukar för de elektriska vågorna. Men Hertz betraktade de sistnämnda vågorna som knutpunkter för den magnetiska kraften, som är förskjuten $\frac{1}{4}$ våglängd från den elektriska. De fulldragna och prickade kurvorna å figuren angifva dessa båda system af vågor.

Vi ha här redogjort för de visserligen tämligen grofva men åskådliga försök, genom hvilka Hertz först tydligt ådagalade de elektriska vågornas reflexion mot en vägg, och ett

stående vågsystems uppkomst i luften genom interferens mellan de direkta och reflekterade vågorna. Man kan, som vi snart skola finna, äfven på annat och noggrannare sätt visa, att en sådan återkastning af den elektriska vågrörelsen äger rum.

11. Strålar af elektrisk kraft. — På grund af de i det föregående omnämnda undersökningarna har man all

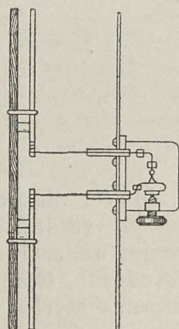
Fig. 8.



anledning antaga, att strålar af elektrisk kraft utgå från framkallaren, och att dessa strålar följa samma lagar som ljuset i fråga om reflexion, brytning, interferens o. s. v. Detta har äfven Hertz och efter honom flera andra vetenskapsmän bekräftat. Vi skola göra några antydningar om dessa forskningar.

Vid Hertz' försök begagnades paraboliska af ett böjdt zinkbleck bildade speglar af 2 m. höjd och 1,2 m. öppning. Framkallaren hade

Fig. 9.



i stället för de två kulorna två mässing-cylindrar af 13 cm. längd och 3 cm. diameter, hvilka sattes i förbindelse med induktionsapparatens poler (se fig. 8). De båda cylindrarna stodo vertikalt i brännlinien till

den paraboliska spegeln. Resonatorn var antingen cirkelformig eller rektangulär, i hvilket fall de båda 50 cm. långa vertikala trådarna anbragtes i det genom brännlinien gående medelplanet till en parabolisk spegel af samma dimensioner som den förra, under det att de båda horisontala trådarna genomgingo spegeln. Gnismikrometern kom härigenom bakom spegeln och kunde lätt iakttagas. Spegelarna ställdes midt emot hvarandra på 6 à 16 m. afstånd, och framkallarens gnistor satte resonatorn i verksamhet. Fig. 9 visar den sekundära ledaren.

Strålarnas rätliniga utbredning. Ställes en zinkskärm af 2 m. höjd och 1 m. bredd mellan speglarna, vinkelrätt mot strålarnas riktning, slocknade resonatorns gnistor fullständigt. Likaså om skärmar af stanniol eller guldpaper begagnades. Människokroppen verkar äfven som en skärm. Däremot hindra icke oledare strålarnas genomgång; en trädörr genomsläpper dem. Om två zinkskärmar af 2 m. höjd och 1 m. bredd uppställas symmetriskt till höger och vänster så att ett mellanrum lämnas för strålarna, röna gnistorna i resonatorn däraf ingen inverkan så länge mellanrummet icke är mindre än spegelns öppning, men de slockna, när det är minskadt till 0,5 m.

Polarisation. De elektriska strålarna äro bildade genom transversella vibrationer på samma sätt som ljusstrålarna. Man kan visa detta experimentelt. Vrides den spegel, där resonatorn finnes, kring en horisontal axel, blifva gnistorna småningom allt svagare och försvinna, när de båda infallsplanen komma vinkelrätt mot hvarandra. Återföras speglarna i det ursprungliga läget, så att deras symmetriplan sammanfaller, och man mellan dem ställer en träram med 2 m. höjd och 2 m. bredd, på hvilken 1 mm. grofva koppartrådar på 3 cm. afstånd från hvarandra äro uppspända parallelt, och dessa äro parallela med brännlinierna, försvinna resonatorns gnistor, men förblifva oförändrade, om trådarna komma vinkelrätt mot brännlinierna. Ramen verkar således på de elektriska strålarna som en turmalinskifva på rätlinigt polariserade ljusstrålar. Hertz framhåller dock, att de elektriska oscillationerna äro åtföljda af magnetiska oscillationer, så att om de förstnämnda äga rum i vertikalplanet de sistnämnda för siggå i horisontalplanet.

Reflexion. Vi hafva nyss antydtt, huru Hertz påvisade de elektriska strålarnas återkastning från en ledande yta genom uppkomsten af ett stående vågsystem. För att skilja de reflekterade strålarna från de infallande, ställde han de båda speglarna bredvid hvarandra, så att deras axlar konvergerade mot en punkt på 3 m. afstånd framför dem. Resonatorn visade då inga gnistor. Men om en vertikal zinkskärm ställdes vid denna punkt vertikalt och vinkelrätt mot medellinien, erhöles gnistor till följd af strålarnas reflexion från skärmen. Vreds denna c:a 15° åt ena eller andra sidan kring en vertikal axel, slocknade gnistorna, hvilket visar att reflexionen var regulier och icke diffus.

Brytning. För att undersöka huruvida de elektriska strålarna brötos, d. v. s. förändrade riktning vid öfvergången från luften till ett annat isolerande ämne, gjorde Hertz bruk

af ett stort beckprisma, hvars bas var en likbent triangel af 1,2 m. sida, 30^0 brytande vinkel och hvars höjd var 1,5 m. Prismat ställdes vertikalt på 2,6 m. afstånd från den paraboliska spegeln, så att strålarna kommo i riktning mot prismats tyngdpunkt i 65^0 vinkel mot den bortre brytande ytan. Medels två ledande skärmar begränsades strålnippan, utgående från framkallaren i spegeln. Vid den motsatta sidan om prismat uppritades på golvet en cirkel af 2,5 m. radie med basens tyngdpunkt till medelpunkt. Efter denna cirkel flyttades en parabolisk spegel med resonator så, att dess öppning ständigt var vänd mot prismat. Det visade sig, att icke några gnistor erhöles i resonatorn, om de båda speglarnas axlar sammanföll, men att gnistbildningen började vid 11^0 vridning af spegeln, blef störst vid 22^0 och upphörde ånyo vid 34^0 . Detta motsvarar en brytningsexponent af 1,69. Andra forskare hafva sedermera funnit för paraffin 1,41, för ebonit 1,724 och för vatten 9,405.

Lodge och *Howard* hafva jämväl lyckats att bryta och koncentrera de elektriska strålarna genom stora linser.

Äfven *dubbelbrytning* af de elektriska strålarna kan äga rum, hvilket *Mack* ådagalagt genom försök, bland andra genom att låta dem genomgå en ekskifva af 60 cm. bredd och 20 cm. tjocklek.

12. Dämpning af elektriska svängningar. — Professor *V. Bjerknes**) vid Stockholms Högskola har anställt iakttagelser**), som äro af ganska stor betydelse för kännedomen om de elektriska vågorna. De afsågo till en början undersökningen af lagen för försvagningen af dessa vågor vid en metallisk ledning. De hastiga elektriska oscillationerna, hvilka uppträda först i den primära strömkretsen (framkallaren) och sedermera i den sekundära (resonatorn), försvinna inom en mycket kort tid. Innan induktionsapparaten hunnit lämna en ny gnista efter den föregående försvinnande, har jämvikt inträdt. *V. Bjerknes* fann, att med den af honom använda induktionsapparaten 42 kontakter ägde rum på en sekund. Men på samma tid var svängningstalet c:a 30 millioner, så att mellan två gnistor c:a 700,000 svängningar möjligen skulle kunna uppträda. Då emellertid vid den elektriska vågrörelsen en kraftig dämpning förefinnes till följd af utstrålningen af energi samt genom ledningsmotståndet, måste antalet af de verkliga där försiggående svängningarna blifva vida mindre. Härvid är att märka, att dämpningen i den sekundära ledningen

*) Son till den i § 5 omnämnde professor C. A. Bjerknes i Kristiania.

**) *Annalen der Physik und Chemie*, 1891, Bd. 44, p. 74.

måste vara jämförelsevis liten. Den af *Hertz* härrörande metoden för de af *Bjerknes* utförda försöken beror därpå, att ju flera svängningar, som följa efter hvarandra i den primära ledningen, dess mera kunna de förstärka sin verkan i

Fig. 10.

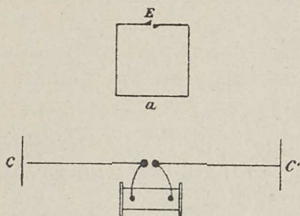
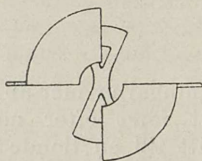
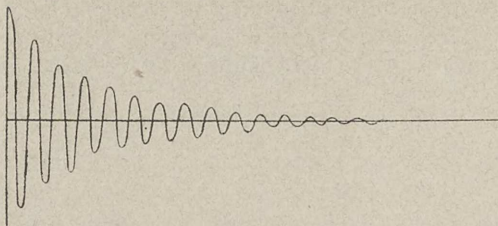


Fig. 11.



resonatoren. Fig. 10 antyder den använda apparatens anordning. CC' är den primära 2 mm. grofva kopparledningen, som utåt slutar med två cirkelformiga zinkbleck af 40 cm. diameter, och hvars mot hvarandra vända ändar äro försedda med små mässingskuler. Resonatoren är en i form af en kvadrat böjd koppartråd af 60 cm. sida ställd på 50 cm. afstånd från CC' . Sidan a kunde dock ersättas med andra trådar för att förändra svängningstiden. Vid E var afbrottet, och här infördes en liten elektrometer med en aluminiumnål, som var upphängd på en kvartstråd. Denna elektrometer, som fig. 11 visar särskildt, har två kvadranter, och mellan dessa kommer nålen på ett afstånd af minst 8 mm. från dem, på hvilket afstånd inga synbara gnistor öfverspringa. Afvikningen iakttoogs med tillhjälp af spegel, tub och skala. Elektrometerutslagen angäfvos relativa värden å de sekundära svängningarnas intensitet. Genom att införa raka trådar af olika längd mellan CC' kunde den primära ledaren bringas i resonans med de använda sekundära ledarna vid a . De sistnämnda voro antingen en rak tråd, eller ock en sådan med ett större eller mindre antal spirallindningar vid midten. De särskilda svängningstiderna härleddes genom uppmätning af våglängderna, hvilka lågo mellan 385,7 och 499,5 cm. På grund af de ekvationer, hvilka äro gällande i allmänhet för en oscillerande rörelse, som är underkastad motstånd, härleddes sedermera lagarna för de elektriska vågornas dämpning. De svängningar, som ägde rum i den primära strömkretsen, angifvas grafiskt genom kurvan fig. 12. Om den första elongationen är 1, är den andra åt samma sida 0,77, den tionde 0,07. Figuren visar svängningarna under en half milliondels sekund. I den sekundära strömkretsen dämpades

Fig. 12.



svängningarna mer än hundra gånger mindre än i den primära, så att först efter mer än 1,000 svängningar elongationerna nedgått till en tiondedel af de ursprungliga.

Genom senare undersökningar^{*)} har V. Bjerknes ådagalagt, att olika metaller i vissa hänseenden förhålla sig olika mot de hastiga elektriska svängningarna. Visserligen har *Hertz* funnit, att de elektriska vågornas fortplantningshastighet är densamma vid trådar, vare sig dessa äro goda eller mindre goda ledare, äfvensom om de äro magnetiska eller omagnetiska, hvarjämte dessa vågor icke djupt intränga i metallmassan, så att metallerna i fråga om elektriska vågor förhålla sig på samma sätt som vid den statiska elektriciteten. Genom användande af resonatorer af olika metaller har Bjerknes dock visat, att förmågan att dämpa de ifrågavarande vågorna är större hos järn och nickel än hos platina, nysilfver, mässing och koppar, hvilka sex metaller och legeringar undersöktes.

S. Lagergren har å Stockholms Högskola närmare undersökt dämpningen^{**)} och ådagalagt att denna beror på två orsaker: användande af energi för öfvervinnande af den inre friktionen eller det elektriska ledningsmotståndet samt afgifvande af energi genom strålning eller vågors utsändande i omgifvande medium. Vid måttliga spänningar äger dock icke någon energiurladdning rum till den omgifvande luftens molekyler. För alla resonatorer aftager dämpningen med växande kapacitet.

V. Bjerknes har äfven närmare undersökt de elektriska vågornas förmåga att intränga i själfva metallerna.^{***)} Såsom vi nyss antydtt, är en vanlig metallskärm ogenomtränglig för dessa vågor. Men ett ytterst tunt lager, t. ex. ett på glas utfäldt silfverskikt, kan genomsläppa dem, och detta visar att vågorna kunna intränga i metaller, fastän de hastigt

^{*)} *Annalen der Physik und Chemie*, 1892, Bd. 47, p. 69.

^{**)} Bihang till Kongl. Vetenskaps-Akademiens Handlingar, Bd. 23.

^{***)} Bihang till Kongl. Vetenskaps-Akademiens Handlingar, Bd. 19.

där utsläckas. Genom att undersöka flera lika resonatorer af järn eller koppar, elektrolytiskt öfverdragna med olika tjocka lager af andra metaller, fann Bjerknæs, att de magnetiska metallerna äga stark förmåga att utsläcka de inträngande elektriska vågorna, äfvensom att denna förmåga ökas med metallens ledningsförmåga. Ju hastigare vågorna svänga, desto mindre förmå de att intränga i metallen.

Vi erinra om, att enligt *Maxwells* teori den elektromagnetiska energien hos ledaren befinner sig i det denna omgifvande dielektriska ämnet, ehuru förnämligast koncentrerad i ledarens närhet. Det framgår af försöken, att denna upptager sådan energi från det förstnämnda ämnet.

13. Multipel resonans. — Två forskare i Genève, *E. Sarasin* och *L. De La Rive*, hafva anställt undersökningar öfver de elektriska vågorna, af hvilka framgår, att förhållandena icke äro vid dessa fullt så enkla som *Hertz* föreställt sig desamma. Försöken anställdes med en framkallare, bestående af två 60 cm. långa trådar, hvars närmaste ändar voro försedda med mässingskuler af 4 cm. diameter och de yttre ändarna med zinkkuler af 30 cm. diameter. Gnistorna alstrades där med en stor induktionsapparat af *Ruhmkorffs* system med kvicksilfverafbrytare. Resonatorn utgjordes af en i cirkelform böjd koppartråd, anbragt på en träställning och med en gnistmikrometer vid afbrottet. Till en början anställdes försök med två trådar, hvilka spändes parallelt framför framkallaren. Resonatorn ställdes vertikalt mellan trådarna i ett mot planet genom dem vinkelrätt läge. När den flyttades längs trådarna, visade det sig, att dess gnistor förändrades vid regelbundna mellanrum, hvaraf synes följa, att rummet mellan trådarna innehöll elektriska vågor med svängningsknutar och bukar på lika afstånd. Men då olika resonatorer användes, förändrades detta afstånd, och det befanns, att detsamma varierade i nära samma förhållande som resonatorns diameter, hvilket anmärkningsvärda resultat bekräftades för resonatorer från 0,26 till 1 m. diameter. Häraf drogo de båda forskarna den slutsats, att det af framkallaren alstrade vågsystemet innehåller alla möjliga våglängder mellan vissa gränser samt att hvarje resonator väljer häraf för frambringande af stående vågor den våg, hvars period motsvarar hans egen. De benämnde företeelsen *multipel resonans*.

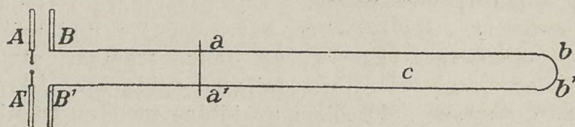
V. Bjerknæs har dock visat, att den af honom (§ 12) undersökta dämpningen af de elektriska vågorna är tillräcklig att förklara de af *Sarasin* och *De La Rive* upptäckta fenomenen. *Poincaré* har äfven kommit till liknande resultat. Nyligen har dock *Drude* på grund af några försök kommit till den

slutsats, att framkallaren visserligen icke alstrar en kontinuerlig följd af vågor af olika våglängder, men att grundsvängningarna äro åtföljda af ett antal svängningar af högre ordning, som stå i harmoniskt förhållande till hvarandra. Möjligheten af sådana vågors uppkomst hade äfven Poincaré på teoretisk väg förut ådagalagt.

14. De elektriska vågornas mekaniska verkningar. —

För att utröna dessa verkningar och därigenom erhålla ett medel till kvantitativ undersökning af ifrågavarande vågor tillämpade *Hertz**) en förut af *Lecher* begagnad anordning,

Fig. 13.



som fig. 13 antyder. AA' är den primära ledaren med två kvadratiske skifvor af 40 cm. sida och en 60 cm. lång tråd, afbruten med en 2 mm. lång gniststräcka. Induktionsapparaten hade blott 4 cm. gnistlängd och underhölls med två accumulatorelement. På 10 cm. afstånd från AA' stå två skifvor B och B' , från hvilka två trådar gå parallelt på 30 cm. afstånd en längd af 6,8 m. samt förena sig med hvarandra vid bb' . En tredje tråd aa' kan flyttas längs de förstnämnda och bilda en brygga mellan dem. När bryggan är på c:a 1,2 m. afstånd från BB' uppstår mellan aa' och bb' en mycket liflig svängning, motsvarande halfva våglängden af en stående våg, hvilken härrör af resonans mellan denna svängning själf och den primära svängning, som uppstår i luftrummet mellan AA' och $Baa'B'$. En förskjutning af bryggan förstörar svängningstiderna för den ena och förminskar den för den andra af dessa svängningar. Emedan de krafter, som skola undersökas, äro mycket små, böra de omsorgsfullt skyddas för elektrostatiske inflytande. För den skull omgifvas de verk samma delarna med ett trådnät, hvilket sättes i ledande förbindelse med knutpunkterna i aa' och bb' , och härigenom erhålles ett fullkomligt skydd. För uppmätning af den mekaniska verkan af den elektriska kraften begagnades ett cylindriskt rör af guldpapper med 5,5 cm. längd och 0,7 cm. diameter, hvilket upphängdes i horisontalt läge å en kokongtråd på sätt

*) Annalen der Physik und Chemie, 1891, Bd. 42, p. 407.

fig. 14 visar. För att gifva åt röret ett bestämdt läge användes en helt liten magnet och medels en spegel samt tub och skala iakttogos afvikningarna från detta läge. Röret och tråden anbragtes i en glaskista, som kunde förskjutas längs trådarna. Om apparaten utsattes för svängningarnas inverkan, sökte röret att inställa sig efter den elektriska kraftens medelriktning, och en afvikning ägde rum. På det att denna mätte förökas, närmades trådarna i grannskapet af apparaten intill hvarandra, hvarjämte små skifvor vid dem anbragtes på sätt figuren visar. För att ådaga-lägga resonansens verksamhet ställdes apparaten vid c (fig. 13) vid en svängningsbuk, trådarna ab och $a'b'$ närmades såsom fig. 14 angifver, bryggan aa' (fig. 13) fördes på olika afstånd e från BB' , induktionsapparaten bragtes i gång och det första utslaget i uppmättes. Följande tabell angifver några hophörande värden å e och i :

$e = 80$	90	100	110	120	130	140	150	160	cm.
$i = 5,3$	10,0	21,8	51,2	44,1	19,3	10,3	5,7	4,2	skaldelar.

Utslagets största värde bestämdes till 60,6 skaldelar vid 114 cm. afstånd från BB' .

För att undersöka svängningarna i närheten af svängningsbukan b indelades afståndet cb (fig. 13) i tolf lika delar och apparaten infördes vid de tretton ändpunkterna. Nu blefvo utslagen i :

N:o	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$i =$	80,5	80,5	79,0	77,0	65,6	57,8	50,0	38,5	27,5	17,5	7,0	1,0	0

Uppritas en kurva med ledning af dessa uppgifter, afviker den märkbart från sinusoidformen.

Hertz uppmätte äfven den *magnetiska kraften*. Han gjorde därvid bruk af en cirkelformig ring med 65 mm. diameter af 2 mm. grof aluminiumtråd, upphängd på samma

Fig. 14.

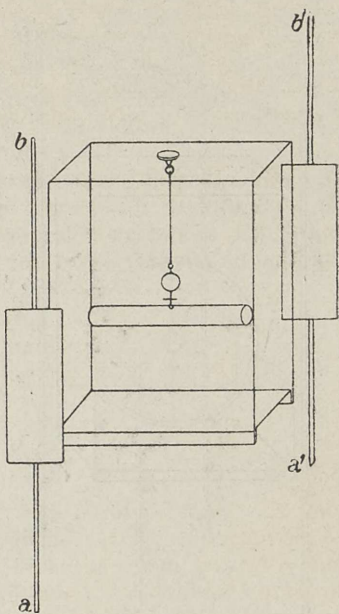
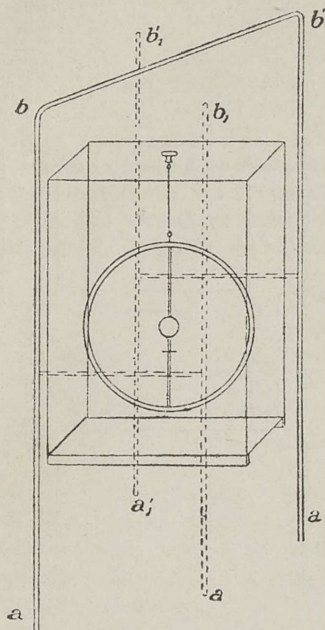


Fig. 15.



sätt som vid nyss omtalade försök. Fig. 15 visar denna anordning. Det visade sig, att den magnetiska kraften har sitt största värde i de elektriska svängningarnas knutpunkter samt att de verka vinkelrätt mot trådens plan, äfvensom att den aftager mot den elektriska svängningsbukan. De mekaniska verkningarna af den elektriska och den magnetiska kraften tillhöra samma storhetsordning.

Vi vilja äfven omnämna *Birke-lands**) försök öfver magnetisering medels dessa vågor. Den primära ledaren var så anordnad, att de elektriska vågornas inflytande på resonatorn kunde försummas. En spiral med tolf hvarf insattes i den sistnämnda och i spiralen infördes de ämnen, som skulle undersökas, formade till cylindrar. En af dessa utgjordes af mjukt järn; den utöfvade icke någon märkbar verkan. Andra cylindrar däremot af fina järntrådar anbragta i paraffin eller af järnfilspån i paraffin förminskade ansevärt de sekundära gnistorna så mycket mera ju mer järn cylindern innehöll. Cylindrar med mässingsspån eller zinkspån i paraffin hade blott ringa inflytande. Rör med destilleradt vatten hade ingen verkan, men fylldes det i stället med svafvelsyra reducerades gnistlängden ansevärt. Perioden hos resonatorn förlängdes betydligt hos cylindrarna af järnfilspån och paraffin. Femtio volymprocent järnhalt absorberar nästan hela energien hos cylindern. För att utröna huru djupt de elektriska vågorna sträcka sig i cylinderns inre, användes ihåliga cylindrar, i hvilka massiva cylindrar infördes. På så sätt visade det sig, att vågorna inträngde 7 mm. djupt i en järnparaffincylinder af 10 % och 5 mm. djupt i en sådan af 25 % järnhalt.

15. Utbredningen af den elektriska energien. — Den teori för de magnetiska och elektriska fenomenen, som af *Maxwell* blifvit framställd, har af flera matematici blifvit

*) Comptes Rendus, 1894, T. 118, p. 1320.

vidare utvecklad. Bland de förnämsta af dessa arbeten vilja vi nämna engelsmännen *Poyntings* och *Heavisides* undersökningar rörande den elektriska energiens utbredning genom mycket hastiga svängningar. Den förstnämnde uppställer härför följande allmänna lag: Energien förflyttar sig i en punkt af rymden vinkelrätt mot planet, som innehåller de genom denna punkt gående elektriska och magnetiska kraftlinierna, och mängden af den under en sekund genom ytenheten gående energien är lika med den genom 4π dividerade produkten af de elektriska och magnetiska krafterna och sinus för vinkeln mellan dessa. Härvid är riktningen af energiströmmen den, efter hvilken en högergängad skruf skulle röra sig, om man vrider den från den positiva riktningen af den elektromotoriska kraften till den magnetiska kraftens positiva riktning. Om OE (fig. 16) betecknar den elektriska och OM den magnetiska kraften vid punkten O , så angifver den mot planet EOM vinkelräta linien OR riktningen af energiens rörelse. Energimängden, som per sekund framströmmar genom ytenheten af planet EOM , är

$$OE \times OM \times \sin EOM : 4\pi.$$

Såsom allmän regel gäller, att öfverallt där samtidigt magnetiska och elektromotoriska krafter uppträda, går en ström af energi i skärningskurvorna mellan de elektromagnetiska och elektromotoriska nivåytorna.

Man har tillämpat Poyntings lag vid en cylindrisk ledare (fig. 17), genom hvilken en elektrisk ström framgår. OE , OM och OR äga samma betydelse som förut. Låt cylinderns längd vara l , dess radie r , strömstyrkan i och potentialskillnaden mellan ledarens ändar V , så är

$$\text{den elektriska kraften} = \frac{V}{l};$$

$$\text{den magnetiska kraften} = \frac{2i}{r}.$$

Fig. 16.

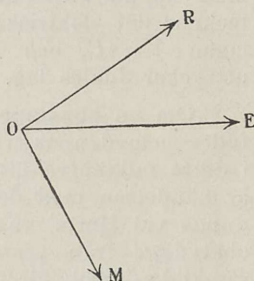
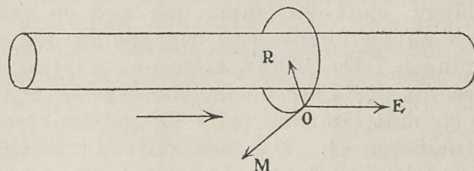


Fig. 17.



De elektriska kraftlinierna gå parallelt med ledaren, hvaremot de magnetiska kraftlinierna bilda cirklar i dennes närhet.

Men efter Poyntings uppfattning lika väl som efter Maxwells teori, är det icke själfva ledaren, som tjänar till framförande af den elektriska energien, utan det omgifvande dielektriska ämnet, så att energien inträder utifrån genom ledarens yta mer eller mindre djupt. Denna yta är uti ifrågasvarande fall $2\pi rl$, och enligt Poyntings lag är således den ingående energimängden

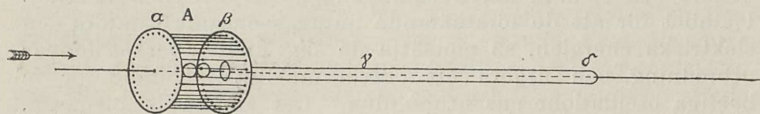
$$\frac{1}{4\pi} \cdot \frac{V}{l} \cdot \frac{2i}{r} \cdot 2\pi rl = Vi,$$

med uppmärksammande att sin $EOM=1$. Men om R betecknar det elektriska ledningsmotståndet, så är enligt ohmska lagen $V=iR$, och således energimängden $i^2 R$, hvilket just uttrycker Joules lag.

Om en konstant elektrisk ström framgår i ledaren, uppfylles hela dennas tvärskärning däraf. Energien måste således i detta fall hafva lättare att intränga i ledaren än hvad som är händelsen med de hastigt oscillerande strömmar, som förefinnas vid Hertz' vågor. I detta fall intränger energien endast obetydligt från ytan till ledarens inre. Hertz har anställt särskilda försök för att pröfva riktigheten af att på detta sätt uppfatta den elektriska strömmens natur. Därvid användes den i § 9 beskrifna i fig. 6 (se sid. 15) afbildade apparaten. I den flera meter långa ledningstråden var en gniststräcka införd, hvilken lämnade ända till 6 mm. långa gnistor. Om denna omgafs med en trådbur, bestående af två mot tråden vinkelräta och med densamma förenade metallskifvor samt af 24 med ledningstråden parallela vid skifvornas omkrets fästade tunna trådar, upphörde gnistorna, fastän de sistnämnda trådarnas motstånd tillhoppa var väsentligt större än ledningstrådens. Användes endast 8 tunna trådar var gnistornas längd blott 0,1 mm., och med en enda tråd 3,2 mm. Vid en annan försöksserie begagnades den i fig. 18 visade anordningen. De båda skifvorna bragtes nu närmare hvarandra, så att de jämte de mellan dem spända tunna trådarna jämt och nått lämnade plats för gnistmikrometern i den så bildade trådburen A . Den ena skifvan α förblef i ledande förbindelse med ledningstråden i midten; den andra skifvan β isolerades därifrån medels en ringformig inskärning, men förenades i stället med ett ledande rör γ , hvilket, isolerad från ledningstråden, omgaf denna en sträcka af 1,5 m. Rörets fria ända δ förenades sedermera med ledningstråden. Några gnistor öfvergå

icke under sådana förhållanden, hvarken när rör af mässing, stanniol eller bladguld begagnas. Om däremot glasrör med ett tunt öfverdrag af silfver användes, kunde gnistor erhållas, men endast i fall silfverskiktet var så tunt, att det icke längre var fullkomligt ogenomskinligt för ljuset, säkerligen tunnare än $\frac{1}{100}$ mm. Det synes häraf, att de verksamma vågorna icke hafva sin plats i själfva ledningstråden, utan all anledning finnes att antaga det de framgå i dess omgifning. Om återigen föreningen mellan röret och ledningstråden vid δ upphäfdes, erhöles kraftiga gnistor i A , lika starka som om

Fig. 18.



gniststräckan utan trådbur infogats i ledningstråden. Enligt det nya åskådningssättet beror detta på, att den till A kommande vågen, som icke kan intränga i metallskifvan, glider längs dennas och burens utsida ända till punkten β , hvarest den delar sig, så att en våg fortplantar sig längs den raka tråden, och en annan våg ingår i rörets inre samt går i luften inuti denna tillbaka till A , där numera gnistor framkallas. Om gniststräckan därstädes gjordes så stor, att gnistorna icke kunde öfvergå, uppstodo reflekterade vågor vid A , och genom dessas sammansättning med de ursprungliga vågorna erhöles ett stående vågsystem. För att visa dettas tillvaro gafs åt trådburen sådana dimensioner, att elektriska resonatorer däruti kunde införas. Mellan 2 metallringar och öfver 7 i cirkel af 30 cm. diameter böjda trådar voro 24 trådar med 5 m. längd utspända, och i den så bildade tråd-

Fig. 19.



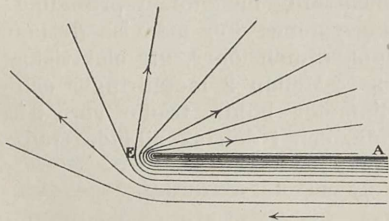
buren (fig. 19) infördes en af en koppartrådsspiral formad resonator, som var i resonans med de 3 m. långa vågorna. Det visade sig, att om ledningstråden i midten sattes i förbindelse med den ena ringen α , erhöles inga gnistor i resonatorn, då denna var i närheten af α , men flyttades den i riktning mot β , uppträdde gnistor, hvilka blefvo lifvigare på

1,5 m. afstånd från α , men åter försvunno på 3 m. afstånd därifrån för att åter framkomma närmare β . — Annorlunda blef förhållandet, när omedelbart intill α ledningstråden afskars, så att en lucka på några cm. längd uppstod. I så fall erhöles med resonatorn lifliga gnistor vid α , hvilka försvagades om resonatorn flyttades i riktning mot β , upphörde på 1,5 m. afstånd, ånyo uppnådde maximum på 3 m. afstånd och åter upphörde på 4,5 m. afstånd.

Den uppfattning, som man på grund af Maxwells teori, hvilken blifvit bekräftad genom Hertz' och andra forskares upptäckter, måste hysa om elektricitetens fortplantning, är alldeles motsatt till den vanliga föreställningen om denna. Ledare och oledare hafva nämligen på sätt och vis bytt roller. I stället för att de förstnämnda antagas ensamt framföra den elektriska energien, så motsätta de sig i själfva verket dennas utbredning och utgöra ett ööfvervinneligt motstånd för de hastiga oscillationernas utbredning. Det är i stället oledarna, de dielektriska ämnena, i hvilka de elektriska vågorna fortgå, och de meddela sig därifrån till metallerna endast till ringa djup, så framt oscillationerna äro mycket hastiga. Vid jämförelsevis långsamma oscillationer samt vid likriktad ström intränger vågrörelsen i metallen och upphettar denna.

Närmare undersökningar öfver det sätt på hvilket vid ledningstrådar elektriciteten reflekteras från den fria änden äro anställda af *Sarasin* och *Birkeland* *), och äfven härigenom

Fig. 20.



bekräftas denna uppfattning af den elektriska vågrörelsens natur. Fig. 20 åskådliggör det resultat, hvartill de sistnämnda forskarna kommit beträffande vågrörelsen i närheten af trådens ände AE . Det synes huru vågrörelsen återkastas vid E och huru ett vågsystem i motsatt riktning mot det ursprungliga sträfvär att uppstå. Den energi,

som kommer på större afstånd från ledningstråden, fortsätter med ljusets hastighet utan att röna väsentligt inflytande af tråden. — De i figuren dragna fina linierna och pilarna angifva riktningen för den elektriska energiens utbredning, och de komma hvarandra så mycket närmare ju starkare fältet är.

16. Bekräftelse af Maxwells teori genom dielektricitetskonstantens bestämning. — Man förstår med *dielektricitets-*

*) Comptes Rendus, T. 117, p. 618.

konstant eller *specifik induktionsförmåga* hos ett dielektriskt ämne det tal, hvarmed man bör multiplicera laddningskapaciteten hos en luftkondensator för att erhålla laddningskapaciteten hos samma kondensator, där luftlagret mellan de båda metallskifvorna blifvit ersatt med ett lager af det ifrågasvarande ämnet. Enligt *Maxwells* teori skulle mellan denna konstant K och ämnets absoluta brytningsexponent n följande relation vara gällande

$$K=n^2.$$

Men då n är variabel med våglängden, kan denna relation endast äga tillämpning för vågor af samma längd. Vid den tidpunkt, då Maxwell framställde sin teori, förefunnos icke några tillräckligt noggranna bestämningar öfver dielektricitetskonstantens värde för olika ämnen. Sedan dess äro dock många sådana undersökningar anställda. Det har visat sig att för alla gaser och för flera vätskor den nyss anförda relationen är riktig. Så t. ex. är för

luft	$\sqrt{K}=1,000295$	$n=1,000294$
väte	1,000132	1,000138
koloxid	1,000345	1,000340
olivolja	1,75	1,77
petroleum	1,44	1,40
vatten	8,72	8,57

Äfven för några fasta kroppar har man funnit öfverensstämmelse, t. ex. för

paraffin	$\sqrt{K}=1,43$	$n=1,40$
glas	2,33	2,32
"	2,49	2,43

Med hänsyn till svårigheten att erhålla noggranna värden å K och n får man betrakta dessa resultat tillfredsställande.

17. Elektriska oscillationer af ringa våglängd. — Om ock elektricitetens fortplantning sker med samma hastighet som ljusets och det strålande värmets, så är det en väsentlig skilnad mellan ljusvågorna och de elektriska vågorna, beroende på de mycket olika våglängder, som tillhöra det ena och det andra slaget af oscillationer. Under det att ljusvåglängden för de synbara röda strålarna icke uppgår till mer än omkring 7,6 och för de violetta strålarna till knappt 4 tiotusendels mm. (10^{-4} mm.), samt de yttersta genom värmestrålningen iakttaga ultraröda strålarna af *Langley* uppgifves äga en våglängd af 0,028 mm., så hafva de kortaste af *Hertz* och hans närmaste efterföljare undersökta elektriska

vågorna en längd af vid pass 66 cm., men oftast flera meters längd. Så t. ex. vid de (af *Arons* och *Rubens*) i § 16 omtalade mätningar öfver vätskors dielektricitetskonstant var våglängden 6 m. Men elektriska vågor af några få cm. och ännu mindre längd kunna framställas. Det är i synnerhet den italienske fysikern *Righi**), som anställt undersökningar med sådana korta elektriska vågor, med hvilka han lyckats framkalla företeelser, analoga med optikens förnämsta fenomen. Den primära ledaren utgjordes härvid af små metallkulor, mellan hvilka gnistorna framkallades uti en isolerande vätska, hvartill vaselinolja användes. En influensmaskin utan kondensatorer frambragte elektricitet. Gniststräckan alstrades efter fokallinien af ett efter en parabel böjdt kopparbleck. Såsom resonator användes ett på glas utfälldt silfverlager, hvilket medels ett diamantstreck delades i två delar. När denna resonator mottog de elektriska oscillationerna, uppkom mellan kanterna af den fina springan små gnistor, hvilka iakttogs medels ett förstöringsglas. Om resonatorn anbragtes efter fokallinien till en parabolisk spegel, koncentrerades på honom de plana vågorna. Man kan på detta sätt bestämma såväl vibrationernas riktning genom medellinien mellan de båda lägen, vid hvilka gnistorna försvinna, som ock relativa vibrationsamplituden, hvilken är proportionel mot cosinus för den vinkel resonatorn får vridas för att utsläcka gnistorna, räknad från de påfallande oscillationernas riktning. Man kan äfven härigenom igenkänna cirkulära och elliptiska vibrationer, emedan i förra fallet resonatorns vridning icke har inflytande på gnistorna, och i det sistnämnda genom vridningen ett maximum och ett minimum af gnistor uppstår. Slutligen kan man iakttaga diffraktions- och interferensmaxima och minima, men då begagnas icke parabolisk spegel; för att icke allt för mycket förminska gnistornas styrka, anbringas ett smalt kopparband en fjärdedels våglängd bakom resonatorn. Medels dessa anordningar har *Righi* kunnat återgifva Hertz' försök öfver stående vågor med användande af ett kopparmynt som reflekterande yta. Vidare har *Righi* framställt Fresnels bekanta försök öfver interferens**) såväl med två speglar som med en enda spegel af metall äfvensom med ett dubbelprisma af svafvel. Våglängden har kunnat bestämmas genom en parallell förflyttning af en utaf de båda speglarna äfvensom brytnings-exponenten, för hvilken erhöles värdet 1,43 vid paraffin och 1,87 vid svafvel. För öfrigt framkallades med dessa båda

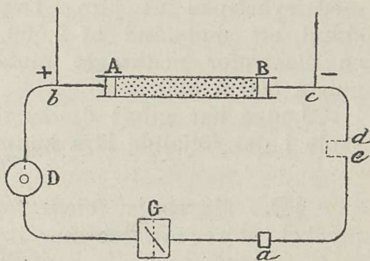
*) Journal de Physique, 1897, p. 76.

**) Om de motsvarande optiska försöken se t. ex. *G. R. Dahlander*: Lärobok i fysik, elfte kapitlet.

ämnen interferensfenomen vid tunna skifvor, diffraktionsfenomen, rätlinig polarisation genom återkastning och brytning, total reflexion o. s. v. Medels träskifvor erhöles elliptisk polarisation, och en i träet inträngande elektrisk våg blifver elliptiskt polariserad, om svängningarna äro hvarken vinkelräta eller parallela med fibrerna.

18. Branlys rör. — För undersökningen af elektriska vågor har vid flera tillfällen med fördel begagnats en af den franske fysikern *Branly* uppfunnen anordning, som består af ett glasrör innehållande fint fördelade fasta ämnen.*) Vid en sådan apparat (fig. 21) användes en jämn blandning af smält harts och fina spån af aluminium, hvilken i smält tillstånd infördes i ett glasrör mellan två metallstycken *A*, *B*. Efter afsvälningen blifver blandningen fast och mycket hård, och om metallstyckena vid rörets ändar sättas i förbindelse genom *b* och *c* med ett Daniells element *D* och en galvanometer *G*, visar sig motståndet, som utöfvas mot strömmen, oändligt stort. Men man kan på flera sätt göra blandningen ledande och återigen oledande. Om man t. ex. afbryter ledningen vid *de*, och vid *b* och *c* förenar metallstyckena med en stapel af 250 element samt ånyo förenar *d* och *e*, finner man att sedermera ledningsmotståndet är blott några hundra ohm och stundom ännu mindre. Men bringas bordet, som uppbär röret, i skakning, försvinner ledningsförmågan. Om då en af polerna till stapeln med 250 element förenas med det ena metallstycket men det andra är isolerad, är det tillräckligt att med ett metallstycke beröra en punkt *a* af ledningen för att rörets ledningsförmåga skall återkomma.

Fig. 21.



På samma sätt, om en gnista från en leydnerflaska frambringas i närheten af ledningen.

Man kan ersätta cylindern af harts och aluminium med en blandning af svafvelblomma och aluminiumpulver, som upphettats till svafvets smältpunkt. Äfven andra ämnen kunna begagnas härför.

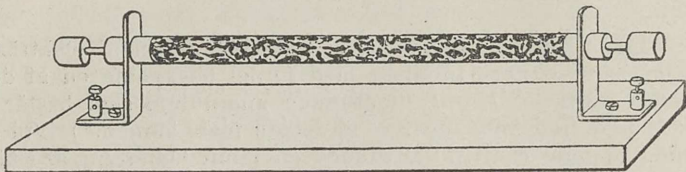
Sedan Branlys första försök har apparaten genom flera

*) Journal de Physique, 1892, p. 459 samt 1895, p. 273.

3. — Dahlander.

forskare väsentligt förbättrats och blifvit ett synnerligt känsligt medel för undersökning af elektriska vågor. Det är i synnerhet järnfilspån i ett glaströr, som härför funnit användande. *Lodge*

Fig. 22.

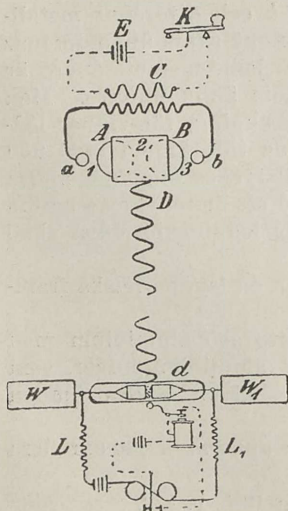


försökte bland andra dylika anordningar (se fig. 22) ett rör af vid pass 20 cm. längd och 12 mm. diameter, fyllt med svarfspan af järn. Detta rör hade i sitt känsliga tillstånd ett motstånd af 2,500 ohm. En aflägsen gnista från en elektrofor nedbragte motståndet 400 ohm, en starkare gnista 500 à 600.

Lodge har gifvit dylika rör benämningen »coherer». Vi skola i det följande lära känna en viktig tillämpning af dem.

19. Marconis telegrafsystem. — En tillämpning af mycket stort intresse har italienaren *Marconi* nyligen gjort af de elektriska vågorna. Denna upp-

Fig. 23.



finning, som väckt allmän uppmärksamhet, består däruti, att medels elektriska vågor af mycket hög frekvens, omkring 250,000,000 svängningar i sekunden, öfverföra telegrafsignaler på flera kilometers afstånd utan användande af någon ledningstråd mellan ändstationerna.

För framkallande af vågorna använde Marconi en apparat, som har någon likhet med den af *Righi* först konstruerade (§ 17). Öfver två massiva metallkuler *A* och *B*, fig. 23, af 10 cm. diameter skjutes en cylinder af isolerande material, så att vid båda ändarna en half kula ligger utanför. Cylinderns inre mellan båda kulorna fylls med vaselinolja. Två små kuler *a* och *b* äro anbragta å ömse sidor om de stora kulorna, och

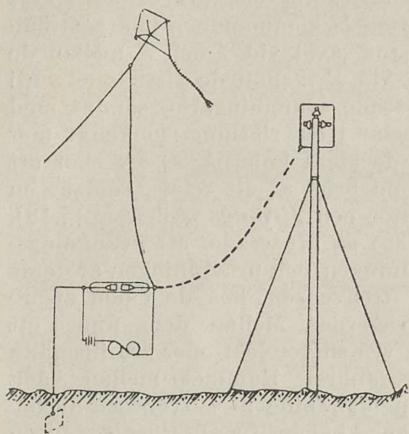
de förenas med den sekundära ledningen till en induktionsapparat *C*. Med tillhjälp af en vanlig telegrafnyckel *K* slutes och afbrytes den från batteriet *E* kommande primära strömmen, och härvid uppstå gnistor såväl vid 1 och 3 mellan de små och stora kulorna, som vid 2 mellan de sistnämnda uti oljan. De på detta sätt alstrade svängningarna sändas med tillhjälp af paraboliska speglar i en riktning, vinkelrät mot föreningslinien mellan båda de stora kulorna *A*, *B*. För att upptaga vågorna gör Marconi bruk af ett relais, som är en kombination af *Hertz* resonator och *Branllys* »coherer» (§ 18). Två metallskifvor *W*, *W*₁ äro så afpassade, att svängningstalet vid den elektriska laddningen och urladdningen af deras ytor öfverensstämmer med frekvensen hos de i den afsändande apparaten alstrade vågorna. Mellan dem finnes ett 4 cm. långt glaströr *d*, hvori två silfverelektroder äro insmälta ca en half mm. från hvarandra. Rummet mellan båda elektroderna är fylldt med en blandning af silfver- och nickel-filspån, hvarjämte en ringa mängd kvicksilfver är tillsatt. Luften i glaströret är förtunnad till 4 mm. tryck. Från rörets ändar utgå ledningar med infogade motstånd *L*, *L*, till en känslig telegrafrelais, hvilken genom en stapel bringas i verksamhet.

Apparaten verkar på följande sätt: När de elektriska vågorna komma till den mottagande stationen, förändras metallpulvrets ledningsmotstånd, hvilket vanligen är mycket stort. De särskilda små metallstyckena polariseras nämligen af vågorna, d. v. s. de inställa sig alla i en riktning samt häfta vid hvarandra och elektroderna, hvarigenom motståndet sjunker till vid pass 5 ohm och relaisströmmen slutes. För att åter upphäfva denna måste glaströret skakas, så att de små metallstyckenas polarisation upphör. Detta sker medels en liten hammare, hvilken sättes i rörelse genom en elektromagnet, bragt i verksamhet genom en andra lokalström, hvars ledningar å figuren äro tecknade med prickade linier. På detta sätt är det möjligt, att vid den mottagande stationen iakttaga de vid den afsändande stationen lämnade signalerna antingen genom den uppkommande tonen eller ock genom Morses skrifttecken.

Man kan i stället för den nyss omtalade anordningen vid den mottagande stationen göra bruk af den fig. 24 visar, då den ena metallskifvan är anbragt på en masttupp eller är ersatt med en drake, beklädd med stanniol samt den andra utgöres af en jordledning.

Det afstånd, på hvilket man sålunda kan telegrafera, är beroende af flera omständigheter. En induktionsapparat med 15 cm. gnistlängd är tillräcklig för 6,5 kilometers afstånd, men för större afstånd får man använda större induktions-

Fig. 24.



100 cm. och hos de mindre 50 mm. Induktionsapparaten hade 25 cm. gnistlängd. Elektricitetskällan var ett accumulatorbatteri med 4 eller 5 elementer. De båda mindre kulorna sattes i förbindelse med två metallskifvor, af hvilka den ena var anbragt högt upp i luften på en mast och den andra nedsänkt i hafvet. På samma sätt var å fartyget den ena af skifvorna stäld högt i luften och den andra fästad vid fartygets bog. De båda i luften anbragta skifvorna voro af zink, i kvadratisk form med 40 cm. sida.

Det visade sig vid dessa försök, att när den mottagande apparaten var instäld vid midten af fartyget på däck af ett pansarskepp, hvilket låg för ankar 3,2 km. från den afsändande stationen, lyckades telegraferingen förträffligt. Äfven, när apparaten stod intill en lodrät pansarvägg samt omgifven i öfrigt af större metallmassor, var framgången fullständig. Till och med då den mottagande apparaten fördes under däck, 2,5 m. djupt under vattenytan, erhöles ett tillfredsställande resultat, om ock icke så fullkomligt som förut.

Vid de nu omtalade försöken kunde signalerna tydligt iakttagas till 16 å 18 km. afstånd. Men om fartygets bog var vänd mot den afsändande stationen, kunde icke telegraferas på längre afstånd än c:a 6,5 km.

Det befanns vid andra försöksserier, att mellanvarande berg, öar och landtuddar förhindrade signalernas framkommande. Äfven den atmosfäriske elektriciteten kan omöjliggöra telegraferingen. Vid andra nyare försök kunde telegraferingen utsträckas till 30 km.

apparat. Öfver Bristolkanalen, en sträcka af c:a 14 km., telegraferades med synnerlig framgång utan användande af speglar. Andra försök anställdes af en italiensk komité jämte uppfinnaren i närheten af Spezzia. De utfördes på det sätt, att den afsändande stationen var på land under det att den mottagande stationen var på ett fartyg, hvilket vid vissa försök låg för ankar och vid andra var i rörelse. Vid den förstnämnda stationen var diametern hos de stora kulorna

Redan före Marconis undersökningar äro förslag framställda och äfven försök gjorda för telegrafering medels elektriska vågor, men utan någon vidare betydelse. Sedermera äro af *Slaby*, *Ducretet* m. fl. med olika detaljanordningar lyckade försök utförda med dylik telegrafering, som visa, att denna åtminstone i speciella fall bör kunna blifva af praktiskt värde.

20. Heavisides utveckling af Maxwells teori. — Den engelske matematikern *Oliver Heaviside* har genom vidsträckt forskning*) framställt en omfattande elektromagnetisk teori för de magnetiska och elektriska fenomenen, hvilken kan anses utgöra en fortsättning och utveckling af *Maxwells* teori. Detta arbete är äfven af betydelse i tekniskt hänseende genom de tillämpningar å viktiga tekniska problem, som där förekomma. Vi måste inskränka oss till att fästa uppmärksamheten härå samt att såsom exempel å metoden anföra en intressant tillämpning till telefonien af de utaf Heaviside härledda resultat. Om en elektromagnetisk våg fortskrider längs en ledande tråd af obegränsad längd, så undergår i allmänhet denna våg under rörelsen en förändring (distortion), d. v. s. en förändring till formen, hvilken blifver så mycket större, ju längre väg den tillryggalagt. De elektriska egenskaperna hos en sådan ledning angifvas genom fyra kvantiteter, nämligen det elektriska ledningsmotståndet R hos tråden, yttre ledningsförmågan K mellan fram- och tillbakaledningen eller mellan ena tråden och jorden, tvärs öfver det icke fullständigt isolerande dielektriska ämnet, själfinduktionskoefficienten L , »inductance», samt elektrostatiske laddningskapaciteten S , »permittance». Heaviside har ådagalagt**), att vågen förblifver oförändrad (distortionless), i fall

$$\frac{R}{L} = \frac{K}{S}.$$

Men i allmänhet är det icke möjligt att uppfylla denna relation, emedan det härför erforderliga värdet å K alltför mycket skulle neddraga strömstyrkan vid den mottagande stationen. Man har därför att uppmärksamma två villkor: För att förminska förändringen bör skilnaden

$$\frac{1}{2} \frac{R}{L} - \frac{1}{2} \frac{K}{S} = s$$

göras så liten som möjligt, och på det att dämpningen,

*) Först offentliggjorda i tidskriften »The Electrician» under flera år och sedermera sammanfattade i »Electromagnetic Theory», London, 1893.

**) »The Electrician», Bd. XXXI, p. 437 & 517.

d. v. s. den relativa försvagningen af strömstyrkan från ledningens början till dess slut, må blifva ringa, bör summan

$$\frac{1}{2} \frac{R}{L} + \frac{1}{2} \frac{K}{S} = r$$

äfven erhålla ett litet värde.

Vi skola nu se hvilket inflytande, som de fyra koefficienternas förändring utöfvar.

Om R ökas, växer så väl s som r . Förökningen af ledningens motstånd är således helt och hållet skadlig, emedan därigenom icke blott signalerna försvagas, utan äfven förvridas. Det är därför en grundsats, att trådens ledningsmotstånd bör vara så litet som möjligt.

Genom att föröka L får man såväl s som r att aftaga. Själfinduktionen i ledningen, under för öfrigt lika omständigheter, är helt och hållet fördelaktig, emedan den förminskar både strömförsvagningen och förvridningen, så att de mottagna signalerna blifva både kraftigare och tydligare. Dessa verkningar kunna blifva af betydelse, när det gäller hastiga vibrationer i en lång ledning.

Om K förökas, växer r , hvaremot s förminskas. Här af följer, att läckningen icke alltid är skadlig, utan att den äfven kan vara till nytta, emedan den kan göra signalerna tydligare. — Däremot medför förökningen af S en förstoring af s och en förminskning af r . I praktiken är det ofördelaktigt om laddningskapaciteten förökas, särdeles vid kablar, emedan signalerna därigenom blifva otydligare.

De två verkningarna, hvilka uttryckas genom R och S , ingå gemensamt vid frambringande af den s. k. retardationen vid kablar, så att de båda böra förminskas för att förbättra kablarnas elektriska effekt.

21. Von Bezolds undersökningar öfver elektriska urladdningar. — Redan innan Hertz upptäckte den elektriska vågrörelsen hade *W. v. Bezold**) anställt undersökningar beträffande de Lichtenbergiska stofffigurerna, hvilka undersökningar äfven antyda tillvaron af en elektrisk vågrörelse. De resultat, hvartill v. Bezold kommit, äro hufvudsakligen följande:

Om en elektrisk urladdning, efter att ha genomgått en gniststräcka, erbjudes två vägar till jorden, en kortare och en längre, den sistnämnda afbruten genom en profskifva (en väl isolerad horisontal glasskifva, på undre sidan belagd med

*) Annalen der Physik und Chemie, Bd. 140, p. 541.

stanniol och denna beläggning afledt till jorden), så äger vid små slagvidder en delning rum af urladdningsströmmen. Däremot går elektriciteten vid större gnissträckor endast den kortare vägen och drager till och med liknämning elektricitet med sig ur den andra grenen.

Om elektriska vågor sändas genom ena änden af en isolerad tråd, återkastas de vid den andra änden, och företeelser, som åtfölja denna reflexion vid växlande urladdningar, synas ha sitt ursprung uti interferens mellan de infallande och reflekterade vågorna.

En elektrisk urladdning fortplantar sig i lika långa trådar lika hastigt utan afseende på det material hvaraf trådarna bestå.

Äfven *Lodge* hade vid sina bekanta arbeten öfver åskledares teori anställt en följd af försök öfver urladdning af små kondensatorer, hvarigenom han äfven kom att iakttaga elektriska svängningar och vågor i metalltrådar.

ANDRA KAPITLET.

Nyare metoder och apparater för mätning af magnetismen och elektriciteten i tekniskt ändamål.

22. De praktiska enheterna för elektricitetens mätning. Vid elektricitetskongressen i Chicago år 1893 fastställdes nya definitioner å flera af de praktiska enheterna för elektricitetens mätning, och det synes som om dessa definitioner och de benämningar, som i samband därmed antogos, skulle vinna allmänt godkännande. De äro:

Ohm international *) är det motstånd, som utöfvas mot en konstant ström af en kvicksilfverpelare med konstant tvärskärning, ägande vid isens smältpunkt en massa af 14,4521

*) Till skilnad från den af 1884 års konferens i Paris antagna *ohm legal*, för hvilken definitionen är något olika, om ock båda enheterna öfverensstämma.

gram och en längd af 106,3 cm. Detta motsvarar 1 kv.-mm. tvärskäring hos kvicksilfverpelaren och helt nära 10^9 absoluta motståndsenheter i det elektromagnetiska systemet *C.-G.-S.*

Ampère är den ström, hvars absoluta mått är $\frac{1}{10}$ af den absoluta enheten för strömstyrkan i nämnda system.

Volt är den elektromotoriska kraft, som underhåller en ampère ström uti en ledare, hvars motstånd är en ohm international; den är 10^8 absoluta enheter för elektromotoriska kraften.

Coulomb är den elektricitetsmängd, som en ampère lämnar per sekund; den är 10^{-1} gånger absoluta enheten för elektriciteten.

Farad är kapaciteten hos en kondensator, som innehåller en coulomb, då potentialskilnaden mellan dess båda beläggningar är en volt; den är 10^{-9} gånger motsvarande absoluta enhet. *Mikrofarad*, den vanligen använda enheten är 10^{-15} gånger denna, d. v. s. en milliondel af en farad.

De nu omnämnda enheterna skulle alla erhålla benämningen »international», ehuru detta tillägg egentligen blott är af behovet påkalladt i fråga om ohmen.

Joule, enheten för det elektriska arbetet, hvilken är 10^7 gånger motsvarande absoluta enhet, och hvilken helt nära angifves genom det arbete, som en ampère på en sekund för rättar i en ohm. — Den kan äfven betecknas såsom en volt-coulomb.

Watt, enheten för den elektriska energien, hvilken är 10^7 gånger motsvarande absoluta enhet och som helt nära angifves af en joule per sekund. Den kan äfven betecknas såsom en volt-ampère.

Henry, enheten för den elektriska induktionen, hvilken är induktionen i en ledning, då den inducerade elektromotoriska kraften är en volt och den inducerande strömmen varierar med en ampère per sekund. Denna enhet, som är 10^9 gånger motsvarande absoluta enhet, är nära öfverensstämmande med enheterna sec-ohm och kvadrant, som förut blifvit använda för självinduktionen.

Dessa enheter äro ännu icke lagligen hos oss fastställda, och äro icke i allmänhet i andra länder särskildt lagstadgade, om de ock vunnit allmänt burskap inom tekniken. Dock har från amerikanska regeringen en framställning i detta syfte blifvit gjord angående samtliga de af Chicago-kongressen antagna enheterna, hvilka nyss blifvit omnämnda, äfvensom från franska regeringen i fråga om ohm international, ampère, volt, coulomb och farad samt såsom enhet för ljusmängden

vid hvarje enkel ljuskälla den ljusmängd af samma slag, som i normal riktning utsändes från en kvadratcentimeters yta af smält platina vid dennas stelningspunkt, hvarjämte den praktiska enheten för det hvita ljuset skulle vara den ljusmängd, som i normal riktning utsändes af samma ljuskälla. Den svenska regeringen har i öfverensstämmelse med Kongl. Vetenskaps-Akademiens hemställan tills vidare afböjt ett sådant fastställande af de elektriska enheterna, dels med hänsyn till att meningarna i vissa fall varit delade och dels emedan det synes lämpligt, att Sverige afvaktar de stora kultur-ländernas beslut i frågan. Hvad särskildt den föreslagna ljusenheten beträffar, hvilken af Chicago-kongressen icke blifvit godkänd, har den äfven från Sveriges sida blifvit afstyrkt.

I Frankrike, England och Tyskland ha dock numera de tre förnämsta enheterna ohm, volt och ampère blifvit lagligen fastställda.

23. De kvantiteter, hvilka angifva järnets och stålets magnetiska egenskaper. — Vi skola i minnet återkalla dessa kvantiteter äfvensom det samband, som förefinnes mellan dem. Magneten antages vara en cylinder eller ett prisma.

Intensiteten m hos *magnetpolen*, hvarvid enheten är bestämd genom att två liknämnda magnetpoler, hvardera med intensiteten 1, på 1 cm. afstånd repellera hvarandra med en kraft af 1 dyne.

Magnetiska momentet är produkten ml af polintensiteten och afståndet l cm. mellan de båda polerna.

Magnetiseringsintensiteten I är magnetiska momentet ml divideradt med volymen i kbcm. hos magneten mellan polerna; är a magnetstångens tvärskärning i kvcm, är $I = m : a$.

Magnetiska fältets intensitet H är den kraft i dyne hvar med en magnetpol med intensiteten 1 i fältet åverkas. H uttrycker tillika det *magnetiska kraftflödet* eller *antalet kraftlinier* per kvcm. i fältet. Om en magnetpol med intensiteten m anbringas i fältet, åverkas den af en kraft mH dyne.

Mottagligheten k för magnetismen är magnetiseringsintensiteten dividerad med fältets intensitet, hvarvid järnstången antages vara anbragt parallelt med kraftlinierna. Man har således $k = I : H$.

Magnetiska induktionen B är antalet kraftlinier per kvcm. af järnstångens tvärskärning.

Genomträngligheten eller *permeabiliteten μ* för magnetismen, äfven kallad *magnetisk ledningsförmåga*, är den magnetiska induktionen dividerad med det magnetiska fältets intensitet, d. v. s. $\mu = B : H$. För luften och tomrummet är $\mu = 1$.

Man har mellan dessa kvantiteter enkla relationer. I själfva verket är det antal kraftlinier, som utgår från en magnetisk pol $= 4\pi m$, och om en järnstång är anbragt på sätt vi ofvan antydtt i ett magnetiskt fält, så genomgås järnet såväl af de mellan polerna gående kraftlinierna som ock af det direkta kraftflödet Ha , och således är

$$Ba = Ha + 4\pi m$$

eller

$$B = H + 4\pi I \dots \dots \dots (1)$$

Insättes för B dess värde μH och för I dess värde kH , erhålles

$$\mu = 1 + 4\pi k \dots \dots \dots (2)$$

Vi anföra äfven *Maxwells* ekvation beträffande det magnetiska fält, som alstras i en trådspiral, hvars längd är anseelig i jämförelse med dess tvärdimensioner. Om N är antalet trådvarf, L spiralens längd i cm. och i strömstyrkan i absoluta enheter, så är den magnetiska intensiteten hos fältet inuti spiralen approximativt.

$$H = \frac{4\pi Ni}{L}, \dots \dots \dots (3)$$

om icke något järn finnes i spiralen. Detta är äfven ett uttryck för den magnetiserande kraften. Men om spiralen är upplindad kring en järnkärna med genomträngligheten μ , förökas fältets intensitet i förhållande af $\mu : 1$.

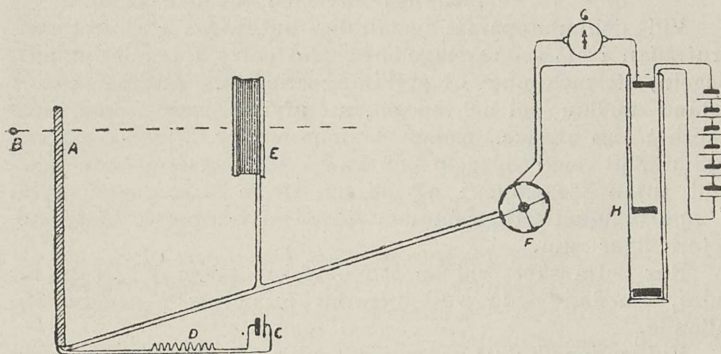
Ekv. (3) är blott tillämplig för punkter inuti spiralen, som icke ligga mycket nära ändarna. Vid dessa sistnämnda är värdet af H blott hälften så stort som vid midten. Spiralhvarfvens form utöfvar icke något inflytande.

24. Ewings apparater för undersökningar medels magnetometriska metoden. — De förnämsta undersökningar öfver järnets magnetiska egenskaper under de senare åren äro anställda af den engelske fysikern *Ewing**) med användande delvis af den magnetometriska metoden i en väsentligt modifierad form. Fig. 25 visar schematiskt den härför begagnade apparaten. A är en järntråd, som undersökes, hvilken bör vara lång och smal. Denna tråd anlöptes innan försöket genom att långsamt dragas genom en lamplåga, så att hvarje del småningom bragtes till ljus rödgödning och sedan långsamt fick afsvälva. Tråden ställes lodrät i ett

*) Magnetic induction in iron and other metals, London 1892.

glasrör på något afstånd från magnetometern B , hvärs inrättning vi strax skola beskrifva. Öfver röret upplindades en magnetiseringsspiral, sträckande sig något öfver och under järntråden, så att den magnetiserande kraften inuti röret blef så vidt möjligt likformig. För att eliminera inflytandet af jordmagnetismens vertikala komposant, upplindades en andra spiral utanpå den första, genom hvilken fördes en ström från ett galvaniskt element C , reglerad med tillhjälp af motståndet D , så att den härigenom frambragta magnetismen just motvägde nyssnämnda komposant. I samma ledning som den magnetiserande hufvudströmmen var en trådspiral E , som utgjordes af några få trådharf upplindade på en träram, hvilken kunde

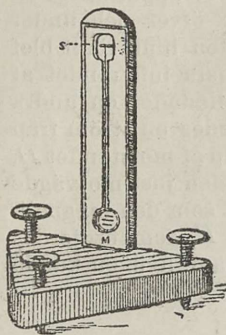
Fig. 25.



närmast till och aflägsnas från röret. Medels E neutraliserades magnetiseringsspiralens direkta verkan på magnetometern. De positiva och negativa ledningstrådarna virades för öfrigt om hvarandra för att hindra deras verkan utåt. För att kunna efter behof reglera strömstyrkan i hufvudledningen användes en vätskereostat H , bestående af ett smalt cylindriskt glaskärl innehållande en utspädd lösning af zinksulfat samt tre skifvor af amalgamerad zink, af hvilka den ena ligger på botten af cylindern och den andra är fästad vid dennes öfre del, hvaremot den mellersta kan höjas och sänkas med tillhjälp af ett snöre, som går öfver en trissa till ett litet vindspel. Afbildningen visar, huru ledningarna voro anordnade från det konstanta elektriska batteriet genom vätskemotståndet samt genom en galvanometer G och en kommutator F . Såsom elektricitetskälla begagnas lämpligast ett accumulatorbatteri eller i brist däraf ett Daniells batteri.

Den använda magnetometern visas af fig. 26. Den utgöres

Fig. 26.



af en liten glasspegel M med små vid dess baksida anbragta magnetnålar lik-som vid W. Thomsons spegelgalvanometer. Spegeln är upphängd på ett stift S vid en kokongtråd af c:a 10 cm. längd. Ställningen utgöres af en träståndare med skifva och tre ställskrufvar. En springa är utskuren i ståndaren för att lämna tråden fritt utrymme, och nedtill finnes ett rundt hål, som upptager en glasins, så att ett rum inneslutes, i hvilket spegeln hänger. En glasskifva är fästad vid ståndarens baksida, så att hålet och springan betäckas. Spegelns afvikning bestämmes på vanligt sätt med tub och skala.

Vid denna apparats inställning anbringas glaströret med järntråden i ett sådant läge med öfre polen i jämnhöjd med spegeln, att maximum af afvikning erhålles, samt på så stort afstånd mellan pol och spegel, att afvikningens storlek med säkerhet kan afläsas. Kompensationsspiralen E inställes äfven i jämnhöjd med spegeln och på så stort afstånd från glaströret (utan järntråden), att när en ström föres genom såväl E som magnetiseringsspiralen ingen afvikning å magnetometern äger rum.

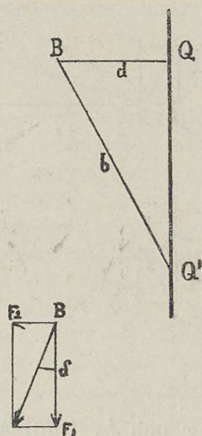
Har detta skett vid en strömstyrka, gäller det äfven för andra, emedan båda verkningarna förändras i samma förhållande.

Vid undersökning af en järntråd användes först en svag elektrisk magnetiseringsström, d. v. s. afståndet mellan de båda undre zinkskifvorna vid H är stort, så att vätskemotståndet är ansevärt. Strömmens styrka ökas sedermera småningom genom att zinkskifvornas afstånd förminskas. Men för hvar gång bör en demagnetisering af järnet äga rum, så att dess föregående magnetism upphäfves. Detta sker säkrast genom en följd af omkastningar i magnetismen med allt svagare strömmar af växlande riktning, hvilka gradvis närma sig till noll. Kommutatorn F är så inrättad, att en hastig omkastning kan försiggå, och om samtidigt den mellersta zinkskifvan långsamt upplyftes, erhålles en följd af magnetiseringsströmmar af växlande riktning och aftagande styrka. Härigenom aflägsnas hvarje spår af remanent magnetism, dock under förutsättning, att den starkaste strömmen åtminstone är lika stark som den ström, hvarmed järntråden förut magnetiserats. Därjämte erfordras, att jordmagnetismens vertikala komponent är mycket noggrant kompenserad, hvilket kan ske medels den från det galvaniska

elementet C kommande strömmen på förut anfördt sätt. Att demagnetiseringen blifvit fullständig visar att den ifrågavarande kompensationsströmmen har lämplig styrka.

För att med tillhjälp af Ewings apparat bestämma järnets magnetiseringsintensitet I och sedermera dess genomtränglighet B för magnetismen (§ 23), låt järntråden och magnetometern vara så inställda som ofvan antagits och förutsatt, att till en början magnetnålen är riktad vinkelrätt mot papperets plan efter den jordmagnetiska kraftens horisontala komponent F_1 (fig. 27). Beteckna med d afståndet mellan den öfre polen Q och nålen samt med b afståndet mellan denna och undre polen Q' . Om polernas intensitet är m , så är den afvikande kraften

Fig. 27.



$$F_2 = \frac{m}{d^2} - \frac{m}{b^2} \cdot \frac{d}{b} = \frac{m}{d^2} \left[1 - \left(\frac{d}{b} \right)^3 \right].$$

Vidare är, om δ betecknar spegelns vridningsvinkel

$$F_2 = F_1 \tan \delta.$$

Häraf följer

$$m = \frac{F_1 d^2 \tan \delta}{1 - \left(\frac{d}{b} \right)^3}$$

Betecknar a järntrådens tvärskäring, så är äfven

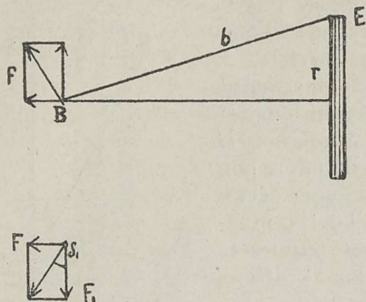
$$m = aI,$$

och således är

$$I = \frac{F_1 d^2 \tan \delta}{a \left[1 - \left(\frac{d}{b} \right)^3 \right]} \dots \dots \dots (4)$$

F_1 motsvarar jordmagnetismens horisontala komponent, så framt icke särskilda orsaker, t. ex. lokala järnmassor, föranleda olikhet. Om den icke förut är känd för det ställe, där försöket göres, kan man bestämma densamma med tillhjälp af en kompensationsspiral E och magnetometern B . Man borttager för den skull glaströret, järntråden och magnetiseringsspiralen samt anbringar E på ett lämpligt afstånd från B (se fig. 28). När en ström, hvars styrka i absoluta enheter vi beteckna med i , genomgår spiralen, så uppstår en

Fig. 28.



afvikning δ_1 från spegelns jämviktsläge, och om F angifver den kraft, som föranleder afvikningen har man $F = F_1 \tan \delta_1$. Är r spiralens radie, b_1 afståndet mellan spiralens omkrets och spegeln samt n antalet trådhvarf, så har man äfven på grund af Biot—Savarts lag

$$F = \frac{2\pi i n r}{b_1^2} \cdot \frac{r}{b_1} = \frac{2\pi i n r^2}{b_1^3}$$

Häraf erhålles

$$F_1 = \frac{2\pi i n r^2}{b_1^3 \tan \delta_1} \quad \dots \dots \dots (5)$$

r och b_1 införas här i centimeter.

Vi meddela ett exempel på en dylik af Ewing anställd mätning:

Järntrådens diameter	0,077 cm.
» längd	30,5 »
Afståndet d	= 10 »
» b	= 31 »
$F_1 = 0,299$ i absoluta enheter.	

Magnetiseringsspiralen innehöll 69 hvarf per cm. af längden och dess magnetiserande kraft för en ampère af strömstyrkan var således på grund af ekv. (3)

$$\frac{4\pi \times 69}{10} = 86,7.$$

Genom förberedande försök bestämdes, att för hvarje skaldels afvikning å magnetometern erfordrades en strömstyrka af 0,000408 ampère. Den magnetiserande kraften för en skaldels afvikning var således

$$86,7 \times 0,000408 = 0,0354.$$

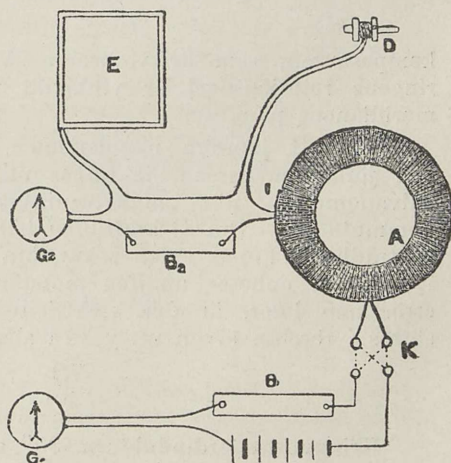
Genom en följd af försök bestämdes sambandet mellan den magnetiserande strömstyrkan (1), angifven i skaldelar, den magnetiserande kraften (2), magnetometerens utslag (3), äfvensom I , k , B och μ . Vi anföra exempelvis:

(1)	(2)	(3)	I	k	B	μ
24	0,85	4	13	15	170	200
99	3,50	175	581	179	7300	2250
189	6,69	327	1086	175	13640	2200
342	12,11	365	1212	105	15230	1320
629	22,27	380	1262	58	15870	730

25. Ballistiska metoden för undersökning af järnets magnetism. — Denna metod, som sedan länge varit för ifrågasvarande ändamål använd, har erhållit åtskilliga nya förbättringar. Såsom bekant består den uti bestämning af den magnetiska induktion, som alstras medels magnetiseringsströmmen i den primära trådspiralen, genom att uppmäta den ögonblickliga ström, som uppstår genom induktion i en sekundär trådspiral, omgifvande järnet, när dess magnetiseringsström förändras. Trådspiralen står i förbindelse med en ballistisk galvanometer, hvars utslag lämnar begrepp om induktionens styrka. En ballistisk galvanometer har en magnetnål, som svänger mycket långsamt, d. v. s. har så stort tröghetsmoment att den ögonblickliga strömmen nästan helt och hållet upphör innan nålen börjat sin rörelse. Man kan tillämpa den ballistiska metoden såväl för stängers som ringars undersökning, och den är numera den vanligast använda för profningen af järnets magnetiska ledningsförmåga. Om man begagnar metoden vid järnringar, sker detta genom att uppmäta plötsliga förändringar i magnetismen, i det att man plötsligt sluter, afbryter, omkastar eller förstärker eller också försvagar magnetiseringsströmmen. Vid stängers kan man modifiera den ballistiska metoden, så att icke endast förändringen i magnetism, utan äfven det magnetiska tillståndet för tillfället iakttages, genom att hastigt aflägsna den sekundära trådspiralen från järnet.

Vi skola till en början anförä den ballistiska metoden sådan *Rowland* och *Ewing* begagnade densamma för järnringar och med jordinduktor. Fig. 29 lämnar en schematisk framställning af densamma. *A* är järnringen med den primära trådlindningen, som erhåller magnetiseringsströmmen från batteriet, hvilken ströms styrka regleras genom reostaten *B* och uppmätes med en vanlig galvanometer *G*. Medels kommutatorn *K* kan strömmen slutas, afbrytas eller omkastas. Den sekundära trådspiralen *S* kan antingen vara

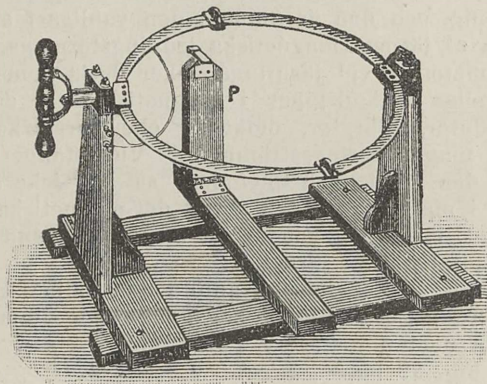
Fig. 29.



upplindad efter hela ringens omkrets, likasom förhållandet är med den primära, eller ock blott efter en del däraf.

Den i S inducerade ögonblickliga strömmen genomgår en reostat B_2 samt den ballistiska galvanometern G_2 äfvensom jordinduktorn E . Den sistnämnda är särskildt afbildad i fig. 30. Den utgöres af en trådspiral, upplindad längs omkretsen af en stor mässingsring, hvilken kan vridas 180° kring horisontala tappar. När ståndaren P står upprätt såsom i afbildningen visas samt ringen ligger horisontalt, är jordmagnetismens vertikala komposant den verksamma kraften, men man kan äfven nedfälla P medels ett gångjärn och anbringa ringen vertikalt, och då är det den horisontala

Fig. 30.



komposanten, som är verksam. Vi förutsätta härvid, att ringens rotationsaxel är vinkelrät mot den jordmagnetiska meridianens plan.

För att jämföra magnetismen, som finnes i järnringen, och jordmagnetismen, iakttages utslaget δ å den ballistiska galvanometern, när magnetiseringsströmmen omkastas med kommutatorn. Om Q kraftlinier härvid förändras i järnet och N trådvarf finnas i den sekundära ledningen samt R är det i absoluta enheter angifna motståndet, som den sekundära strömmen lider, är den elektricitetsmängd, hvilken sålunda sättes i rörelse, äfven uttryckt i absoluta enheter,

$$\frac{NQ}{R}.$$

Kringvrides jordinduktorn 180° , erhålles däremot ett utslag

δ_1 , hvilket motsvarar dubbla förändringen i antalet kraftlinier genomgående jordinduktorn och en elektricitetsmängd

$$\frac{2n\alpha F}{r},$$

där n är antalet trådhvarf i jordinduktorn, α dennas area i kvcm., F den jordmagnetiska kraftens vertikala eller horisontala komposant*) samt r motståndet i absoluta enheter. Om ledningen är anordnad så som fig. 29 visar, är $r = R$, och man har i så fall

$$NQ : 2n\alpha F = \delta : \delta_1,$$

hvaraf följer

$$Q = \frac{2n\alpha F}{N} \cdot \frac{\delta}{\delta_1} \dots \dots \dots (6)$$

Divideras Q med ringens tvärskärning i kvcm. erhålles den magnetiska induktionen B .

I stället för jordinduktorn, hvars begagnande förutsätter en noggrann kännedom om den jordmagnetiska kraftens horisontala eller vertikala komposants storlek, har lord *Kelvin* gjort bruk af en metod, som grundar sig på bestämningen af magnetiseringsströmmens storlek.***) Den härför använda anordningen utgöres af en lång magnetiseringsspiral, som är upplindad öfver ett mässingsrör eller en trästång, samt en vid midten däröfver upplindad kort sekundär spiral. Den sistnämnda bringas i förbindelse med den ballistiska galvanometern på samma sätt som jordinduktorn i fig. 29. Låt α_1 beteckna medelarean hos tvärskärningen till denna magnetiseringsspiral samt n_1 antalet trådhvarf per cm. längd i densamma. Om en ström, hvars styrka i absoluta enheter är i_1 passerar därigenom, är det antal kraftlinier, som framkallas inom spiralen $= 4\pi i_1 n_1 \alpha_1$. Betecknar n_2 hela antalet trådhvarf i den sekundära spiralen och r_2 motståndet i absoluta enheter, så är den elektricitetsmängd, hvilken den ögonblickliga induktionsströmmen därstädes sätter i rörelse, när den primära strömmen slutes eller afbrytes

$$\frac{4\pi i_1 n_1 \alpha_1 \cdot n_2}{r_2}.$$

Det utslag, som härigenom frambringas vid den ballistiska galvanometern, beteckna vi med δ_2 . Då är

*) Den horisontala komposanten är i mellersta Sverige omkring 0,16.

**) Vi skola i § 37 anföra en annan metod för undersökning med den ballistiska galvanometern.

$$\frac{NQ}{R} : \frac{4\pi i_1 n_1 \alpha_1 n_2}{r_2} = \delta : \delta_2,$$

hvaraf Q och sedermera B kan beräknas. Om $R=r_2$, så har man

$$Q = \frac{4\pi i_1 n_1 \alpha_1 n_2}{N} \cdot \frac{\delta}{\delta_2} \dots \dots \dots (7)$$

Vid dylika undersökningar äro åtskilliga omständigheter att uppmärksamma.

På det att icke försöken med den ballistiska galvanometern må blifva allt för tidsödande, kan man i den sekundära ledningen anbringa en helt liten trådspiral (D , fig. 29), i hvilken en magnetstång kan införas, hvarigenom det blifver möjligt att snart bringa galvanometernålen i hvila. Naturligtvis får detta ske på sådant sätt, att icke mätningarna därpå röna inflytande.

För att bestämma sambandet mellan den magnetiska strömstyrkan och induktionen kan man antingen gå gradvis tillväga eller ock använda strömomkastning. I förra fallet gör man till en början bruk af en svag ström, hvarefter motståndet hastigt förminskas upprepade gånger, och för hvarje gång iakttages tillökningen i utslag. Summan af dessa utslag lämnar begrepp om totala magnetismen. På samma sätt kan man börja med en stark ström, som hastigt försvagas genom införande af motstånd, och sålunda undersöka den aftagande magnetismen. — Om man däremot omkastar magnetiseringsströmmen, utgör hälften af galvanometerns utslag ett mått på magnetismen. För hårdt järn och stål lämnar detta likväl icke fullt noggrant resultat.

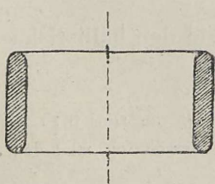
Om något mellanrum finnes mellan magnetiseringsspiralen och den sekundära spiralen, måste en korrektion verkställas för beräkningen af Q , så att man sätter

$$B = \frac{Q - Q'}{a},$$

om Q' är antalet kraftlinier, som komma utanför järnet.

Den magnetiska kraften är icke fullt likformig efter hela tvärskärningen till järnet, utan den är något större på inre sidan, där de vinkelrätt mot omkretsen upplindade trådvarfven komma hvarandra närmare. Man kan förebygga detta, om ringen i stället för cirkelformig tvärskärning erhåller en form sådan fig. 31 antyder. Skilnaden mellan de båda inre och yttre ytornas radier blifver då obetydlig i jämförelse med medelradien.

Fig. 31.



Vi anföra efter Ewing ett exempel på den ballistiska metodens tillämpning med en ring af anlöpt järn af medelmjukhet.

Ringens tvärskäring	0,0483 kvcm.
» medelomkrets	31,4 cm.
Antal trådhvarf i magn. spiralen	474
» » i den sekundära d:o	167
Jordinduktorns area	1216 kvcm.
» antal trådhvarf	10
Jordmagn. kraftens vertikala komposant	0,34
Utslag med jordinduktorn	42,9 skaldelar.
Magnetiserande kraften per en ampère erhålles häraf	

$$\frac{4\pi \cdot 474}{10 \cdot 31,4} = 18,96.$$

Den sekundära ledningens motstånd förändrades icke under försöket. Korrektionen för luftmellanrummet kunde försummas. Förändringen i antalet kraftlinier per kvcm. af järnet, motsvarande en skaldels utslag å den ballistiska galvanometern var därför

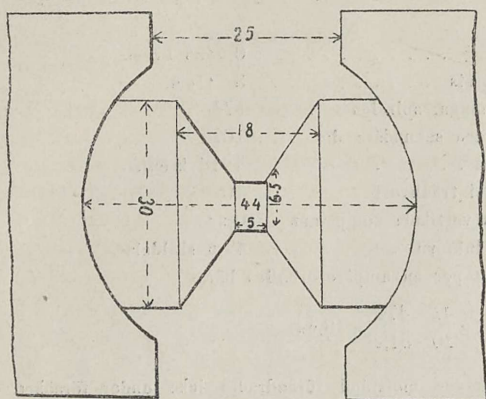
$$\frac{1216 \cdot 10 \cdot 0,34 \cdot 2}{0,0483 \cdot 167 \cdot 42,9} = 23,89.$$

Undersökningen gjordes genom att först använda en svag magnetiseringsström, så att H gradvis ökades från 0,13 till 9,14 samt därefter förminskades till 0 och återigen ökades till 9,14. Vi meddela här blott några af resultaten.

H	Utslag	Summa af utslag	B	μ	I	k
1,31	3,9	13,4	320	245	25	19
1,69	9,2	22,6	540	320	43	25
1,89	6,9	29,5	705	370	56	30
—	—	—	—	—	—	—
7,20	57	473,2	11300	1570	899	125
8,10	23,5	496,7	11870	1460	944	116
9,14	24	520,7	12440	1360	989	108
—	—	—	—	—	—	—
8,0	14,5	510,9	12170	—	971	—
9,14	10	520,9	12440	—	990	—

26. Isthmus-metoden. För att undersöka järnets magnetisering i mycket starka magnetiska fält ha *Ewing* och *Low* gjort bruk af den s. k. isthmus-metoden. Fig. 32 lämnar begrepp om en af de därvid använda anordningarna. Dimensionerna äro därstädes angifna i millimeter. Det järn som undersöktes var formadt som en liten cylinder, hvilken bildade

Fig. 32.



liksom ett näs mellan två kraftiga magnetpoler. Dessa gäfvos konisk form för att koncentrera kraftlinierna och sammanföra dem i cylindern. Öfver denna var upplindad en spiral, som utgjordes af ett enda lager fin tråd, hvilken sattes i förbindelse med en ballistisk galvanometer. Såsom af figuren synes, voro polstyckena formade på så sätt,

att de kunde kringvridas och deras magnetism omkastas. Hälften af utslaget å galvanometern lämnade ett mått för den magnetiska induktionen. För att uppmäta intensiteten hos fältet närmast omkring cylindern anbragtes en andra trådspiral utomkring den första, men på 1,3 mm. afstånd därifrån; båda spiralerna voro åtskilda genom någon tråd af ett icke magnetiskt ämne. Antalet kraftlinier per kvcm. i detta mellanrum, d. v. s. det yttre fältet H , beräknades af den iakttagna skilnaden i utslagen på den ballistiska galvanometern, när den inre och när den yttre spiralen begagnades. Härvid antogs

$$I = \frac{B - \text{yttre fältet}}{4\pi};$$

$$\mu = \frac{B}{\text{yttre fältet}}.$$

Vi anföra resultaten af några bland dessa försök.

H	B	I	μ
6690	27960	1700	4,18
10000	31210	1690	3,12
11200	32360	1690	2,90

Vid några nyare undersökningar var fältet ännu kraftigare, i det att en elektromagnet med 64000 ampèrehvarf användes, hvars polytor hade nära 10 cm. sida i kvadrat, från hvilka kraftlinierna koncentrerades på en järncylinder af 3,5 mm.

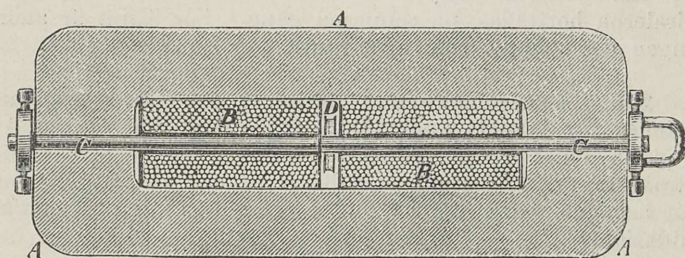
längd och 0,266 mm. diameter. Häraf erhöles vid det starkaste fältet

<i>H</i>	<i>B</i>	<i>I</i>	μ
24500	45350	1660	1,85

27. Hopkinsons apparat för järnets undersökning. —

En särskild apparat för tillämpning af den ballistiska metoden har *J. Hopkinson* konstruerat; den är afbildad i fig. 33. Järnet, som skall undersökas, gifves form af en stång, som afskäres på midten. De två delarna *C, C* införas i ett block *A* af mjukt smidesjárn, vid hvars midt en rektangulär utskärning är gjord för insättning af två magnetiseringsspiraler. Järnblockets längd är c:a 46 cm., bredd 16,5 cm. och tjocklek

Fig. 33.

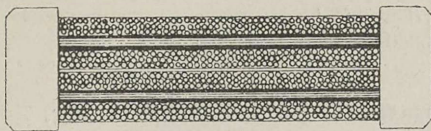


5 cm. De omsorgsfullt svarfvade stängerna, hvilkas diameter är 12,65 mm, införas i hål, borrarade efter blockets längdriktning. Ändarna äro plant afslipade, så att god kontakt erhålles.

Den ena af stängerna är fästad orubbligt, den andra är försedd med ett handtag, så att den hastigt kan utdragas. Härvid lösryckes medels en kautschukfjäder den sekundära trådspiralen *D* ur det magnetiska fältet. Denna spiral har 350 hvarf fin tråd, de två magnetiseringsspiralerna c:a 2,000 hvarf. Spiralen *D* står i förbindelse med en ballistisk galvanometer. Magnetiseringsspiralen sattes af Hopkinson i verksamhet med en galvanisk stapel af 8 Groves element och strömmen reglerades genom ett vätskemotstånd, hvarjämte den kunde omkastas med en kommutator. Har man en gång för alla bestämt det värde, som motsvarar hvarje skadel å galvanometern, kan sedermera den magnetiska induktionen hos järnet lätt uppmätas.

Det bör dock anmärkas, att fogen mellan de båda stängerna *C, C* i någon mån inverkar på resultatet. En förändring af apparaten härrör af *Ewing*, där denna olägenhet

Fig. 34.



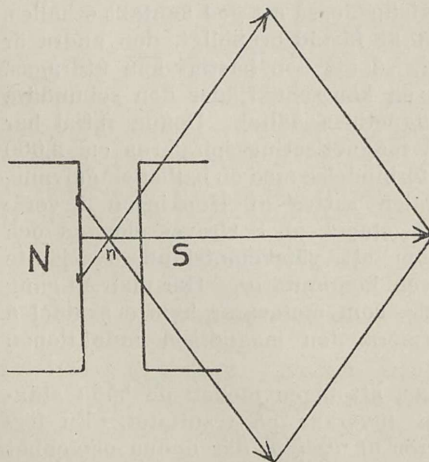
är undanröjd. Fig. 34 lämnar begrepp om den förbättrade anordningen. Här erfordras två lika stänger af det material som undersökes, och dessa böra äga en längd af åtminstone

tjugu gånger deras diameter. Stängerna anbringas mellan två massiva ankare af järn. De kunna äga hvilken tvärskärningsform som helst, men deras ändar böra vara jämt afskurna, så att de noga passa mot ankarnas plana sidoytor. Magnetiseringsspiraler omgifva båda stängerna och äro så förenade, att dessa magnetiseras i motsatta riktningar. Sekundära trådspiraler finnas vid midten af stängerna. Genom att lösrycka det ena ankaret afbrytes magnetismen och de sekundära spiralerna borttagas på samma gång. För öfrigt är anordningen den samma som nyss omtalats.

28. Elektromagneters bärkraft och därpå beroende metoder för järnets undersökning. — Man kan på grund af hvad vi i det föregående anført härleda ett uttryck för den attraktion en elektromagnet utöfvar på sitt ankare, och man kan begagna detta uttryck för bestämning af den magnetiska induktionen.

Antag (se fig. 35) att två plana magnetiska polytor, N och S , stående midt emot

Fig. 35.



hvarandra, äga en jämnt fördelad magnetism lika för båda men med motsatta tecken. Låt ett magnetiskt element n med intensiteten I vara anbragt mellan båda polytorna, på afståndet x från ytan N . Om vi tänka oss en rät linie dragen vinkelrät från n mot N , samt med skärningspunkten till medelpunkt en cirkel med radien y uppdrages på N samt utanför denna en annan cirkel med radien $y + dy$, så bildas mellan båda en oändligt

smal cirkelring med bredden dy . Betecknar m den magnetiska intensiteten per kvcm. hos ytan, så åverkar denna cirkelring, hvars yttinnehåll är $2\pi y dy$, elementet n med en kraft, hvars storlek är

$$dP = \frac{m \cdot 2\pi y dy \cdot \cos \alpha}{x^2 + y^2},$$

om α är en vinkel, för hvilken

$$\text{tang } \alpha = \frac{y}{x}.$$

Är x konstant, men y och α variabla, erhålles häraf vid differentiation

$$dy = \frac{x d\alpha}{\cos^2 \alpha}.$$

Vidare är

$$x^2 + y^2 = \frac{x^2}{\cos^2 \alpha}.$$

Införas dessa värden i den första ekvationen, får man

$$dP = 2\pi m \cdot \sin \alpha \cdot da.$$

Integreras detta uttryck mellan gränserna 0 och α_1 erhålles

$$P = 2\pi m (1 - \cos \alpha_1).$$

Ligger n helt nära ytan N , kan man med tillräcklig noggrannhet sätta

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{2}$$

och då är

$$P = 2\pi m.$$

Detta är hela den kraft i dyne, hvarmed ytan N åverkar elementet n , oberoende af N 's storlek, förutsatt att denna är tillräcklig för att α_1 alltid må vara helt nära 90° . Men en lika stark kraft och i samma riktning utgår från ytan S , så att man erhåller hela verkan

$$4\pi m = B,$$

d. v. s. lika med den magnetiska induktionen.

Ett ankare med polytan a kvcm., hvilket är i beröring med magneten, åverkas af en kraft

$$ma \cdot 2\pi m = 2\pi am^2 \text{ dyne.}$$

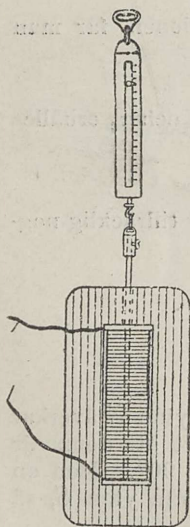
Insättes här värdet å m uttryckt i B , får man såsom värde för bärkraften P

$$P = \frac{aB^2}{8\pi} \text{ dyne} \dots\dots\dots (8)$$

Divideras detta med 981,000 erhålles bärkraften i kilogram. Detta gäller såväl för en stålmagnet som för en elektromagnet.

Bidwell har begagnat formeln för bärförmågan för att beräkna B . Han gjorde för den skull bruk af en järnring afskuren i form af två halfcirklar. De båda delarna, som noggrant hoppassades, voro öfverdragna med magnetiseringsspiraler. För att åtskilja dem efter magnetiseringen erfordrades då en viss kraft, som uppmättes, hvarefter B beräknades. Äfven för raka järnstänger har *Bidwell* begagnat en dylik metod.

Fig. 36.



Silvanus Thompson har konstruerat en särskild apparat benämnd *permeameter*, för dylika mätningar. Fig. 36 visar dess anordning. Den utgöres af en järnram med 30 cm. längd, 16,5 cm. bredd, 7,6 cm. tjocklek, som är genomborrad vid ena sidan för att mottaga profstycket. Detta utgöres af en smal järnstång, c:a 30 cm. lång, hvars ena ände är noggrant planslipad. I ramens inre är en magnetiseringsspiral anbragt, och inuti denna nedföres profstycket, så att det kommer i beröring med ramens inre plana yta, vid hvilken det kvarhålles af den magnetiska attraktionen. Med tillhjälp af en fjäddynamometer bestämmes den kraft R dyne, som erfordras för att lösslita profstycket från ramen. Betecknar i den magnetiserande strömstyrkan i absoluta enheter samt n antalet trådvarf per cm. af längden, så är det magnetiska fältets intensitet

$$H = 4\pi ni.$$

Om a är järnstångens tvärskärning i kvcm., bestämmes den magnetiska induktionen B af formeln

$$\frac{(B - H)^2 a}{8\pi} = R \dots\dots\dots (9)$$

H har här dragits ifrån B , därför att spiralen kvarstannar i ramen.

Vi anföra exempelvis en bestämning med Silvanus Thompsons permeameter:

Trådspiralens hela längd är 13,64 cm., hela antalet trådvarf 371. Således är vid denna apparat

$$n = \frac{371}{13,64} = 27,20.$$

Den magnetiserande strömstyrkan var 25 ampère. Således var

$$H = 4 \cdot 3,14 \cdot 27,20 \cdot 2,5 = 854.$$

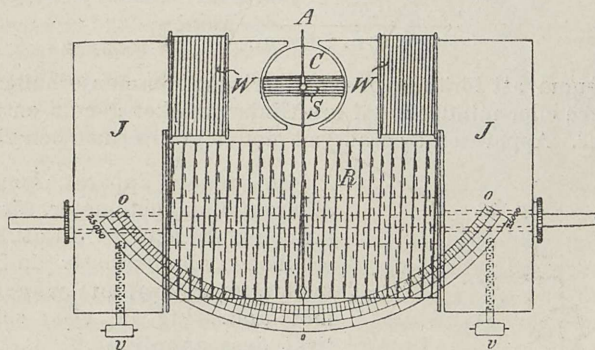
Den undersökta järnstängens var af kvadratisk tvärskärning med 0,63 cm. sida. För dess lösryckning erfordrades 5,31 kg. Häraf följer

$$(B - H)^2 = \frac{981000 \cdot 5,31 \cdot 8 \cdot 3,14}{(0,63)^2}$$

$$\text{samt } B = 18998.$$

29. Några nyare apparater för järnets direkta undersökning. — För att kunna på bekvämaste sätt undersöka järnet i magnetiskt hänseende har den bekanta firman *Siemens & Halske* i Berlin utfört en af *Koepsel* uppfunnen apparat, som blifvit till stort gagn för tekniken. Vi skola nu beskrifva en sådan apparat, hvilken finnes i Tekniska Högskolans elektro-

Fig. 37.



tekniska samlingar. Fig. 37 visar densamma. Den innehåller ett järnok *JJ*, hvilket vid *A* är utborradt och där ersatt med en mjuk järncylander *C*, hvars diameter är 2 mm. mindre än utborrningens. I luftmellanrummet, som följaktligen blott har 1 mm. vidd, är en spole *S* vridbar kring spetsar. Till densamma ledes en ström af ringa styrka. Genom de båda sidorna af oket är en prismatisk öppning *oo* uttagen, och i denna insättes det järnprof, som skall undersökas. Detta prof,

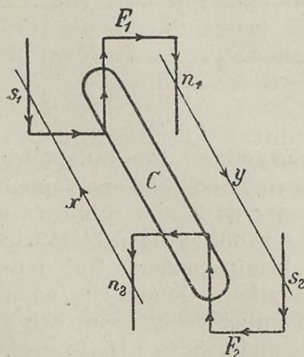
som kan vara en stång eller ock en plåtremsa, fastsättes medels skrufvarna v , v och lämpliga insatsstycken. Magnetiseringsspiralen R omgifver detsamma; denna är så lindad, att den magnetiserande kraften erhålles genom att den i ampère angifna strömstyrkan multipliceras med 100. På det att den af R frambragta verkan på oket icke må blifva betydande utan i stället antalet af de i oket, när profstycket icke är insatt, alstrade kraftlinierna må kunna försummas i jämförelse med de af det sistnämnda frambragta, användas kompensationsspiraler W , W , hvilka äro införda i följd med R . Man skulle i stället kunna vinna samma ändamål genom att omgifva magnetiseringsspiralen med en järnmantel.

Det är inom vissa gränser likgiltigt huru stor tvärskärning, som profstycket äger, så framt man en gång för alla har bestämt den erforderliga strömstyrkan i spolen S för tvärskärningens enhet, ty man har då endast att dividera denna strömstyrka med tvärskärningen för att erhålla den som behöfves för profvet. Men då tillika hela antalet kraftlinier är proportionellt mot samma tvärskärning, följer häraf, att apparaten alltid angifver antalet kraftlinier per tvärskärningsareans enhet, d. v. s. per kvcm. Den strömstyrka, som föres genom den rörliga spiralen, är vid den Tekniska Högskolan tillhörande apparatens rörliga spole

$$\frac{0,0055}{\text{tvärskärn. i kvcm.}} \text{ ampère}$$

Genom att förändra magnetiseringsströmmen erhåller man ett större eller mindre antal kraftlinier, hvilket genom en visare angifves. Apparaten är graderad mellan gränserna 0 och 25,000.

Fig. 38.



En annan apparat, benämnd differentialmagnetometer, är upfunnen af *Eickemeyer* för att kunna erhålla en approximativ jämförelse mellan två järnprofs magnetiska motstånd. Fig. 38 visar schematiskt dess anordning.

s_1 F_1 n_1 och s_2 F_2 n_2 äro två lika tunga S-formiga block af svenskt järn, mellan hvilka två profstänger x och y , som skola jämföras med hvarandra, äro anbragta, så att en ström af magnetiska kraftlinier i riktningen F_2 n_2 x s_1 F_1 n_1 y s_2 F_2 erhålles, när en elektrisk ström föres genom

trådspiralen *C*. I dennas vertikala fält är en å figuren ej afbildad magnetnål rörlig, hvilken antager lodrät ställning, när båda de magnetiska motstånden *x* och *y* äro lika stora. Om *x* eller *y* är öfvervägande, afviker nålen åt den ena eller andra sidan om lodlinien, till följd af den icke längre symmetriska spridningen af kraftlinierna. Med tillhjälp af en sats normalstänger kan man erhålla det obekanta motståndet *x*.

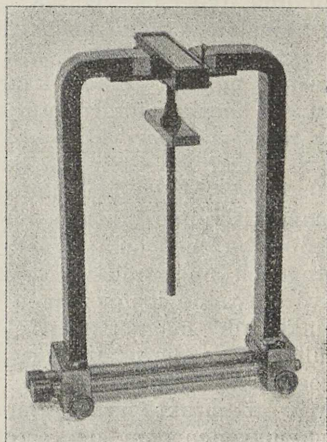
En förbättrad apparat af liknande beskaffenhet är *Ewings* nya permeabilitetsbrygga, hvilken tjänar till att jämföra ett järnprofstycke med ett normalprof. Fig. 39 lämnar begrepp om dess anordning, ehuru med magnetiseringsspiralerna och locket borttagna.

De båda profstängerna anbringas horisontalt i två parallela magnetiserings-spiraler, och deras ändar förenas med två korta ok af mjukt järn. Från dessa uppstiga två långa järnhorn, hvilka upptill äro böjda mot hvarandra och där komma nära tillsammans. I rummet mellan dessa deras ändar är en låda med en magnetnål anbragt. Om såväl de båda magnetiseringsspiralerna verka lika som de båda lika grofva stängerna äga samma magnetiska genomtränglighet, är den magnetiska ledningen genom stängerna och oken fullständig, och några kraftlinier uppstiga icke genom hornen. Magnetnålen afviker följaktligen icke. — Men

om de båda stängerna icke äga samma genomtränglighet, ehuru de till det yttre öfverensstämma, afviker nålen från jämviktsläget, men detta kan åter uppnås genom att förändra antalet amperehvarf i endera af magnetiseringsspiralerna. För den skull bibehålles strömstyrkan oförändrad, men den spiral, som omgifver profstycket, är så inrättad, att dess effektiva hvarfantal kan förändras. Anordningar äro äfven vidtagna för upphäfvande af de fel, som kunna uppstå genom hysteresis och strömstyrkans förändring under försöket.

Hvarje stång har en längd af 12,56 (4π) cm. mellan oken, och antalet hvarf i spiralen kring normalprovet är 100. Den magnetiserande kraften, d. v. s. $\frac{4\pi im}{10l}$, är därför 10 C.-G.-S. enheter för hvarje ampère strömstyrka. Man har därför lätt

Fig. 39.



att afpassa den behöfliga magnetiserande kraften med tillhjälp af en ampèremeter och reglerbara motstånd. Emedan sambandet mellan B och H är bekant för normalprovet, är kännedomen af strömstyrkan tillfyllestgörande för att visa vid hvilket värde å induktionen B jämförelsen blifvit gjord, och B är naturligtvis lika för båda stängerna. Antalet trådvarf kring profstycket, divideradt med 100, lämnar förhållandet mellan de magnetiserande krafterna, och det är lätt att sålunda bestämma ett stort antal punkter på magnetiseringskurvan för profstycket, och detta med mycket stor noggrannhet.

30. Några resultat af undersökningarna öfver järnets magnetiska egenskaper. — Vi skola nu anföra några i tekniskt hänseende viktiga resultat af de i det föregående anförda undersökningarna.

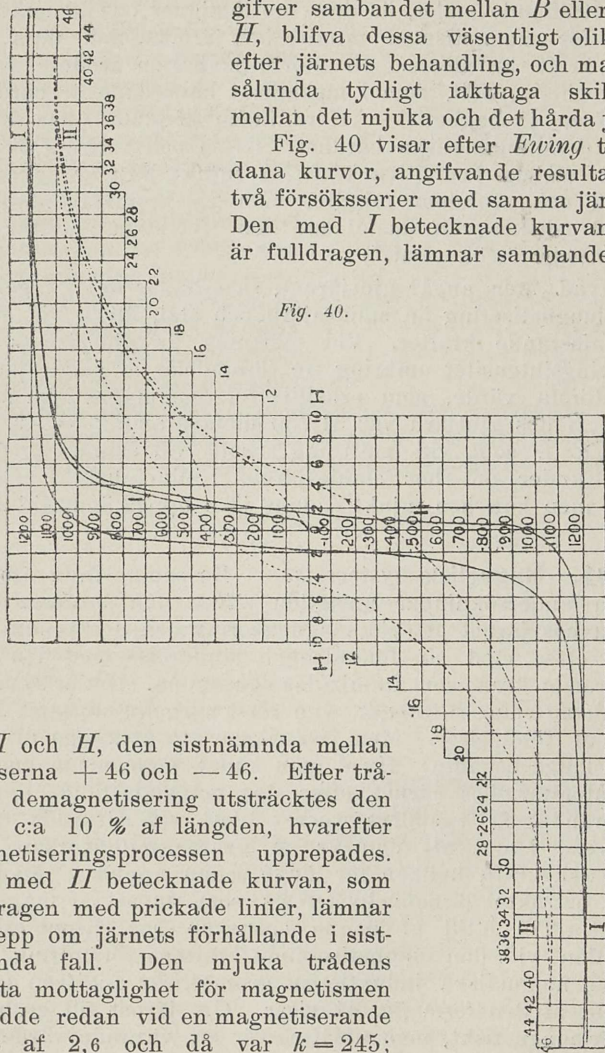
Redan *v. Waltenhofen* har visat, och de nyare undersökningarna ha bekräftat, att om den magnetiserande kraften hastigt upphör, järnets kvarvarande magnetism blifver mindre än vid långsam försvagning af samma kraft, och denna skilnad är mest märkbar vid tjocka stänger. Hos långa stänger samt hos ringar af liten tvärskärning finner man ofta att 80 till 90 % af den inducerade magnetismen kvarstår efter den magnetiserande kraftens försvinnande, i synnerhet om denna reduceras med små förändringar eller kontinuerligt. Vid en lång och smal tråd af mycket mjukt och anlöpt järn, var den kvarblifvande magnetismen 82 % af den inducerade, och den omkastade magnetiserande kraften, som erfordrades för dess fullständiga bortskaffande, hvilken utgör ett mått för den koercitiva kraften, var 1,9. Men det är väl att märka, att en tråd af mjukt järn förlorar nästan hela den kvarblifvande magnetismen, om den kraftigt skakas, emedan sådant järn är ytterst känsligt för vibrationer. Efter en sådan behandling kan den återstående magnetismen nedgå till 1 à 2 % af den inducerade magnetismen. Men så länge järnet är i hvila lider den icke någon anmärkningsvärd förändring med tiden, hvaremot mekaniska rubbningar af olika slag och äfven temperaturvariationer hastigt utöfva inflytande.

Annorlunda är förhållandet med järn, som underkastas hamring, valsning, tråddragning eller annan mekanisk behandling efter rödglödningen. Sådant järn visar vida mindre genomtränglighet och mottaglighet för magnetismen, men betydligt större koercitiv kraft. Det är härvid en märkbar skilnad på långa och korta stängers förhållande. Den kvarblifvande magnetismen hos så behandlad järn i form af en lång stång eller en ring är mindre än hos mjukt järn, men en kort stång kvarhåller mer sådan magnetism, när den är

hård än när den är mjuk, på grund af dess större koercitiva kraft. Om man underkastar en järntråd en cyklisk magnetiseringsprocess och medels kurvor angifver sambandet mellan B eller I och H , blifva dessa väsentligt olika allt efter järnets behandling, och man kan sålunda tydligt iakttaga skilnaden mellan det mjuka och det hårda järnet.

Fig. 40 visar efter *Ewing* två sådana kurvor, angifvande resultaten af två försöksserier med samma järntråd. Den med I betecknade kurvan, som är fulldragen, lämnar sambandet mel-

Fig. 40.



lan I och H , den sistnämnda mellan gränserna $+46$ och -46 . Efter trådens demagnetisering utsträcktes den med c:a 10 % af längden, hvarefter magnetiseringsprocessen upprepades. Den med II betecknade kurvan, som är dragen med prickade linier, lämnar begrepp om järnets förhållande i sistnämnda fall. Den mjuka trådens största mottaglighet för magnetismen inträdde redan vid en magnetiserande kraft af 2,6 och då var $k=245$; maximum för genomtränglighet var då $\mu=3,080$. Den sträckta tråden hade motsvarande maxima först vid en magnetiserande kraft 11, och då var $k=53$ samt $\mu=670$. Den sträckta trådens kvarvarande magnetism var

mindre än hälften af den mjuka trådens, men däremot hade den koercitiva kraften genom trådens sträckning ökats från 1,7 till 4,5.

Beträffande stålet, är dess mottaglighet och genomtränglighet för magnetismen mindre än järnets, men dess koercitiva kraft är större. Ju större kolhalten är dess mindre äro k och μ . Stål, som i mekaniskt hänseende är hårdt, är det äfven i magnetiskt. Härdningen af stålet ökar således äfven dess magnetiska hårdhet. Krom och volfram öka ansenligt stålets koercitiva kraft. I mjukt järn är denna vid pass 2 och stundom mindre, men hos kromstål, härdadt i olja 40 och hos volframstål kan den öfverstiga 50, efter hvad *Hopkinsons* försök visat.*)

Hvad åter angår gjutjärnet, så erhåller det i regeln en lägre magnetisering än smidesjärn och stål, äfven vid starka magnetiserande krafter. Vid mättning är gjutjärnets magnetiseringsintensitet omkring tre fjärdedelar af smidesjärnets. Det största värde, som erhållits för den magnetiska induktionen B hos gjutjärn var 31,760 motsvarande $\mu = 1,9$. Det värde å I , som vid mättning erhöles vid samma prof, var 1,240, under det hos smidesjärnet i allmänhet är omkring 1,700, men kan hos mjukt sådant järn uppgå ända till 2,000.

31. Magnetisk hysteresis. — De senare åren äro flera viktiga undersökningar anställda öfver den bekanta egenskapen hos järnet att vid magnetisering och demagnetisering blifva efter med sin förändring i jämförelse med den magnetiserande kraft, som framkallar densamma. Det är *Warburg* och *Ewing* samt *Steinmetz*, som först närmare iakttagit denna klass af företeelser. Men visserligen äro åtskilliga af dessa sedan länge bekanta. Hvad man kallat remanent magnetism, som återstår hos järnet efter den magnetiserande kraftens upphörande, är i själfva verket blott ett särskildt fall af *hysteresis*, i det att den är en kvarvarande verkan af en magnetisk kraft, hvilken för länge sedan upphört. Man kan äfven betrakta järnets hysteresis som en art af magnetisk tröghet. Till följd af denna egenskap hos järnet erhåller man den vid den magnetiserande kraftens förändring framkallade magnetiska induktionen geometriskt angifven genom en figur af den form fig. 41 visar. Om järnet till en början icke är magnetiskt, men utsättes för ett växande värde å H förändras B på det sätt kurvan 1 2 antyder; försvagas därefter

*) Ännu långt högre värden ha *Du Bois* och *Jones* funnit vid sina försök, för hvilka vi i § 36 skola redogöra.

H , aftager jämväl B efter kurvan 2 3. Omkastas nu den magnetiserande strömmens riktning, angifver kurvan 3 4 5 6 huru den magnetiska inductionen varierar vid växande och sedermera aftagande strömstyrka. Denna förändring sker så långt, att, när strömmens riktning ånyo omkastas, järnet genom den af kurvan 6 7 2 framställda magnetiseringsprocessen återkommer till det slag af magnetisering det ägde vid 2. En sluten figur har sålunda bildats, begränsad af de båda kurvorna 5 6 7 2 och 2 3 4 5, hvilkas ordinator, motsvarande samma abscissor, väsentligt skilja sig från hvarandra.

Afbrytes magnetiseringen och den sedermera ånyo påbörjas, erhålles en ögla på magnetiseringskurvan. Fig. 42

Fig. 41.

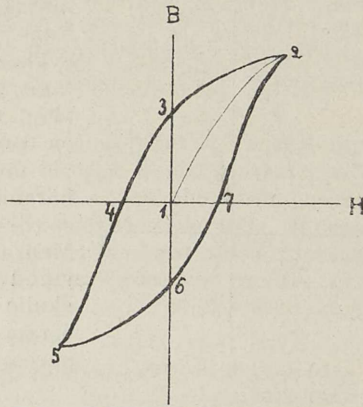
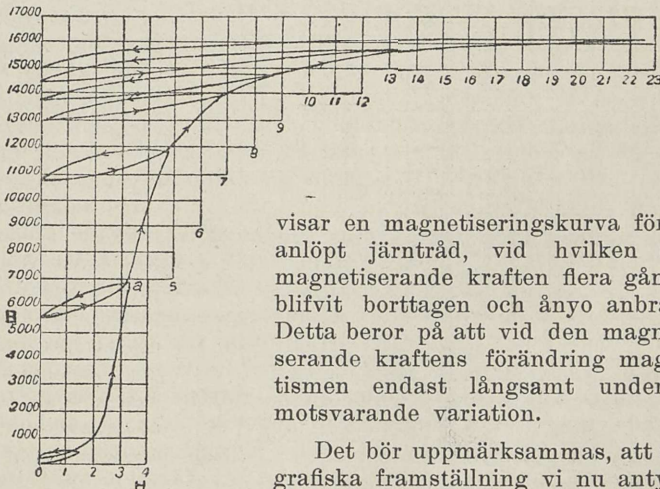


Fig. 42.



visar en magnetiseringskurva för en anlöpt järntråd, vid hvilken den magnetiserande kraften flera gånger blifvit borttagen och ånyo anbragt. Detta beror på att vid den magnetiserande kraftens förändring magnetismen endast långsamt undergår motsvarande variation.

Det bör uppmärksammas, att den grafiska framställning vi nu antydt, äfven lämnar begrepp om den i järnet kvarblifvande magnetismen samt om den koercitiva kraften. Den förstnämnda angifves i fig. 41 genom ordinatan 13, den sistnämnda genom abscissan 14.

Fig. 43.

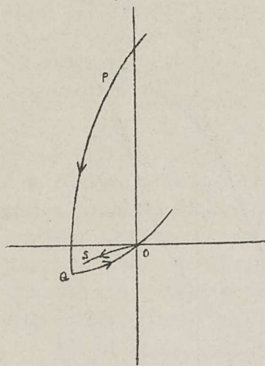
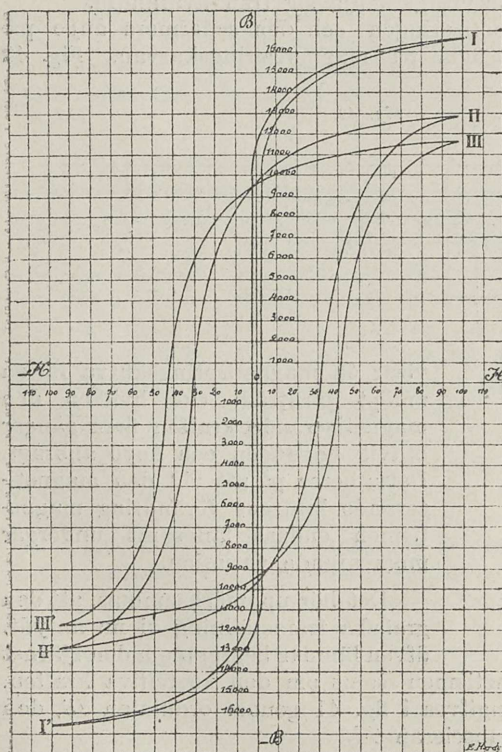


Fig. 44.



Ett anmärkningsvärdt exempel å inflytandet af hysteresis må här anföras. Om järnet underkastas en cyklisk process, såsom vi ofvan antagit, men vid magnetiseringen i omvänd riktning densamma afbrytes vid en punkt Q (fig. 43), så vald, att vid den magnetiserande kraftens upphörande kurvan QO kommer till origo, så är järnet icke längre magnetiskt. Men det är likväl icke i samma tillstånd som förut och i hvilket det skulle befinna sig, om det neutraliserats genom demagnetisering med successiva omkastningar (se § 24).

Om det nu ifrågasvarande järnet magnetiseras med en positiv magnetiserande kraft erhålles en kurva, som är en fortsättning af QO ,

hvaremot en negativ kraft gifver en alldeles olika kurva OS .

Mottagligheten för magnetismen är i förra fallet mycket större än i det senare. Det framgår af detta försök, att fastän järnet efter den föregående processen icke längre är magnetiskt, det dock till följd af hysteresis bibehåller spår af de magnetiska förändringar det undergått. En annan följd af hysteresis är, att de

relationer mellan B , I och H , som vi i det föregående (§ 23) angifvit, endast äro gällande under förutsättning såväl af att järnprovet förut varit neutralt som att den magnetiserande kraften, med hänsyn till hvilken de nyssnämnda kvantiteterna angifvas, får verka utan att vid något tillfälle nedbringas från högre till lägre värden.

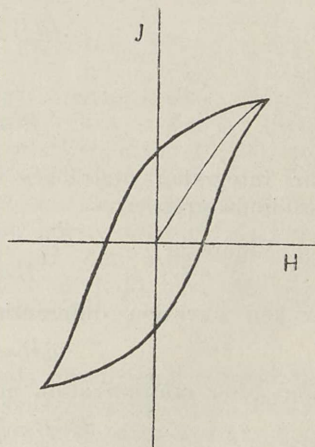
Mellan olika slag af järn och stål förefinnes en anseelig skilnad i afseende å hysteresis, hvartill vi återkomma i det följande. Men vi vilja redan nu visa, huru olika former den hysteresis karakteriserande kurvan antager i olika fall. Fig. 44 lämnar begrepp därom. Kurvan I , I' motsvarar mycket mjukt järn, kurvan II , II' stål, härdadt glashårdt, kurvan III , III' samma stål efter anlöpning.

32. Effektförlust till följd af hysteresis. — De cykliska förändringar järnet undergår genom upprepade magnetisering och demagnetisering föranleda en betydande effektförlust, hvilken vid flera tillfällen medför en allvarlig olägenhet inom elektrotekniken. Man kan grafiskt uttrycka denna effektförlust. Om man nämligen konstruerar den kurva (fig. 45), som angifver under en cykel sambandet mellan magnetiseringsintensiteten I och den magnetiserande kraften H , uttrycker den af kurvan inneslutna arean $\int H dI$ den energi, som under en cykel förloras till följd af hysteresis.

För att visa detta, antag att en ring eller lång stång af järn har längden l cm. och tvärsnittsarean s kvcm. samt att den är omgifven af en trådlindning med n hvarf per cm. af dess längd, äfvensom att genom denna tråd går en ström, hvars styrka i absoluta enheter är i . Härigenom uppstår en magnetisk induktion B i järnet. Förstärkes strömmen under tidselementet dt , växer antalet kraftlinier i järnet med $s dB$, hvilket motsvarar på en sekund

$$s \frac{dB}{dt}$$

Fig. 45.



kraftlinier. I trådlindningen induceras härvid en elektromotorisk kraft*)

$$l n s \frac{dB}{dt}$$

i motsatt riktning till magnetiseringsströmmen.

Det elektriska arbetet under tiden dt är

$$l n s \frac{dB}{dt} i dt = l n s i dB.$$

Nu är ls järnets volym i kbcm. och följaktligen är magnetiseringsarbetet under tiden dt per kubikcentimeter $n i dB$. Men den magnetiserande kraften är

$$H = 4\pi n i,$$

och således

$$n i = \frac{H}{4\pi}.$$

Magnetiseringsarbetet kan följaktligen sättas under formen

$$dW = \frac{1}{4\pi} H dB$$

eller

$$W = \frac{1}{4\pi} \int H dB,$$

där integralen utsträcker mellan de af variationen hos H bestämda gränserna.

Vidare är

$$B = H + 4\pi I,$$

hvilken ekvation differentierad lämnar

$$dB = dH + 4\pi dI,$$

samt efter multiplikation med H

$$H dB = H dH + 4\pi H dI.$$

Om vi tänka oss en cyklisk magnetiseringsprocess genomförd, erhålles häraf det arbete, som förrättats

$$W = \frac{1}{4\pi} \int H dB = \int H dI \dots \dots \dots (10),$$

emedan $H dH$ integrerad mellan de här bestämda gränserna

*) Jämför författarens »Elektriciteten och dess förnämsta tekniska tillämpningar», p. 269.

måste blifva noll. Vi finna således, att den af kurvan i fig. 45 omslutna arean verkligen angifver det arbete i erg, som under en cykel försvinner eller rättare sagdt förvandlas till värme för hvarje kbcm. af järnet *) Detta kommer till följd häraf att upphettas. Vi beräkna denna temperaturhöjning t_1 på följande sätt.

Om vi antaga värmeenhetens mekaniska ekvivalent till 427 kgm., så är det antal erg, som motsvarar en gramvärmeenhet,

$$\frac{427 \times 981 \times 1000 \times 100}{1000} = 4,19 \cdot 10^7.$$

Antages vidare järnets sp. vikt till 7,7 och dess sp. värme till 0,11, har man

$$7,7 \times 0,11 \times 4,19 \times 10^7 \times t_1 = \int H dI,$$

hvaraf följer

$$t_1 = 2,82 \cdot 10^{-8} \int H dI.$$

Temperaturhöjningen hos järnet, som motsvarar z cykler, skulle på grund häraf vara

$$t_{11} = 2,82 \cdot 10^{-8} \cdot z \int H dI \dots\dots\dots (11)$$

Integralens värde är naturligtvis ganska olika efter järnets beskaffenhet. För mjukt anlöpt järn är det för hvarje dubbel omkastning af stark magnetism omkring 10,000, men för hårdt järn ända till 16,000. För gjutjärnet äro motsvarande värden 30,000 à 40,000 och för mjukt stål 40,000 à 60,000, men för hårdt stål ännu högre. Det får dock anmärkas, att den hastighet, hvarmed den magnetiska förändringen sker, har inflytande, och till följd häraf blir upphettningen blott $\frac{2}{3}$ à $\frac{4}{5}$ af den beräknade.

33. Åtskilliga på hysteresis inverkan omständigheter. — Den nyss omnämnda egenskapen hos magnetismen, till följd hvaraf dennas förändringar med olika hastighet följa den magnetiserande kraftens förändringar, är af ett visst intresse i tekniskt hänseende och ha varit föremål för flera undersökningar. Man brukar särskildt kalla *magnetisk viscositet* den art af hysteresis, vid hvilken med små magnetiserande krafter det mjuka järnets magnetism endast långsamt eller ofullständigt följer denna, på samma sätt som en kautschukstång endast långsamt förlänges eller förkortas vid små förändringar i belastningen. Det är tydligt, att om de mag-

*) Denna area kan lättast bestämmas medels planimeter.

netiska cyklerna följa hastigt på hvarandra, hvilket ofta är händelsen med magnetismen hos järnkärnorna vid dynamo-induktorer och transformatorer, så måste värdet på $\int H dI$ och följaktligen upphettningen blifva olika mot de värden, som bestämmas genom långsamma magnetiseringsprocesser. Flera forskare ha försökt att genom kalorimetriska mätningar utröna detta inflytande. Af dessa synes framgå, att så snart magnetiseringscykeln i tidslängd icke understiger c:a en hundra-del af en sekund, blifver denna verkan icke djupt ingripande. Den japanske fysikern *Tanakadaté* fann dock, att värmeutvecklingen vid en med bomull öfverspunnen ring af mjuk järntråd endast var c:a 80 % af den vid långsamma cykler, men att det var tämligen likgiltigt, om antalet omkastningar per sekund låg mellan gränserna 28 och 400. I alla händelser är den genom hysteresis härrörande förlusten i energi mindre vid hastigt än vid långsamt förlöpande magnetiska cykler.

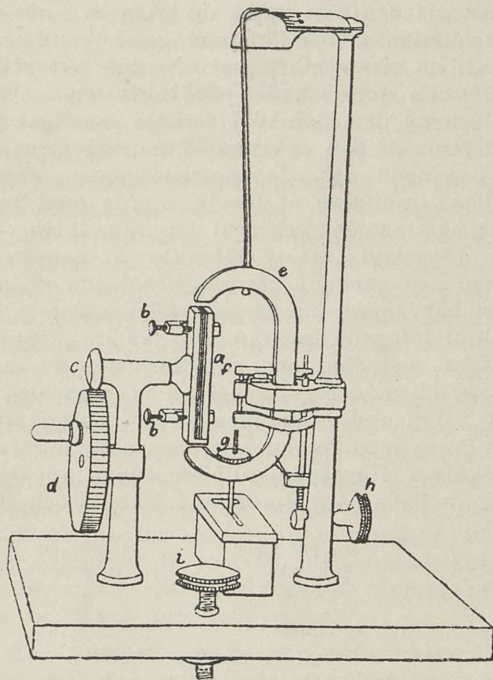
I samband härmed vilja vi redan nu nämna, att det gifves äfven andra omständigheter, som inverka på den magnetiska hysteresis. Sålunda har järnkärnans form ett väsentligt inflytande på formen hos de kurvor, hvilka framställa de magnetiska förändringarna. — Om järnet under magnetiseringen bringas i vibration, är detta äfven af betydelse för hysteresis, hvars verkningar därigenom försvagas. Men detta gäller hufvudsakligen vid svaga magnetiska fält samt med mjukt, anlöpt järn; hos en dylik järntråd upphör verkan genom hysteresis nästan fullständigt, om den sättes i vibration vid den magnetiska kraftens anbringande och aflägsnande. I starka magnetiska fält äro de af vibrationerna försakade verkningarna af långt mindre betydelse. Vid försök med hårdt järn och med stål blifva de genom vibrationer eller skakningar föranledda rubbningarna i hysteresis icke på långt när så skarpt framträdande.

Enär de mekaniska krafter, för hvilka järnet utsättes, inverka på dess magnetiska egenskaper, kan man förmoda, att äfven hysteresis däraf röner inflytande. I själfva verket har detta visat sig vara händelsen, och den spänning, för hvilken järnet är utsatt, verkar på hysteresis analogt med hvad vibrationerna göra. På samma sätt med värmets. *W. Kunz* har närmare undersökt dess inverkan på hysteresis och funnit, att denna försvagas vid stigande temperatur.

Enligt *Parshall's* m. fl:s försök skulle i allmänhet förlusten genom hysteresis stå i omvänt förhållande till renheten hos järnet, men i jämförelsevis rent järn skulle den förnämligast bestämmas genom järnets anlöpning, upphettning och mekaniska behandling. Vi återkomma härtill.

34. Ewings apparat för teknisk undersökning af hysteresis. — För att kunna bekvämt med en för teknikens behof tillfyllestgörande noggrannhet undersöka järnet i fråga om hysteresis har Ewing konstruerat en särskild apparat. I själfva verket är en dylik bestämning af ganska stort intresse. Man bör i synnerhet vid transformatorerna använda järnkärnor, vid hvilka den af hysteresis förorsakade effektförlusten är så ringa som möjligt. Det är i detta hänseende

Fig. 46.



väsentlig skilnad mellan olika slag af järnsorter. Till och med olika delar af samma järnbleck visa sig märkbart olika. Ewings apparat medgifver en för tekniken lämplig pröfning häraf. Apparatsen (se fig. 46) verkan beror på uppmätningen af det mekaniska arbete, som alstras vid förändringen af järnprofvet magnetism, och detta arbete angifves vid jämförelse med normalprof. Dessa äro tunna bleckremsor af 3 eng. tums längd och $\frac{5}{8}$ tums bredd (d. v. s. 7,5 cm. och 1,58 cm.). Sex eller sju sådana remsor af de för transformatorer använda

järnblecken eller ock ett mindre antal af de för dynamo-maskinernas järnkärnor begagnade blecken, hvilka vanligen äro af större tjocklek, hopläggas och anbringas i en liten press *a*, tillhörande apparaten, i hvilken de betäckas med en vulkanitskifva och fastklämmas med två skrufvar *b*, *b*. Medels en friktionsutväxling *cd* sättes pressen jämte bleckremssorna i rotation vid kringvridning af en handvef mellan polerna till en böjd stålmagnet *e*. Härigenom meddelas järnet oupphörligt växlande magnetism. Mellan magneten och järnet äger en växelverkan rum, i följd hvaraf magneten sträfvär att följa med vid rotationsrörelsen. Emedan magneten är upphängd så, att den kan vrida sig kring en horisontal egg *f*, riktad efter rotationsaxelns förlängning, afviker den en vinkel, hvilken med en visare iakttages och utgör ett mått på den genom hysteresis förorsakade effektförlusten. Afvikningen beror nämligen på den skilnad i verkan, som äger rum under de olika delarna af den cykliska förändring järnet undergår vid magnetiseringen och demagnetiseringen. Genom jämförelse mellan resultaten af försök, gjorda med användande af den ballistiska metoden och med den nu beskrifna apparaten har Ewing ådagalagt, att afvikningen är ganska nära proportionel med den genom hysteresis föranledda effektförlusten. Men för att bekvämare kunna verkställa undersökningen äro två normalprof bifogade apparaten, hvilka äro pröfvade medels den ballistiska metoden, och effektförlusten är angifven för dem i erg per kbc. och per cykel vid en magnetisk induktion af $B=4000$. Vid undersökningen af andra prof jämföras de afvikningar dessa åstadkomma med dem normalprofven lämna. Vid en Tekniska Högskolan tillhörig sådan apparat äro förlusterna vid de båda normalprofven märkta *A* och *B* följande:

	i erg per kbc. per cykel	i watt per lb vid en frekvens 100
<i>A</i>	670	0,39
<i>B</i>	2000	1,18

Antages järnets hysteresis till 1 vid $B=4000$, är den relativa hysteresis vid

$B=2000$	0,33
2500	0,47
3000	0,63
4000	1,00
5000	1,41
6000	1,89
7000	2,41
8000	3,00

Vid Ewings apparat böra följande omständigheter uppmärksammas. Det vid magnetismens förändring alstrade arbetet är oberoende af frekvensen, så snart denna icke är nog stor för att märkbart föröka de inducerade strömmarnas arbete. I följd häraf är magnetens afvikning oberoende af rotationshastigheten, och det är därför icke nödvändigt att vefvens rörelse är fullt likformig. Så snart en viss hastighet uppnåtts, kan denna ansenligt växla utan att afvikningen förändras. På det att icke densamma må blifva för stor, användes en hämmingsinrättning med en liten skifva, som nedgår i en låda med olja. Apparaten känslighet kan regleras med en motvikt g , genom hvilken magnetens tyngdpunkt kan höjas eller sänkas. För att inställa visaren på skalans nollpunkt vid dennas midt begagnas en liten skruf med mutter vid magnetens sida. Med tillhjälp af en arreteringsinrättning, hvilken sättes i verksamhet genom knappen h , kan eggen upplyftas för att skydda den mot nötning.

Vid användandet ställes apparaten på ett stadigt bord vänd mot magnetiska norr eller söder. Eggen sänkes mot agatstödet och regleringen till nollpunkten verkställes, om så erfordras. Lådan fylles med olja, så att skifvan täckes af denna äfven vid magnetens afvikning. Sedan upplyftes eggen ånyo, innan profstyckena insättas. Dessa beredas af ofvan nämnda dimensioner, dock så att de till en början erhålla något större längd och efter hopläggningen i pressen affilas till den rätta längden. Så många remsor tagas, som erfordras för att erhålla en vikt lika med eller något större än ett normalstycke. Det är likväl icke nödvändigt att mycket noggrant justera vikten. Vefven kringvrides långsamt, och under det att detta sker, upplyftes magnetens egg sakta. Sedan vrides vefven så pass hastigt, att visarens utslag blifver stadigt. Man vrider därefter åt motsatt håll, då afvikningen äfven sker åt andra sidan. Medeltal tages af båda utslagen. Innan profstycket borttages upplyftes eggen.

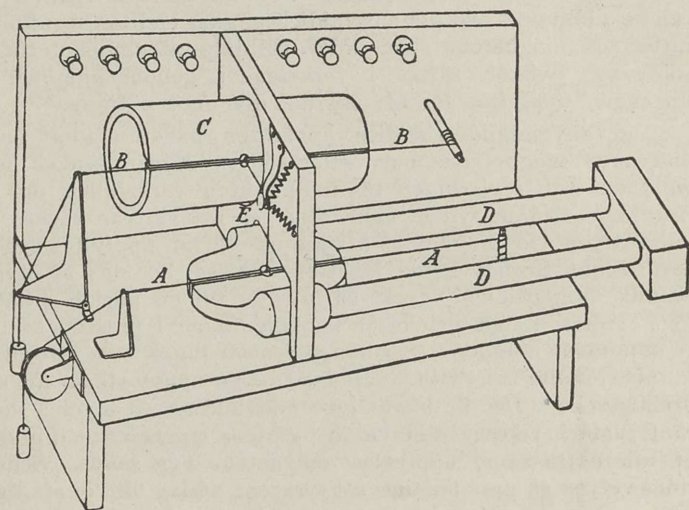
Man kan enklast genom en grafisk konstruktion göra jämförelser mellan normalstyckena och de undersökta profstyckena. Om man nämligen å ett rutadt papper afsätter de båda normalstyckenas hysteresis och motsvarande afvikningar såsom ordinator och abscissor och drager en rät linie mellan de så bestämda punkterna, kan man sedermera genom att afsätta de med profstyckena funna utslagen såsom abscissor erhålla motsvarande värden för hysteresis genom ordinatorna.

Men *Ewing* har äfven uppfunnit en annan apparat, som direkt lämnar sambandet mellan B och H och äfven själf

uppritar hysteresiskurvorna. Fig. 47 lämnar en schematisk framställning däraf. *D, D* äro två profstycken af det material som undersökes, antingen i form af tråd eller af hoplagda band eller remsor. Bäst passar en rektangulär tvärskäring (c:a $2,4 \times 1,2$ cm.) och c:a 45 cm. längd, eller samma dimensioner som två apparaten tillhörande normalprof.

Profstyckena fastklämmas i polskor vid den ena änden och i ett ok vid den andra änden, sedan de blifvit omgifna med magnetiseringsspiraler. Den ström, som föres genom dessa, är proportionel mot fältets styrka *H*; den föres tillika

Fig. 47.



genom den spända tråden *BB*, hvilken ligger uti ett konstant fält, bildadt af det uppskurna järnröret *C*. Tråden uppvärms och förlänges härvid. Dess böjning åt sidan lämnar ett mått på *H*. För att magnetisera järnröret begagnas en konstant ström af några ampère, som föres genom en trådspiral omkring detsamma, och samma ström går äfven genom tråden *AA*, hvilken är spänd så att den ligger uti rummet mellan polskorna. Den vertikala upphöjningen af tråden *AA* gifver ett mått på fältintensiteten och således på induktionen hos de båda profstyckena.

I förening med trådarna *AA* och *BB* står en rörlig spegel *E*. Amplituden vid dennas vridning regleras genom de på trådarna verkande belastningarna. En ljuskälla sänder strålar till spegeln, och dessa återkastas mot en skärm, där

spegelbilden antingen fotografiskt återgifves eller för hand antecknas. Koordinataxlarna erhållas genom att trådarna, när ingen ström genomgår dem, dragas åt sidan.

Andra apparater för samma ändamål äro konstruerade af *Elihu Thomson*, *Gill*, *Searle* m. fl. Äfven har Ewing nyligen konstruerat en magnetisk våg för dylika undersökningar.

35. Steinmetz' formel för beräkning af den genom hysteresis uppkommande effektförlusten. — Den amerikanske elektrikern *Steinmetz* har lyckats härleda en ganska enkel formel, som visserligen endast approximativt, men likväl med en för tekniken tillräcklig noggrannhet anger den af hysteresis härrörande förlusten. Uttryckes denna genom h för en magnetisk cykel och i erg per kubcm. samt betecknar som vanligt B den magnetiska induktionen, d. v. s. antalet kraftlinier per kvcm. af järnet samt η är en för samma slags järn konstant koefficient, är enligt Steinmetz

$$h = \eta B^{1,6} \dots \dots \dots (12)$$

Koefficienten η lämnar ett tydligt begrepp om järnets magnetiska beskaffenhet. Den benämnes *hysteresiskoefficienten*. Ju mindre dess storlek är, desto bättre lämpar sig järnet, såsom vi ofvan antydt, för kärnor till transformatorer.

Steinmetz har genom ganska omfattande försök*) pröfvat öfverensstämmelsen mellan formeln och verkligheten. Vi meddela några resultat af dessa undersökningar.

Hysteresiskoefficienten beror nästan endast på magnetiseringsintensiteten och blott i ringa grad på frekvensen samt är oberoende af om den magnetiska ledningen är öppen eller sluten.

Vid olika frekvens n var hysteresiskoefficienten:

$n = 78$	$\eta = 0,00331$
140	0,00331
207	0,00336,

således nära konstant inom vissa gränser.

Den ofvan gifna formeln kan ganska nära uttrycka effektförlusten genom hysteresis, hvarvid koefficienten η allt efter materialets beskaffenhet har värden mellan 0,002 och 0,025. För olika material erhöles följande värden:

*) The Electrician, 1892, XXVIII, p. 384.

Mycket mjuk järntråd	$\eta = 0,0020$
Järnbleck, mycket tunt	0,0030
" tjockt	0,0033
Mjukt anlöpt gjutstål	0,0080
Gjutstål af ringa mottaglighet	0,0120
Gjutjärn	0,0162
Härdadt gjutstål	0,0250

Koefficienten η beror enligt Steinmetz vida mindre på den kemiska beskaffenheten hos järnprovvet än på dess fysiska beskaffenhet. Genom metallens anlöpning förminskas och genom dess härdning förökas koefficienten ansevärt. Ju renare järnet är, desto mindre blir dess hysteresis, under det att alla främmande inblandningar föröka denna. I synnerhet ökar mangan hysteresis i hög grad, mycket mindre volfram och krom samt minst kisel och kol. Förökningen i hysteresis var alltid åtföljd af förminskning i magnetisk mottaglighet.

Steinmetz bestämde äfven den andra järnförlusten, nämligen genom foucaultska strömmar, och fann den uttryckt i erg per kbcm. att vara $= \epsilon n B^2$, där n betecknar frekvensen och ϵ en koefficient, hvars värde var i medeltal vid de tre ofvan anförda försöken

$$\epsilon = 0,746 \cdot 10^{-6}.$$

I följd häraf kan totala järnförlusten per cykel sättas under formen

$$h_i = \eta B^{1,6} + \epsilon n B^2 \quad \dots \dots \dots (13)$$

36. Du Bois' och Jones' försök öfver nyare järn- och stålsorters magnetiska egenskaper. — Såsom vi ofvan anförde äro under de senare åren betydande framsteg gjorda i fråga om de inom elektrotekniken använda järn- och stålsorter. Vi meddela några försök, hvilka *H. Du Bois* och *E. Taylor Jones* framlagt för fysiska sällskapet i Berlin rörande magnetiseringen och hysteresis hos några af de förnämsta bland dessa materialier. De undersökta proven äro:

- I. Svenskt smidesjärn. *)
- II. Dynamo-gjutstål, från F. Krupp i Essen.
- III. " " " Bergische Stahl A. G.
- IV. Steierskt smidesjärn från Gebr. Böhler & Co i Wien.
- V. Dynamo-gjutstål från Oeking & Co, Düsseldorf.
- VI. Haarlem magnetstål från N. van Wettercu, Haarlem.
- VII. Hårdt magnetstål från Gebr. Böhler & Co.
- VIII. Volframstål från Bergische Stahl A. G.

*) Från hvilket bruk detta härrör uppgifves ej; det hade lämnats af Phys. Techn. Reichsanstalt i Berlin.

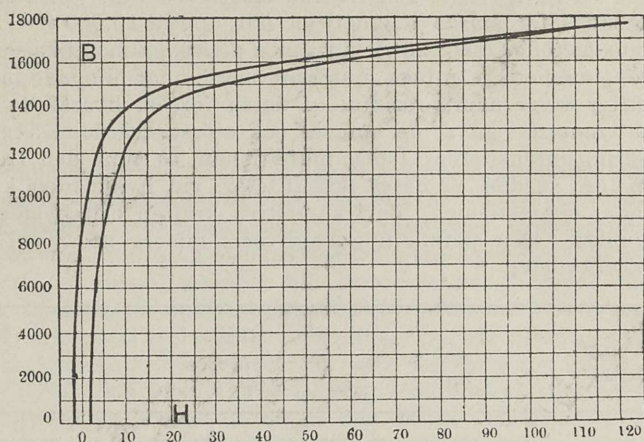
Vid jämförelsevis svagt fält, upp till 250 *C.-G.-S.*, användes en af Du Bois konstruerad magnetisk våg.^{*)} Däremot begagnades för starka magnetiska fält, upptill 15,000 *C.-G.-S.*, isthmus-metoden (se § 26), ehuru med åtskilliga modifikation. För de magnetiskt mjuka materialerna lämnar bifogade tabell uppgifter öfver några resultat af dessa försök, hvaraf de två första raderna gifva de minsta och största värdena å magnetiseringsintensiteten *I* och induktionen *B* samt den tredje raden de värden å dessa kvantiteter, vid hvilka den kvarvarande magnetismen, den koercitiva kraften och hysteresis bestämdes. Den sistnämnda angifves i kiloerg per cykel per kubikcentimeter.

Fältets styrka	I		II		III		IV		V	
	<i>I</i>	<i>B</i>	<i>I</i>	<i>B</i>	<i>I</i>	<i>B</i>	<i>I</i>	<i>B</i>	<i>I</i>	<i>B</i>
5	1000	12550	840	10600	710	8900	760	9500	730	9200
15000	1850	38200	1770	37200	—	—	1850	38200	—	—
—	1380	17400	1420	18000	1450	18400	1460	18400	1430	18100
Kvarv. magn.	550	6900	650	8200	600	7500	550	6900	650	8200
Koercit. kraft	0,8		1,8		1,7		2,0		2,1	
Hysteresis . .	6,6		12,5		13,5		14,5		17,0	

Vi meddela för jämförelses skull (fig. 48) magnetiseringskurvorna till ett gjutstålsprof från Bergische Stahl-Industrie Gesellschaft, hvilket är synnerligen lämpligt för dynammaskiner. Det är undersökt vid Physik. Techn. Reichsanstalt i Berlin. — Det synes af tabellen, att det svenska smidesjärnet, N:o I, hvilket blifvit underkastadt prof, både visat sig äga en hög grad af genomtränglighet för magnetismen som ock en mycket ringa koercitiv kraft och hysteresis, allt egenskaper, som göra det synnerligen lämpligt för järnkärnorna till transformatorer och äfven för dynammaskiner, ehuru man för de sistnämndas magneter nästan alltid använder gjutjärn eller gjutstål. Det uppgifves dock, att Elswicks rena järn äfvensom Jenkins smidda stål skulle vara ännu genomträngligare för magnetismen. Men det synes äfven af dessa resultat, att gjutstål kan framställas, ägande en nära nog lika hög grad af genomtränglighet för magnetismen, som det bästa smidesjärnet, men dess hysteresis är vida större än det svenska järnets. I själfva verket framgår såväl af dessa som andra undersökningar, att en stor genomtränglighet icke alltid åtföljes af en mycket låg hysteresis. Enär den förra egenskapen är af

^{*)} Se denne författares verk: Magnetische Kreise, Berlin 1894, p. 367.

Fig. 48.



hufvudsaklig vikt i fråga om dynammaskiner och den sist-nämnda vid transformatorer, synes det att man numera måste väl åtskilja de för det ena eller det andra af dessa ändamål använda järn- eller stålsorterna. Det är endast efter en omsorgsfull pröfning af dessa, som man kan afgöra hvilket som äger företrädet för elektroteknikens olika behof.

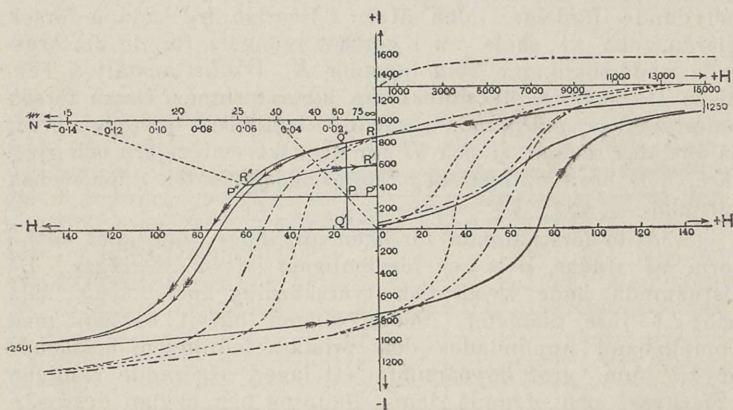
Beträffande de hårda materialerna, innehållas de dem motsvarande uppgifter i följande tabell.

	VI		VII		VIII		
	Hårt	Mjukt	Mycket hårt	Mjukt	Hårt	Mycket hårt	
Fältets styrka . .	± 240	± 240	± 240	± 240	± 240	± 240	± 500
Magn. intensitet .	± 1270	± 1420	± 1150	± 1320	± 1320	± 1250	± 1280
Kvarv. magn. . . .	800	790	600	850	850	800	800
Koercit. kraft . .	56	34	75	35	53	72	77
Hysteresis	210	145	225	140	20	265	275

På grund af dessa försök lämna de båda forskarna en grafisk metod för konstruktionen af permanenta magneter, vid hvilka en betydande remanent magnetism bör förefinnas. Antag att det material, som skall användas, blifvit bestämdt samt att stålet blifvit härdadt och anlöpt. Fig. 49 visar ett antal kurvor, angifvande för tre olika slag af stål sambandet mellan magnetiska fältets styrka H och magnetiseringsintensi-

teten I . Här betecknas de kurvor, hvilka motsvara det mjukaste stålet, med prickade linier, det mycket hårda med full-dragna samt en mellansort med — — —. En med abscissaxeln parallell rät linie N är uppdragen med ordinatan $I=1000$, och på densamma till vänster å figuren äro abscissans skal-delar afsatta tusenfaldigt förstörade, så att t. ex. i stället för $H=140$ finnes på lika afstånd från ordinataxeln skaldelen 0,14. Om nu rätta linier dragas från origo till olika punkter af N , bestämmer en af dessa liniers skärningspunkt med den nedgående grenen af RP'' af hysteresiskurvan det största värdet å den kvarvarande magnetismen. För den skull är å N en andra skala m afsatt, som angifver för en magnetstång

Fig. 49.



förhållandet mellan hennes längd och diameter. Man finner af figuren, att den största möjliga kvarblifvande magnetismen är 800 C.-G.-S., men är $m=30$ reduceras densamma till 700 och för $m=15$ till blott 430 C.-G.-S. Det synes häraf, att vid tillverkning af starka magnetstänger det är lämpligast att icke låta längden understiga trettio gånger diametern. Om det däremot är af större vikt att gifva magneten konstant styrka, äfven om denna icke är så stor, bör den koercitiva kraften vara ansenlig, hvilket sker genom passande val af material samt genom magnetisering i ett starkt fält, åtminstone 500 C.-G.-S., hvarjämte demagnetiseringen bör blifva så ringa som möjligt, hvilket inträffar om det magnetiska tillståndet representeras icke genom en punkt på den nedstigande grenen RP'' utan genom en punkt P liggande inuti öglan ($N=0,046$; $I=300$; demagnetiserande kraften = 13, se fig. 49). En sådan

punkt angifver ett mycket mera stabilt tillstånd. När icke någon ström förefinnes, ligger denna punkt alltid på linien OP mellan origo O och motsvarande punkt på linien N . Magnetiseringsintensiteten PQ' är nu mindre än $Q'Q''$ äfven som den demagnetiserande kraften PP' mindre än värdet $P'P''$. Förhållandet $P'P' : PP'$ är i detta fall $65 : 13 = 5$. Hos goda magneter varierar detta tal, hvilket angifver magnetismens stabilitet, mellan 3 och 6.

37. Försök öfver det svenska järnets magnetiska egenskaper. — Vi ha flera gånger haft tillfälle att i det föregående omnämna undersökningar, vid hvilka svenskt järn provvats i utlandet, något som äfven är lätt förklarligt, då detta järn ofta användes inom elektrotekniken och härför erbjuder betydande fördelar. Men äfven i Sverige äro sådana försök gjorda, och vi skola nu i korthet redogöra för de ömsorgsfulla undersökningar, som ingenjör *K. Wallin* anställt å Tekniska Högskolans elektrotekniska laboratorium. Dessa försök omfatta dels mätningar*) medels ballistiska metoden öfver sambandet mellan H och B för svenskt smidesjärn och gjutjärn, dels bestämningar af hysteretikoefficienten η för svensk järnplåt.

Vid de förstnämnda försöken användes materialet dels i form af trådar, dels ock förnämligast i form af ringar. De sistnämnda hade kvadratisk tvärskäring med 0,5 cm. sida och 7,5 inre diameter. Sedan ringen blifvit beklädd med bomullsband upplindades den primära ledningen, bestående af 1,5 mm. grof koppartråd i ett lager, utgörande vanligen 127 hvarf och ofvanpå denna lindning och mellan dess särskilda hvarf den sekundära lindningen i 126 hvarf med 0,5 mm. grof tråd. Såsom ballistisk galvanometer begagnades Webers multiplikator med astatiskt nålsystem, upphängdt på en fin metalltråd. Afläsningen skedde med tub, spegel och skala. Hela antalet kraftlinier i järnet beräknades af formeln

$$Z = K \cdot \frac{\tau}{\pi} \cdot \alpha (1 + 1,16\lambda) \frac{r}{n} \dots \dots \dots (14),$$

där K är galvanometers reduktionsfaktor, τ tiden i sekunder för en enkel svängning utan dämpning, α galvanometers första utslag, $\lambda = \log k$, där k är dämpningsförhållandet, d. v. s. det konstanta förhållandet mellan två på hvarandra följande svängningsbågar, r motståndet i galvanometers strömkrets

*) Se vidare häröfver en afhandling af ingenjör Wallin i Teknisk Tidsskrift, 1894.

samt n antalet trådvarf i den sekundära trådlindningen kring järnet. Enheterna införas här i absolut mått. Tiden τ bestämdes genom att iakttaga tiden för ett stort antal svängningar och dividera med detta antal; likaså erhöles k genom medeltalet af flera observationer. Vid det använda instrumentet var $\tau = 13,89$ sek.; $\lambda = 0,1665$. Reduktionsfaktorn för detsamma var i ampère

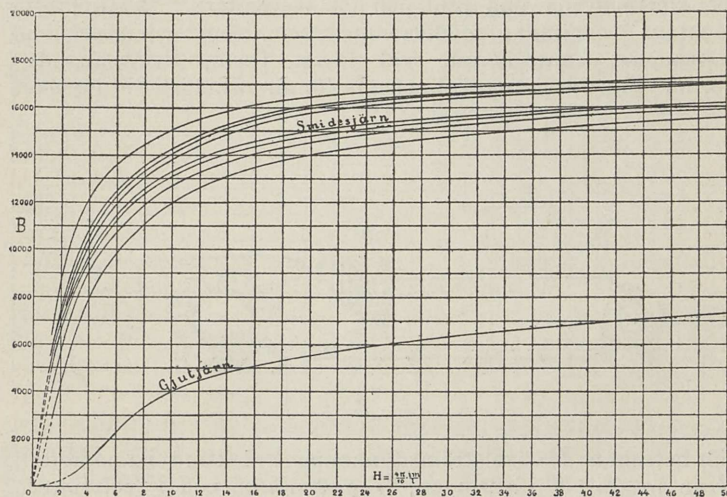
$$K = 0,439 \cdot 10^{-6}.$$

På grund häraf erhöles för $n = 126$ och $r = 45$ ohm $= 45 \cdot 10^9$ absoluta enheter

$$Z = 82,6 \cdot \alpha.$$

Resultaten af försöken med några svenska smidesjärnsorter meddelas i fig. 50, äfvensom en kurva motsvarande

Fig. 50.



medelvärdena af försöken med fyra ringar af svenskt gjutjärn. I kurvorna uttrycka abscissorna magnetiserande kraften per cm.

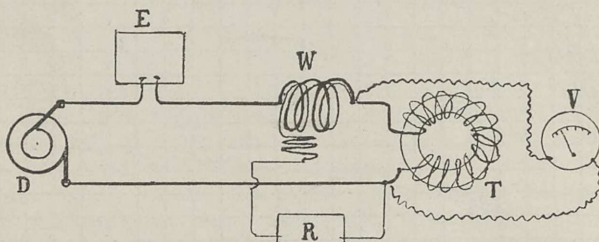
$$H = \frac{4\pi im}{10 l}$$

samt ordinaterna B antal kraftlinier per kvcm. af järnets tvärskärning.

Vid försöken öfver hysteresis användes ringar af järnplåt med 0,5 mm. tjocklek och med 18 och 11 cm. diameter, af

hvilka 60 till 120 hoplades med isolerande pappersmellanlag till en ringformig järnkärna. Denna omlindades först med isolerande bomullsband och sedermera med en magnetiserings-spiral af 2,5 mm. grof koppartråd i 60 hvarf. Genom spiralen fördes en växelström af 40 till 110 volt spänning samt en frekvens af 55 till 60 hela perioder per sekund. Energien uppmättes med Allm. Svenska Elektr.-Aktiebolagets wattmeter (se § 50), potentialen med Hartmann & Brauns »Hitzdraht»-voltmeter samt strömstyrkan med elektrodynamometer. För utrönande af självinduktionens inflytande på strömmen i den fina trådlindningen i wattmeters anställdes särskilda försök, af hvilka framgick, att ingen korrektion erfordrades å det af instrumentet angifna wattalet. Lika litet behöfdes någon korrektion för spänningsförlusten genom wattmeters grofva lindning, enär instrumentet är försedt med kompensationslindning. Däremot korrigerades för den effekt voltmetern förbrukade äfvensom för den strömstyrka, som togs i anspråk för wattmeters fina tråd och för voltmetern. Wattmeters konstant bestämdes medels likriktad ström och precisionsinstrument, kontrollerade vid Phys. Techn. Reichsanstalt i Berlin. Fig. 51 lämnar ett schema för anordningen vid försöket.

Fig. 51.



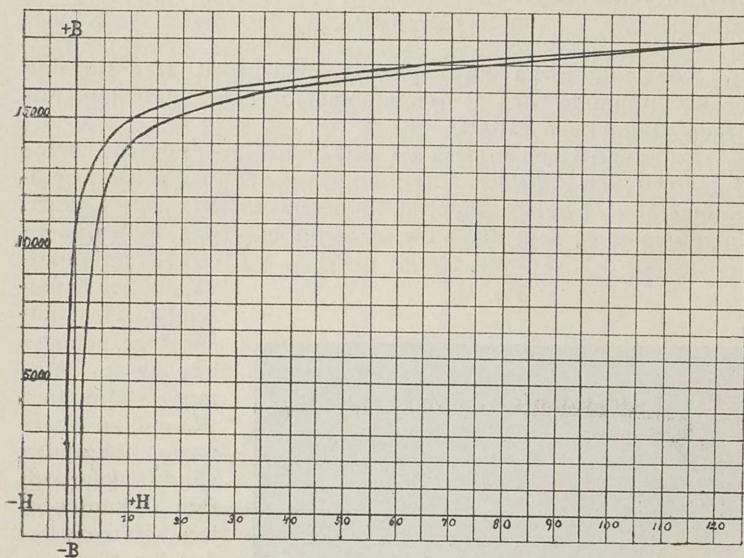
Här betecknar *D* växelströmsdynamon, *E* elektrodynamometern, *R* en reostat, *T* järnringen, *W* wattmetern och *V* voltmetern. Uppdelningen af de medels wattmetern bestämda förlusterna skedde genom beräkning på det sätt, att sedan det uppmätta wattalet blifvit minskadt med $i^2 r$ för trådlindningen, ytterligare afdrag gjordes för foucaultska strömmar. Af de erhållna resultaten må anföras följande försöksserie med åtta proffer järnplåt från samma bruk, alla af samma slag men behandlade på olika sätt:

		Utgilddgad plåt				Ej utgilddgad plåt			
N:o	1	2	3	4	5	6	7	8	
η	0,0024	0,0022	0,0023	0,0024	0,0050	0,0048	0,0041	0,0050	

Det minsta värde, som med denna metod erhöles hos det undersökta järnet (från Boxholms bruk), var $\eta = 0,0015$. Men efter ytterligare utglödning af en af plåtarna blef resultatet vid begagnande af *Ewings* nyss beskrifna hysteresismätare $\eta = 0,0012$.

Fig. 52 visar magnetiseringskurvorna till Uddeholmsjärn, hvars hysteresiskoefficient var 0,0016 och arbetet per kbcm. 10,400 erg. Detta prof lämnar den svagaste koercitiva kraft,

Fig. 52.



som erhållits hos de undersökta profven, och värdet öfverensstämmer ganska nära med det värde å koercitiva kraften, som lämnats vid de i § 36 omtalade försök med ett svenskt järnprof. Flera af de gjorda försöken äro anställda för Tekniska Högskolans materialprofningsanstalts räkning.

38. Nya apparater för undersökning af magnetiska fält. — Bland de nya apparater, som de senare åren upfunnits, skola vi inskränka oss till att anföra några få.

Edser och *Stansfields* apparat utgöres förnämligast af en liten rörlig rektangulär ram af fin tråd, upplindad i två platta spiraler, hvilka äro lagda på en glimmerskifva, som uppbäres af två nysilfverband i samma linie, ett å hvardera sidan. Det ena af dessa band är fästadt vid en regleringsskruf för

6. — *Dahlander*.

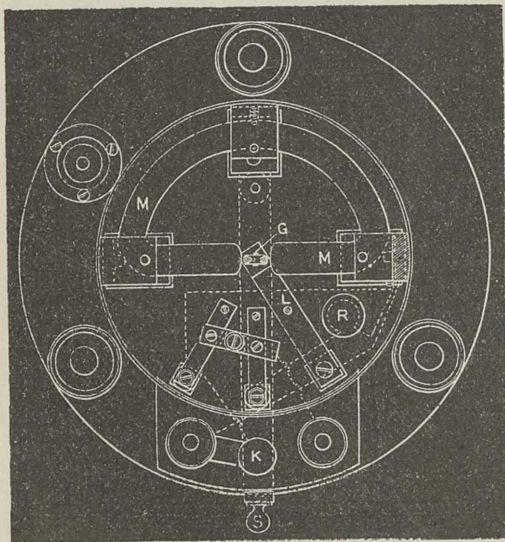
att gifva det behöflig spänning; det andra är fästadt vid en torsionsknapp med en visare, hvilken angiver den torsion, som erfordras för att återföra ramen till det ursprungliga läget. En galvanisk ström från Hellesens torra element genomgår ramen. Det fält, som undersökes, åverkar ramen med en kraft, som beror af strömstyrkan och af ramens läge. I själfva verket erhåller man vid mätningen komposanten parallel med ramens plan. Betecknar C apparatens konstant, som är bestämd genom förberedande försök, δ torsionsvinkeln, R yttre motståndet samt r instrumentets eget motstånd, som är 50 ohm, är fältets styrka

$$H = C \delta (R + r).$$

Konstruktörerna ha begagnat instrument af detta slag för att uppmäta det i dynamomaskinernas omgifning förlorade magnetiska fältet.

En annan äfven engelsk apparat för samma ändamål härrör af *Ayrton* och *Mather*. Den utgöres af en ballistisk galvanometer och en trådspiral, som är fästad på ett skaft. Galvanometern, som fig. 53 visar sedd uppifrån, hvilat på en

Fig. 53.



cirkelformig skifva, hvilken är försedd med treställskrufvar, och den uppbär en C-formig stål magnet M , mellan hvars mot hvarandra vända poler en ram G kan oscillera. Ramens ändar äro förenade dels med ett smalt band af fosforbrons och dels med en spiral fjäder af samma legering. Dessa tjäna såväl till upphängningsom till strömmens införande och äro fästade vid en ebonithatt vid

öfre änden af ett rör, hvilket uppstiger från apparaten. Ramen har af de båda konstruktörerna gjorts till föremål för särskilda

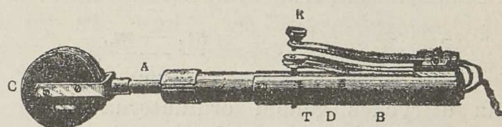
undersökningar för att apparatens känslighet må blifva så stor som möjligt. I enlighet med teoriens fordringar har den gifvits den tvärskärningsform fig. 54 visar. Vid ramen är en visare anbragt, och upphängningen är så mjuk att visaren kan beskrifva ett och ett halft till två hvarf öfver en graderad tafla. Vid den finnes ett motstånd R , som genom en nyckel S kan utestängas från ledningen eller införas i densamma i följd med ramen och hvilken tillika tjänar till att afbryta galvanometerledningen. Skalan å visartaflan är indelad i två hundra delar och angifver omedelbart fältets styrka i absoluta enheter. I vissa fall har graderingen så anordnats, att den angifver microcoulomb, så att produkten af instrumentets utslag med ledningens totala motstånd visar totala förändringen hos induktionen. Detta är i synnerhet af nytta vid försök öfver järnets genomtränglighet för magnetismen, och man kan, ifall motståndet gifves ett lämpligt värde, direkte afläsa den magnetiska induktionen B .

Fig. 54.



Beträffande trådspiralen C (fig. 55), är denna anbragt vid ett skaft A , som kan vridas 180° i handtaget B . Föreningen mellan A och B sker medelst en spiralfjäder, och genom ett stift T erhåller

Fig. 55.



C ett bestämdt läge i afseende å B . Genom en nyckel K lösgöres T och den sluter på samma gång galvanometerled-

ningen, hvarjämte spiralen C vrider sig 180° och återkommer sålunda i sitt ursprungliga läge.

Arean hos spiralen C äfvensom dess antal trådvarf äro så afpassade, att galvanometerens afvikning lämnar induktionen i C - G - S . enheter per kvcm.

Om galvanometerramens plan är parallellt med riktningen af magneten M 's fält (fig. 53), när urladdningen äger rum, uppstår en torsionsvinkel φ , och man har

$$H = \frac{kR}{n} \varphi,$$

då H betecknar den sökta intensiteten, n antalet trådvarf i galvanometerramen, R ledningens motstånd samt k en koefficient, som beror på ramens storlek, de rörliga delarnas tröghetsmoment, fältet i magneten M samt af trådspiralen C . Teorien har för öfrigt visat, att ramens form är af ganska stort inflytande på känsligheten hos instrumentet. En lång

och smal rektangulär ram är den fördelaktigaste, emedan tröghetsmomentet då bliver mindre.

Ayrtons och Mathers apparat*), som är mycket bekväm vid användandet, har med fördel blifvit begagnad vid undersökningen af dynamomaskiners fält samt vid elektriska centralstationer för att pröfva, huruvida mätninginstrument röna inflytande af detta fält.

Righi har upptäckt att en spiral af vismuttråd röner ett förökadt elektriskt ledningsmotstånd i ett starkt magnetiskt fält. Något enkelt samband förefinnes dock icke mellan motståndet och den magnetiska induktionen, men mellan gränserna för B af 6,000 och 19,000 kraftlinier fördubblas motståndet, som då växer nära proportionellt mot antalet kraftlinier.

Hartmann & Braun hafva begagnat denna egenskap hos vismut för en apparat, afsedd att undersöka magnetiska fält. Spiralen är af elektrolytiskt utfälld vismut samt tråden har 1 m. längd och 0,2 mm. tjocklek. Tråden är öfverdragen med en hinna af kollodium för isolering och är hoprullad i en platt spiral af 2 cm. diameter, å hvars båda sidor glimmer blad äro lagda. En kurva å en instrumentet åtföljande tabell visar sambandet mellan antalet kraftlinier per kvem. motsvarande abscissorna samt förhållandet

$$\frac{m_1 - m_0}{m_0},$$

som uttryckes genom ordinaterna. Häri betecknar m_0 det vanliga motståndet hos spiralen och m_1 motståndet hos denna i det magnetiska fältet, båda vid en bestämd temperatur. Å en apparat af detta slag var $m_0 = 48$ ohm samt förhållandet

$$\frac{m_1 - m_0}{m_0} = 0 \text{ å } 0,9.$$

Temperaturen utöfvar här dock stort inflytande.

Vi skola slutligen omnämna en af *E. Bouty* härrörande egendomlig anordning, som nyligen meddelats vetenskapsakademien i Paris. En ledande vätska får utrinna normalt mot kraftlinierna i det magnetiska fält, som skall undersökas. Med tillhjälp af en kapillär-elektrometer**) bestämmes den konstanta elektromotoriska kraft, som alstras mellan den öfre och den undre sidan af vätskestrålen. Med kännedom om

*) Den tillverkas af R. W. Paul i London, 44 Hatton Garden.

**) Om kapillär-elektrometern se förf. arbete »Elektriciteten», 1882, p. 252.

utströmningsmängden kan man här af beräkna fältets intensitet. Låt nämligen v beteckna utströmningshastigheten hos strålen, hvars genomskärning är rektangulär med dimensionen e i kraftliniernas riktning och l i en däremot och mot utströmningshastigheten normal riktning. Då är den konstanta elektromotoriska kraften

$$E = Hvl$$

Den på en sekund utströmmande volymen är

$$D = vel$$

Häraf följer

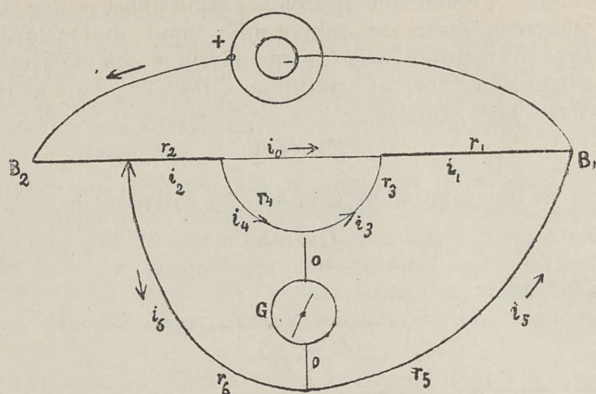
$$H = \frac{Ee}{D}.$$

De använda vätskorna voro kopparsulfatlösningar, såväl mättade som mycket utspädda, utrinnande genom rektangulära ebonitmunstycken. Två kopparelektroder af 1 cm. längd och med en bredd e begränsade noggrant strålens öfre och undre sidor. Den uppmätta elektromotoriska kraften visade sig vara oberoende af koncentrationsgraden, så att i stället för kopparsulfatlösning till och med vattenledningsvatten kunde begagnas. Bouty har låtit utströmningshastigheten variera mellan 0,5 och 17 m. per sekund och funnit, att den elektromotoriska kraften är noggrant proportionel därmed. Han har sålunda kunnat undersöka fält icke starkare än 0,5 C.-G.-S.

Bland villkor man har att uppfylla vid tillämpning af denna metod äro särskildt att anföra: elektroderna böra omsorgsfullt isoleras, och de böra anbringas på åtminstone 5 cm. afstånd från tillloppsörret, så att hastigheten är likformig i tvärskärningen till strålen. Vid 1 till 6 mm. tjocklek kan man dessutom korrigera för fel i sistnämnda hänseende genom att i stället för e sätta $e + 0,13$ mm.

39. Lord Kelvins brygga för uppmätning af små motstånd. — Den berömde fysikern lord *Kelvin* har upfunnit en mycket ändamålsenlig apparat för uppmätning af helt små motstånd, t. ex. af kopparstänger, induktorlindningar o. s. v. Fig. 56 visar ett allmänt schema till denna s. k. dubbelbrygga, hvilken för öfrigt konstrueras med flera olika modifikationer. B_1 och B_2 äro två motstånd, af hvilka B_1 är konstant och B_2 variabelt, S en konstant elektricitetskälla och G en galvanometer. Dessa delar äro satta i förbindelse med hvarandra på sätt figuren antyder, och på denna

Fig. 56.



äro tillika angifna motståndet $r_0, r_1 \dots r_6$ samt strömstyrkan $i_0, i_1 \dots i_6$ i de särskilda grenarna af ledningen. Man har nu följande relationer, då galvanometern är i jämvikt,

$$I = i_1 + i_5 = i_2 + i_6;$$

$$i_1 r_1 + i_3 r_3 - i_5 r_5 = 0;$$

$$i_2 r_2 + i_4 r_4 - i_6 r_6 = 0.$$

Men nu är

$$i_5 = i_6 \text{ och } i_3 = i_4.$$

Häraf följer

$$i_1 = i_2$$

äfvensom

$$\frac{r_5}{r_6} = \frac{i_1 r_1 + i_3 r_3}{i_1 r_2 + i_3 r_4} = \frac{1}{n}.$$

Anordnas bryggan så, att

$$r_4 = r_6 \text{ och } r_3 = r_5,$$

får man

$$\frac{r_4}{r_3} = \frac{r_6}{r_5} = n,$$

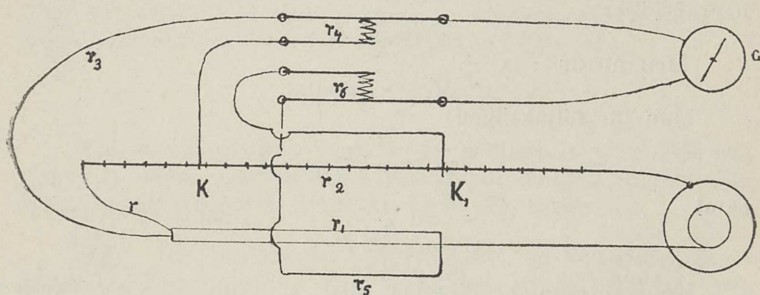
äfvensom

$$r_2 = n r_1.$$

Om nu r_1 är konstant, men r_2 kan förändras, är således vid galvanometerens jämvikt, d. v. s. när strömstyrkan i den till galvanometern gående grenen af ledningen är noll, motståndet r_1 , hvilket skall bestämmas, n gånger mindre än det uppmätta motståndet r_2 . Man kan så anordna, att efter behof n kan vara 1 eller 10 eller 100 samt att för r_2

begagnas en tråd af nysilfver eller platinoid, där 1 m. längd har 1 ohms motstånd. En viss del af denna tråd, begränsad af två flyttbara metallstycken, bestämmer r_2 . Det af fig. 57 gifna schemat lämnar då begrepp om den vanliga anordningen af ledningarna till denna apparat. Å figuren äro motstånden betecknade med $r_1 \dots r_6$, och de stå i det samband med hvarandra vi i det föregående anført.

Fig. 57.



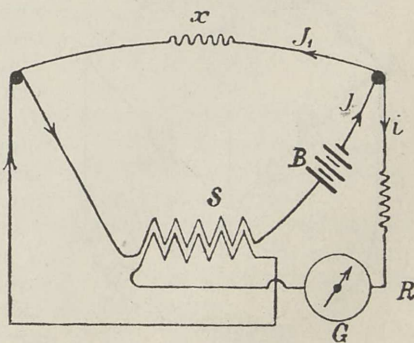
Vid en af dubbelbryggans nya anordningar är den i cirkelform, hvarvid mättråden är anbragt i en smal ränna nära kanten af det cirkelformiga ebonitlocket, vid hvilket motstånd, kommutatorer samt batteri- och galvanometernycklar äro fästade. Afläsningen verkställles med en cirkelring jämte nonie.

Medels dubbelbryggan kunna motstånd ända till 0,001 ohm uppmätas.

40. Några nyare metoder för motståndsbestämningar.

— Vi anføra till en början en af *Pasqualini* angifven metod för uppmätning af små motstånd. Fig. 58 lämnar en schematisk framställning af densamma. X är det obekanta motståndet, S en spiral med två lika trådlindningar, B en galvanisk stapel och G en vanlig galvanometer. Hufvudströmmen I genomgår en af dessa trådlindningar samt grenar sig så att den större delen I_1 genomgår x och en del i galvanometern äfvensom den

Fig. 58.



andra trådlindningen af spiralen i motsatt riktning mot den förra. Spiralen S är anbragt på så sätt vid galvanometern, att den kan åverka dennas nål. Man afpassar motståndet R i den till galvanometern förande ledningen så, att galvanometerns utslag blifver noll. Man har då, om K_1 är galvanometerns konstant och K den konstant, som uttrycker effekten på nålen af hvardera lindningen och vid strömstyrkan 1,

$$Ki = K_1 I - K_1 i;$$

$$I = I_1 + i$$

hvaraf följer

$$Ki = K_1 I_1.$$

Men nu är

$$xI_1 - Ri = 0.$$

Man får följaktligen

$$\frac{i}{I_1} = \frac{K_1}{K} = \frac{x}{R}$$

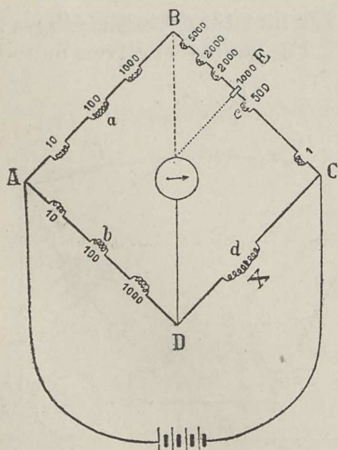
samt

$$x = \frac{K_1}{K} R.$$

Konstanterna bestämmas med tillhjälp af ett bekant motstånd, t. ex 1 ohm.

Med en dylik anordning, där hvardera trådlindningen utgjordes af 4 hvarf och med begagnande af Wiedemanns spegelgalvanometer med 8 ohms motstånd, uppmätte Pasqualini ett motstånd af blott 0,0002 ohm med en ström af 0,004 ampère.

Fig. 59.



Vi vilja slutligen omnämna en af *Lacoiné* härrörande metod för anordnande af Wheatstones brygga, så att därmed möjliggöres uppmätningar äfven af mycket små motstånd. Fig. 59 visar schematiskt denna anordning. Till punkterna A och C ingå ledningarna från stapeln och i vanliga fall äro punkterna B och D förenade genom ledningen till galvanometern. Vid sidorna a och b af bryggan äro motstånd å 10, 100 och 1,000 ohm införda, och vid d det motstånd x , som skall bestämmas. Vid den fjärde sidan c af parallelogrammen äro motstånd å 1, 2, 3 ... 500,

1,000, 2,000, 2,000, 5,000 ohm, tillsammans öfver 10,000 ohm, införda på sätt figuren antyder, så att de stora motstånden komma i närheten af punkten *B*. Men proppar kunna införas för att utesluta dessa motstånd. Vid uppmätningen af ett litet motstånd föres ledningen icke till *B* utan till en punkt *E* på sidan *a* mellan *B* och *C*. Om man sätter proppar vid motstånd 10 och 100 å sidan *a* samt vid 100 och 1,000 å sidan *b*, så återstår mellan *A* och *E* motstånd 1,000 + 5,000 + 2,000 + 2,000 = 10,000 ohm samt mellan *A* och *D* 10 ohm. Följaktligen är förhållandet *b*:*a*, icke såsom förut = 1, utan 1:1000. Man har således af den bekanta analogien, som gäller när galvanometernålen är i jämviktsläget, *a*:*b*=*c*:*d*.

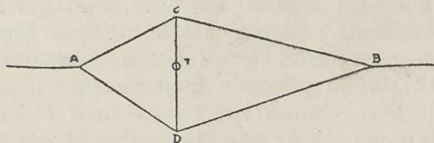
$$d = x = c \cdot \frac{b}{a} = \frac{c}{1000}.$$

Man ser här af, huru det bliver möjligt att på enkelt sätt uppmäta äfven ganska små motstånd, hvilket numera ofta förekommer vid elektrotekniska undersökningar.

41. Om telefonens användande vid elektriska motståndsbestämningar. — Det är bekant, att hörtelefoner ofta användas vid dylika mätningar i stället för galvanometer. Men åtskilliga omständigheter äro härvid att uppmärksamma för erhållande af tillförlitliga resultat, och vi anföra några undersökningar, som *R. Colson* i detta hänseende meddelat vetenskapsakademien i Paris.

Om *ACBD* är schemat till en Wheatstones brygga, så bestämes det sökta motståndet genom att periodiska elektriska vågor sändas till bryggan genom ledningar gående till punkterna *A* och *B*, hvarjämde de öfriga motstånd 10 ohm. Följaktligen är förhållandet *b*:*a*, icke såsom förut = 1, utan 1:1000. Man har således af den bekanta analogien, som gäller när galvanometernålen är i jämviktsläget, *a*:*b*=*c*:*d*.

Fig. 60.



ögonblick, hvilket bekräftas genom att ljudet tystnar i telefonen *T* mellan *C* och *D*. Där fordras för öfrigt att grenarna i bryggan äro fria från självinduktion och polarisation. Men härvid är att iakttaga åtskilliga omständigheter.

Den bekanta lagen för Wheatstones brygga, nämligen att produkten af motstånd 10 ohm. Följaktligen är förhållandet *b*:*a*, icke såsom förut = 1, utan 1:1000. Man har således af den bekanta analogien, som gäller när galvanometernålen är i jämviktsläget, *a*:*b*=*c*:*d*.

denna lag är i fråga om elektriska vågor med hög potential endast gällande under vissa omständigheter, hvilket *Colson* genom försök ådagalagt. Potentialen aftager till en början ganska hastigt, när afståndet ökas, sedan blifver afvikelsen från ohmska lagen mindre i den mån den af vågen genomlupna vägen ökas. Aftagandet af potentialen är hastigare, när denna är högre eller då motståndet är större. — Potentialen hos hvardera af punkterna *C* och *D* härrör af två vågor med motsatta tecken, kommande i motsatta riktningar från *A* och *B*. Om t. ex. punkten *C* är så belägen, att två vågor passera den vid samma tid och med lika stora potentialer, blifver där den resulterande potentialen noll: en telefon, hvars ena pol är i förening med *C* och den andra är isolerad, bringas då till tystnad. Om de båda vågorna passera samtidigt men med olika stora potentialer, uppstår i telefonen ett ljud af samma höjd som den vibrerande källans. Men om de båda vågorna icke passera på samma tid och de äro så vidt skilda, att de i telefonen frambringa skilda verkningar, blifver det uppkommande ljudets svängningstal dubbelt så stort som källans. Dessa olika fall förekomma äfven vid punkten *D*, så att i själfva verket man har att göra med kombinationen af det ena och det andra fallet vid de båda punkterna. Telefonen tystnar blott, när förhållandena äro desamma vid *C* och *D*. Ett sådant fall är lätt att realisera, nämligen då den resulterande potentialen är noll. För den skull väljer man grenarna *AC* och *CB* af bryggan så, att *C* kommer att ligga i det neutrala området och man gör sedermera på samma sätt i fråga om *D*. Telefonen *T* mellan dessa punkter är då tyst.

Den våg, som utgående från *A* har genomlupit *ACB* sänder till *BD* en störning, som gör förhållandet vid *D* mera inveckladt. Antag att vi afbryta föreningarna *CT*, *AD* och ledningen från *B* till strömkällan och i stället förenar den sistnämnda punkten med en trådspiral, så beskaffad att laddningskapaciteten i samband med *B* förblifver oförändrad. Om telefonen då är tyst, beror det på att variationerna hos potentialen vid *D* kommande från *A* öfver *ACBDT* äro otillräckliga för att frambringa nämnda störning. Om telefonen däremot ljuder, måste motstånden *ACB* förökas eller potentialen vid *A* förminskas vare sig genom elektricitetskällans förändring eller genom införande af ett tilläggs-motstånd. På samma sätt finge man gå till väga med de andra vågorna. Slutligen får man undersöka, huruvida icke vågen, som återkommer till *C* efter att ha genomgått hela strömkretsen, äfven föranleder störningar. För den skull tillsättes från *C* motstånd och ledningens ändar bringas i förbindelse med

telefonens ena pol. Om ljud då uppstår, måste motståndet förökas eller potentialen försvagas.

42. Legeringars elektriska ledningsmotstånd. — Öfver detta motstånd äro de senare åren åtskilliga viktiga undersökningar anställda, angående hvilka vi skola anföra några resultat, som kunna vara af tekniskt intresse.

Till en början vilja vi omnämna de af *R. Haas* gjorda försöken med koppar-zink-ledningar. Han undersökte 28 olika legeringar sammansatta af kemiskt rena metaller. Enligt dessa försök är temperaturkoefficienten för den kemiskt rena kopparen 0,004316 samt motståndet per meter och kvmm. 0,01576 ohm. För den rena zinken befunnos motsvarande värden 0,004029 och 0,05683. Största ledningsmotståndet utöfvas af legeringar med 34 % zinkhalt. Det specifika motståndet är då 0,06302 och temperaturkoefficienten 0,002116. Denna legering motsvarar Cu_2Zn , där kopparen och zinken äro kemiskt förenade.

Liknande resultat ha erhållits af *Ball* och *Kaminsky* i fråga om koppar-tenn- samt koppar-antimon-legeringar.

van Aubel har undersökt åtskilliga nya legeringar af teknisk betydelse. Sålunda ett i Essen tillverkad stål, benämndt kruppin. Detta har ett specifikt motstånd af 84,7 mikrohm per kubcm. vid 18°. Temperaturkoefficienten är vid pass 0,0007, men aftager något vid stigande temperatur. Kruppin har således flera gånger så stort motstånd som nysilfver. Det kan upphettas till 600° utan att dess struktur förändras och det kan erhållas vare sig som tråd eller bleck.

Äfven undersöktes nickel-legering från *Fleitmann*, *Witte & Co* i Schwerte (Westphalen) och visade det sig i hårdt tillstånd vid 20° äga ett specifikt motstånd af 50,2 mikrohm och en temperaturkoefficient af $-0,000011$, under det att i mjukt tillstånd dess specifika motstånd var 47,1 mikrohm och dess temperaturkoefficient $+0,000005$. Denna legering benämnes »superior».

Af de andra nya legeringarna med stort motstånd anföra vi:

Manganin från *Isabellenhütte* vid *Dillenburg* med 42,1 mikrohms specifikt motstånd och temperaturkoefficienten $\pm 0,00001$.

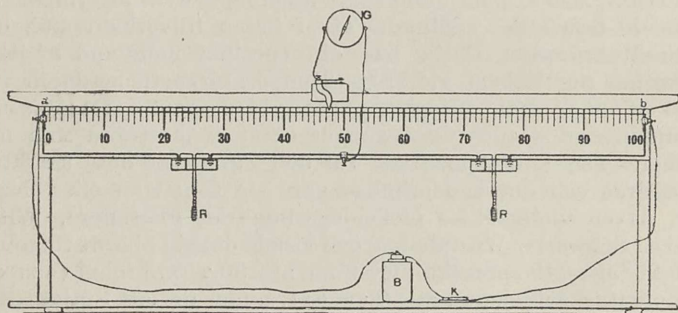
Constantan från *Basse & Selve* med 50 mikrohms motstånd och $-0,00003$ till temperaturkoefficient.

Rheotan från *Geitners* argentanfabrik med 47 mikrohms motstånd och med temperaturkoefficienten 0,00023.

Koefficienterna äro dock icke konstanta, utan de uppgifna värdena gälla blott vanliga temperaturer.

43. Temperatures inflytande på det elektriska ledningsmotståndet. — Vi skola nu redogöra för de af *Fleming* och *Dewar* anställda försöken öfver det inflytande temperaturen och särskildt mycket låga temperaturer utöfva. Undersökningen anställdes ända till -200° och därunder med användande af flytande luft och syre. De omfattade så väl rena metaller som legeringar, och särskild omsorg vidtogs för att erhålla de förstnämnda af fullkomlig renhet. Trådarna voro af 1 till 2 m. längd samt $\frac{1}{12}$ till $\frac{1}{2}$ mm. diameter. De lindades i spiralform öfver en oval cylinder af vulkaniserad fiber, och de särskilda hvarfven åtskildes genom mellanvarande hvarf af paraffineradt silke. Trådarna voro fastlödda vid hvar sin grofva ledningstråd af koppar. Motståndsbestämningen skedde vid fem olika temperaturer, nämligen vid pass 200° , vid vattnets normala kokpunkt och fryspunkt, vid den temperatur, då fast kolsyra smälter i eter, nämligen -78° , och oftast flytande syres kokpunkt vid atmosfärens vanliga tryck, hvilken temperatur är -182° . Till försöken användes

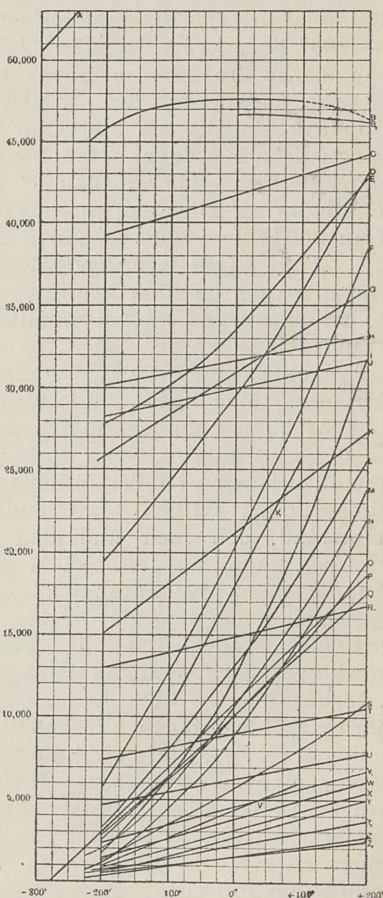
Fig. 61.



en brygga af den anordning fig. 61 visar. *ab* är mättråden, *R*, *R'* två motståndsspiraler, den ena nedsänkt t. ex i kokande flytande luft, den andra i kokande vatten, *B* en galvanisk stapel och *K* en afbrytare. För temperaturesbestämning användes en elektrisk platina-motståndstermometer, hvarvid det befanns att en ren anlöpt platinatråd kan afkylas många gånger till den lägsta temperatur och likväl åter erhålla det ursprungliga motståndet, när den ånyo uppvärms till begynnelsestemperaturen. Det visade sig snart vid försöken, att den låga temperaturen mycket nedsätter motståndet hos de rena metallerna, men icke på långt när så mycket hos legeringarna. Så t. ex. om i bryggan införes två lika järntrådsspiraler, hvaraf den ena omgifves med kokande flytande

luft och den andra med kokande vatten. Motståndens förhållande blir då icke längre 1:1 utan 1:12. Inför man åter en järntråds- och en koppartrådsspiral af samma längd och diameter, så är vid vanlig temperatur järntrådens motstånd omkring sex gånger så stort som koppartrådens, under det att, om järntråden afkyles med den flytande luften till -186° och koppartråden bibehålles vid 15° , den förra tråden visar sig vara omkring 30 % bättre ledare än den sistnämnda. Om däremot nysilfver- eller platina-silfvertrådsspiraler undersökas, förete de äfven vid 200° temperatursänkning föga förändring i motståndet. Fig. 62 visar åskådligt den inverkan temperaturen utöfvar på flera olika metaller och legeringar. Ordinaterna angifva motstånden i absolut mått per kubem. och abscissorna temperaturen efter platina-termometern. Här betecknar *A* manganstål (full skala); *B* manganin; *B*₁ manganin efter anlöpning till 200° ; *C* platinoid; *D* nickelstål; *E* manganstål (half skala); *F* bly; *G* platina-iridium; *H* platina-silfver; *I* nysilfver (koppar-zink-nickel); *J* nickel; *K* thallium; *K*₁ platina-rhodium; *L* tenn; *M* järn; *N* järn*); *O* kadmium; *P* platina; *Q* palladium; *R* Cu 87 %, Ni 6,5 %, Al 6,5 %; *S* zink; *T* Cu 97 %, Al 3 %; *U* Au 90 %, Ag 10 %; *V* magnesium; *X* Al 94 %, Cu 6 %; *Y* aluminium; *Y*₁ guld; *Z* koppar; *Z*₁ silfver.

Fig. 62.



*) Det sistnämnda järnprovet, som visar mindre motstånd, är antagligen renare än det förstnämnda.

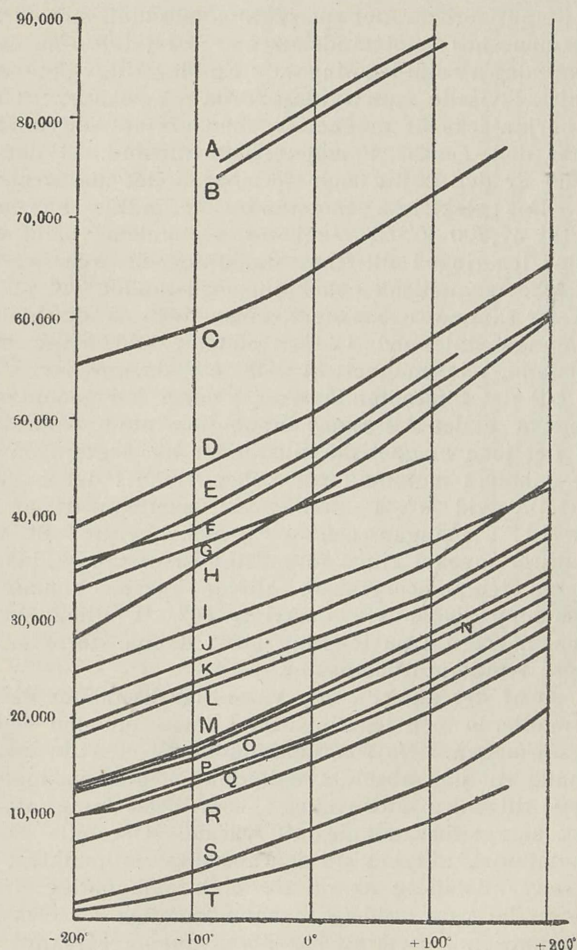
Det synes af figuren, att alla de rena metallernas kurvor konvergera mot den absoluta nollpunkten — 273° , så att vid afkylning till denna temperatur deras ledningsmotstånd helt och hållet skulle försvinna, hvaremot icke någon sådan konvergens äger rum för legeringarna. Den ordning, i hvilken metallerna komma i afseende å den elektriska ledningsförmågan, är olika vid mycket låga och vid vanliga temperaturer. Sålunda är vid 15° rent silfver den bästa ledaren, men vid -200° äger kopparen större ledningsförmåga. För några af metallerna äro kurvorna mycket krökta. De förnämsta magnetiska metallerna, järn och nickel, ha kurvor, som äro mycket konkava uppåt, och detta är äfven betecknande för flera magnetiska legeringar. Medel-temperaturkoefficienten för dessa magnetiska metaller mellan 0° och 100° är mycket större än för andra metaller och procent-förminskningen vid afsvalning från 200° till -200° är större än för någon annan metall.

Hvad angår legeringarna, visar det sig, att om till en ren metall sättes en liten kvantitet af en annan metall, så höjes motståndskurvan nästan parallelt med den öfvervägande beståndsdelens kurva. Så t. ex. är kurvan till legeringen af 6 % koppar med 94 % aluminium parallel med aluminiumkurvorna, men ligger högre upp. 3 % aluminium med 97 % koppar lämnar en legering, hvars motståndskurva är parallel med kopparkurvan, men ligger högre upp. När två rena metaller legeras i olika förhållanden, så är det vanligen någon proportion, i hvilken den bildade legeringen äger ett maximum motstånd, och med undantag för legeringar af zink, tenn, bly och kadmium sinsemellan är legeringens motstånd större än någondera beståndsdel. Flera kända legeringar, som gifva högt, om icke det högsta motstånd, äro de hvilka motsvara bestämda och möjliga kemiska föreningar af metallerna med hvarandra. Sålunda den bekanta platina-silfverlegeringen i förhållande af 1:2, hvilken motsvarar föreningen Pt Ag_2 , järn-nickel-legeringen i förhållande af 4:1, som motsvarar föreningen Ni Fe_4 , platina-iridium-legeringen i förhållande af 4:1, som motsvarar föreningen Ir Pt_4 samt koppar-mangan-legeringen 7:3 motsvarande föreningen $\text{Cu}_2 \text{ Mn}$. Det har emellertid visat sig, att mycket stort motstånd vanligen åtföljes af ringa seghet och böjlighet, och när legeringen uppnår en sådan gräns som 100 mikrohms per kubem., blifver dess värde mindre till följd af försämringen af de mekaniska egenskaperna.

Fleming och Dewar ha särskildt undersökt det elektriska motståndet af stål-legeringar, innehållande olika proportioner. Fig. 63 visar en grafisk framställning af de härvid funna resultaten. Här betecknar *A* nickelstål, 19,64 %, icke magnetiskt; *B* nickelstål, 29,0 %, icke magnetiskt; *C* mangan-

stål, 12 0/0, icke magnetiskt; *D* manganstål, 12 0/0 (tunt), magnetiskt; *E* nickelstål, 19,64 0/0, magnetiskt; *F* nickelstål, 29 0/0, magnetiskt; *G* kiselstål, 2,67 0/0; *H* manganstål, 12 0/0 (tjockt), magnetiskt; *I* aluminiumstål, 0,72 0/0; *J* kromstål

Fig. 63.



1,18 0/0; *K* aluminiumstål, 1,60 0/0; *L* aluminiumstål, 1,16 0/0; *M* nickelstål, 3,82 0/0; *N* nickelstål, 7,65 0/0; *O* kromstål, 9,18 0/0; *P* kromstål, 5,44 0/0; *Q* kromstål, 0,29 0/0; *R* nickelstål, 0,94 0/0; *S* järn; *T* elektrolytisk nickel. Äfven här angifva ordinaterna motstånden i C.-G.-S.-enheter.

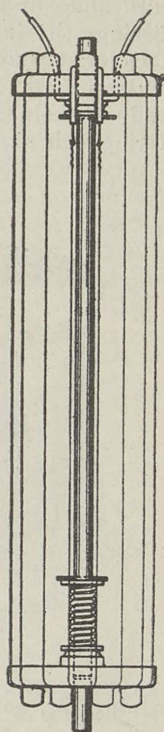
Det synes af denna figur, att den verkan, som uppstår genom att till det rena järnet sättes ett främmande ämne, består i att motståndskurvan upplyftes nära parallel med sig själf, så att samtliga kurvorna till järnlegeringarna blifva nära parallela med den kurva, som uttrycker det rena järnets motståndsförändring. Med andra ord: tillsatsen af det främmande ämnet förökar det specifika motståndet, men förändrar icke formen hos motståndskurvan. Särskildt må anföras några af dessa stål-legeringar. En legering innehållande 19 % nickel visade anmärkningsvärda egenskaper. Om den till en början icke är magnetisk, men afkyles i flytande luft, öfverföres den genast i magnetiskt tillstånd. I det första tillståndet är den böjlig och formbar, i det andra hård och spröd. Det elektriska motståndet förändras härvid från 81,500 till 47,200 C.-G.-S.-enheter per kubem, båda vid 0°. Upphettas legeringen till ljus rödglödning, öfvergår legeringen till det icke magnetiska och böjliga tillståndet. 29 % nickel-stålet visar samma egenskaper, ehuru icke så skarpt utpräglade. Manganstål med 12 % mangan kan äfven finnas i två tillstånd, ett magnetiskt och ett omagnetiskt. Öfvergången till det förstnämnda sker i detta fall genom att det omagnetiska stålet långsamt upphettas utan beröring med luft. I det icke magnetiska tillståndet har legeringen 65,700 C.-G.-S.-enheters motstånd per kubem. men i det magnetiska blott 51,400 vid 0°. — Manganin, sammansatt af 84 % koppar, 12 % mangan och 4 % nickel visar vid vanliga temperaturer mycket ringa förändring i motståndet, men inom vidsträckta temperaturgränser blifver kurvan konkav nedåt och dess topp ligger vid omkring 16°. I allmänhet synes mangans närvaro i en legering gifva denna större motstånd och högre temperaturkoefficient.

Vi se af det anförda den väsentliga skillnaden mellan de rena metallerna och legeringarna i fråga om den elektriska ledningsförmågan. De förstnämnda skulle, om de kunde afkylas ända till den absoluta nollpunkten, genomsläppa elektriciteten till huru stor mängd som helst utan att någon elektrisk energi förvandlades till värme. Öfverallt skulle de rena metallerna, afkylda till den absoluta nollpunkten, kunna utgöra en fullständig skärm för elektromagnetisk strålning, och de skulle vara alldeles ogenomträngliga för elektromagnetisk induktion. Fleming har äfven genom särskilda försök bekräftat att vid afkylning metallerna bilda en skärm mot elektromagnetisk strålning.

44. Induktionsfria motstånd. Fleming har konstruerat ett slag af induktionsfria motstånd, hvilka han med fördel

användt vid undersökning af transformatorer och dylikt. Ett sådant motstånd utgöres af ett eller flera element, hvars anordning fig. 64 visar. Det innehåller två glas- eller porslins-skifvor, som ha 4 eller 8 tappar, och hvilka äro anbragta på en mässingsstång. Den öfre af skifvorna är orubbligt fästad vid stången, den undre är rörlig och skjutes nedåt medels en stark spiralfjäder. Öfver skifvorna och kring tappararna äro en eller flera blanka trådar af platinoid, manganstål, nickelstål eller något annat tjänligt material upplindade, parallelt med stången och på så sätt, att själf-induktionen försvagas samt en stor yta erbjudes för värmeutstrålning och ventilation. Trådändarna förenas med polskrufvarna å den öfre skifvan. Medels fjädern hållas trådarna spända, huru mycket de ock må utvidga sig genom uppvärmningen. Två element sättas vanligen tillhopa i en träram, hvars sidor betäckas med genom-borrade zinkbleck. Lämpligen begagnas 100 ohm motstånd i ett element och tråden afpassas för en ampères strömstyrka. Ett antal af elementen och af ramarna kunna förenas sinsemellan. Fleming använde för undersökning af transformatorerna till »City of London Electric Lighting Co» en följd af dylika apparater, i stånd att upptaga 3 ampère och 2,000 volt. För öfrigt begagnas dessa motstånd vid elektriska laboratorier och profningsanstalter.

Fig. 64.



45. Nyare instrument för uppmätning af strömstyrkan. — Vi skola nu redogöra för några af dessa och till en början för *Ayrton-Mathers* nya galvanometer, hvilken kan anses vara en modifikation af Deprez-d'Arsonvals bekanta instrument af detta slag. Den är afsedd för profrum och elektriska laboratorier. Dess förnämsta delar äro lättare tillgängliga än vid äldre modeller. Fig. 65 visar dess anordning med locket aflyftadt. Galvanometern är stäld på en mässings-skifva med ställskrufvar och med ett cirkelvattenpass. På skifvan hvilar en hästskomagnet, uppburen af tre fötter. Under magnetens poler finnes en isolerad sockel, som tjänar till stöd för ett vertikalt mässingsrör, hvilket är uppskuret framtill till större delen af dess längd. Upphängningstråden är

fästad vid ett torsionshufvud å rörets öfre del, men är icke direkt fastskruvad därvid. Den går först genom ett fint hål i en tunn bronsfjäder, hvilken gifver vika om instrumentet ovarsamt nedsättes och förhindrar trådens bristning. Rörets nedre ände är förenad med ett ebonitstycke, hvarigenom ett mässingsstift ingår, och denna nedre ände är i beröring med en isolerad fjäder, som står i förbindelse med den ena polskrufven. Den andra polskrufven är förenad med den isolerade sockeln. Stiftet är upptill utskuret och förenadt med en ring och skruf för skårans tillslutning. En liknande an-

Fig. 65.

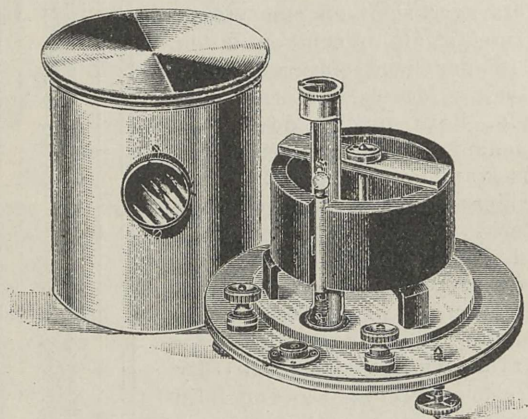


Fig. 66.



ordning är, som fig. 66 visar, viddagen med ändarne af det rör, hvilket innehåller trådspiralen hvarpå magneten verkar och vid hvilken spegeln är fästad.

Arnouxs ampèremeter har en rörlig på tappar hvilande trådspiral, i form af en liten krans af koppar, som är isolerad med silke och hvars ändar äro fastlödda vid två spiralen omgifvande ringar af ren koppar. Dessa ringar äro utskurna ur rör, bildade efter Elmores metod utan lödning.*) Kopparringarnas ändamål är icke endast att gifva stöd åt trådspiralen utan äfven att åstadkomma dämpning, så att nålen utan oscillationer vid hvarje mätning kommer att intaga sitt jämviktsläge.

*) Se förf. arbete: Elektriciteten och dess förnämsta tekniska tillämpningar, 2:dra uppl., p. 659.

Den sålunda bildade ramen (se fig. 67) är förenad med två stältappar, hvilande på underlag af fina stenar. Två spiralfjädrar $s s'$ af icke magnetisk metall föra strömmen till ramen och motväga tillika det elektromagnetiska kraftparet, när en ström genomgår instrumentet. Vid ramen är en aluminiumnål fästad, hvars tröghetsmoment är ytterst ringa. På sätt afbildningen visar omgifves ramen med ett rör, vid hvars midt hattarna med stenarna äro anbragta. I den rörliga ramens inre och fastsatt vid röret är en stålcula F , som sluter den magnetiska kretsen. Det magnetiska fältet bildas af en ringformig stål magnet A , fig. 68, i hvars öppna rum röret införes. Denna magnet är i ett stycke, af den form afbildningen visar, utan särskilda polstycken. Erfarenheten har nämligen visat, att hopsättningen af flera stålblad lämnar vid samma volym hos magneten ett mycket starkare fält, men detta försvagas täm-

Fig. 67.

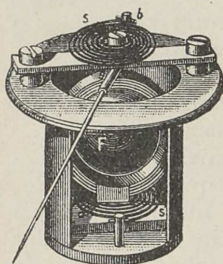
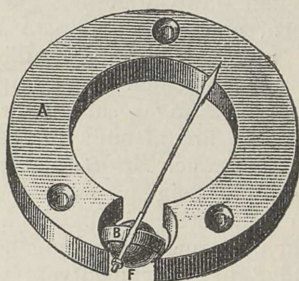


Fig. 68.



ligen hastigt med tiden, så att det slutligen bliver svagare än det fält, som erhålles med en magnet af ett enda stycke. Användandet af särskilda polstycken skulle icke blott föröka det magnetiska ledningsmotståndet, utan tillika föranleda magnetiska derivationer, som försvaga fältet och förminska instrumentets känslighet. Stålet är härdadt och äfven anlöpt, emedan därigenom den koercitiva kraften bliver vid pass 40 C.-G.-S.-enheter i stället för 30, hvarjämte magnetismen bliver mera stabil. Trådspiralens motstånd är 0,5 ohm och en ström af 0,05 ampère är tillräcklig för att gifva ett utslag öfver hela skalan. För att uppmäta starkare strömmar anbringas instrumentet i derivation till motstånd, afpassade efter den strömstyrka, som skall uppmätas. Dessa motstånd äro hopsatta af nysilfverbleck med 1 mm. tjocklek, hvilkas ändar äro fastlödda vid två kopparstycken för strömmens införande. De förenas med ampèremetern genom två böjliga ledningstrådar af c:a 1 m. längd, hvilkas ändar äro försedda med

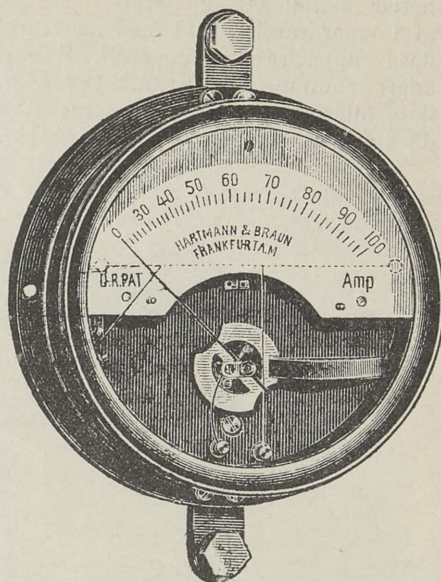
koniska proppar för insättning i motsvarande hål å ampèremetern och motståndslådan. Trådarnas sammanlagda motstånd understiger $\frac{1}{10000}$ ohm, hvilket kan försummas vid sidan af ampèremeters motstånd, som är vid pass 1 ohm. Genom denna anordning blifver det möjligt att med samma instrument uppmäta strömmar af väsentligt olika styrka från mycket svaga och upp till flera tusen ampère. Instrumentet inneslutes i en cylindrisk dosa och motståndet i en särskild låda. Det är lätt transportabelt och mycket passande för elektrotekniska undersökningar.

Westons ammeter. Den bekanta firman »European Weston Electrical Instrument Co» i Berlin utför flera olika typer af ampèremetrar, hvilka äro grundade på samma princip som Deprez-d'Arsonvals instrument för samma ändamål. Vi skola i fråga om nyare voltmetrar återkomma härtill, och vi anføra nu blott bland dem normal-milli-ammeter för likström med shunt i instrumentets inre och hvaraf den största är användbar mellan gränserna 0—600 milli-ampère samt normal-ammeter, hvaraf den minsta är graderad mellan 0 och 1 ampère med $\frac{1}{1000}$ ampère afläsbar samt den största är graderad mellan 0 och 100 ampère med $\frac{1}{10}$ ampère afläsbar. Dessutom förfärdigar samma firma ampèremetrar med belyst skala, hvilka äro afsedda för centralstationer.

Hartmann och Brauns elektrotermiska »Hitzdrath»-ampèremeter grundar sig på samma princip som Cardews allmänt bekanta voltmeter, nämligen på den utvidgning en metalltråd lider vid strömmens genomgång. Här begagnas flera parallela trådar af platina-silfver-legering, hvilka med sina ändar äro fästade i skrufvar (se fig. 69). Nära deras midt är änden af en mot de förra vinkelrät mässingstråd fästad med ena änden, under det att den andra änden är fästad med en skruf. Från mässingstråden, hvars diameter är 0,05 mm., utgår nära från midten en kokongtråd, som är upplindad på en liten vridbar rulle och hvilken hålles spänd med en fjäder och därigenom äfven spänner metalltrådarna. Dessa äro isolerade från instrument-ställningen. Skrufvarna, som tjäna till stöd för platina-silfvertrådarna, förenas med ledningarna till elektricitetskällan, så att endast dessa trådar genomgå af den ström som uppmätes. Rullens axel är försedd med spetsar, hvilka uppbäras af rubiner. Vid densamma är en visare fästad, som rör sig öfver en empiriskt graderad skala. När en ström genomgår instrumentet, förlänges platina-silfvertrådarna, till följd hvaraf mässingstrådens ena ändpunkt närmas den andra ändpunkten, och detta föranleder åter att kokongtråden upplindas på rullen, som vrider sig genom fjäderns spänning. Denna rotationsrörelse tjänar till upp-

mätning af strömstyrkan. För att göra instrumentets utslag oberoende af omgifningens temperatur, är den skifva, som uppbär mättrådarna mellan skruftarna, till en del af mässing och till en del af järn och så afpassad, att skifvan har samma utvidgningskoefficient som sistnämnda trådar. En af dessas fästskruftar tjäna tillika för att kunna inställa visaren på nollpunkten. Genom ett med mättrådarna parallelt motstånd kan en del af strömmen upptagas.

Fig. 69.

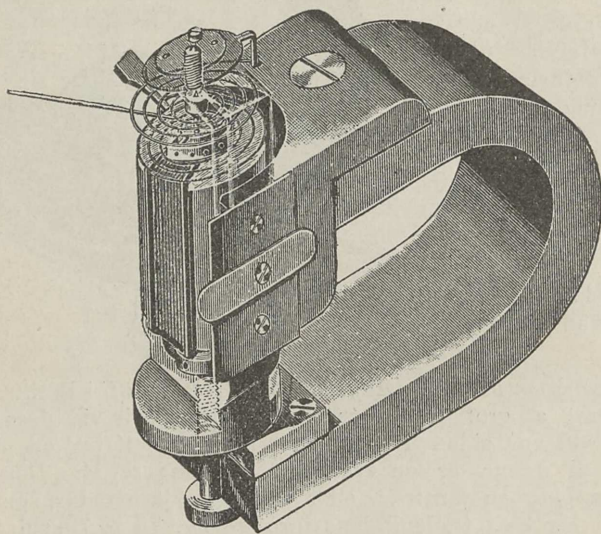


Ampèremeter från Allg. Elektr. Gesellschaft i Berlin. En trådspiral af grof tråd står på en skifva, och vid dess öfre del är vid ena sidan en ståndare anbragt. Kring en punkt upptill å denna är en tvåarmad häfstång rörlig. Den ena delen uppbär en järntråd, eller en knippa järntrådar, som går ned ett stycke i trådspiralens inre (se fig. 78 o. 79, sid. 109). Vid den andra armen till häfstången är en motvikt. Vid häfstångens axel är en nedåt gående visare fästad, som på en empiriskt graderad cirkelbåge angifver strömstyrkan. Vid strömmens gång genom den grofva spiralen neddrages nämligen järntråden, hvarvid visaren vrides så mycket mera ju starkare strömmen är. Vid ampèremetrar för starka strömmar är spiralen bildad af kopparskifvor, som äro uppskurna och genom mellanstycken spiralformigt förenade sins emellan.

Siemens & Halskes precisionsampèremeter är grundad på samma princip som Deprez'-d'Arsonsväls galvanometer (se fig. 70). Den har en $\odot$ -formig stål magnet, hvars öfre del är öppen och vid hvilken polskor äro anbragta, bildande en cylindrisk utskärning. I denna står en ihålig järncylinder. I det 2 mm. breda ringformiga mellanrummet är en trådspole rörlig, hvars stålaxel hvilar på ädelstenar. Vid trådspolens ram är en lång aluminiumvisare fästad, som på en skala angifver strömstyrkan. Strömmen föres till spolen med

två öfver hvarandra liggande platta spiralfjädrar af en omagnetisk metallegering, hvars spänstighet är nästan oberoende af temperaturen. Vid spolens vridning induceras strömmar i dess koppar-ram, som starkt dämpa rörelsen, så att visaren snart kommer till hvila. Dessa instrument förfärdigas för flera olika grader af strömstyrka: de svagaste mellan 0—5, de starkaste mellan 0—1,000 ampère.

Fig. 70.

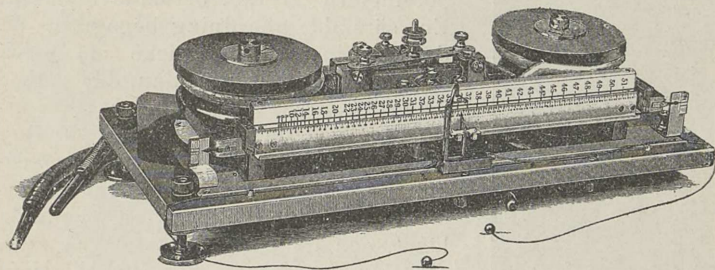


Lord Kelvins har konstruerat ampèremetrar af flera olika slag. Vi anför bland dessa instrumenten för 1,000 och 10,000 ampère, afsedda såväl för växelström som för likriktad ström. De utgöres af en grof trådspiral, hvarigenom hufvudströmmen går, och i denna spiral neddrages en kolf af mjukt järn. Genom en utväxling meddelas rörelsen åt en högre upp belägen visare. Denna anordning är af särskild nytta för stora elektriska centralstationer, och man kan därigenom spara ledningstrådarna till ampèremetern, emedan denna anbringas i själfva ledningen.

Äfven vilja vi omnämna lord Kelvins elektriska vågar för noggrann uppmätning af såväl svaga som starka strömmar, vare sig likriktade eller växelströmmar, genom dessas elektrodynamiska verkningar. De på hvarandra verkande ledarna äro cirkelformiga i ett eller flera hvarf, någon gång blott en del af ett hvarf, och benämnas ringar. Vanligtvis

är hvarje rörlig ring åverkad af två orörliga, alla tre horisontala eller nära horisontala. Två grupper af sådana ringar finnas i hvarje ampèrevåg. I denna äro nämligen två rörliga ringar fästade, en å hvardera änden af en horisontal vågbalans, och de orörliga ringarna äro anbragta öfver och under de förstnämnda. Strömmen går i motsatta riktningar i de båda rörliga ringarna för att motverka inflytandet af jordmagnetismens horisontala komponent eller lokala magnetiska krafter. Ledningen ingår vid balansens tappar genom böjliga trådar. De rörliga ringarnas medelläge är i horisontalplanet nära midt emellan de båda orörliga ringarna på samma sida. I de sistnämnda gå strömmar i motsatta riktningar, så att de rörliga ringarna attraheras af den ena och repelleras af den andra af dem. Vid de för växelströmmar afsedda vå-

Fig. 71.

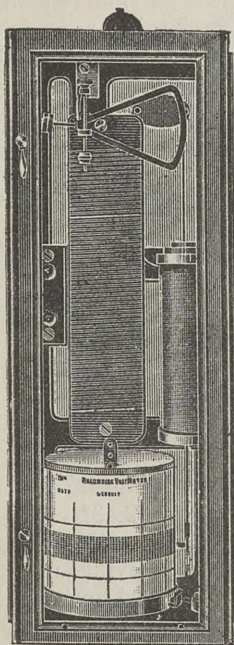


garna äro ringarna bildade af trådlinor, i hvilka de särskilda trådarna äro isolerade från hvarandra medels silkeöfverdrag i ändamål att förhindra elektricitetens ojämna utbredning öfver ringarnas genomskärning. Vågen hålles i jämvikt medels en vikt, som kan föras längs en empiriskt graderad horisontal arm, hvilken är fästad vid balansen. För öfrigt användes en så kallad ryttare såsom vid de vanliga vågarna för underlättande af inställningen. Dessa vågar utföras antingen såsom centi-ampèrevåg för 1 till 100 centi-ampère, eller såsom deci-ampèrevåg för 1 till 100 deci-ampère, eller såsom deka-ampèrevåg för 1 till 100 ampère, eller såsom hekto-ampèrevåg för 6 till 600 ampère, eller kilo-ampèrevåg för 100 till 2,500 ampère ström. Fig. 71 visar exempelvis utseendet af en hekto-ampèrevåg.

46. Nyare voltmetrar. — Vi skola till en början omnämna *Arnoux'* voltmeter, hvilken är analog med denne uppfinnares i § 45 beskrifna ampère-meter. I voltmeteren har

den rörliga ramen ett motstånd af 75 ohm. En ström af c:a 5 milli-ampère är tillräcklig för att gifva nålen utslag öfver hela skalan. I följd med ramen äro anbragta motståndsspiraler med helt liten temperaturkoefficient. Så t. ex. är motståndet hos en voltmeter, som är bestämd att uppmäta spänningar intill 150 volt med 5 milli-ampère $= 150 : 0,005 = 30,000$ ohm, hvaraf 75 ohm i koppar- och 29,925 ohm i nysilfver-motstånd. Voltmetrar af detta slag konstrueras ock för 3,000 volt och därutöfver. — Anordningen af dessa instrument är för öfrigt väsentligen densamma som af ampère-metrarna.

Fig. 72.



Lord *Kelvin* har konstruerat voltmetrar af flera olika slag. Vi anföra af dem till en början en voltmeter, analog med den i § 45 omtalade ampèremetern af den berömda fysikern. En särskild anordning begagnas, på det att instrumentet icke må gifva utslag å den del af skalan, där sådant icke erfordras, t. ex. under 100-volt-strecket. Detta sker medels en liten vikt, som lyftes af den mjuka järnkolfven, när denna uppstigit något öfver det mot nollpunkten svarande läget, och hvilken vikt tages så stor, att den kvarhåller kolfven till dess volt-talet blifver så högt att afläsningen å skalan ifrågakommer.

En annan af lord *Kelvins* voltmetrar är afsedd för själfregistrering. Fig. 72 lämnar begrepp om dess inrättning. Instrumentet utgöres af en lång trådspiral, som gifver ett starkt fält, i hvilket en lång järnkolf ingår med öfre änden. Denna kolf uppbäres

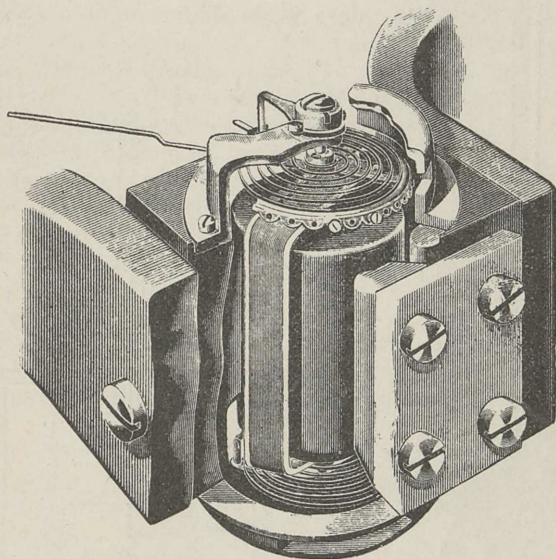
af ett snöre, som går öfver en aluminium-sektor. Vid kolfvens undre ände är en penna fästad, hvilken lätt trycker mot ett papper, som är lindadt kring en roterande vals. Denna sättes i rörelse genom ett urverk, som icke åverkas af strömmen. Dylika voltmetrar utföras för ända till 500 volt.

Siemens & Halskes *precisionsvoltmeter* är analog med samma firmas i § 45 omtalade ampère-meter och är utförd för potentialer ända till 750 volt.

Westons voltmeter är ett af de oftast använda instrument af detta slag. Den är liksom den i § 45 omtalade ampère-

metern från samma firma inrättad efter principen för Deprez-d'Arsonvals galvanometer. Fig. 73 lämnar begrepp om dess inre anordning, sådant instrumentet användes till normalvoltmeter vid laboratorier. För öfrigt må bland denna firmas voltmetrar för likström anföras precisions-voltmetern af tio olika typer, af hvilka de minsta äro afsedda för 0—3 volt och de största för 0—750 volt. Vid åtskilliga af dessa instrument är så inrättadt, att samma voltmeter kan användas mellan 0—3, 0—150 och 0—750 volt, naturligtvis med olika grad af känslighet. Magnetsystemet omgifves på alla sidor af en beklädnad af järn, som nästan fullständigt utesluter allt yttre magnetiskt inflytande.

Fig. 73.



Hartmann & Brauns elektrotermiska voltmeter är grundad på samma princip (»Hitzdraht») som deras ampère-meter, hvilken är beskrifven i § 45. Den för voltmetern begagnade platina-silfvermättråden har vid pass 14,5 ohm motstånd, och den strömstyrka, som erfordras för att sätta instrumentet i verksamhet, är omkring 0,21 ohm, så att det kan begagnas äfven för tämligen liten spänning ända ned till 3 volt. Vid höga potentialer förenas därmed motstånd af konstantan, hvilka äro anbragta vid lådans botten och äro väl ventilerade.

Äfven *Edelmann* i München utför elektrotermiska voltmetrar. Fig. 74 visar dessas yttre anordning. Instrumentets nedre del utgöres af en cylindrisk dosa, som hvilar på tre ställskrufvar, och hvars lock uppbär ett glasrör och en polskruf. I detta rör är metalltråden upphängd på en hylsa, genom hvilken strömmen införes upptill. Fig. 75 visar särskildt den mekanism, hvarigenom trådens förlängning vid uppvärmningen åstadkommer kringvridning hos en spegel. Här betecknar h tråden, som är fastsatt upptill med en tång o vid hylsan och nedtill vid en häfstång H . Denna är rörlig kring en axel, så att dess båda häfvarmar äro l_1 och l_2 .

Fig. 74.

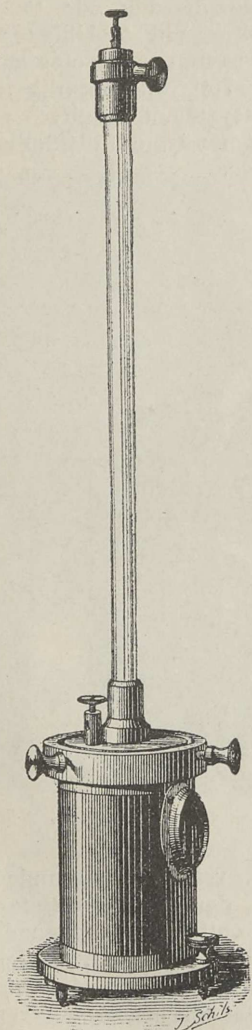
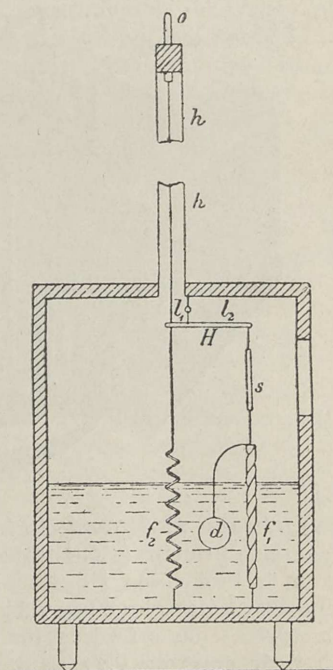


Fig. 75.



Vid dess ena ände verkar en vanlig spiralfjäder f_2 , hvarigenom tråden hålles spänd, vid dess andra ände en annan fjäder f_1 ,

som bildas af en i spiral virad remsa. Mellan f_1 och H är spegeln s anbragt, som på vanligt sätt iakttages med tub och skala. Dessutom är vid f_1 fästad en skifva d , som nedgår i glycerin eller petroleum för dämpning af utslaget. När strömmen, som tillika genomgår en motståndslåda, uppvärmer tråden och dess förlängning, förstoras utslaget medels häfstängen, hvars ena ände höjes, hvarvid fjädern f_1 jämte spegeln kringvrides.

Ayrton och Mathers astatiska voltmeter, som särskildt är afsedd för elektriska kraftstationer, är anordnad med hänsyn till att göra instrumentet oberoende af det omgivande magnetiska fältet äfvensom af elektriska verkningar, som kunna uppstå genom gnidning af dess glasskifva, samt af temperaturrens inflytande. Beträffande det magnetiska fältet inuti en elektrisk centralstation, har det visat sig, att dess intensitet ofta uppgår till 6 och stundom ända till 20 enheter i systemet *C.-G.-S.*, således 30—100 gånger den jordmagnetiska kraften. För att skydda instrumentet mot yttre inverkningar begagnas här tre permanenta magneter och en trådspiral, som är upplindad i tre delar på sätt fig. 76 schematiskt antyder. Den mellersta delen af spiralen är dubbelt så stor som de yttre delarna. Man erhåller sålunda en magnetisk skärm. Instrumentets motstånd är omkring 7,000 ohm och däri ingår blott 3 % koppartråd men 97 % manganintråd, så att temperaturfelen bli ytterst små. Såsom motverkande kraft användes

Fig. 76.

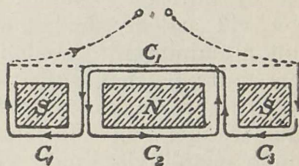
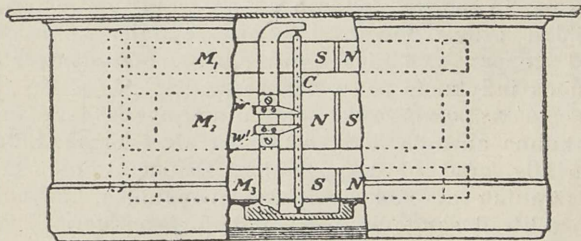


Fig. 77.



tyngdkraften, hvilket visserligen gör att instrumentets ställning icke får rubbas. Fig. 77 visar anordningen. Den tredubbla spiralen (fig. 76) är rörlig kring axeln C och går öfver polerna till de tre cirkelformigt böjda magneterna M_1 ,

M_2 och M_3 , hvarvid trådarna äro så lindade, att alla delar däraf verka i samma riktning. Strömmen kommer till spiralen genom de tunna och böjliga silfverremarna $w w'$. Instrumentet är så känsligt, att en hundradel af en volt kan iakttagas. För att kunna på något afstånd från voltmeteren se huruvida denna angifver en bestämd spänning finnes utom den vanliga på spiralens axel fästade visaren, en annan, som med en knapp kringvrides och gifves den bestämda ställningen. Den förstnämnda visaren är röd, den sistnämnda svart, så att man lätt kan iakttaga, när deras lägen något afvika från hvarandra. När bådas lägen sammanfalla, döljes den svarta visaren helt och hållet af den röda. Instrumentet är graderadt mellan 0 och 120 volt.

En annan voltmeter, äfven härrörande af *Ayrton* och *Mathers*, är elektrostatisk. Här är nålen, d. v. s. den rörliga delen af instrumentet, icke såsom vanligt är vid elektrostatiske apparater upphängd på en tråd, utan lagrad i tappar på stenar och regleras medels en ytterst fin fjäder af ett icke magnetiskt ämne. Nålen är af aluminium och består af två cylindriska segment, hvars armar bilda ett enda stycke. Den vid nålens medelpunkt fästade visaren utgöres af ett tunt aluminiumrör. Nålen bildar ena polen till instrumentet, den andra polen utgöres af två på 3 mm. afstånd från hvarandra anbragta koncentriska mässingscylindrar, mellan hvilka nålen vrider sig. Instrumentet skyddas genom en omgifvande metallhylsa mot yttre elektriska verkningar. Det är försedt med en bottenplatta af ebonit.

Voltmetern från Allg. Elektr. Gesellschaft i Berlin är liksom samma bolags ampèremeter grundad därpå, att en järntråd, eller en knippe järntrådar, som är upphängd fritt rörlig i en spiral af koppartråd, genom hvilken en ström går, neddrages så mycket djupare i spiralen ju starkare strömmen är, d. v. s. ju större spänningen är. Vid voltmeteren, som är afbildad i fig. 78 och 79, utgöres spiralen af mycket väl isolerad koppar- och nickelintråd, hvars förändringar genom strömmens inflytande äro omärkbara.

Cromptons potentiometer. Detta instrument, hvars ändamål är att kunna anställa flera olika slag af elektriska mätningar med en hög grad af noggrannhet genom att reducera dem till bestämning af den elektriska spänningen, innehåller en lång metalltråd samt ett antal motståndsspiraler. Förut har denna tråd tillverkats af en platina-iridium-legering för att så mycket som möjligt kunna uthärda nötning. Sedermera har ett mindre dyrbart material, manganin, blifvit användt därför. En konstant ström föres genom tråden från ett eller flera sekundära element. Ett kontaktstycke är rörligt längs

densamma, och därifrån går en ledning till en galvanometer samt till trådens ena ändpunkt. I denna ledning införes först ett eller flera Clarks normalelement och sedermera de elektricitetskällor man vill undersöka, och galvanometerens utslag reduceras till noll genom kontaktstyckets flyttning. Förhållandet mellan de elektromotoriska krafterna, som efter hvarandra införes i ledningen, angifves genom förhållandet mellan de motsvarande trådlängderna. För undersökning af mycket höga potentialer införes flera motståndsspiraler. Dessutom äro anordningar vidtagna för att med samma instrument kunna pröfva ampèremetrar, elektricitetsmätare o. s. v.

Fig. 78.

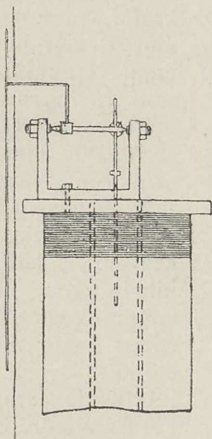
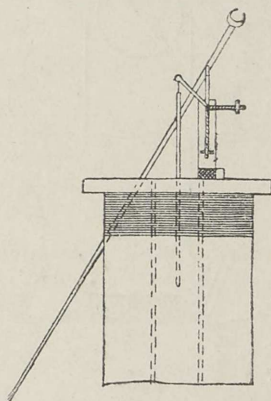


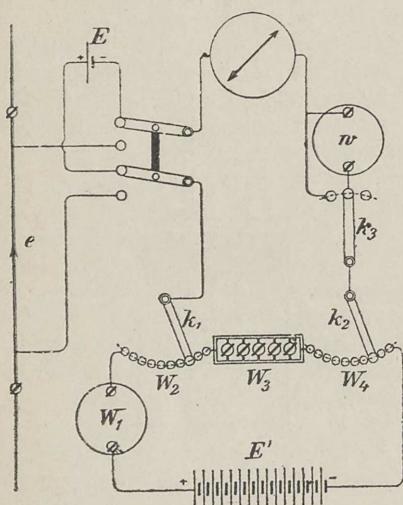
Fig. 79.



47. Feussners kompensator. — Vi skola nu redogöra för en vid fysikaliskt-tekniska riksanstalten i Berlin af *Feussner* konstruerad apparat, med hvilken noggranna mätningar såväl af potentialskillnad som strömstyrka kan äga rum inom ganska vidsträckta gränser. Den har någon likhet med den i § 46 omtalade potentiometern, men här begagnas icke någon mätningstråd med kontaktstycke, hvilken har den olägenheten att om tråden äfven i ringa mån skadas, t. ex. genom afnötning, mätningarna blifva felaktiga. I stället användes vid kompensatorn uteslutande motståndsspiraler, hvilka ligga skyddade i en trälåda, vid hvars öfre del mässingsstycken och proppar äro anbragta för att införa de särskilda spiralerna i ledningen.

Fig. 80 visar schematiskt apparatens inrättning. Den elektromotoriska kraft eller potentialskillnad, som skall bestämmas, är e . En stark, möjligast polarisationsfri elektricitetskälla införes vid E' . Det enkla motståndet W_1 är 90,050 ohm, W_2 är ett vefmotstånd med nio afdelningar, hvardera af 1,000 ohm, W_3 en proppreostat från 0,1 ohm till 50 ohm, W_4 ett vefmotstånd i nio afdelningar, hvardera af 100 ohm. Af vefmotstånden äro alla nio afdelningarna oafbrutet i hufvudströmmen, och från dem grenar sig ledningen genom vefvarna k_1 och k_2 . Hufvudledningens motstånd ligger mellan gränserna 99,950 och 100,050 ohm, och är således i medeltal

Fig. 80.



100,000 ohm. E är ett Clarks normalelement*), hvars elektromotoriska kraft är motsatt riktad mot den i hufvudströmmen. I samma biledning som E finnes en galvanometer samt ett motstånd w af 100,000 ohm, en vef k_3 samt en tvåpolig afbrytare, hvarmed i stället för E den elektromotoriska kraften e kan införas i biledningen. Men om den spänning som skall undersökas ligger mellan gränserna 14 och 1,400 volt införes densamma i stället i hufvudledningen på sätt fig. 81 antyder. Vefven k_3 vrides då ur sitt hviloläge till höger på mellersta kontaktstycket, hvarjämte galvanometernålen, som till följd af den härigenom slutna biledningsströmmen afviker, ånyo bringas till nära jämvikt genom att vefvarna k_1 och k_2 vridas. För att verkställa den fullständiga regleringen vrides vefven k_3

*) Clarks af Feussner modifierade normalelement har till positiv elektrod ett amalgameradt platinableck, hvartill för en genom ett glaströr skyddad platinatråd, och hvilket är omgifvet med en deg af svafvelsyrad kvicksilfveroxidul och jämte denna anbragt i en lercell, samt till negativ elektrod en nedtill omböjd zinkstång. Dennas vertikala del är omgifven med ett glaströr, som äfven innehåller paraffin. Dess horisontala del är amalgamerad och öfvertäckt med zinksulfatkristaller. För öfrigt fylles kärlet med koncentrerad zinksulfatlösning. Om den af riksanstalten i Berlin antagna formen af Clarks element se vidare Teknisk Tidskrift 1898, p. 116.

till vänster, då w utkopplas ur ledningen, och det ånyo uppkommande utslaget bringas till försvinnande genom att förändra motståndet i W_3 . Om r betecknar det mellan de båda vefvarna k_1 och k_2 varande motståndet samt W hela motståndet i strömkretsen e W_1 W_2 W_3 och i strömstyrkan i denna, har man

$$E = ri \text{ och } e = Wi,$$

hvaraf följer

$$e = \frac{EW}{r}.$$

Om Clarks normalelement antages äga vid t^0 temperatur en elektromotorisk kraft

$$E = 1,434 - 0,001(t - 15) \text{ volt}$$

och om W sättes 100,000 ohm, följer häraf

$$e = \frac{100}{r} (1449 - t) \text{ volt.}$$

Lägre elektromotoriska krafter mellan gränserna 0,014 och 14 volt anbringas i biledningen på sätt fig. 80 antyder. Till en början jämför man på sätt vi nyss visat E' med normalelementet E och sedermera genom användande af den dubbel-poliga afbrytaren med den elektromotoriska kraften e . Om galvanometern i båda fallen blifvit bragt till jämvikt och härför erfordrats motstånd r_1 och r_2 mellan k_1 och k_2 har man i förra fallet

$$ir_1 = E \text{ och } iW = E'$$

eller

$$\frac{E'}{W} = \frac{E}{r_1}$$

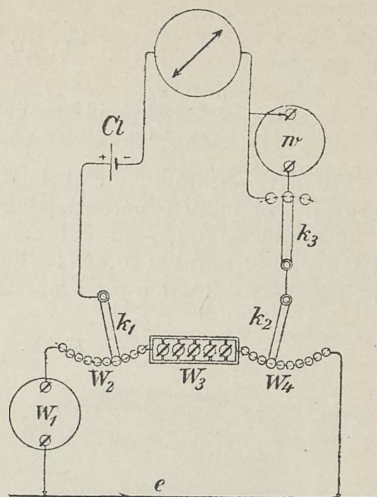
och i det senare fallet

$$i'r_2 = e \text{ och } i'W = E'$$

eller

$$\frac{E'}{W} = \frac{e}{r_2}.$$

Fig. 81.



Häraf följer

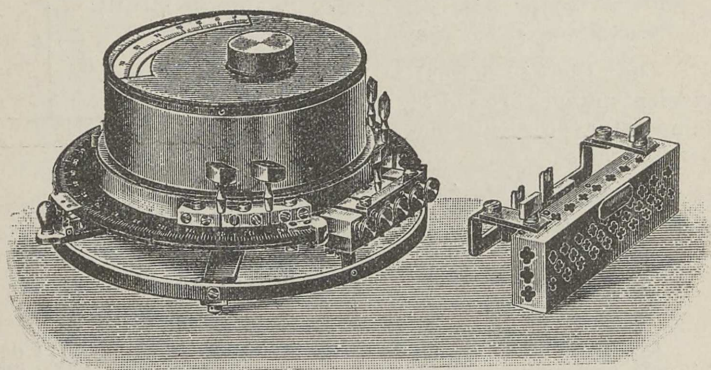
$$\frac{E}{r_1} = \frac{e}{r_2}$$

och således

$$e = \frac{r_2}{r_1} (1,449 - 0,001 t) \text{ volt.}$$

För att bestämma en strömstyrka med tillhjälp af kompensatorn uppmätes potentialskillnaden mellan ändpunkterna till normalmotstånd, som vid c:a 10 ampère är 0,1 ohm och vid c:a 1,000 ampère 0,0001 ohm o. s. v. Genom att dividera potentialskillnaden med motståndet erhålles strömstyrkan.

Fig. 82.



48. Siemens & Halskes nya universalgalvanometer.

— Detta instrument, som vunnit vidsträckt användande å elektriska laboratorier och äfven inom praktiken, har nyligen väsentligen modifierats och förbättrats. Vi skola redogöra för den nya anordningen, hvarom fig. 82 lämnar begrepp. I stället för att det äldre instrumentet har ett astatiskt magnetnålpar, upphängdt på en kokongtråd och åverkad af en orörlig trådspole, har det nya instrumentet den vid moderna precisionsinstrument vanligare anordningen med orörligt magnetsystem och rörlig trådspole. Den nya universalgalvanometern utgör en förening af samma firmas precisions-millivoltmeter och ampèremeter (se §§ 45 o. 46), ägande 1 ohm motstånd med en Wheatstones brygga samt en reostat. Man kan därmed uppmäta såväl motstånd som potentialskillnad och strömstyrka. Den egentliga galvanometern har en mellan spetsar lagrad

kopparram, som är rörlig i ett starkt magnetiskt fält. Två fjädrar af icke magnetisk metall gifva ramen ett bestämdt läge, när den icke åverkas af strömmen, och föra denna till den på ramen anbragta trådlindningen, när instrumentet skall användas. Den elektromagnetiska dämpningen sker genom den slutna kopparramen. Liksom vid det äldre instrumentet finnes nedtill en cirkelformig tafla af skiffer, vid hvars omkrets mättråden är anbragt i en ränna. Tråden omfattar 300° , men graderingen utgår från trådens mittpunkt med 150° åt hvardera hållet. Vid de återstående 60° af taflans omkrets finnes en utskärning, hvars båda radielt löpande sidor äro belagda med metallstycken, vid hvilka mätningstrådens ändar äro fastlödda. Ett kontaktstycke med platina-beläggning är anbragt på en kring instrumentets axel vridbar horisontal arm. Medels ett litet vid denna arms ände fästadt handtag kan kontaktstycket inställas vid hvilken punkt som helst af tråden. Reostatmotstånden äro af manganintrådar, som äro öfverspunna och biflart lindade. Deras ändar ingå till de ofvan omnämnda radiela metallstyckena. Medels metallproppar kan på vanligt sätt det ena eller andra motståndet utestängas ur ledningen. Fem klämskrufvar, hvilka äro lig-gande på ett ebonitstycke i utskärningen till skiffertaflan, äro afsedda till den elektriska strömmens upptagande och fördelning. Batteriet förenas med skrufvarna I och V. Af dessa står I i förbindelse med kontaktstycket samt V med en tangent, vid hvars nedtryckning den förenas med II. Man är därför i tillfälle att låta batteriet verka blott ögonblickligt på galvanometern och undvika trådarnas upphettning. Klämskrufven III är förenad med ena änden af mättråden. Mellan dennas andra ände och skrufvarna II och IV äro jämförelsemotstånden och galvanometern införda.

För att bestämma en tråds motstånd införes den mellan II och III, hvarefter propp insättes mellan III och IV. Genom förskjutning af kontaktstycket och med användande af ett passande jämförelsemotstånd bringas galvanometerns visare till noll äfven vid tangentens nedtryckning. Motståndsmätningar ända ned till 0,002 ohm kunna sålunda utföras. För bestämning af isoleringsmotstånd användes ett batteri med 72 små element i en särskild låda. Två strömmätningar verkställas med samma elektromotoriska kraft, hvarefter isoleringsmotståndet beräknas på grund af ohmska lagen. För uppmätning af spänningen insättas alla propparna med undantag för den mellan III och IV, och då är instrumentets motstånd 1 ohm. En skaddel eller grad motsvarar då en spänning af 0,001 volt, så att mätningen i detta fall sträcker sig

till 0,15 volt. Men om man borttager proppar, kan man utsträcka mätningen till 150 volt.

För att bestämma strömstyrkan med universalgalvanometern begagnas shuntledningar med $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$, $\frac{1}{999}$ och $\frac{1}{9999}$ ohm motstånd, hvilka införas mellan skrufvarna II och IV. Härigenom blir det möjligt att undersöka strömmar mellan 0,001 och 1500 ampère.

49. Undersökning af växelströmmar. — Flera af de instrument vi i det föregående beskrifvit äro användbara såväl för växelström som likriktad ström. Vi skola dock tillägga några anmärkningar, beträffande växelströmmars undersökning i afseende å intensitet och potentialskilnad eller elektromotorisk kraft.

Det är den *verksamma* strömstyrkan I_1 och den *verksamma* elektromotoriska kraften E_1 , som mätinstrumenten skola lämna. Om i betecknar strömstyrkan och e elektromotoriska kraften vid tiden t samt T är en hel periods längd, så har man

$$I_1^2 = \frac{1}{\frac{1}{2}T} \int_0^{\frac{1}{2}T} i^2 dt \quad \text{samt} \quad E_1^2 = \frac{1}{\frac{1}{2}T} \int_0^{\frac{1}{2}T} e^2 dt.$$

Antager man att i och e variera enligt sinuslagen, d. v. s. att

$$i = I \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad \text{och} \quad e = E \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right),$$

blifver

$$I_1 = \frac{I}{\sqrt{2}} = 0,707 I \quad \text{och} \quad E_1 = \frac{E}{\sqrt{2}} = 0,707 E,$$

då I och E äro maximivärdena å i och e under perioden.

Om, såsom ofta är händelsen vid växelström-maskiner, strömmens variationer äga rum på annat sätt än det nu anförda, blifver förhållandet mellan I och I_1 samt E och E_1 äfven olika. Vi återkomma härtill i fråga om nyare växelström-maskiner.

Undersökes en växelström medels en vanlig ampèremeter, hvars verkan grundar sig på strömmens inverkan på mjukt järn, erhålles i allmänhet för litet utslag. Instrumentet bör därför graderas för det antal strömväxlingar och den form hos strömkurvan, som motsvarar den växelström man har att undersöka. För sinuskurvan och med 80 till 100 strömväxlingar i sekunden skulle den för likström graderade ampèremeters utslag behöfva multipliceras med 1,10 å 1,12.

Direkt användbar för ändamålet är Siemens & Halskes bekanta elektrodynamometer samt ännu bättre Hartmann &

Brauns elektrotermiska ampèremeter samt lord Kelvins i § 45 omtalade instrument.

Vid voltmetrarna med spiraler af lång tråd utfövar vanligen självinduktionen stort inflytande. Om de för likströmmars undersökning vanliga instrumenten innehållande mjukt järn begagnas, lämna de vanligen för litet utslag, hvilket bör multipliceras med 1,15 à 1,18 när de användas för växelström. Tillförlitligare resultat lämna dock de efter Cardews princip konstruerade instrumenten samt elektrostatiske voltmetrar (se § 46).

Westons voltmeter för växelströmmar är grundad på principen för elektrodynamometern, men är med stor omsorg anordnad för att upphäfva de fel, som här kunna förekomma. Instrumentet innehålles i en fyrkantig låda, som helst anbringas i horisontal ställning. Den ena trådspiralen utgöres af två i följd varande delar med gemensam axel, men med litet mellanrum. Dess yttre diameter är vid pass 4 cm. och hela höjden 6 cm. Uti dess inre vid midten är den andra trådspiralen rörlig kring tappar, som genomgå det nyssnämnda rummet mellan den första spiralens båda delar. Den inre spiralens höjd blott är omkring $\frac{1}{2}$ cm., sätter genom en friktionsutväxling från den ena tappen en visare i rörelse, som på en graderad skifva angifver spänningen. För att kompensera för temperaturens inflytande finnes en s. k. temperatur-regulator, genom hvilken i ledningen införes små tilläggs-motstånd af olika storlek allt efter anvisning af en i instrumentet anbragt termometer. Instrumentets induktionsfria motstånd äfvensom ett särskildt större tilläggs-motstånd äro af en legering (*Westonlegering*), som har en ytterst liten temperaturkoefficient. För att möjliggöra en hastig afläsning begagnas en bromsinrättning, som snart bringar visaren i jämvikt. Självinduktionens inverkan är här obetydlig.

För uppmätning af mycket hög spänning hos växelströmmar begagnas små transformatorer, med hvilka spänningen nedsattes så att den blifver endast en liten bråkdel af den ursprungliga, hvarefter den lätt kan undersökas med en voltmeter för låg spänning. Detta förfaringssätt är likväl föga noggrant, emedan förhållandet mellan den ursprungliga växelströmmens och den transformerade strömmens potentialer icke är fullt konstant. Belastningen på den sekundära strömkretsen inverkar ganska märkbart på detta förhållande. Detta fann *Peukert**) vid försök med en dylik transformator, när olika glödlampor infördes i den sekundära ledningen, så att dennas

*) Elektrotechnische Zeitschrift, 1898, p. 658.

motstånd förändrades. Då erhöles vid två försöksserier med en frekvens mellan 55 och 43 i medeltal

	Strömstyrka i sekundära ledningen	Primär spänning	Sekundär spänning	Omsättnings- förhållande
Första serien	0,103 ampère	532 volt	29,16	18,24
Andra serien	0,35 »	524,7 »	25,17	20,85

Ett annat sätt för att uppmäta en hög spänning är att fördela denna i flera afdelningar medels likartade induktionsfria motstånd, i hvilka de särskilda spänningarna uppmätas med elektrometers tillhjälp, hvarefter deras summa gifver det sökta voltantalet. För att motverka självinduktionen kunna dessa motstånd lindas bifilart, men visserligen erhålles härigenom endast approximativt resultat, emedan självinduktionen endast förminskas, men icke fullständigt upphäfves.

Peukert har för samma ändamål gjort bruk af kondensatorer. Ett antal n sådana med lika kapacitet anbragtes i följd och laddades med den spänning E man ville bestämma. Om V betecknar den spänning, som uppstår vid de särskilda kondensatorerna, har man

$$E = nV.$$

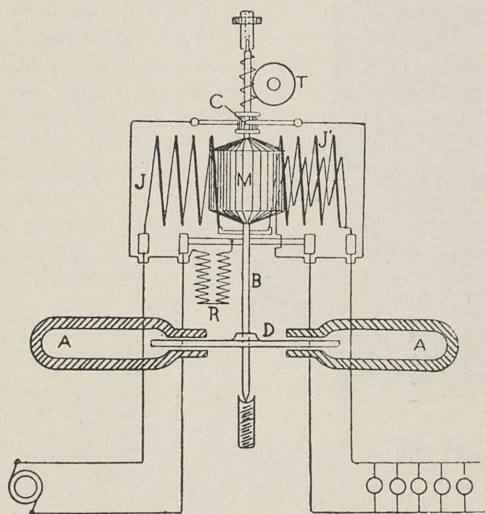
Medels en elektrometer bestämmes V vid en af kondensatorerna. Peukert använder tio sådana med glimmerisolering, hvardera med 135 kvcm. belagd yta, och hvilka äro anbragta i samma låda, så att de med lätthet kunna kopplas parallelt eller i följd. De särskilda kondensatorerna läggas mellan paraffinerade träskifvor. Om någon liten skilnad förefinnes mellan deras laddningskapaciteter, kan denna utjämnas genom att skifvorna tryckas mer eller mindre hårdt mot hvarandra. Lådan utfylles för öfrigt med paraffin. Locket göres af en skifva vulkaniserad fiber och förses med de mässingsstycken hvarigenom kopplingen verkställles. Hvardera kondensatorns laddningskapacitet är 0,00607 mikrofarad. En kvadrantelektrometer användes för den sekundära strömmens undersökning enligt *Jouberts* metod.*)

50. Wattmetrar. Vi skola nu redogöra för några af de nyare instrument, som användas för uppmätning af det elektriska arbetet och den elektriska energien. Till en början vilja vi omnämna *Elihu Thomsons* wattmeter, af hvilken fig. 83 lämnar en schematisk framställning. Instrumentet utgör en liten elektrisk motor med en roterande induktor M

*) Se Elektriciteten och dess förnämsta tekniska tillämpningar, 2:a uppl. p. 62.

samt de två trådspolarna I, I , hvilka sistnämnda motsvara elektromagneterna, ehuru utan järn. På induktorns vertikala axel B finnes en kopparskifva D , som deltagar i dess rotation. Induktorn är sammansatt af spolar med fina koppartrådar, hvilka stå i förbindelse med en kollektor C af silfver samt två borstar af samma metall. Trådspolarna II genomgås af hufvudströmmen, men induktorspolarna blott af en derivation till denna. I samma derivation är tillika infördt ett motstånd R . Betecknar i strömstyrkan och V potentialskilnaden i hufvudledningen är således den kraft, som verkar mellan de fasta och rörliga delarna af motorn, proportionel mot $i V$ och således mot antalet watt i hufvudledningen.

Fig. 83.



För att upptaga det utträttade arbetet finnas stålagneterna A, A , hvilkas poler komma nära intill den roterande kopparskifvan och i denna frambringa foucaultska strömmar. Genom verkan mellan dessa och magneterna retarderas rörelsen, så att hastigheten bliver liten. Genom en utväxling T meddelas rotationen till visarna, som löpa på graderade skifvor. Instrumentet kan tjäna till uppmätning icke blott af likriktad ström utan jämväl af växelström. För den skull är motståndet R induktionsfritt. Axelns nedre tapp hvilar på en urhålkad safr. För att kompensera friktionen är i följd med derivationen en liten spiral införd vid I , hvilken synes till

höger å afbildningen. Hastigheten är proportionel mot det förrättade elektriska arbetet i hufvudledningen.

Siemens & Halskes torsionswattmeter (se fig. 84) liknar samma firmas bekanta elektrodynamometer och har en orörlig trådspole samt en spole af fin tråd i många hvarf upplindad på en rörlig ram. Den grofva orörliga ledningen genomgås af hufvudströmmen, och den rörliga ledningen af en derivation från den förra. Utslaget α bestämmes på samma sätt som vid elektrodynamometern. Betecknar I hufvudströmmens

styrka samt i strömstyrkan i derivationen, har man

$$Ii = k\alpha,$$

där k är en konstant. Men nu är, om V är potentialskilnaden och R motståndet, vid likriktade strömmar samt vid växelström, om icke någon afsevärd själfinduktion finnes i instrumentet,

$$i = \frac{V}{R}.$$

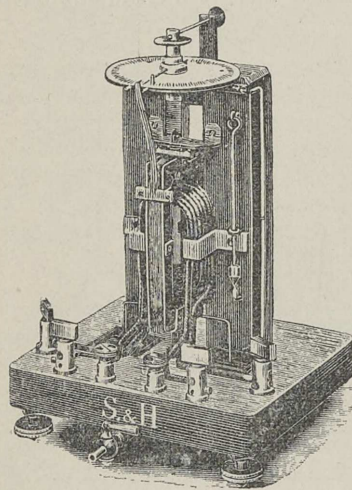
Således har man i detta fall

$$IV = kRa = K\alpha.$$

Utslaget är således proportionelt mot antalet watt i hufvudledningen. Det bör dock anmärkas, att man för att uppmäta det förbrukade

arbetet t. ex. vid en anläggning för belysning med glödlampor använder vid den anordning fig. 84 antyder, förutom den orörliga spolen och den rörliga ramen, ett motstånd, som är infogadt i derivationen. I denna finnes tillika en trådlindning, som går parallelt med den förra, men genomlöpes af derivationsströmmen. — Den orörliga spolen är fästad vertikalt på ett trästativ samt innehåller två trådlindningar, den ena af finare tråd och många hvarf för svagare strömmar, den andra af grof tråd med få hvarf för starkare strömmar. Den rörliga spolen är upphängd på en kokongtråd, och strömmen föres till densamma genom två svaga spiralfjädrar upptill och nedtill. Öfre fjädern tjänar tillika för uppmätning af den afvikande kraften mellan spolarna. För den skull är densamma fästad vid en knapp, som kan vridas kring en vertikal axel och är försedd med

Fig. 84.



en öfver en gradskifva löpande visare. En andra visare, hvilken sträcker sig öfver kanten till samma skifva, är fästad vid den rörliga ramen och kan flytta sig mellan två stift å ömse sidor om gradskifvans nollpunkt. För att dämpa rörelsen äro två i vatten nedgående vingar fästade vid ramen. Vattnet finnes i två små kärl insatta i instrumentets bottenbräde. En arreteringsinrättning för ramen är anbragt vid baksidan af det stativ, som uppbär den fasta spolen. Den utgöres af en skruf och en vinkelhäfstång, hvarmed ramen upplyftes och tryckes mot en däröfver lagd mässingsskifva, när instrumentet icke skall användas. I följd med den rörliga spolen finnes en reostat af rheotantråd, upplindad så att icke någon induktion äger rum. Dess motstånd är så mycket öfverstigande den rörliga spolens, att dennas självinduktion blifver utan väsentligt inflytande. Instrumentet är användbart för strömstyrkor mellan 5 och 120 ampère samt för spänningar mellan 50 och 2,000 volt. På det att dess utslag må blifva oberoende af den jordmagnetiska kraften, bör det inställas så, att den rörliga spolens lindningsplan kommer vinkelrätt mot den magnetiska meridianen.

Allmänna svenska elektriska aktiebolaget tillverkar äfven torsionswattmetrar, hvilka äro grundade på samma princip som de omtalade, men äro något förenklade.

Lord *Kelvins* wattmeter liknar samme fysikers i § 45 omtalade ampèrevåg, men de rörliga spiralerna äro lindade af fin tråd samt äro i följd med ett stort icke induktivt motstånd, och jämte detta anbragta i derivation från hufvudledningen.

Beträffande wattmeterns användande för undersökning af växelströmmar må anmärkas följande:

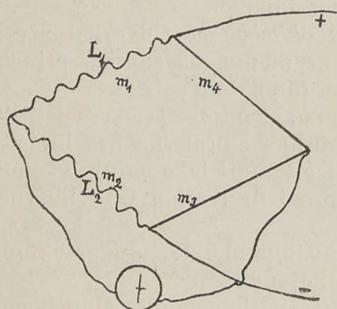
Om man antager att strömmen varierar enligt sinuslagen, så angifves den elektriska energien genom produkten $E_1 I_1 \cos \varphi$, där E_1 och I_1 beteckna den verksamma elektromotoriska kraften och strömstyrkan samt φ den vinkel, som uttrycker fasförskjutningen mellan dessa båda. Men härtill kommer att genom självinduktion i derivationen en fasförskjutning äger rum mellan hufvudströmmen och derivationsströmmen, så att instrumentet i själfva verket angifver ett antal $E_1 I_1 \cos (\varphi - \varphi')$ watt.*) I allmänhet äga dock voltmetrar en så liten självinduktion i derivationen att korrektion icke erfordras, äfven om fasförskjutningen i hufvudströmmen är ansenlig. Likväl skulle i vissa dylika instrument korrektion vara behöflig. Genom särskilda anordningar kan den dock undvikas. Sålunda skulle man medels användande af en kondensator,

*) Se härom en afhandling af *E. Meylan* i *L'Electricien*, 1894, p. 143.

hvarmed självinduktion motverkas, kunna upphäfva denna. *E. Danielson* har i stället gjort bruk af två kompensations-spolar, lika den rörliga spolen i wattmetern och så anbragta, att icke någon ömsesidig induktion mellan dem äger rum. Härigenom är det möjligt att väsentligt förminska självinduktionens inflytande.*)

51. Ayrton & Perrys secohmmeter. Vi skola nu redogöra för ett instrument till bestämning af självinduktionskoefficientens storlek. Det grundar sig på en egenskap hos Wheatstones brygga, hvori två grenar med motstånden m_1 och m_2 äga självinduktion samt de två öfriga med motstånden m_3 och m_4 äro induktionsfria. Om bryggan på vanligt sätt, såsom fig. 85 antyder, förenas med en galvanometer och med en konstant strömkälla samt man afpassar motstånden m_3 och m_4 så, att jämvikt vid galvanometern äger rum, har man

Fig. 85.



$m_1 m_3 = m_2 m_4$.
Om man sedermera i stället för den likriktade strömmen inför växelström och afpassar med oförändrade värden för motstånden i bryggans fyra grenar självinduktionen i m_1 och m_2 så, att jämvikt å nyo inträder, måste på grund af Kirchhoffs lagar följande relationer förefinnas, där i_1 betecknar strömstyrkan i m_1 och m_2 samt i_2 i m_3 och m_4 samt L_1 och L_2 äro de båda självinduktionskoefficienterna:

$$m_1 i_1 - m_4 i_2 = L_1 \frac{di_1}{dt};$$

$$m_2 i_1 - m_3 i_2 = L_2 \frac{di_1}{dt}.$$

Multipliceras den första af dessa ekvationer med m_2 och den andra med m_1 , blifva de vänstra leden i båda ekvationerna lika stora och man erhåller

$$m_1 L_2 \frac{di_1}{dt} = m_2 L_1 \frac{di_1}{dt}$$

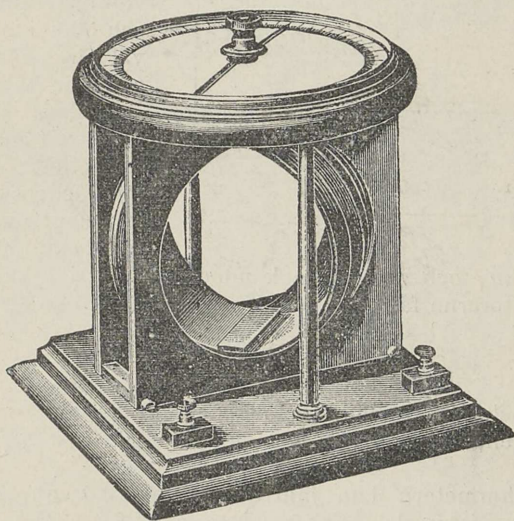
eller

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{m_3}{m_4}.$$

*) Se vidare härom *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1896, p. 700.

Man kan använda denna metod för att jämföra en obekant självinduktionskoefficient L_2 med en bekant sådan koefficient L_1 , hvarvid dock förutsättes, att den sistnämnda kan förändras, så att det sist härledda villkoret uppfylles. För den skull användes den anordning fig. 86 visar med två vertikala trådspiralerna, hvaraf den ena är orörlig och den andra kan kringvridas, hvarvid på en graderad taffla värdet å självinduktionskoefficienten angifves med en visare. På det att undersökningen må kunna verkställas såväl med likriktad ström som med växelström begagnas en inrättning, som

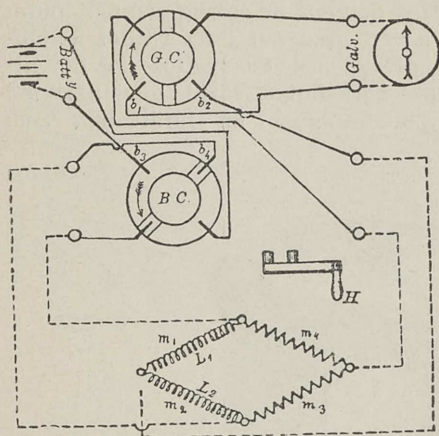
Fig. 86.



hufvudsakligen utgöres af två roterande kommutatorer, hvardera med fyra orörliga borstar eller fjädrar för strömmens upptagande. Dessa kommutatorer äro anbragta på samma axel. De kringvridas med en liten handvef, hvars härfarm kan göras längre eller kortare för att kunna förändra hastigheten. Ledningsschemat för undersökningen visas af fig. 87, hvaraf framgår huru kommutatorerna GC och BC , som för tydlighets skull äro ritade skilda från hvarandra, galvanometern och det galvaniska batteriet äro förenade genom ledningstrådar; H antyder den nyss omtalade handveffen. Den ena med BC betecknade kommutatorn tjänar till periodisk omkastning af strömriktningen, så att en växelström erhålles, hvilken genomgår bryggan, hvarefter samma ström kommer

till den andra kommutatorn GC , medels hvilken strömmen änyo rättvändes, så att den kan undersökas med en vanlig

Fig. 87.



galvanometer. b_1 , b_2 , b_3 och b_4 beteckna kontaktfjädrarna. Hastigheten, hvarmed rotationen sker, behöver icke vara känd, men ju större denna är dess känsligare blir instrumentet. Antalet strömväxlingar är vanligen mellan 300 och 6000 i minuten såväl för galvanometern som för batteriet.

Man kan äfven jämföra två laddningskapaciteter sinsemellan medels samma instrument, och i stället för de induktiva mot-

stånden m_1 och m_2 införa kondensatorerna i bryggan. Om kommutatorerna få rotera och jämvikt fortfarande äger rum, är

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{m_4}{m_3},$$

där C_1 och C_2 äro laddningskapaciteterna samt m_4 och m_3 motstånden, hvarvid C_1 och m_3 samt C_2 och m_4 äro motstående.

Secohmmetern kan jämväl användas för uppmätning af motståndet i en elektrolyt med polarisation. Om i schemat fig. 87, m_1 ersättes med ett vanligt motstånd samt m_2 med elektrolyter samt handvefven kringvrides med stor hastighet, så är vid jämvikt hos galvanometern det obekanta motståndet

$$x = \frac{m_1 m_3}{m_4}.$$

Naturligtvis är det lämpligast att vid dessa försök begagna Kirchhoffs modifikation af Wheatstones brygga.

TREDJE KAPITLET.

De nyare framstegen i likströmsdynamos och motorers konstruktion.

52. Allmänna anmärkningar. Under det senast förflutna årtiondet har konstruktionen af de för likström afsedda dynammaskiner och motorer gjort betydande framsteg. Den starka konkurrens, som ägt rum mellan de många verkstäder, hvilka sysselsätta sig med sådana maskiners tillverkning, har föranlett å ena sidan en sträfvän att göra dessa så fulländade och gifvande så hög verkningsgrad som möjligt och å andra sidan bemödanden att så långt sig göra låter nedbringa tillverkningskostnaden. För den skull förfärdigas dessa maskiners elektromagneter numera nästan alltid med gjutna kärnor antingen af gjutjärn eller af martinstål. Ofta bilda magnetkärnorna, föreningsstyckena och maskinställningen ett hopgjutet helt, men ofta äro de delade i två hälfter samt försedda med poler eller polplattor, som kunna löstas. Elektromagneterna äro vanligen anbragta radielt riktade inåt mot den centralt liggande roterande induktorn (ankaret eller armaturen). Föreningsstyckena mellan kärnorna bilda en ram, som omsluter induktorn. För att kunna med måttlig rotationshastighet erhålla erforderlig elektromotorisk kraft göres maskinen ofta fyrpolig eller med sex, åtta eller ännu flera poler. Sådana maskiner med flera än fyra poler benämnas multipolära. Induktorn är vanligen trumlindad med lika många borstlägen eller borststift som poler. Dess järnkärna hopsättes af tunna bleckskifvor, och trådlindningen nedlägges i utskärningar uttagna vid omkretsen till dessa. För att förminska upphetningen göres maskinen så öppen som det ringformiga omhöljet medgifver. Vi skola för att lämna begrepp om den nu varande ståndpunkten af likströmsdynamos konstruktion redogöra för några af de nyare dynamos af detta slag, som blifvit utförda af de förnämsta fabriker, hvilka

ägna sig åt denna gren af elektrotekniken. I allmänhet gör man bruk af samma maskiner äfven såsom motorer, ehuru i vissa fall och i synnerhet när blott ringa effekt påkallas särskilda former begagnas för de elektriska motorerna.

53. Exempel på några nyare tyska dynamomaskiner för likriktad ström. Af de stora tyska äfven i Sverige verksamma firmorna omnämna vi först den äldsta och allmännast bekanta, nämligen *Siemens & Halske* i Berlin. De af denna firma utförda mindre*) dynamos af ifrågavarande slag för glödlampbelysning tillhöra vanligen den s. k. öfre typen (modell LH), där induktorn ligger upptill mellan de båda polytorna af den hästskoformiga elektromagneten. Dennas kärna, ok och polskor äro af gjutjärn och dess mättningsgrad ringa. Magnetiseringen sker medels två trådspolar i shunt från hufvudströmmen. Trådspolarna äro försedda med grofva träflänsar, fastsatta vid den hylsa, på hvilken tråden är upplindad. Truminduktorns längd och diameter äro nära lika stora, oberäknadt de vid dess ändar fästade skyddshylsorna för trådlindningen. Dess järnkärna är såsom vanligt hopsatt af bleckskifvor utskurna vid omkretsen, så att fördjupningarna afsmalna uppåt. I dessa utskärningar äro t. ex. 12 hvarf af två parallela trådar inlagda. Vid kollektorn användes icke såsom vanligt en ring för gemensam hopslutning af alla lamellerna, utan dessa fasthållas i grupper genom ett antal fastskrufvade ringsegmenter. Härigenom möjliggöres utväxlingen af en lamell utan att de öfriga behöfva lös göras.

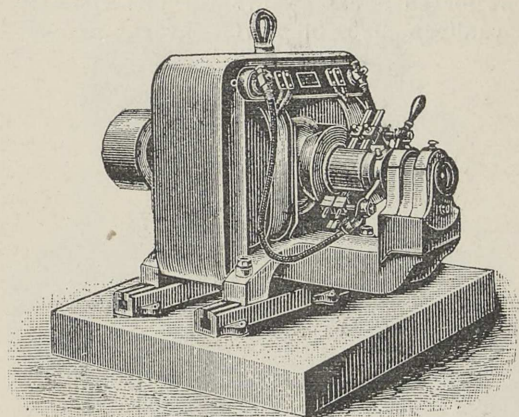
För de stora likströmsdynamos, som erfordras vid elektriska centralstationer, begagnar firman *Siemens & Halske* fortfarande maskiner med inre poler (modell J) för hvilka vi i ett föregående arbete redogjort. Vi återkomma för öfrigt längre fram härtill.

Firman *Elektricitäts-Aktien-Gesellschaft vorm. Schuckert & C:o* i Nürnberg har såsom känt är förut konstruerat likströmsdynamos med flackring samt med två, fyra eller sex poler. Många af dessa maskiner äro i bruk i vårt land. Men de senare åren har denna firma öfvergått till en helt annan typ, öfverensstämmande med den moderna anordningen för likströmsmaskiner enligt de principer, hvarom vi i § 52 talat. De nya maskinerna af mindre storlek äro antingen två- eller fyrapoliga. Deras utseende öfverensstämmer med de af firman *Luth & Rosén* i Stockholm tillverkade maskiner af detta slag, hvilka finnas afbildade i fig. 98, sid. 136. Elektromagneternas kärnor och den ram jämte bottenstycke, som förenar dessa,

*) De största maskinerna af denna typ lämna dock 80 kilowatt.

äro af gjutjärn och hopgjutna i ett stycke. Polskorna äro dock gjutna särskildt och afsvarfvade samt fastsatta medels skrufvar vid kärnorna. Dessa polskor tjäna tillika till kvarhållande af magnetpolarna. Vid en af *Kapp**) undersökt dylik fympolsdynamo för 150 volt och 150 ampère vid 750 hvarf i minuten användes ringinduktor med parallel-lindning och Mordeys anordning för uttagande af strömmen medels

Fig. 88.



två grupper af borstar. Induktorns diameter är 42 cm. och längd 32 cm. Den har 148 spolar af två lager 3,8 mm. grof koppartråd; dess motstånd var varmt 0,0254 ohm. De fyra i shunt anbragta elektromagnetpolarna innehålla hvardera 26 lager af 45 hvarf tråd med 2,1 mm. diameter; deras sammanlagda motstånd varmt var 31,25 ohm. Elektromagnetströmmens styrka var 4,16 ampère. Antalet kraftlinier pr kv.-cm. af induktorns järnkärna var 12,400 samt af polytan 4,550.

Af induktorn lämnades	23,124 watt.
Vidare var förlusten i induktorn genom hysteresis	450 »
genom kopparens uppvärmning	688 »
i lagren	340 »
genom luftmotstånd	150 »

S:a 24,752 watt.

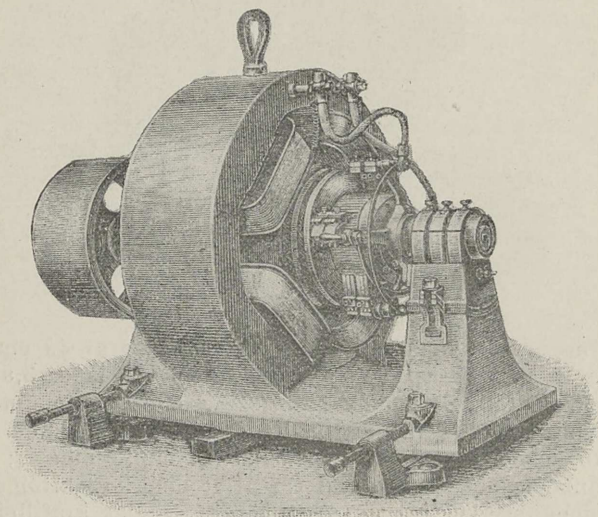
Enär maskinen lämnade 22,500 watt var verkningsgraden

$$\frac{22,500}{24,752} = 91 \, \%$$

*) Elektromechanische Konstruktionen, p. 123.

En tredje af de stora tyska firmorna, hvilka i vårt land utöfvat en betydande verksamhet, är *Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft* i Berlin, som i Sverige representerats genom Hans Mannstaedts elektrotekniska byrå i Stockholm. I regeln använder firman dynamomaskiner konstruerade i öfverensstämmelse med de grunder vi i § 52 omtalat. De smärre maskinerna, intill 18 hästkrafter, äro tvåpoliga (modell NG), som fig. 88 visar, med liggande elektromagneter. De utföras för 65, 90, 110 och 150 volt och för 5—180 ampère strömstyrka samt för en effekt af 0,75 till 11,7 kilowatt. Hastigheten är vanligen 920 till 1,700 hvarf, men för maskiner

Fig. 89.

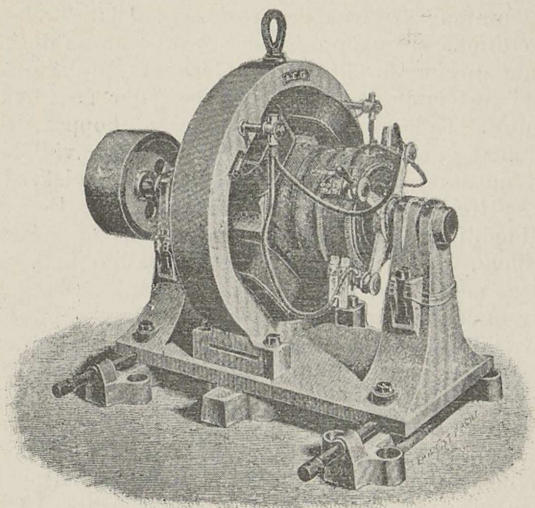


afpassade för långsam gång 475 till 930 hvarf i minuten. Större maskiner göras vanligen fyrpoliga (modell G) med cirkelformig ram och (fig. 89) med de fyra elektromagneternas järnkärnor bildande 45° vinkel mot horisontal- och vertikalplanen. Dessa maskiner utföras för samma voltantal som de tvåpoliga maskinerna men med 60—850 ampère och för en effekt af 9 till 72 kilowatt. Hastigheten är normalt 510—990 hvarf och för maskiner med långsam gång 285—500 hvarf i minuten. De största af dessa maskiner byggas dock sexpoliga.

Vi anföra särskildt bland denna firmas fyrpoliga likströmsdynamos en vid Allmänna konst- och industriutställningen i

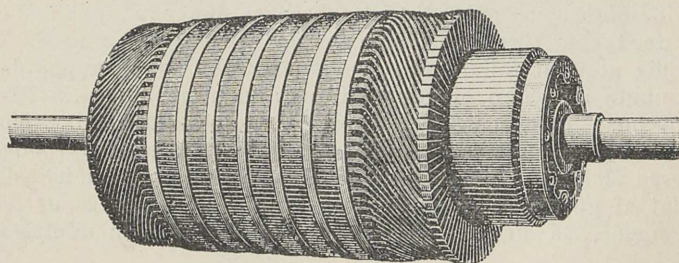
Stockholm år 1897 befintlig sådan maskin med spänningsdelare för treledaresystemet. Denna maskin är afbildad i fig. 90. Ramen är af gjutstål och de radielt inåt vända

Fig. 90.



magnetkärnorna äro korta samt försedda med breda polskor. Dessa omsluta nästan helt och hållet induktorn, så att blott små mellanrum finnas. Lagerbockarna och fotplattan äro af

Fig. 91.



gjutjärn. De fyra låga elektromagnetspolarna äro i följd med hvarandra. Truminduktorns anordning framgår af fig. 91. Den utgöres af en ihålig gjutjärnstrumma, som uppbäres af

två därmed hopgjutna naf, hvilka äro fästade på axeln. Trummans ekrar äga form efter ringarna i en fläkt, och däri-genom främjas induktorns ventilation. Öfver trumman äro de ringformiga från hvarandra isolerade järnblecken anbragta. På det att den magnetiska ledningen nästan uteslutande må försiggå genom dessa bleck och blott i mindre grad genom gjutjärnstrumman är järnets mättningsgrad jämförelsevis liten. Dessutom finnas stora öppningar å trumman på det att luften må komma direkt i beröring med blecken. Induktorledningen utgöres af ett enda lager af kopparstänger med rektangulär tvärskärning. Kollektorn har lameller af koppar, hvilka äro isolerade med glimmer. Kolborstar användas vid denna maskin, och de stå i förbindelse med de båda polskrufvarna till de båda yttre ledarna i treledaresystemet. Den mellersta eller noll-ledningen erhåller ström medels en fristående induktionsspole, hvars ändar genom särskilda ledningar stå i förbindelse med hvar sin af två å induktoraxeln anbragta släpringar med borstar. Dessa släpringar äro förenade med två elektriskt motsatta punkter af induktorledningen. Enär spolen äger hög själfinduktion går endast en svag växelström genom densamma, ehuru dess ohmska motstånd är ringa. Midtpunkten af spolen är förenad med noll-ledningen. Potentialskilnaderna mellan midtpunkten å ena sidan och de båda borstarna i dynamon å den andra sidan äro alltid lika stora, huru ock spänningen i maskinen förändras.*) Härigenom erhålles en reglering af strömmen vid olika belastning å ömse sidor af treledaresystemet, motsvarande den som man vinner på vanligt sätt genom användande af två lika dynamomaskiner.

Beträffande större dynamos för elektriska centralstationer, skola vi längre fram taga dem i betraktande.***)

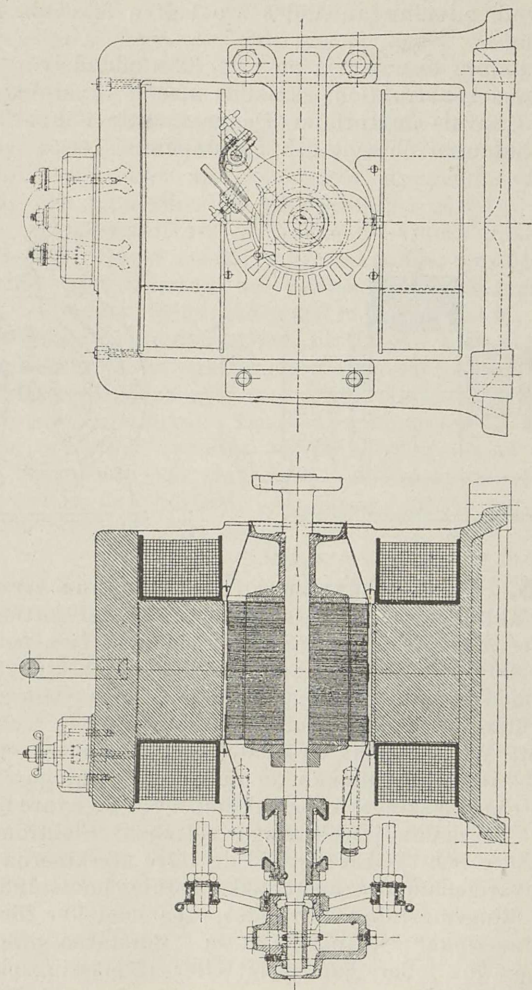
54. Oerlikons likströmsdynamos. — Den berömda Oerlikonfabriken nära Zürich, hvilken länge använde Manchester-typen för likströmsdynamon och bragt denna till en så hög grad af fulländning, som den torde kunna uppnå, har för några år sedan öfvergått till en annan maskintyp, hvilken i hufvudsak öfverensstämmer med de senast beskrifna dynamos. De vanligen använda maskinerna äro två eller fyropoliga. Dessas elektromagnetskärnor och maskinställning äro helt och hållet af gjutgods. Vid de större fyropolsdynamos är detta i två delar, så att induktorn vid reparation kan upplyftas.

*) Se vidare härom Teknisk Tidskrift, Afdeln. f. Mek. o. Elektr. 1897, p. 74 och 1898, p. 27.

**) Om några andra nya likströmsdynamos och motorer, se reseberättelser i Teknisk Tidskrift af ingenjörerna R. Dahlander (1895) och S. Norberg (1898).

Däremot kan vid mindre maskiner ett af lagren borttagas, så att induktorn kan utdragas. — Induktorn är trumlindad vid de vanliga belysningsmaskinerna med lika många borstar som antalet poler. Dess järnkärna är hopsatt af 0,5 mm. tjocka

Fig. 92.

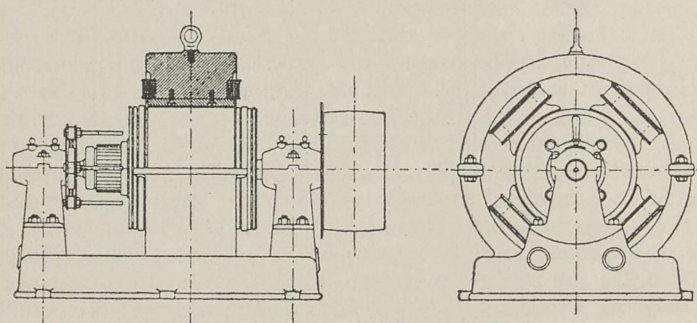


bleck, som isoleras från hvarandra medels pappersblad. Blecken äro försedda med kilformiga uttagningar, och motsvarande kilar på induktorställningen, som är af mässing, passa däremot. Vid järnkärnans omkrets äro rännen eller

hål uttagna för införande af trådlindningen. Vid de största maskinerna är denna af kopparstänger med rektangulär tvärskäring, inlagda en och en i öppna rännor. Kollektorlamellerna äro gjutna af brons. Borstarna äro hopsatta af mycket tunna kopparbleck, som äro hoplödda vid den ena änden. I likhet med hvad allmänt användes äro lagren försedda med ringsmörjning.

Vi anföra exempelvis en i fig. 92 afbildad tvåpolsdynamo af firmans konstruktion, särskildt afsedd för direkt koppling med De Laval's ångturbin. Denna maskin lämnar vid 3,000 hvarf i minuten 65 volt och 25 ampère.

Fig. 93.



55. Likströmsdynamos från Allmänna svenska elektriska aktiebolaget. Detta bolag använder fortfarande den af *Jonas Wenström* härrörande typen med fyra poler och två trådspolar.^{*)} I själfva verket är denna maskin grundad på väsentligen samma principer som de nya maskinerna från de andra stora elektriska bolagen, och man kan icke utan fog säga, att Wenström är en af de ingenjörer, som verksamast bidragit att göra gällande de nu allmänt antagna grunderna för likströmsmaskinens konstruktion. Vid de nyare maskinerna äro dock några detaljförbättringar vidtagna. Elektromagneterna äro kortare och tjockare än vid de äldre maskinerna af samma slag, hvarigenom det magnetiska ledningsmotståndet förminskats. Ringsmörjning användes, nya modeller för borstarna och deras ringar äro införda m. m. Borstarna göras antingen af kopparduk eller kopparplåt eller af mässingsplåt eller af förkoppradt kol.

Större dynamomaskiner för likriktad ström, t. ex. 100 hästkrafter och därutöfver gifvas dock en form närmare i

^{*)} Se »Elektriciteten», 2:a uppl. p. 237, fig. 142 och 143.

öfverensstämmelse med de moderna typerna. Så t. ex. fympolsdynamos af 250 hästkrafter vid 300 hvarf i minuten af den anordning fig. 93 visar. Mycket små generatorer, under 1 hästkraft, gifvas en form öfverensstämmande med små motorers, hvarom mera längre fram.

Bland de stora af bolaget utförda dynamomaskinerna för likriktad ström vilja vi särskildt anföra de för elektrolytiskt ändamål använda vid Månsbo, Alby m. fl. anläggningar. Vid de först utförda af dessa maskiner^{*)} användes följande anordning. Hvardera maskinen drifves direkt af en särskild turbin af 220 hästkrafter och med horisontal axel, beskrifvande 260 hvarf i minuten. För att underlätta dynamomaskinernas uppsättning och reparation äro de uppställda på fyra i cement inbäddade gjutjärnsskifvor, på hvilka de kunna förskjutas i axelns riktning. Dessa maskiner äro sexpoliga, omslutna med en cylindrisk gjutjärnsring, vid hvilken magnetkärnorna äro fastgjutna. För att förminska maskinens vikt samt för att försvaga armatur-reaktionen genom att föröka motståndet för de af denna härrörande kraftlinierna i magnetpolerna äro de nämnda magnetkärnorna gjutna ihåliga. Induktorn är trumlindad med sex borstläng. Dess yttre diameter är 900 mm. Järnkärnan är såsom vanligt af plåt, och i denna äro 96 ovala hål utstansade vid omkretsen, och de öppna rännorna äro frästa, sedan den hopsatta järnkärnan blifvit utsvarfvad. Hålens form och de däri lagda trådarna visas af fig. 116, sid. 150. Det synes här af, att induktorns lindning innehåller 3 trådar. Af dessa, som äro isolerade från hvarandra medels remsor af vulkaniserad fiber, äga de två undre 10 mm. diameter och de tillhöra den vanliga induktorledningen, hvaremot den öfre med 7 mm. diameter efter *Sayers* metod, för hvilken vi längre fram skola närmare redogöra, är förenad vid ena änden med en kollektorlamell och vid den andra änden med föreningspunkten mellan två närliggande induktorspoler. Ändamålet med denna anordning är att få neutrallinierna att bibehålla sitt läge oförändradt, så att borstarna icke behöfva gifvas försprång. Kollektorlamellerna äro till antalet 96. Under normala förhållanden lämna dessa maskiner i yttre ledningen 1,200 ampère och 115 volt, och de kunna arbeta oafbrutet dag och natt med denna verkan. För kortare tid kan dock effekten betydligt uppdrifvas. Den erforderliga strömmen i magnetlindningen vid normal belastning är 11 ampère och vid tomgång 9 ampère.

^{*)} Se Teknisk Tidskrift, 1894, p. 50.

De förluster, som uppstå vid den normala belastningen af
 $1,200 \times 115 = 138,000$ watt,
 uppgifvas vara:*)

genom elektromagnettrådens uppvärmning	1,270 watt
» induktortrådens	2,550 »
» järnförluster och friktion	3,740 »

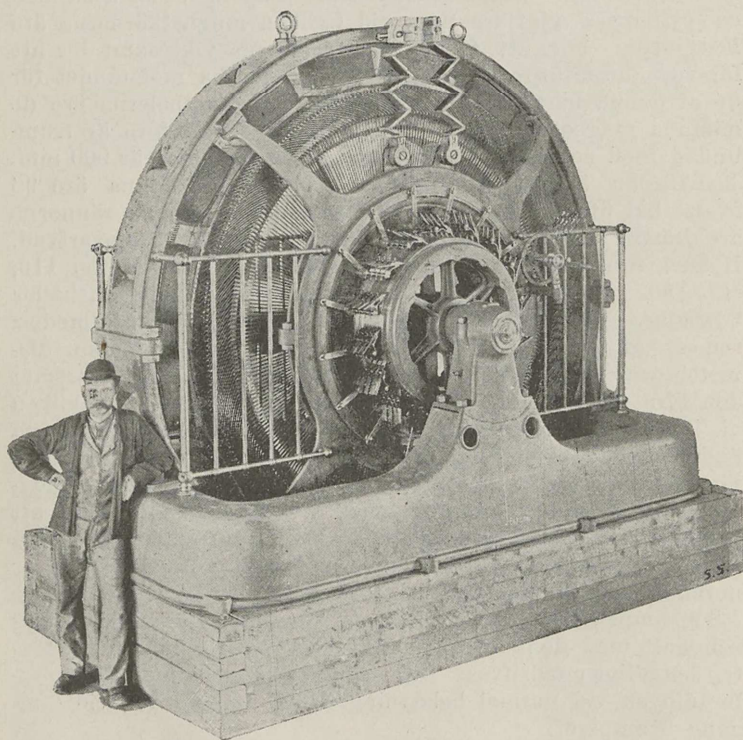
Så 7,560 watt.

Hela den å maskinaxeln verkande energien måste således motsvara

$138,000 + 7,560 = 145,560$ watt,
 och maskinens mekaniska verkningsgrad är

$$\frac{138,000}{145,560} = 94,8 \, \%$$

Fig. 94.

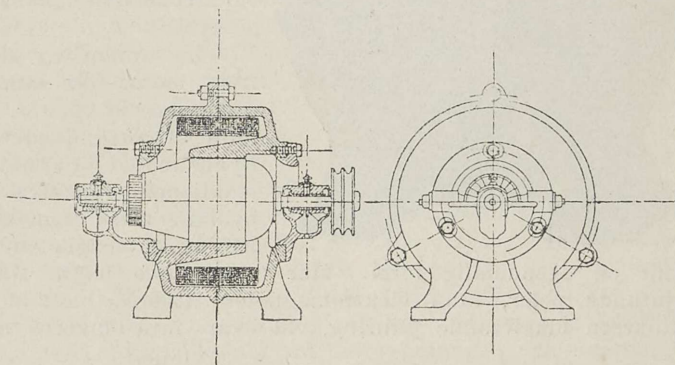


En nyare och ännu större maskin af samma typ dock utan Sayers lindning visas af fig. 94. Den är äfven afsedd

*) Se Teknisk Tidskrift, 1894, p. 50.

för direkt koppling och lämnar nära 400 hästkrafter vid 130 hvarf i minuten samt gifver under normala förhållanden 110 volt och 2,500 ampère. Till följd af det låga hvarfantalet är maskinen byggd med stor utsträckning i radiel riktning och liten i axiel riktning, hvarjämte polantalet är stort, nämligen 16. Bultarna, som uppbära borsthållarna, äro vridbara och genom vefvar förbundna med en gemensam ring, så att alla borsthållarna samtidigt kunna upplyftas eller deras tryck mot strömsamlaren förändras. — Fem dylika generatorer äro af Allmänna svenska elektriska aktiebolaget utförda för Tainionkorki fabrik vid Imatra i Finland för elektrolytisk framställning af klorhydrat kali.*)

Fig. 95.

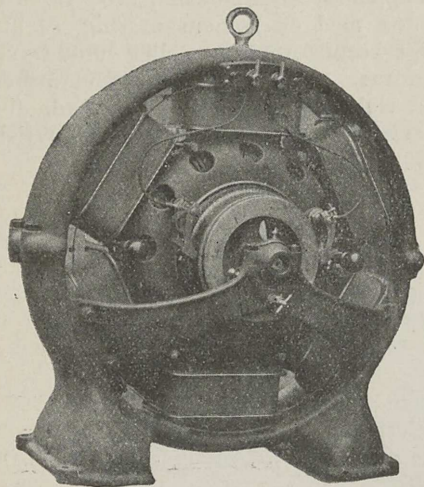


56. Likströmsmotorer från Allmänna svenska elektriska aktiebolaget. För helt små motorer begagnas numera af detta bolag den anordning fig. 95 visar, hvilken är konstruerad i enlighet med de principer, som *Jonas Wenström* först uppställt. Det magnetiska fältet erhålles medels en enda trådspiral innesluten i det tvådelade omhöljet samt omgivande den tvåpoliga elektromagneten och induktorn. Omhölje, magnetkärnor och polstycken äro af martinstål. För öfrigt har ifrågavarande bolag äfven för motorer gjort vidsträckt bruk af vanliga Wenströms dynamomaskiner. Det växande krafvet på långsamt gående såväl motorer som generatorer har dock föranlett bolaget att föra i marknaden en ny serie maskiner af den typ fig. 96 framställer. Den afbildade

*) För redogörelsen för den sistnämnda maskinen äfvensom för flera bland de i det följande omtalade maskiner tillverkade af Allmänna svenska elektriska aktiebolaget i Vesterås stå vi i förbindelse hos bolagets ingenjör herr *Sven Norberg*.

maskinen är afsedd att utveckla 4 hästkrafter vid 500 hvarf i minuten och har redan vunnit vidsträckt tillämpning vid hissar samt till drifvande af arbetsmaskiner m. m. genom

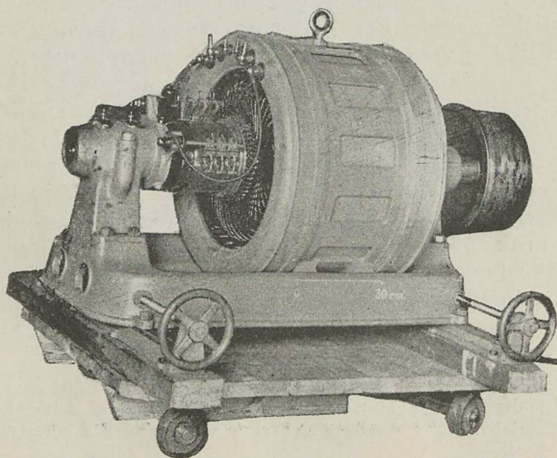
Fig. 96.



direkt koppling. Magnetkärnorna äro af gjutjärn. Induktorn är försedd med ringlindning, serie- eller parallellkopplad, beroende på den erforderliga strömstyrkan. En skyddskåpa af mässingsbleck med utskärningar omgifver ringen. Dessa motorer äga konstant gnistfritt läge vid alla belastningar samt gå tyst.

En annan ny elektrisk motor från samma firma visas af fig. 97. Till följd af användandet af Ryans metod för armaturreaktionens upphäfvande, hvarom mera framdeles, har elektromagneten er-

Fig. 97.



lindningen är anbragt. Denna ring är sammansatt af tunna järnblecksskifvor, vid hvars inre omkrets fördjupningar utstansats, bildande axiellt löpande spår. I dessa är en fyrpolig dubbel lindning inlagd af schablonformade härfvor. Den ena af dem bildar en vanlig fintrådig shuntlindning, den andra en i serie med induktorn inkopplad Ryans lindning. Härigenom vinnes såväl konstant gnistfritt borstläge som ock förökadt kraftpar vid igångsättningen, äfvensom möjlighet till att motorn tillfälligtvis må kunna betydligt öfverbelastas, om så skulle erfordras. Den nyssnämnda järnringen omgifves på sätt afbildningen antyder af en genombruten gjutjärns-cylinder.

Ingeniör *K. Wallin* har å Tekniska Högskolan elektrotekniska laboratorium anställt undersökningar öfver den gamla typen (typ MO) af Allmänna svenska elektriska aktiebolagets dynammaskiner använda såsom motorer. Den undersökta maskinen påkallade 110 volt och 57 ampère vid 725 hvarf i minuten. Induktorlindningens motstånd vid 75° var 0,051 ohm samt den i shunt anbragta elektromagnetlindningens motstånd vid 50° 64 ohm. För att bestämma de olika effektförlusterna drefs motorn med ström från laboratoriets accumulatorbatteri. Med bibehållande af en konstant magnetiseringsström af 1,85 ampère förändrades hvarfantalet och bestämdes motsvarande induktorström, som varierade mellan gränserna 4,35 ampère vid 727 hvarf och 2,48 ampère vid 193 hvarf i minuten. Effekten var i förra fallet 482 och i det senare 74 watt, med en spänning mellan borstarna af 110,5 och 30,0 volt. Förhållandet mellan spänningen och hvarfantalet var nära konstant, hvilket visar att ingen afsevärd armaturreaktion förefanns. Enligt Kapps metod*) för bestämning af förlusterna erhöles här af effektförlusten genom hysteresis och friktion 198 watt och genom foucaultska strömmar 280,5 watt eller tillsammans 478,5 watt.

På grund här af beräknades för full belastning

kopparförlusten i induktorlindningen till 156 watt

» i shuntlindningen » 187 »

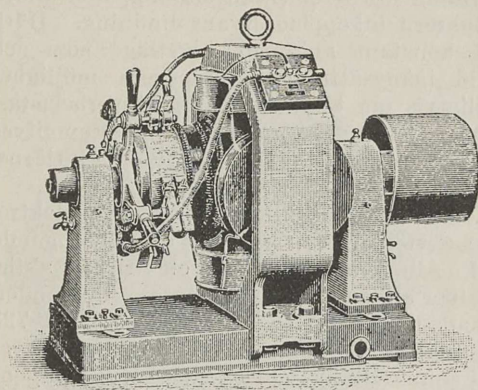
eller tillsammans 343 watt, och då järnförlusterna och friktionen utgjorde 478,5 watt blef totala effektförlusten 821,5 watt. Enär den af motorn vid full belastning utvecklade effekten var 110 · 57 = 6270 watt = 8,5 hästkrafter, blef den mekaniska verkningsgraden

$$\frac{5,449}{5,449 + 821} = 0,869.$$

*) Se härom »Elektriciteten», 2:a uppl., p. 346.

57. Andra svenska dynamomaskiner. Såsom bekant har firman *Luth & Roséns elektriska aktiebolag**) i Stockholm under många år varit agent för den stora Schuckertska fabriken

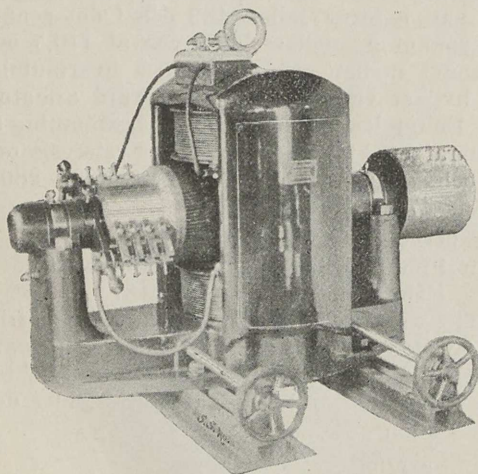
Fig. 98.



i Nürnberg och den verkar fortfarande i samband med denna. Men sedan år 1893 tillverkar firman i egna verkstäder i Stockholm dynamomaskiner, hvilka äro konstruerade i enlighet med den moderna elektroteknikens fordringar. Likasom fabriken i Nürnberg har den i Stockholm öfvergifvit det föråldrade fläckrings-

systemet. De nya tvåpolsdynamos äro omslutna af en ram med därvid fastgjutna magnetkärnor utan någon bottenplatta och lagerbyglarna fastskruvas omedelbart på ramen.

Fig. 99.



Fyrpolsdynamos ha den anordning fig. 98 antyder.

Magnetstommen likasom de därvid fastgjutna magnetkärnorna och de lösa polstyckena äro gjutna af martinstål. Induktorn är trumlindad. Kollektorn har lameller af koppar samt ovanligt stor diameter. Borstarna äro af kopparbleck, hvilka för gnistbildningens undvikande äro snedt afskurna.

Äfven *W. Wiklunds verkstäders aktiebolag* i Stockholm tillverkar sedan flera år tillbaka likströmsdynamos af den

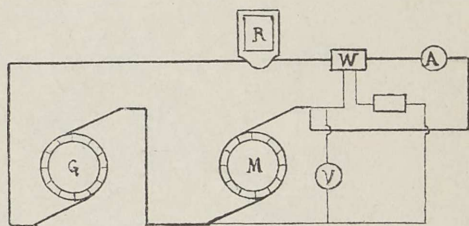
*) Föret Luth & Rosén, Elektriska byrån.

typ fig. 99 angifver. De största af dessa, afsedda för glödlampbelysning, lämna vid 600 hvarf i minuten en ström af 450 ampère och 110 volt och de minsta vid 1,100 hvarf i minuten en ström af 16 ampère och 110 volt. Vid de större maskinerna är stommen af gjutjärn och vid de mindre af martinstål.

Bland svenska likströmsdynamos böra vi äfven omnämna de af *Aktiebolaget de Laval's ångturbין* vid utställningen 1897 för den elektriska belysningen begagnade dubbla maskiner, nämligen med två bredvid hvarandra liggande induktorer och för öfrigt liknande Manchester-dynamos. Dessa maskiner voro ursprungligen konstruerade att användas för laddning af accumulatorer. Deras potential varierar väsentligt vid förändringarna i omloppshastighet.

Beträffande de sistnämnda maskinernas effekt har ingenjör *E. Danielson* vid 1897 års utställning i Stockholm anställt försök, hvarvid den ena af induktorerne *G* (fig. 100) fick verka såsom generator, den andra *M* såsom motor till en del efter samma metod, som *I. Hopkinson* först användt för dynamomaskiners undersökning.*) Af-

Fig. 100.



bildningen visar schematiskt huru *G* och *M* äro hopkopplade med en Westons stationsampèremeter *A*, en Edelmanns voltmeter *V*, en Siemens wattmeter *W* samt en reostat *R*. Vid en ström i hvardera induktorn af 311 ampère och 110 volt uppstod en effektförlust därstädes af 823 watt samt i elektromagnet-lindningen af 253 watt äfvensom tomgångsförlusten 1,300 watt, allt för hvardera sidan af maskinen. Förlusten för hela maskinen var sålunda 4,752 watt. Enär det nyttiga arbetet pr sekund utgjorde

$$2 \cdot 110 \cdot 311 = 68,420 \text{ watt,}$$

blef den mekaniska verkningsgraden

$$\frac{68,420}{68,420 + 4,752} = 93,5 \%$$

Vid effektbestämningen antogs, att den energi, som visade sig erforderlig för att i tomgång drifva motorinduktorn vid

*) Se vidare härom: *I. Hopkinson »Original papers on Dynamo Machinery», London, 1893, p. 112.*

normal hastighet och normal spänning, var samma mängd energi, som motsvarar hysteresis, foucaultska strömmar, friktion jämte luftmotstånd vid full belastning.

58. Ringinduktorer af olika slag. Sedan vi i de närmast föregående paragraferna redogjort för de vanliga anordningarna af nyare dynammaskiner för likriktad ström, skola vi nu omnämna några nyare detaljer vid dylika maskiner och till en början de modifikationer *Grammes* ringinduktor de senare åren undergått. Vi anföra blott några konstruktioner, som äro af större intresse.

Fig. 101.

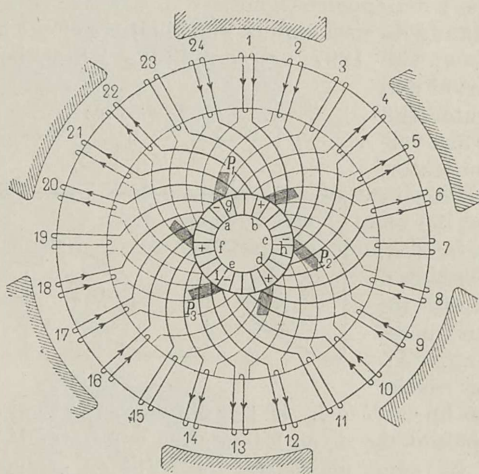


Fig. 101 visar *Arnolds* lindningsschema till en sexpolsinduktor. Här finnas sex borstar för strömmens uppsamling genom parallellkoppling. Lindningen har erhållits på det sättet, att tre lindningar för tvåpolsdynamor blifvit anbragta bredvid hvarandra. På samma sätt skulle t. ex. en åttapolsmaskins induktorkoppling kunna erhållas af fyra parallellkopplade tvåpolslindningar. Afbildningen visar den sexpoliga induktorn försedd med 24 spolar, hvilka icke ligga tätt intill hvarandra utan äro fördelade på induktorns omkrets på samma sätt vid de särskilda magnetfälten. Genom denna anordning förhindras, att de ojämnheter, som af olika anledningar kunna uppstå i de magnetiska fälten, frambringa olika elektromotoriska krafter i de särskilda strömkretsarna, hvarigenom gnistbildning skulle kunna föranledas. De kortslutna spolarna bringas

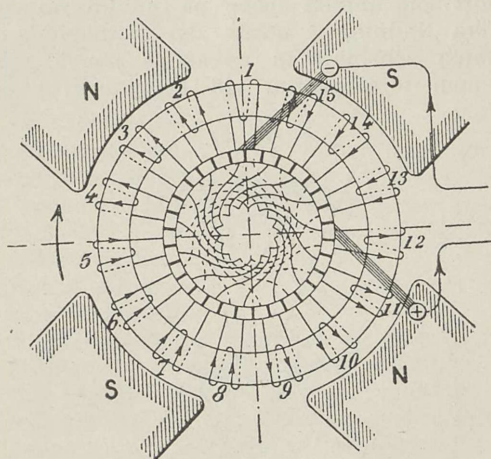
genom borstarna i serie och en enda borste kan icke kortsluta en spole. Så t. ex. är i fig. 101 vid det där tecknade läget af borstarna, spolarna 3, 11 och 19 kortslutna och strömkretsen är

$$a g 3 c h 11 e i 19 a.$$

Lamellerna $a-g$, $c-h$ och $e-i$ äro förenade med hvarandra genom borstarna.

En annan egenskap hos Arnolds induktorlindning är, att man vid den kan, utan att inverka på maskinens effekt eller på fördelningen af belastningen vid induktoromkretsen, använda ett mindre antal borstar än poler. Sålunda kan i fig. 101 en af de negativa borstarna, t. ex. P_3 borttagas, ty la-

Fig. 102.



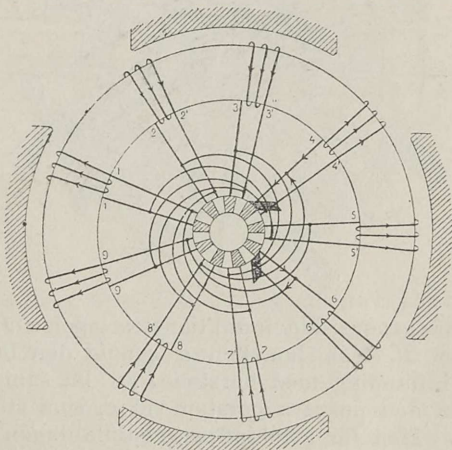
mellan i står genom den induktionsfria spolen 19 i förening med borsten P_1 och lamellen e genom den induktionsfria spolen 11 i förening med borsten P_2 . På samma sätt kan man utesluta den positiva borsten vid d , som står diametralt motsatt P_1 . Men för att hindra gnistbildningen måste bredden af den yta, hvarmed borstarna beröra lamellerna, förstoras.

Den nu omtalade induktorn lämnar exempel å parallellkoppling af trådspiralerna. Vi skola nu anföra exempel å seriekoppling, vid hvilken erfordras att flera magnetiska fält af motsatt polaritet följa efter hvarandra. Under det att vid parallellkoppling hos en flerpölig induktor alltid finnas lika många strömgrenar som poler, äger seriekopplingen endast två strömgrenar och därför endast två borstar. Om p betecknar halfva

antalet poler, d. v. s. hela antalet *polpar*, så är under för öfrigt lika förhållanden och vid samma antal trådhvarf i induktorn den elektromotoriska kraft, som alstras i denna, vid seriekoppling p gånger så stor som vid parallellkoppling, men strömstyrkan p gånger mindre. Det framgår här af, att seriekopplingen bör användas, när det är nödvändigt erhålla hög spänning eller ock en liten omloppshastighet hos den roterande induktorn.

Fig. 102 visar schema för en seriekoppling vid en fyrapolsdynamo, särskildt afsedd för maskiner med hög spänning. Den användes vid maskinfabriken Oerlikons spårvägsmotorer. Man kan betrakta den såsom härledd af Mordeys bekanta koppling för fyrapolsdynamor, om vid densamma hvarannan spole uteslutes, men i stället trådlindningen i de återstående göres dubbelt så grof. Här är antalet kollektorlameller dubbelt så stort som antalet spolar på induktorringen. För att kunna utföra lindningen måste det sistnämnda talet vara udda. Samma schema kan användas jämväl vid sexpoliga maskiner, men föreningarna vid kollektorn blifva mera invecklade.

Fig. 103.



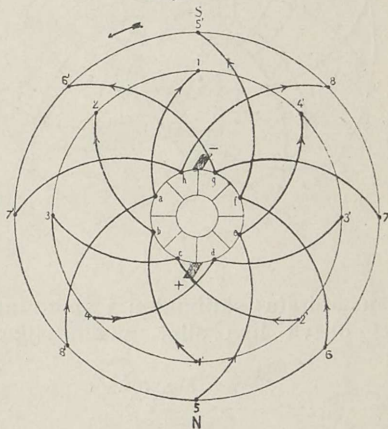
Såsom ett annat exempel å denna af *Arnold* väsentligen härrörande ringinduktor anför vi en enkel konstruktion, som visas af fig. 103. Afsikten är här att begagna ett jämförelsevis litet antal spolar, hvilket underlättar tillverkningen och isoleringen af induktorn, men i stället göra bruk af ett två, tre eller flera gånger större antal lameller i kollektorn för att erhålla en konstant ström och att förebygga gnistbildning.

Afbildningen visar lindningsschema till en fyrrpolsdynamos med dubbelt så många lameller som spiraler. För tydlighets skull är hvarannan af lamellerna streckad och föreningarna mellan dem uppritade utanför lamellerna. Om de streckade af dessa uteslutas, erhålles ett af *Perry* uppfunnet schema.*)

59. Truminduktorer af olika slag. Äfven den af *v. Hefner Alteneck* uppfunna truminduktern har väsentligt modifierats. Vi skola anföra några olika former hos densamma.

Fig. 104 visar ett lindningsschema för en tvåpolig truminduktor med två lager öfver hvarandra liggande trådspolar. Antalet spolar i hvarje lager är å afbildningen antaget till 8, men naturligtvis kan ett liknande schema upprättas för ett större spolantal. Äfven antalet kollektorsegment är 8. Först bildas de 4 spolarna i följden *a* 1—1' *b* 2—2' *c* 3—3' *d* 4—4' *e*. Däröfver komma de öfriga 4 spolarna utgående från de återstående 4 kollektorlamellerna *efgh*, så att 5—5' komma öfver 1—1', 6—6' öfver 2—2' o. s. v. såsom afbildningen angifver. Från 8' föres tråden åter till utgångspunkten. Neutral-linien blifver vinkelrät mot den genom magnetpolerna *N* och *S* dragna diametern, och spolarna 3—3' samt 7—7' kortslutas genom borstarna. Det bör dock anmärkas, att de båda genom dessa parallelt kopplade hälfterna af induktorn icke blifva fullt lika värda i afseende å induktionen, hvilket förökar gnistbildningen vid borstarna. För att en sådan likvärdighet må erhållas måste nämligen å båda sidor förefinnas lika motstånd och lika medelhastighet hos de trådar, i hvilka strömmen induceras. Å ena sidan finnas t. ex. de inuti liggande spolarna *a* 11' *b* 22' *c* 33' *d* 44' *e* och å andra sidan de yttre spolarna *a* 8' *b* 7' *c* 6' *d* 5' *e*. Endast när kollektorlamellerna *c* och *g* beröra borstarna, verka två yttre och två inre spolar så, att i båda hälfterna af induktorn likvärdighet äger

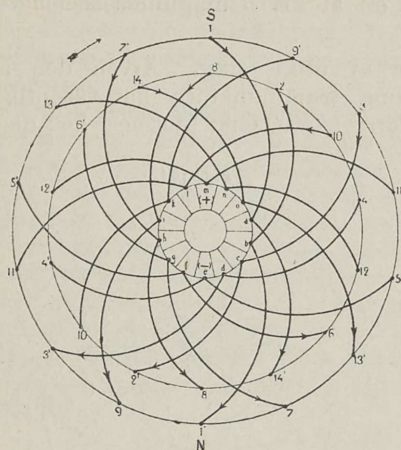
Fig. 104.



*) Se vidare: Arnold, Die Ankerwicklungen und Ankerkonstruktionen, p. 59.

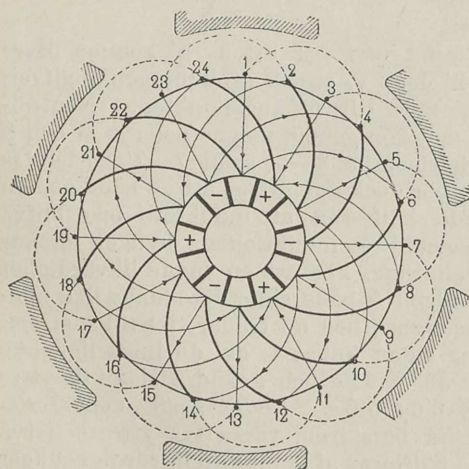
rum, ty de yttre spolarnas hastighet är större än de inres. Man kan emellertid afhjälpa denna olägenhet på flera sätt.

Fig. 105.



den största skillnaden i spänning mellan två sådana spolar att blifva lika eller nästan lika stor med hela spänningen

Fig. 106.



ningen i induktorn förändras eller att åstadkomma en utjämning af spänningen i de särskilda strömgrenarna och lika

Sålunda efter *Westons* metod, som åskådliggöres af fig. 105. Här förutsättes likväl, att halfva antalet spolar är udda; å afbildningen antagas 14 spolar i hvardera lagret. En annan metod för samma ändamåls vinnande härrör af *Western Electric Co.* Här delas hvarje spole i två lika delar, som gå å ömse sidor om induktorns axel, den ena till öfre, den andra till undre lagret af trådlindningen.

Vid trådlindningar med öfver hvarandra liggende spolar kommer mellan borstarna, hvarför isoleringen måste omsorgsfullt verkställas.

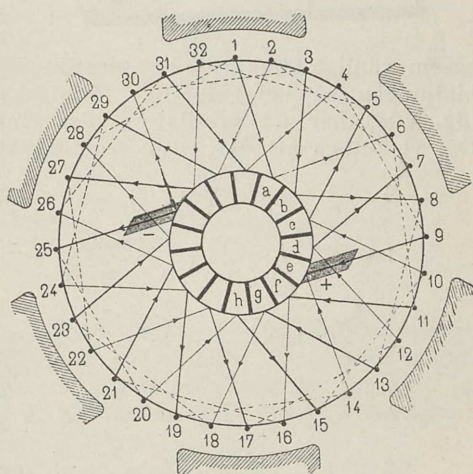
Vi anföra vidare i fig. 106 såsom exempel schema för parallellkoppling till en sexpolig truminduktor efter *Mordeys* system. Här förenas de i det magnetiska fältet symmetriskt belägna kollektorslamellerna med hvarandra, antingen i ändamål att förminska antalet borstar utan att därigenom strömfördel-

fördelning af strömmen i de särskilda borstarna. Föreningarna efter Mordeys system äro angifna genom grofva linier och lagda utanför kollektorn. Vid Oerlikonfabriken, där denna anordning begagnats för induktorer med grofva ledningar, läggas de räta, radiela stängerna i ett plan, de till höger böjda tvärföreningarna i ett annat plan och de till vänster böjda Mordeyföreningarna i ett tredje plan. För tydlighets skull äro föreningarna på trummans bortre sida antydda med prickade linier utanför omkretsen. För att den nu beskrifna anordningen skall kunna tillämpas måste antalet lameller i kollektorn vara delbart genom halfva antalet poler. Så t. ex. är å afbildningen förhållandet mellan båda $12 : \frac{6}{2} = 4$.

Såsom exempel å truminduktor med seriekoppling anföras vi en af *W. Fritsche* härrörande enkel anordning. Å afbildningen fig. 107 antagas 6 poler, 32 spolar samt 16 lameller i kollektorn. Borstarna komma här på 180° afstånd från hvarandra.*)

Vi vilja äfven i fråga om truminduktorns lindning nämna några ord angående s. k. *schablonlindning*, hvarmed man förstår en sådan lindning, hvars spolar före anbringandet på induktorn kunna hvar för sig framställas efter en schablon och därmed erhålla den riktiga formen. Vi anför som exempel på dessa en af *Eickemeyer* härrörande lindning (se fig. 108), hvilken vunnit vidsträckt användande och som kan begagnas såväl när trådar som stänger bilda ledningen. Sidorna *a* och *b* tillhöra omkretsen samt *c*, *e* den ena och *d*, *f* den andra sidoytan. Sidan *a* är längre än *b*, så att när de olika spolarna sättas på induktorn sidan *b* i hvarje spole kommer mellan *c* och *d* i närliggande spolar. *c*, *e* och *d*, *f* äro böjda efter cirkel-*evolventer*. Af de fyra trådarna ligga två bredvid och två

Fig. 107.

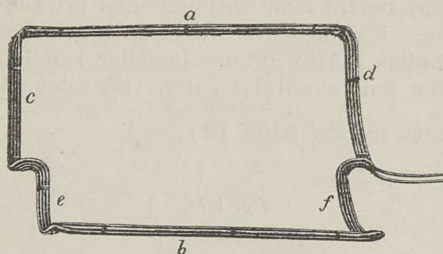


*) Vi hänvisa i fråga om de många andra formerna å truminduktorer till *Arnolds*, p. 141, citerade arbete

öfver hvarandra vid omkretsen, men vid sidoytorna komma samtliga trådarna öfver hvarandra.

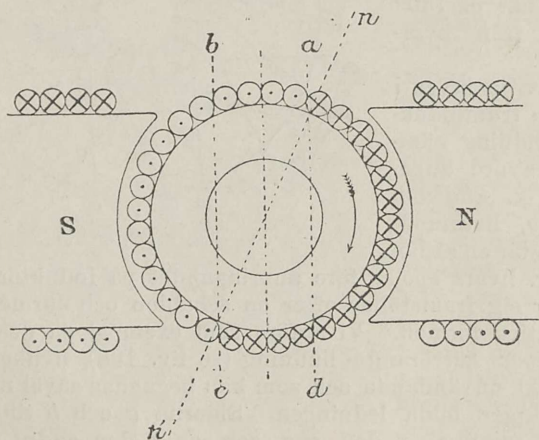
60. Armatur-reaktion. Den återverkan, som den roterande induktorn eller armaturen utöfvar på elektromagneterna, har varit föremål för flera undersökningar, och vi skola nu anföra några resultat häraf angående denna för kännedom af dynamomaskinernas egenskaper viktiga fråga.

Fig. 108.



såsom vanligt förskjutits i rörelseriktningen, hvarigenom gnistbildningen så långt möjligt förminskats. Neutrallinien nm' (fig. 109) har då vridits en viss vinkel i samma riktning. Om vi antaga att det är en truminduktor och tänka oss två

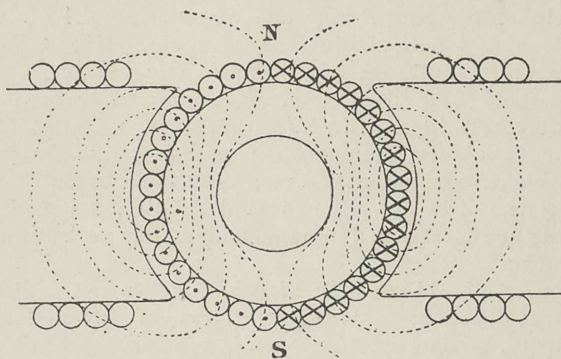
Fig. 109.



plan ad och bc gående parallelt med neutralliniens ursprungliga läge och vinkelrätt mot maskinens medellinie genom magnetpolerna, så begränsas af dessa plan vissa afdelningar af induktorlindningen, hvilka utöfva olika inflytande i afseende å armatur-reaktionen, såsom *Esson* först ådagalagt. Om vi

icke taga hänsyn till ledningstrådarnas föreningar vid induktorns ändtytor, utan blott till de efter generatrisen gående ledningar, hvilket i detta fall är tillfyllest, så utgöras induktorstlindningarna af två grupper: en *tvärmagnetiserande* och en *demagnetiserande*, den förra verkande vinkelrätt mot elektromagneten *NS*, den senare motsatt denna. Detta inses tydligt, om strömmarnas riktningar både i induktorns och elektromagnetens trådlindningar särskildt angifvas t. ex. såsom å figuren visas genom en punkt och ett + allt eftersom strömmen är riktad mot eller från åskådaren. De delar af trådlindningen, som finnas mellan *bc* och *ad*, verka demagneti-

Fig. 110.

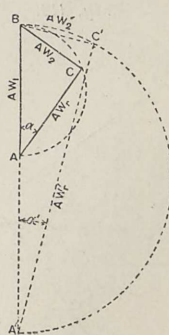


serande, ty deras strömmar äro riktade motsatt magnetiseringsströmmarna. Däremot verka strömmarna i de utanför samma plan befintliga ledningarna tvärmagnetiserande. Af de å afbildningen betecknade 32 trådarna skulle 8 verka demagnetiserande och 24 tvärmagnetiserande.

Beträffande de kraftlinier, som angifva armaturreaktionen, sådan denna visar sig i dynammaskinen innan igångsättningen, lämnar fig. 110 begrepp därom.

För att närmare bestämma armaturreaktionens inflytande skola vi använda en af *A. Rothert* härrörande grafisk metod. Om vi tillämpa denna till en tvåpolsdynamo, så äro två magnetiserande krafter verksamma, hvilkas relativa verkan beror på borstarnas lägen. Låt $AW_1 = AB$ och $AW_2 = BC$ (fig. 111) beteckna antalet ampèrehvarf i elektromagneten och induktorn,

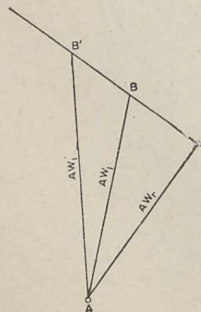
Fig. 111.



när föreningslinien mellan borstarna vridits vinkeln α . Den resulterande magnetiserande kraften angifves genom $AW_r = AC$. Äfven kraftlinierna härrörande af elektromagneten och induktorn sammansätta sig till ett enda system. Divideras AW_r med det motsvarande magnetiska motståndet, erhålles det antal kraftlinier, som genomgår såväl elektromagneten som induktorn och hvartill hänsyn bör tagas vid beräkningen af maskinens elektromotoriska kraft. Härvid bör anmärkas att AW_2 är vinkelrät mot AW_r endast under den förutsättning, att borstarna äro vid den nya neutrallinien. Men vore borstarna vid den ursprungliga neutrallinien, som är vinkelrät mot elektromagneternas medellinie, skulle AW_2 vara vinkelrät mot AW_1 och resultanten AW_r vore den största sidan i den rätvinkliga triangeln. Någon demagnetiserande kraft skulle då icke finnas. Om borstarna flyttas åt motsatt håll från den ursprungliga neutrallinien i afseende å rotationsriktningen, d. v. s. gifvas ett negativt försprång, kommer induktorströmmarnas magnetiserande kraft att förstärka elektromagneternas, men gnistbildningen blir särdeles stark. Det är till och med möjligt, att med negativt försprång hos borstarna dynamomaskinen kan verk autan elektromagneterna.

Genom fig. 111 kunna vi åskådliggöra det inflytande på armaturreaktionen, som förstoringen af luftmellanrummet, »luftgapet», mellan polytorna och induktorkärnan utöfvar. För att oaktadt det ökade magnetiska ledningsmotståndet erhålla samma antal kraftlinier och samma elektromotoriska kraft som förut, måste antalet ampèrehvarf AW_1 ökas från AB till $A'B$, hvaremot $AW_2 = AW'_2 = BC'$ är till storleken oförändrad. Resultanten $AW_r = A'C'$ betecknar nu den verk samma magnetiserande kraften. Det synes af figuren, att skillnaden mellan denna och det nya värdet å AW_1 är mindre än förut. Armaturreaktionens inflytande har således förminskats.

Fig. 112.

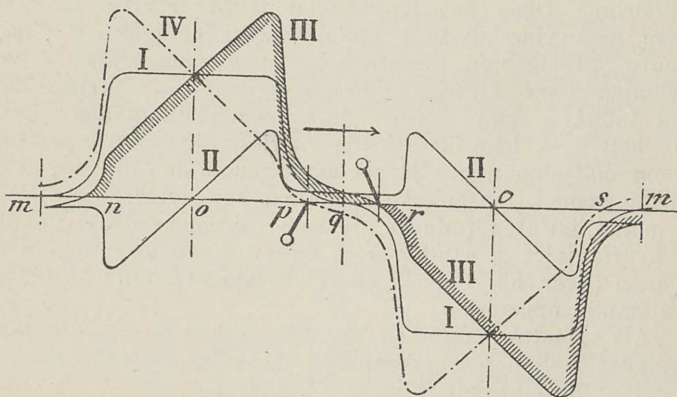


För att bestämma den förstärkning magnetiserande kraften AW_1 hos elektromagneterna påkallar för en förökad belastning å dynamomaskinen, skola vi tillämpa en af v. Dobrowolsky angifven enkel geometrisk konstruktion, fig. 112. Vi antaga därvid att borstarna äga det rätta läget. AC , $BC \dots$ ha samma betydelse som i fig. 111. Enär AW_2 växer proportionellt mot strömstyrkan i induktorn, således mot belastningen, blifva äfven BC , $B'C$ proportionela mot denna, och man kan således genom den af

fig. 112 antydda konstruktionen undersöka det inflytande belastningens förändring utöfvar i ifrågavarande hänseende.

En annan grafisk framställning af armatur-reaktionen lämnas af fig 113.*) Här motsvara punkterna m, q, m den ursprungliga neutrallinien, o, o linien genom polerna samt ordinaterna i I den magnetiska induktionen samt i II armatur-reaktionen äfvensom i III den af båda resulterande induktionen eller det magnetiska fältet i en likströmsdynamo. Verkar denna som motor, lämnar den prickade kurvan IV begrepp om fältets beskaffenhet. Neutralliniens och borstens förskjutning äger för generatoren rum från q till r i rörelsens riktning och för motorn från q till p i motsatt riktning.

Fig. 113.



Såsom ingenjör *K. A. Lindström* visat försvagar armatur-reaktionen det magnetiska fältet vid en dynamomaskin lika mycket om denna användes vare sig såsom motor eller generator. Detta framgår såväl af det sätt, hvarpå armatur-reaktionen uppstår, som ock genom direkta försök.**)

61. Medel att motverka armatur-reaktionen. Emedan armatur-reaktionen vid dynamomaskiner och motorer är till ganska stor olägenhet, såväl genom den gnistbildning, hvilken därpå föranledes, som ock genom spänningsförlusten samt genom nödvändigheten att flytta borstarna vid växlande belastning, har man på flera sätt sökt förebygga densamma.

*) Efter *Fischer-Hinnen*: Die Wirkungsweise, Berechnung und Konstruktion Elektrischer Gleichstrom-Maschinen, 3:e uppl., p. 33.

**) Teknisk Tidskrift, 1893, Afdeln. för Mek. och Elektr., p. 67.

Vi skola anföra de medel, man för den skull företrädesvis användt.

Genom att lämpligen afpassa maskinens hufvuddelar efter hvarandra kan armatur-reaktionen försvagas. Betecknas maskinens elektromotoriska kraft med E , antalet verksamma ledare^{*)} vid induktorns yta med N , antalet hvarf pr minut med n , antalet verksamma kraftlinier, utgående från en pol med Z , halfva antalet polstift med p_1 och antalet polpar med p , så är

$$E = \frac{N n Z}{60 \cdot 10^8} \cdot \frac{p}{p_1} \text{ volt.}$$

Vid induktorer med parallellkoppling och således äfven vid vanliga tvåpolsdynamos är $\frac{p}{p_1} = 1$. Af detta värde å E följer, att man kan förändra N, n och Z utan att E undergår förändring. Ökas det magnetiska fältets styrka, blifver Z större, och vid konstant omloppshastighet måste N tagas mindre, hvarigenom armatur-reaktionen förminskas. Genom användande af kraftiga elektromagneter och jämförelsevis svag induktor kan således det afsedda ändamålet vinnas. Man kan dock icke öfverskrida en viss gräns, som bestämmes genom mätningen hos järnet samt genom de förluster, hvilka uppstå genom foucaultska strömmar och hysteresis. Det är äfven möjligt att förminska armatur-reaktionen medelst ökning af hvarfantalet n samt genom motsvarande förminskning af N , men äfven här uppnås snart en gräns till följd af de båda sistnämnda orsakerna.

Att armatur-reaktionen kan förminskas genom att föröka afståndet mellan polstyckena och järnkärnan i induktorn, ha vi redan förut antydtt (jämför fig. 111, p. 145).

Det är äfven tydligt af hvad vi ofvan anför, beträffande armatur-reaktionens uppkomst, att om det magnetiska motståndet mot de af induktorn härrörande kraftlinierna på annat sätt förökas, äfven härigenom armatur-reaktionens inflytande kan motverkas. Huru detta kan verkställas framgår af fig. 114. Samma ändamål vinnas genom att magnetpolerna sammansättas af från hvarandra isolerade plåtar, parallela med induktorträdarnas riktning.^{**)}

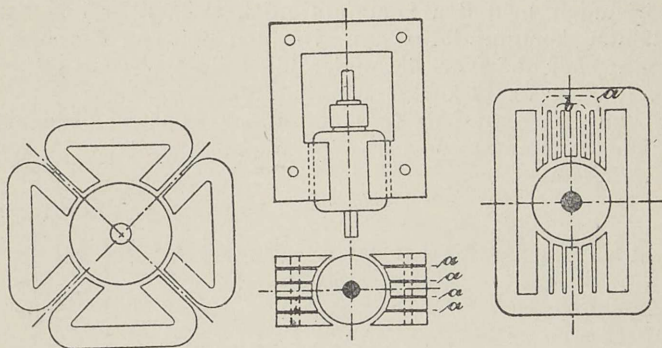
Man kan äfven försvaga armatur-reaktionen genom användande af compoundlindning och kolborstar. Medelst compoundlindningen kan icke blott nedsättningen af antalet kraftlinier och af spänningen upphävas, utan man kan tillika däri-

^{*)} Vid ringinduktorn är N lika med antalet trådhvarf, vid truminduktorn dubbla detta antal.

^{**) Se Fischer-Hinnens ofvan citerade arbete, p. 205.}

genom kompensera den genom det elektriska ledningsmotståndet härrörande spänningsförlusten. Kolborstarnas användande medför en förökning i motståndet mellan spolarna och lamellerna, hvilket i sin ordning förminskar reaktionen.*) De vanligen använda metallborstarna äga icke något afsevärdt öfvergångsmotstånd, men med kolborstar är förhållandet annorlunda.

Fig. 114.



Enligt *Guilbert* och *Giles* är öfvergångsmotståndet pr kv.-mm. borstyta

vid 0 m. hastighet	1 ohm
” 6 ” ”	2 ”
” 12 ” ”	5 ”

De nu omtalade anordningarna äga fördelen af enkelhet, men maskinen blifver genom dem stor och tung, hvarjämte verkningsgraden förminskas i synnerhet vid liten belastning. Man har därför gjort bruk af andra medel för ändamålets vinnande, och vi skola redogöra för de förnämsta bland dessa.

Sayers äfven i Sverige patenterade anordning***) afser att genom en särskild trådlindning på induktorn neutralisera armatur-reaktionens inflytande. Det förnämsta patentanspråket äger följande lydelse:

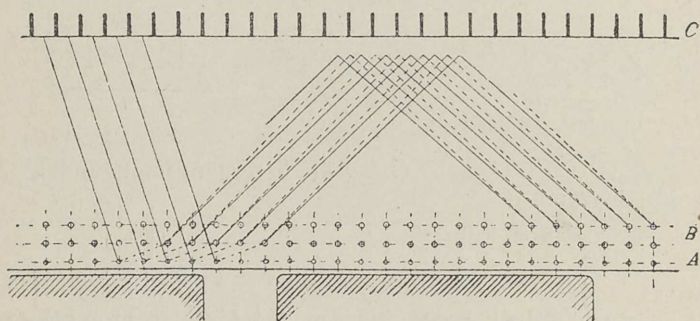
Vid dynamoelektriska maskiner af det slag där kommutatordelarna äro förenade med armaturlindningens delar medelst kommutatorhärfvor, i hvilka en elektromotorisk kraft alstras, då maskinen är i gång, den anordningen att hvar och en af nämnda härfvor är förbunden med armaturlindningen med

*) Se härom en uppsats i *Teknisk Tidskrift* för 1897 af ingenjör *K. A. Lindström*.

**) Se svenska patentet n:o 4863, år 1892.

en förskjutning bakåt i förhållande till stället mellan delar af armaturlindningen med hvilken den är förenad, då maskinen arbetar såsom generator, samt med en förskjutning framåt, då den arbetar såsom motor, hvarvid anordningen i hvarje fall är sådan, att armaturströmmen sträfvat att öka den totala magnetiska verkan, och att den resulterande elektromotoriska kraften, som induceras i hvarje par af härfvor samt i den del af armaturlindningen, som förenar dessa, omkastar eller sträfvat att omkasta strömmen i nämnda del af armaturlindningen och reducera strömmen till noll i den härfva, som är förbunden med den kommutatorordel, hvilken är i begrepp att lämna kommutatorborsten vid den tid, då den ena af nämnda båda härfvor är under fältmagnetpolernas yttersta ände, hvilken förstärkes af armaturströmmen, under det den andra har passerat bort från densamma samt de båda motsvarande kommutatordelarna äro förenade medelst en kommutatorborste.

Fig. 115.



Sayers uppfinning har vunnit ganska vidsträckt användande. Äfven i Sverige har den vid några maskiner tillämpats, så t. ex. för de stora dynamomaskinerna vid Månsbo, som vi i § 55 omtalat. Lindningsschemat till dessa visas af fig. 115. Kollektorhärfvorna bestå här endast af en tråd hvardera.

Fig. 116.



Huru denna tråd jämte de två öfver hvarandra lagda induktorlindningarna äro inlagda i järnkärnan synes af fig. 116. De 96 öfre trådarna äro förenade vid ena änden med två närliggande induktorspolar och vid den andra änden med hvar sin af de 96 kollektorlamellerna. I fig. 115 betecknar *A* kollektortråden, *B* induktorlindningen och *C* kollektorlamellerna.

Emedan kollektortråden blott är strömförande under en liten bråkdel af ett hvarf, kan dess

diameter vara betydligt mindre än induktorträdarnas, ehuru strömstyrkan i den förra är dubbelt så stor som i de senare. Det gnistfria borstläget vid full belastning blir här något, fastän obetydligt förskjutet i rörelseriktningen.

Sayers metod kan lämna ett tillfredsställande resultat och den kan tillämpas äfven vid redan utförda maskiner. Men lindningen blir invecklad och kostsam, i synnerhet om den skall vara anordnad för rörelse i båda riktningarna.

En annan metod för samma ändamål härrör af *Ryan*. Elektromagnetpolerna äro här förenade med en järnring, som omsluter induktorn. Vid ringens inre omkrets äro uttagningar gjorda för anbringande af en särskild trådlindning, hvilken genomgås af hufvudströmmen med lika många ampèrehvarf som induktorn, men i motsatt riktning. Härigenom upphäffes armatur-reaktionen och detta oberoende af maskinens belastning. Men därjämte användes vid de neutrala zonerna särskilda vändspolar, som genomgås af hufvudströmmen, till följd hvar af intensiteten hos det fält, inom hvilket strömvändningen försiggår, blir proportionel mot strömstyrkan, något som är nödvändigt för att gifva maskinen gnistfri gång.

Fig. 117.

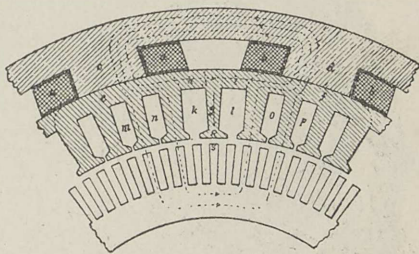


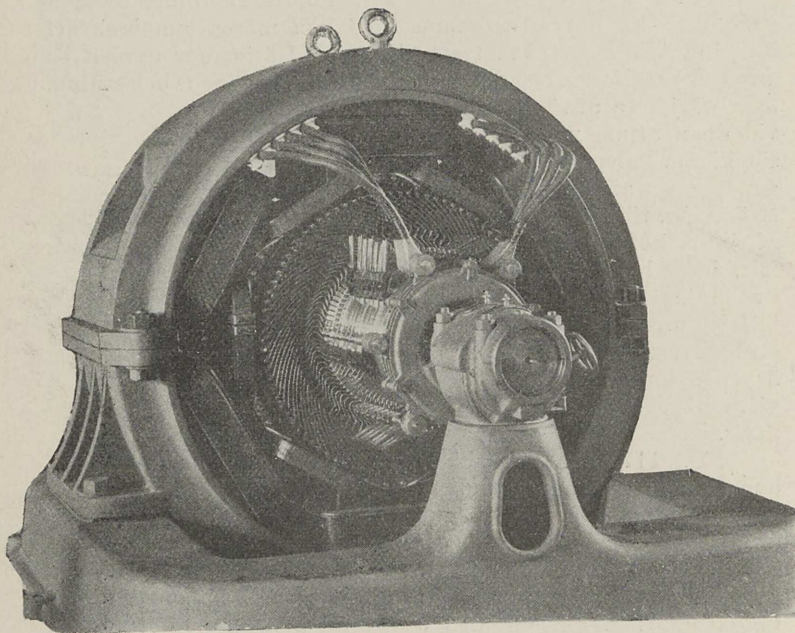
Fig. 117 visar tvärskärningen till en del af en maskin, anordnad efter ifrågavarande metod. *aa, bb* ... äro de vanliga elektromagnetpolarna; de motverkande polarna äro anbragta i uttagningarna *m, n, k, l, o, p* ... De sistnämnda polarna äro likasom serielindningen till en compound-dynamo anbragt i följd med induktorlindningen. Såsom afbildningen visar är induktorkärnan försedd med djupa utskärningar för trådlindningens upptagande. *)

Äfven i Sverige har Ryans metod på olika sätt blifvit tillämpad vid flera af Allmänna svenska elektriska aktiebolaget utförda likströmsgeneratorer och motorer, för de fall när höga fordringar ställas på maskinernas förmåga att motstå stora belastningsvariationer. Exempelvis må nämnas en dynamo, som vid 300 hvarf pr minut lämnar 110 volt och 175 kilowatt. Elektromagneterna äga 6 poler och gjutstålskärnor, men med

*) Om Thompson-Ryans dynamo, se vidare *Houston & Kennelly: Recent types of dynamo-machinery. 1898, p. 213.*

den skilnad från vanliga konstruktioner, att i hvarje polyta finnas två rektangulära axiellt gående spår. I dessa är inlagd en af kopparband formad lindning, som genomlöpes af hufvudströmmen, i detta fall icke mindre än 1,600 ampère. Härigenom alstras ett fält, förskjutet ett halft polafstånd till shuntströmmens fält och som därför verkar direkt motsatt mot armaturreaktionen. Fig. 118 visar utseendet af denna maskin med de inlagda spolarna efter Ryans princip.

Fig. 118.



62. Gnistbildningen vid borstarna. Denna har de senare åren varit föremål för flera undersökningar och utan tvifvel ha betydande framsteg blifvit gjorda vid konstruktioner af likströmsdynamos, så att den för borstarna och för kollektorn så skadliga gnistbildningen väsentligt förminskats samt tillika det blifvit möjligt att gifva borstarna ett af belastningen oberoende läge, d. v. s. ett konstant försprång i rörelsens riktning hos generatorer och i motsatt riktning hos motorer. Vid en del maskiner är detta försprång reduceradt till noll eller med andra ord den ursprungliga neutralliniens läge förändras icke genom induktorströmmen, hvilket i synnerhet är af värde vid sådana motorer, som böra kunna gå i olika riktningar.

Orsaken till gnistorna, som uppstå vid borstarnas beröringspunkter med kollektorn, är hufvudsakligen att söka i den självinduktion eller extra ström, som alstras i en ledare, genom hvilken en ström föres, när ett afbrott plötsligt äger rum i ledningen. Borstarna släpa under induktorns och kollektorns rotation mot den sistnämndas lameller och komma därvid ömsevis i kontakt med dessa och ömsevis med det mellanvarande isolerande ämnet. Under en liten tid berör en borste två bredvid hvarandra liggande lameller och en kortslutning inträffar då. Man inser lätt, att vid denna öfvergång strömmen, som genomgår lamellerna å ömse sidor om borsten, under ett ögonblick måste afbrytas och sedermera omkastas. Med andra ord, hvarje afdelning till induktorn kommer, när den går förbi borsten, att få sin ström omkastad. Om den till samma afdelning hörande trådspolen därunder vore i ett sådant läge att det magnetiska fältet icke alstrade i densamma någon elektromotorisk kraft, skulle den kortslutna strömmen genom borsten snart upphöra under svag gnistbildning. Men om borsten vore tillbakaskjuten i motsatt riktning mot induktorns rotation, skulle en elektromotorisk kraft uppstå; hvilken förstärkte nämnda ström och således förökade gnistorna. Annorlunda blifver händelsen, om borsten något flyttas i rörelsens riktning. Äfven då skulle en elektromotorisk kraft alstras, men den skulle sända en ström åt motsatt håll mot förut och följaktligen motverka gnistbildningen.

Vid en väl konstruerad dynamo bör det mellan två närgränsande poler finnas ett läge hos borsten, vid hvilket dessa båda ögonblickliga strömmar upphäfva hvarandra, och gnistbildningen skulle där upphöra, om icke äfven andra orsaker kunde framkalla densamma. Men då såsom vi förut lärt känna en större belastning, d. v. s. en starkare ström i induktorn framkallar förökad armatur-reaktion, hvarigenom det magnetiska fältets beskaffenhet förändras och ett större försprång hos borsten skulle påkallas, är det uppenbart att de åtgärder, hvilka tjäna till att försvaga eller upphäfva armaturreaktionen, äfven böra förminska gnistbildningen. Särskildt är detta af betydelse, när väsentliga förändringar i maskinens belastning ifrågakomma.

Emedan en ringinduktor förutom de yttre ledarna äfven har inre ledare, hvilket icke är händelsen med truminduktern, har den förstnämnda vanligen större armatur-reaktion än den sistnämnda samt följaktligen större benägenhet för att lämna gnistor samt påkallar ett större försprång hos borstarna än denna.

Det är äfven tydligt, att ju färre antalet lameller är i kollektorn och ju större antalet är af de mellan två lameller befintliga trådarna i induktorn, dess starkare gnistbildning äger rum.

I vissa hänseenden äro dock olika åsikter rådande angående gnistornas uppkomst. I allmänhet antages att de alstras i det ögonblick, då lamellen i kollektorn lämnar borsten. Enligt *T Reid* skulle de dock förnämligast uppstå under kortslutningen, innan lamellen lämnat borsten.*) Enligt denne elektrikers undersökningar borde maskinen för att verka väl vid alla belastningar erhålla stort kontaktmotstånd vid borstarna, hvaremot afdelningarnas »impedance», d. v. s. deras genom självinduktionen förökade skenbara motstånd**) borde vara litet. Detta sistnämnda villkor skulle återigen påkalla, att induktionen förminskades och att maskinens dimensioner förökades, hvilket åter skulle göra maskinen mera kostsam. Lättare utförbart är förökandet af kontaktmotståndet. Såsom vi ofvan (§ 61) anför, kan detta uppnås genom kolborstarnas användande. Vid alla af Reid undersökta maskiner, som verkade väl i fråga om kommutationen, fann han att de särskilda afdelningarnas skenbara motstånd var litet i jämförelse med kontaktmotståndet. Om borsten har tämligen stor tjocklek, kan det inträffa att två afdelningar samtidigt kortslutas, och i vissa fall verkar maskinen bättre på sådant sätt än såsom vanligt. Detta är dock icke alltid förhållandet.

Vi vilja för öfrigt anmärka, att äfven mekaniska brister hos maskinen, såsom kollektorns ojämnheter, olikheten hos de särskilda lamellerna, olika motstånd hos de särskilda löd-fogarna o. s. v. kunna föranleda gnistorna eller förstärka desamma.

63. Beräkning af det gnistfria läget hos borstarna.

Vi skola nu anförä grunddragen af *Fischer-Hinnens* metod för beräkning af borstförskjutningen vid likströmsdynamos. Härvid betecknar:

N hela antalet trådar vid induktorns omkrets;

N_1 antalet induktorafdelningar eller spolar;

N_2 antalet kollektorlameller (vid glatt järnkärna är

$N_1 = \frac{N}{N_2}$, vid tandad järnkärna lika med antalet tänder);

I strömstyrkan i den yttre ledningen;

i strömstyrkan i en induktorspole;

*) *L'Electricien*, 1898, p. 118.

**) Såsom bekant uttryckes detta genom formeln

$$\sqrt{r^2 + 4\pi^2 n^2 L^2}.$$

n antalet rotationshvarf pr minut;

r motståndet i en induktorspole;

D induktorns och D_1 kollektorns diameter i cm.;

$2p_1$ antalet borststift.

Själfinduktionens elektromotoriska kraft i en spole kan såsom bekant uttryckas genom

$$E = -L \frac{di}{dt} \dots \dots \dots (1),$$

då di är strömstyrkans förändring under tidselementet dt och L själfinduktionskoefficienten. Vidare är

$$i = \frac{E}{r} \text{ samt } \frac{di}{i} = -\frac{r}{L} dt.$$

Häraf följer efter integration

$$i = a \cdot e^{-\frac{r}{L}t} \dots \dots \dots (2),$$

där a är en konstant samt $e = 2,718 \dots$

I det ögonblick kortslutning inträffar genom borsten är $t=0$ samt $i = \frac{I}{2p_1}$ och således

$$a = \frac{I}{2p_1}.$$

Den elektromotoriska kraft E'_1 i spolen, som vid motståndet r motsvarar strömmen i , är vid tiden t

$$E'_1 = E_1 \cdot e^{-\frac{r}{L}t} \dots \dots \dots (3),$$

då E_1 är den elektromotoriska kraften, när $t=0$.

Denna ekvation gäller, så länge borsten befinna sig i den neutrala zonen. Förskjutas de i rörelsernas riktning, alstras en elektromotorisk kraft E_2 , hvilken vid generatorer motverkar den ursprungliga, men vid motorer förstärker denna. Den starkaste ström, som motsvarar denna elektromotoriska kraft, är $E_2 : r$. För densamma erhålles analogt med nyss härledda uttryck

$$E'_2 = E_2 \left(1 - e^{-\frac{r}{L}t}\right) \dots \dots \dots (4).$$

Man har således i detta fall

$$i = \frac{E'_1 - E'_2}{r} \dots \dots \dots (5).$$

På det att vid kortslutningens afbrott icke några gnistor skola uppstå, bör vid borstens förskjutning en elektromotorisk motkraft alstras, som så påskyndar kommutationen, att i det ögonblick borsten lämnar en lamell, strömmen redan har uppnått sin normala styrka d. v. s.

$$i = -\frac{I}{2p_1}.$$

64. Spänningsförluster genom armatur-reaktionen.

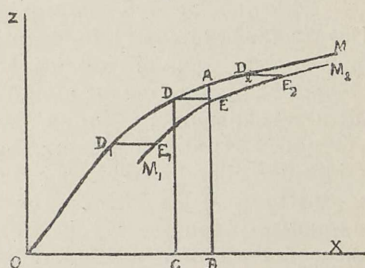
Vi ha i det föregående antydtt, som en följd af den förskjutning borstarna måste gifvas, att en demagnetiserande verkan uppstår, hvarigenom den elektromotoriska kraften i sin ordning förminskas. Den elektromotoriska kraften är nämligen proportionel mot magnetfältets styrka, som i sin ordning växer med den magnetiserande kraften. Angifves denna genom antalet ampère-hvarf X samt N är antalet trådvarf å induktorn, I strömstyrkan hos en ledare i denne samt $\alpha : \pi$ förhållandet mellan försprångsvinkeln och halfva omkretsen, så är den demagnetiserande kraften

$$X_b = \frac{N I \alpha}{\pi}.$$

Den återstående verksamma magnetiserande kraften är $X_1 = X - X_b$.

Detta bör uppmärksammas vid beräkningen af den elektromotoriska kraften. Man kan äfven såsom *Esson* och *Swinburne* grafiskt uttrycka detta genom att konstruera en *dynamisk karakteristika* till skilnad från den vanliga *statiska karakteristikan*. Låt för

Fig. 119.



den skull i fig. 119 abscissorna angifva X samt ordinaterna antingen antalet verksamma kraftlinier Z i fältet eller den vid konstant hastighet däremot proportionela elektromotoriska kraften. ODM är den statiska karakteristikan. Låt A vara en punkt därpå. Vi antaga $OB = X$ samt $AB = Z$. Afsättes $BC = X_b$, så är $OC = X_1$. Drages en horisontal linie genom D , så bestämmer dess skärningspunkt E på AB en punkt af den dynamiska karakteristikan M_1M_2 . På samma sätt kunna andra punkter E_1, E_2 erhållas å densamma. Härvid får dock anmärkas, att DE, D_1E_1 och D_2E_2 icke äro fullt lika stora, utan att $D_1E_1 > DE > D_2E_2$, d. v. s. att ju större X är, dess mindre blifver DE . Detta beror på att polskornas kanter äga en viss grad af magnetisk intensitet, hvilken motverkar självinduktionen i induktorträdarna. Men då det magnetiska fältet af någon orsak försvagas, måste äfven detta inträffa med polskornas kanter, så att för att erhålla ett tillräckligt starkt fält för kommutationen borstarna måste framskjutas något längre mot dessa kanter. Härigenom förökas X_b .

Vid vissa dynamomaskiner, afsedda för ett växlande antal bågglampor i serie, hvilka således böra äga föränderlig potential men konstant ström, begagnas en automatisk anordning hvarved borstarna flyttas framåt vid en ringa tillväxt hos strömmen samt bakåt, om denna något aftager. Härigenom kommer X_1 att aftaga eller förökas, när α förökas eller aftager.

Vi vilja till slut anmärka, att armatur-reaktionen icke medför effektförlust på annat sätt, än hvad som föranledes af att maskinen måste tagas större eller förses med särskilda anordningar för att motväga den nedsättning i spänning den föranleder, således indirekt.

65. Effektförluster vid likströmsdynamos. — Förutom den genom *armatur-reaktionen* uppkommande spänningsförlusten, som vi i det föregående tagit i betraktande och som beräknas till vid pass 2 à 4 % vid truminduktorer och 4 à 8 % vid ringinduktorer, gifves det åtskilliga andra orsaker, som försvaga dessa maskiners verkan, och som vi nu skola taga i betraktande.

Foucaultska strömmar är en vanlig orsak till effektförlust. Det är förnämligast i induktorns järnkärna, som dessa strömmar alstras genom induktion från elektromagneterna, och såsom bekant förebygger man denna förlust genom att samman-sätta järnkärnan af tunna järnbleck. Blecken isoleras från hvarandra vanligen genom papper eller ock genom ytans oxidering eller bestrykning. Användandet af järntrådar vid hopsättning af järnkärnan anses numera ofördelaktigt, emedan magnetiseringen för mycket försvagas. Men äfven i polskorna induceras sådana strömmar genom de kraftlinier, som utgå från induktorn, i synnerhet om dennas järnkärna är tandad, i hvilket fall kraftlinierna förnämligast samlas vid tändernas nära polytan kommande ändar. För att försvaga de då uppkommande strömmarna och den af dem härrörande förlusten i effekt, hvilken visar sig genom tändernas och polskornas upphettning, göras tänderna smala och höga samt anbringas nära intill hvarandra. Med andra ord: deras mellanrum blifva djupa och trånga. Äfven begagnas nedåt utvidgade och upp-till helt smala mellanrum eller efter *Jonas Wenströms* metod hål i järnkärnan för trådarnas införande eller ock utskärningar, hvilka tillslutas med ett lager af upplindad järntråd. Men jämväl i induktorns ledningar kunna sådana strömmar uppkomma, i synnerhet om järnkärnan är glatt och ledningen utgöres af grofva kopparstänger. Vid tandad järnkärna är denna olägenhet mindre, emedan kraftlinierna här förnämligast genomgå tänderna och blott till en mindre del mellanrummen, i hvilka trådarna anbringas. Genom att sammansätta led-

ningen af flera skilda trådar, lagda bredvid hvarandra, upphäfvast dessa foucaultska strömmar. Vid maskiner med ringinduktor alstras ifrågavarande strömmar äfven i det inre rummet af ringen genom det om ock ringa antal kraftlinier, som där äro till finnandes och hvilka äga ett oföränderligt läge och därför skäras af de inre ledarne, axeln m. fl. metalliska delar. Förlusten blifver större om dessa delar äro af järn, än om de äro af någon annan metall, emedan det inre fältets styrka förökas af järnet. Därför tillverkas ofta vid nyare ringinduktorer naf och armar af kanonmetall. Truminduktorn har icke några inre ledningar och är därför mindre utsatt för nu omtalade olägenhet.

För beräkning af den effektförlust, som uppstår till följd af foucaultska strömmar vid en järnkärna, som är sammansatt af tråd eller bleck, har *Fleming* angifvit följande formler:

$$\text{tråd} \dots\dots\dots \frac{(dwB)^2 V}{4 \cdot 10^{12}} \text{ watt};$$

$$\text{bleck} \dots\dots\dots \frac{16 (awB)^2 V}{10^{12}} \text{ watt};$$

$$\text{där } w = \frac{pn}{60}.$$

Här betecknar d tråddiametern i cm., w antalet perioder i sekunden, a plåttjockleken i cm., V järnets volym i kubcm.; p antalet polpar och n antalet hvarf per minut. Man jämföre härmed förlusten i massiva järnkärnor (§ 35).

Hysteresis är en annan förlust, som äfven förekommer vid likströmsdynamos, och som vi i det föregående tagit i närmare betraktande. Vid nämnda maskiner kommer riktningen af de magnetiska kraftlinier, hvilka genomgå en del af induktorkärnan, att förändra riktning lika många gånger under ett hvarf, som antal af poler, hvarvid omkastningen äger rum när ifrågavarande del går förbi polaxeln. Det största antalet kraftlinier framgår vid neutrallinierna. Beräkningen af förlusten sker enligt § 35.

De genom foucaultska strömmar och hysteresis tillsammans uppkommande förlusterna benämnas vanligen *järnförluster*.

Förlusten genom *ledningsmotståndet* eller *kopparförlusten* härrör dels af motståndet i induktorn och dels i elektromagneterna. Beträffande det förra, låt N beteckna hela antalet trådar samt L medellängden i meter af ett trådvarf vid ringinduktorn eller hela trådlängden jämte föreningstrådar, dividerad med N vidtruminduktorn, $2p_1$ antalet borststift samt s tvärsärningsarean i kvmm. hos en tråd. Lednings-

motståndet hos en koppartråd af 1 m. längd och 1 kvmm. tvärskärningsarea kan antagas till $\frac{1}{55}$ à $\frac{1}{60}$ ohm vid 0°. Men då tråden något upphettas, bör man beräkna åtminstone 20 % förökning i motståndet. Vi sätta därför induktorledningens motstånd i en strömkrets]

$$R = \frac{1,2 N \cdot L}{60 \cdot 2p_1 \cdot s} = \frac{NL}{100p_1 s} \text{ ohm.}$$

Om vidare I betecknar hela antalet ampère maskinen lämnar, blir voltförlusten i induktorn

$$e = \frac{RI}{2p_1} = \frac{NLI}{200 \cdot p_1 s} \text{ volt.}$$

Motsvarande effektförlust är

$$eI = \frac{NLI^2}{200p_1 s} \text{ watt.}$$

För att beräkna förlusten i elektromagneterna beteckna trådlindningens hela längd med l meter, dess tvärskärningsarea med s_1 kvmm. och strömstyrkan med i ampère, samt antag att motståndet höjes med 20 % till följd af temperaturstegringen vid strömmens genomgång. Då är nämnda förlust efter Joules lag:

$$\frac{li^2}{60s_1} \cdot 1,2 = \frac{li^2}{50s_1} \text{ watt.}$$

För compound-dynamos får beräkningen göras särskildt för de båda trådlindningarna.

Förlusten genom *tappfriktion* beräknas enligt vanliga mekaniska grunder, hvarvid bör ihågkommas, att icke blott det genom induktorns tyngd och attraktion föranledda trycket får införas i räkningen utan jämväl det tryck, som förorsakas af remspänningen. Betecknar P det så bestämda lagertrycket i kilogram, v tapparnas omkrets hastighet i meter per sekund samt tappfriktionskoefficienten f , hvars värde varierar mellan 0,05 och 0,1, så är ifrågavarande effektförlust

$$9,81 \cdot P \cdot v \cdot f \text{ watt.}$$

Luftmotståndet kan i allmänhet försummas vid dessa beräkningar.

Om summan af samtliga järn- och koppar samt friktionsförluster betecknas med F watt samt maskinens nyttiga effekt är N watt, så är dess verkningsgrad

$$\eta = \frac{N}{N + F}$$

Det är denna verkningsgrad, som här tages i betraktande, när icke annorlunda särskildt uppgifves. Vi ha redan i det

föregående lämnat en och annan uppgift rörande dess storlek och beträffande förlusterna vid olika maskiner. *)

66. Verkningsgradens beroende af dynamomaskinens omloppshastighet. — Vi vilja nu omnämna ett af *A. Hausard* härledd samband mellan verkningsgraden och omloppshastigheten. Härvid antages att effekten är proportionel mot hastigheten, då magnetfältets intensitet är oförändrad, att kopparförlusterna äro oberoende af denna hastighet, att de af hysterisis och friktionen härrörande förlusterna äro proportionela mot hastigheten samt att de af Foucaults strömmar uppkommande förlusterna äro proportionela mot kvadraten på hastigheten. För att grafiskt uttrycka ifrågavarande samband skola vi i ett rätvinkligt koordinatsystem (fig. 120) låta abscissorna angifva hastigheterna och ordinaterna totala förlusterna. Ordinatan OC å ordinataxeln OY föreställer kopparförlusten. Drag CD parallell med abscissaxeln OX samt CE bildande en vinkel ECD med CD så stor, att de mellan båda linierna varande delarna ed , $e'd'$... af ordinaterna motsvara de mot hastigheten proportionela förlusterna. Vidare upprättas kurvan CPF på så sätt, att eP , $e'P'$... angifva förlusterna proportionela mot hastighetens kvadrat. Denna kurva är en parabel, hvars axel är parallel med OY och som vid C tangerar den räta linien CE . Drag från origo O en tangent OO' till CPF . Tangeringspunkten P bestämmer den abscissa ON , som motsvarar största verkningsgraden. Ty de effekter, som erhållas vid hastigheterna ON och ON' , den sistnämnda abscissan till en punkt P' , hvilken som helst af parabeln, äro proportionela mot $ON:ON'$ och de totala förlusterna mot $PN:P'N'$, så att förhållandet mellan effekter och förluster blifver större vid P än vid P' . Punkten P motsvarar därför den hastighet, som är fördelaktigast i afseende å verkningsgraden. Men på grund af en bekant egenskap hos parabeln är

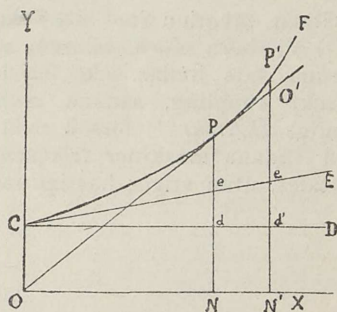
$$Pe = CO = Nd.$$

*) För beräkningen af likströmsdynamos hänvisa vi förnämligast till ett omfattande verk af *A. E. Wiener*: Practical calculation of dynamo-electric machines (New-York, 1898), äfvensom till *Fischer-Hinnens* ofvan citerade arbete.

Om självinduktionens inflytande vid likströmsdynamos, hvilket i allmänhet kan försummas, se »Elektriciteten», 2:a uppl., p. 288.

11. — *Dahlander*.

Fig. 120.



Detta betyder, att verkningsgraden uppnår ett maximum, när kopparförlusterna äro lika stora med de genom Foucaults strömmar härrörande förlusterna.

Man kan äfven genom räkning komma till samma resultat. Låt för den skull n beteckna antalet hvarf per minut samt nW motsvarande effekt, an^2 förlusten genom de foucaultska strömmarna, bn förlusten genom hysteresis och friktion samt c kopparförlusterna. Då är verkningsgraden

$$z = \frac{nW}{nW + an^2 + bn + c}$$

Maximum för z lämnas af derivatan

$$\frac{dz}{dn} = 0,$$

hvaraf erhålles

$$an^2 = c,$$

hvilken ekvation just uttrycker nyssnämnda sats.

Vi böra dock nämna, att de förutsättningar, på hvilka denna sats hvilar, icke förefinnas vid dynammaskiner med direkt koppling, sådana man numera ofta använder dem. Enligt *Dettmars**) försök med Körtings s. k. gasdynamo är vid sådana maskiner friktionen icke proportionel mot hvarf-antalet, utan stiger hastigt med detta.

FJÄRDE KAPITLET.

Växelströmsdynamos och motorer samt transformatorer.

67. Olika slag af växelströmmar. — Det är förnämligast inom växelströmteknikens område, som de mest betydande framsteg blifvit gjorda det senare årtiondet i hvad angår elektriska generatorers och motorers konstruktion och användande. Då dessutom vårt land verksamt bidragit till utvecklingen och tillämpningen af denna gren af elektro-

*) Elektrotechnische Zeitschrift, 1899, p. 203 och 218.

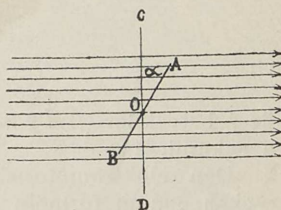
tekniken, skola vi här taga den i närmare betraktande, i synnerhet som det är sannolikt, att det i framtiden blifver växelströmmen som mest kommer till användande.

De maskiner och apparater, som alstra växelströmmar vare sig direkt eller genom transformering, lämna dem, antingen såsom *enkel växelström*, äfven kallad *monofas* och *enfasi*g ström eller såsom *flerfasströmmar*, utgörande en kombination af flera sådana strömmar i särskilda ledningar. Af dessa flerfasströmmar ha *tvåfas*- samt *trefasströmmarna* kommit till praktiskt användande. I Sverige är det företrädesvis trefasväxelströmmarna, som i vidsträckt skala vunnit insteg inom tekniken. Vi skola nu visa uppkomsten och de förnämsta egenskaperna hos de olika slagen af växelströmmar.

Dynamomaskiner, hvilka frambringa växelström, benämnas ofta *alternatorer*. Stundom användes namnet *dynamos* endast för de generatorer, som lämna likriktad ström.

68. Den enkla växelströmmen. — Antag att en plan trådspiral AB (fig. 121) roterar med en konstant vinkelhastighet w i ett enformigt magnetiskt fält af intensiteten z , d. v. s. som innehåller z kraftlinier per kvcm. Vi antaga vidare, att rotationen sker kring en axel O , som är vinkelrät mot kraftlinierna. Det största antalet Z kraftlinier omslutes af spiralen, när dennas plan är i det mot dessa linier vinkelräta läget CD ; sedan spiralen vridits en vinkel $COA = \alpha$ från samma läge omsluter den ett antal

Fig. 121.



$$Az \cos \alpha = Z \cos \alpha$$

kraftlinier, om A är spiralens area i kvcm. Betecknar N antalet hvarf i spiralen, så är den vid rotationen alstrade elektromotoriska kraften i absoluta enheter vid tiden t , motsvarande vinkeln α , d. v. s. $\alpha = wt$

$$d \cdot \frac{NZ \cos \alpha}{dt} = -NZ w \sin wt.$$

Om tiden för ett helt hvarf eller en period betecknas med T , har man

$$w = \frac{2\pi}{T}$$

och nämnda elektromotoriska kraft kan då äfven uttryckas genom

$$-NZ \frac{2\pi}{T} \sin \frac{2\pi t}{T}.$$

Det största numeriska värde, som den i absoluta enheter uttryckta elektromotoriska kraften kan erhålla, motsvarar värden å $t = \frac{T}{4}$ och $t = \frac{3T}{4}$,

och är
$$NZ \frac{2\pi}{T}.$$

Dessa värden erhållas, när spiralens plan ligger i kraftliniernas riktning, hvaremot den elektromotoriska kraften blifver noll i däremot vinkelräta lägen. Med andra ord den elektromotoriska kraften och således äfven den inducerade strömmens riktning omkastas, när spiralen intager läget *CD*.

Genom division med 10^8 erhålles den elektromotoriska kraften i volt.

Betecknar n antalet hvarf per minut, som spiralen beskriver, eller hela perioder på samma tid, är

$$w = \frac{2\pi n}{60}$$

och
$$T = \frac{60}{n} = f,$$

där f betecknar *frekvensen*, d. v. s. antalet hela perioder på en sekund.*)

Den elektromotoriska kraftens maximivärde kan då uttryckas genom formeln

$$E = \frac{2\pi NnZ}{60 \cdot 10^8} \text{ volt} \dots\dots\dots (1)$$

och dess värde vid tiden t

$$e = E \sin wt \text{ volt} \dots\dots\dots (2).$$

Om ledningsmotståndet är r ohm, och det förutsättes, att icke någon själfinduktion äger rum i ledningen, så är största strömstyrkan

$$I = \frac{E}{r} = \frac{2\pi NnZ}{60 \cdot 10^8 r} \text{ ampère} \dots\dots\dots (3)$$

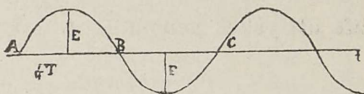
och strömstyrkan vid tiden t

$$i = \frac{e}{r} = I \sin wt \text{ ampère} \dots\dots\dots (4).$$

*) Frekvensen angifves ofta med tecknet $\sim$.

Såsom bekant återgifves sambandet mellan t , e , E , i och I genom en sinusoid (fig. 122), där t uttryckes genom abscissan, e och i genom motsvarande ordinata, hvars maximer är E eller I allt eftersom sinusoiden angifver den elektromotoriska kraftens eller strömstyrkans variationer. Vid A , B , C äro e och i noll. Afståndet AC motsvarar en hel period T samt AB och BC en half period eller $\frac{1}{2} T$.

Fig. 122.



Den *verksamma elektromotoriska kraften* E_1 och den *verksamma strömstyrkan* I_1 , som de elektriska mätningsskallerna skulle lämna, om de användes för den på nu angifvet sätt alstrade strömmens undersökning, äro mindre än E och I . Man har i själfva verket (se § 49, p. 114)

$$E_1 = \frac{E}{\sqrt{2}} = 0,707 E; \quad I_1 = \frac{I}{\sqrt{2}} = 0,707 I \dots (5).$$

Det bör dock anmärkas att den växelström, som lämnas af de ifrågakvarande maskinerna, icke i regeln fullständigt motsvaras af en sinusoid. Såsom vi längre fram skola närmare förklara äga större eller mindre afvikelser rum därifrån. Men i de flesta fall utgår man vid de teoretiska undersökningarna öfver växelströmmen från den förutsättning, att denna grafiskt angifves genom en sinuskurva. Det är endast under ett sådant antagande ekv. (5) är gällande. I annat fall blifver förhållandet mellan E_1 och E samt mellan I_1 och I olika.

Växelströmmaskinerna äga i allmänhet mer än ett polpar, och flera af de ofvan gifna formlerna komma i så fall att modifieras. hvarom mera längre fram.

De egenskaper hos växelströmmen, som vi i det följande skola framhålla, äro dock oberoende af det sätt, hvarpå växelströmmen uppstått, så framt denna ström kan antagas grafiskt angifvas genom en sinuskurva sådan vi i det föregående antagit. Vi förutsätta äfven, att T alltid betecknar hela periodens längd, oberoende af det sätt, hvarpå strömmen alstrats.

69. Själfinduktionens inflytande på en växelström.

— I det föregående ha vi förutsatt att själfinduktionens inverkan kan försummas. Men i allmänhet är detta icke händelsen, utan en mer eller mindre afsevärd själfinduktion förefinnes i trådspiralen eller den ledning, som står i förbindelse därmed. Därigenom föranledes dels en förminskning af strömstyrkan och dels en förskjutning af I i afseende

å E , så att en fasskilnad uppstår mellan dessa. Man kan då sätta

$$e = E \sin wt; \quad i = I \sin w(t - \varphi) \quad \dots \dots (6),$$

där $w = \frac{2\pi}{T}$ samt φ är den i sekunder angifna fasförskjutningens storlek. Emedan självinduktionens elektromotoriska kraft uttryckes genom $-L \frac{di}{dt}$ kan man sätta

$$e - L \frac{di}{dt} = r i \quad \dots \dots \dots (7).$$

Differentieras den sista af de båda ekv. (6) två gånger med i och t såsom variabla, erhålles

$$\frac{d^2 i}{dt^2} = -Lw^2 \sin w(t - \varphi) = -iw^2.$$

Differentieras äfven ekv. (7) med afseende å i och t får man

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{r} \frac{de}{dt} - \frac{L}{r} \frac{d^2 i}{dt^2} = \frac{1}{r} \frac{de}{dt} + \frac{Lw^2}{r} i.$$

Genom jämförelse mellan detta värde å $\frac{di}{dt}$ samt det man kan härleda ur ekv. (7), blifver

$$\frac{e}{L} - \frac{ir}{L} = \frac{1}{r} \frac{de}{dt} + \frac{Lw^2}{r} i,$$

hvaraf följer, efter insättning af värdet på e och dess derivata,

$$i(r^2 + L^2 w^2) = Er \left(\sin wt - \frac{Lw}{r} \cos wt \right).$$

Man kan alltid sätta

$$\frac{Lw}{r} = \tan w p',$$

där värdet å p' bestämmes af denna ekvation, och däraf följer

$$\cos w p' = \frac{r}{\sqrt{r^2 + L^2 w^2}},$$

äfvensom

$$\begin{aligned} i(r^2 + L^2 w^2) &= Er (\sin wt \cdot \cos w p' - \cos wt \cdot \sin w p') : \cos w p' \\ &= \frac{Er \sin w(t - \varphi')}{\cos w p'}. \end{aligned}$$

Således är

$$i = \frac{E \sin w(t - \varphi')}{\sqrt{r^2 + L^2 w^2}}.$$

Genom jämförelse med ekv. (6) finner man att

$$\varphi' = \varphi$$

äfvensom

$$I = \frac{E}{\sqrt{r^2 + L^2 w^2}} \dots \dots \dots (8)$$

och

$$i = \frac{E}{\sqrt{r^2 + L^2 w^2}} \sin w(t - \varphi) \dots \dots (9).$$

$$R = \sqrt{r^2 + L^2 w^2} = \sqrt{r^2 + \frac{4\pi^2 L^2}{T^2}} \dots (10)$$

är det skenbara motståndet eller »impedance» under det att Lw kallas »inductance». I geometriskt hänseende stå de i det samband med hvarandra och det ohmska motståndet r fig. 123 antyder. Fig. 123 a visar huru genom självinduk-

Fig. 123.

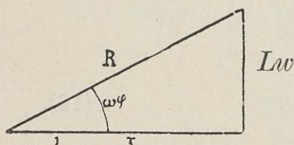
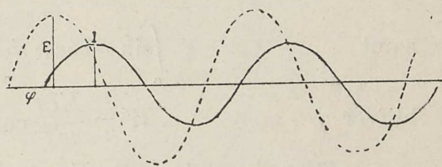


Fig. 123 a.



tionen sinuskurvan, som angifver strömstyrkans växlingar, förskjutes på samma gång strömstyrkans maximivärde förminskas.

Själfinduktionens elektromotoriska kraft uttryckes på grund af ekv. (4) genom

$$e_s = L \frac{di}{dt} = LwI \cos wt,$$

hvars maximivärde är

$$E_s = LwI.$$

Man kan således äfven sätta

$$e_s = E_s \cos wt = -E_s \sin \left(wt - \frac{\pi}{2} \right) \dots (11).$$

Häraf framgår att äfven självinduktionens grafiskt kan framställas genom en sinusoid, ehuru denna kommer 90° d. v. s. $\frac{1}{4}T$ efter strömkurvan. Vi skola något längre fram visa en ännu åskådligare metod för samma ändamål.

20. Växelströmmens arbete. Det under tids-elementet dt förrättade elektriska arbetet är

$$dW = e i dt$$

och arbetet per sekund

$$W = \frac{1}{\frac{1}{2}T} \int_0^{\frac{1}{2}T} e i dt.$$

Efter insättning af värdena å e och i efter ekv. (6) erhålles

$$W = \frac{EI}{\frac{1}{2}T} \int_0^{\frac{1}{2}T} \sin wt \cdot \sin w(t - \varphi) dt = \frac{EI}{\frac{1}{2}wT} \int_0^\pi \sin \alpha \cdot \sin(\alpha - w\varphi) d\alpha.$$

Utvecklas $\sin(\alpha - w\varphi)$ kan integrationen verkställas. Man får nämligen

$$W = \frac{EI}{\frac{1}{2}wT} \left(\cos w\varphi \int_0^\pi \sin^2 \alpha d\alpha - \sin w\varphi \int_0^\pi \sin \alpha \cos \alpha d\alpha \right).$$

och då
$$\int_0^\pi \sin^2 \alpha d\alpha = \frac{\pi}{2}$$

samt
$$\int_0^\pi \sin \alpha \cos \alpha d\alpha = 0$$

blifver
$$W = \frac{EI\pi}{wT} \cos w\varphi \dots \dots \dots (12).$$

Införas i stället för E och I efter ekv. (5) E_1 och I_1 samt man uppmärksammar, att

$$wT = 2\pi,$$

får man slutligen

$$W = E_1 I_1 \cos w\varphi \dots \dots \dots (12 a).$$

Det elektriska arbetet, som per sekund förrättas af växelströmmen, uttryckes således genom produkten af den verk-samma elektromotoriska kraften och den verksamma strömstyrkan samt cosinus för fasförskjutningen mellan båda. Angifvas de förstnämnda i volt och ohm, erhålles effekten i watt.

När icke någon självinduktion förefinnes, är $\varphi = 0$, och i så fall blifver likasom vid konstanta strömmar effekten lika med produkten af E_1 och I_1 . Men ju större självinduktions-koefficienten L är, dess mindre blifver $\cos w\varphi$ och således W . Faktorn $\cos w\varphi$, hvarmed produkten $E_1 I_1$ bör multipliceras för att erhålla det verkliga wattantalet maskinen lämnar och som på sätt och vis bestämmer växelströmmaskinens värde, benämnes *kraftfaktor*.

och dennas diagonal OD lämnar det nya värdet E' å E , hvilket erfordras för att strömstyrkan oaktadt självinduktionen skall uppnå maximivärdet I . Man har här

$$E'^2 = E^2 + E_s^2 \dots \dots \dots (13).$$

I själfva verket är

$$E_s = LwI \text{ och } E = rI$$

och således

$$E^2 + E_s^2 = I^2 (r^2 + L^2 w^2) = I^2 R^2,$$

hvaraf ekv. (13) följer. Dessutom är

$$\text{tang } w\varphi = \frac{Lw}{r} = \frac{E_s}{E},$$

hvaraf framgår att fasförskjutningen $w\varphi$ angifves genom vinkeln AOD .

Ekv. 13 lämnar medel att på ett bekvämt sätt bestämma självinduktionen hos en växelströmmaskin. För den skall mätas vid konstant hastighet och magnetiskt fält voltantalet mellan polskrufvarna, såväl när maskinen går med öppen ledning som vid normal ström. I förra fallet erhålles E' , om den uppmätta verksamma elektromotoriska kraften multipliceras med $\sqrt{2}$. I senare fallet får man efter multiplikation med samma faktor den elektromotoriska kraften E_t , som är E minskad med volförlusten i induktorledningen. Om dennas motstånd är r_1 , är således

$$E = E_t + r_1 I,$$

hvarefter ekv. (13) lämnar

$$E_s = \sqrt{E'^2 - E^2}.$$

Själfinduktionskoefficienten kan sedan beräknas och är

$$L = \frac{E_s}{wI}.$$

Det bör dock anmärkas, att det så bestämda värdet å L är något större än dess rätta värde, emedan genom självinduktionen äfven det magnetiska fältet försvagas.*)

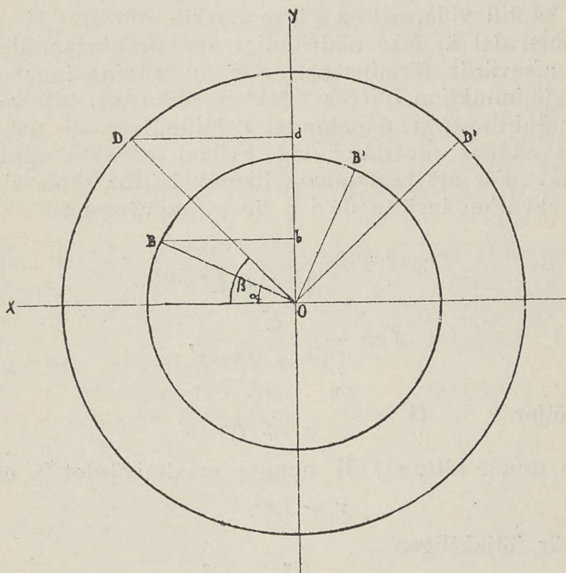
Medels det nu ifrågavarande diagrammet kan tillika det uttryck för växelströmmens effekt, som vi nyss härledt, på ett åskådligt sätt framställas. Upprita för den skull (fig. 125) två cirkelar, hvilkas radier angifva OD den elektromotoriska kraften E' med självinduktion och OB strömstyrkan I , båda

*) Se häröfver Kapp: Dynamos, alternators and transformers, 1893, p. 410.

vid maximivärdena. Låt OB och OD med axeln Ox bilda de variabla vinklarna α och $\beta = \alpha + w\varphi$. Projektionerna Od och Ob uttrycka då i hvarje ögonblick motsvarande elektromotoriska kraft och strömstyrka. Den elektriska energien är vid det betraktade läget af radierna

$$ei = E'I \sin \alpha \sin \beta.$$

Fig. 125.



Vid det mot det förra vinkelräta läget af de roterande radierna, nämligen OD' och OB , är den elektriska energien

$$e'i' = E'I \cos \alpha \cos \beta.$$

Medelvärdet är

$$\frac{ei + e'i'}{2} = \frac{E'I}{2} \cos(\beta - \alpha) = \frac{E'I}{2} \cos w\varphi.$$

Detta värde är således oförändradt under rotationen, och vi finna på grund här af, att för hela cykeln energien äger samma medelvärde, hvilket med hänsyn till att

$$E' = \sqrt{2}E_1; \quad I = \sqrt{2}I_1$$

just är det som ekv. (12 a) angifver.

72. Villkor för maximieffekt med växelström. —

Det uttryck för effekten, som vi funnit, nämligen

$$W = E_1 I_1 \cos w\varphi = \frac{EI}{2} \cos w\varphi$$

visar att densamma beror icke blott på den verksamma elektromotoriska kraften och den verksamma strömstyrkan, utan jämväl på den fasförskjutning, som till följd af självinduktion uppstår mellan dessa. Självinduktionen förminskar sålunda effekten så till vida, att en större maskin erfordras för samma effekt, men det är icke nödvändigt att verkningsgraden därigenom afsevärdt förminskas. För en ledning innehållande en viss själinduktion blifver effekten olika allt eftersom det öfriga, induktionsfria motståndet r förändras, och det gifves ett visst sådant motstånd, vid hvilket effekten uppnår ett maximum. För att bestämma villkoret härför, skola vi i nyss anförda ekvation insätta de i § 69 gifna värdena

$$\cos w\varphi = \frac{r}{\sqrt{r^2 + L^2 w^2}};$$

samt
$$I = \frac{E}{\sqrt{r^2 + L^2 w^2}},$$

hvaraf följer
$$W = \frac{E^2}{2} \frac{r}{r^2 + L^2 w^2}.$$

Man finner lätt, att W uppnår maximivärdet^{*)}, när

$$r = Lw,$$

och det är följaktligen

$$W_m = \frac{E^2}{4r} = \frac{E^2}{4Lw} \dots \dots \dots (14).$$

Med andra ord maximivärdet å W erhålles när det ohmska motståndet är lika stort med dettas »inductance». Vinkeln $w\varphi$ är då $\frac{\pi}{4}$ eller 45° .

Tillämpas detta för det fall att i ledningen införes en likströmsdynamo med serielindning samt med elektromagnetkärnor af tunna järnbleck, som förhindra uppkomsten af foucaultska strömmar, blifver förhållandet mera invecklad. Dynamomaskinen sättes i rörelse åt samma håll, vare sig

^{*)} Enklarest framgår detta, om ekvationen sättes under formen

$$r = \frac{E^2}{4W} \pm \sqrt{\left(\frac{E^2}{4W}\right)^2 - L^2 w^2}.$$

strömmen går i den ena eller andra riktningen, och följaktligen kommer den i rotation genom växelströmmens inverkan. Såsom bekant alstras då i dynammaskinen en elektromotorisk motkraft på samma sätt som vid en likriktad ström, hvilken motkraft vid en ringa mättningsgrad hos elektromagneten är nära proportionel mot strömstyrkan och är jämförlig med den elektromotoriska kraft, som skulle erfordras för att framdrifva strömmen i ett induktionsfritt motstånd. Man kan därför tillämpa det nyss rörande maximiarbetet anförda äfven om en dylik motor är införd i ledningen. Om det ohmska motståndet kan försummas, skulle således maximiarbetet erhållas, när den motverkande elektromotoriska kraften i motorn vore lika stor med självinduktionens elektromotoriska kraft. Detta kan dock endast äga rum vid låg frekvens, d. v. s. vid ett jämförelsevis stort värde på T , ty eljes skulle självinduktionen blifva allt för stor för att ifrågavarande vilkor skulle kunna uppfyllas.

73. Kondensatorns inverkan på en växelström. —

Vi skola nu undersöka det inflytande, som utöfvas på en växelström af en kondensator, hvårs båda polskrufvar förenas med strömmens ledningar på sätt fig. 126 antyder. Beteckna kondensatorns laddningskapacitet med C , potentialskilnaden vid tiden t mellan de båda ledningarna med e , hvilket vi antaga äfven vara spänningen mellan kondensatorns polskrufvar, samt med i strömstyrkan vid samma tid i den till kondensatorn ledande derivationen, hvårs eget motstånd är utan betydelse. Vi förutsätta äfven, att en viss om ock ringa ledningsförmåga finnes hos kondensatorn, så att räknadt på tidens enhet en elektricitetsmängd Ke genom ledning skulle öfverföras mellan beläggningarna, om e vore konstant. Man kan då sätta

$$e = E \sin wt;$$

$$idt = Kede + Cde.$$

Häraf följer

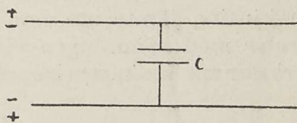
$$i = Ke + C \frac{de}{dt} = KE \sin wt + CEw \cos wt.$$

Antages här $\frac{Cw}{K} = \tan w\varphi_1,$

kan värdet å i bringas under formen

$$i = E \sqrt{K^2 + C^2 w^2} \sin w(t + \varphi_1) \dots (15).$$

Fig. 126.



Kvantiteten $\sqrt{K^2 + C^2 w^2}$, som har en viss analogi med det uttryck $\sqrt{r^2 + L^2 w^2}$, hvilket vi funnit i fråga om självinduktionen, benämnes stundom kondensators »admittance».

Det framgår af ekv. (15), att strömstyrkans i derivationens maximivärde är $E\sqrt{K^2 + C^2 w^2}$ samt att en fasförskjutning $w\varphi_1$ äger rum i motsatt riktning mot den, som genom självinduktionen framkallas. Dessutom uppstår en effektförlust, hvars storlek är

$$W = KE_1^2 = \frac{KE^2}{2},$$

då E_1 är den verksamma elektromotoriska kraften, ty ledningsmotståndet angifves här genom $1:K$. Denna effektförlust motsvaras genom kondensators uppvärmning. För att undvika denna bör isoleringen vara så nära fullständig att man kan antaga $K = 0$. I så fall vore

$$\text{tang } w\varphi_1 = \infty,$$

eller
$$w\varphi_1 = \frac{\pi}{2}.$$

Man får då af ekv. (15)

$$i = ECw \sin\left(wt + \frac{\pi}{2}\right) = ECw \cos wt \dots (15 \text{ a}).$$

Strömmen har således genom kondensators införande förskjutits, jämte att den fått ett försprång af $\frac{1}{4}$ period i jämförelse med spänningen vid kondensators polskrufvar. Den verksamma strömstyrkan är under den gjorda förutsättningen

$$I_1 = \frac{ECw}{\sqrt{2}},$$

under det att den verksamma elektromotoriska kraften är

$$E_1 = \frac{E}{\sqrt{2}}.$$

Kondensators införande har således i hvad angår strömstyrkan i derivationen motsvarat ett ledningsmotstånd därstädes, hvars storlek är

$$\frac{E_1}{I_1} = \frac{1}{Cw} = \frac{T}{2\pi C}.$$

74. Gemensam inverkan af självinduktion och kondensation vid en växelström. — Antag att på sätt fig. 127 antyder i derivationen mellan de båda ledningarna till växelströmmen införes såväl en kondensator som ett motstånd r

med självinduktionskoefficienten L . Om vid tiden t spänningen mellan kondensatorns polskrufvar är v , så är sambandet mellan den elektromotoriska kraften e och strömstyrkan i vid samma tid bestämdt genom ekvationen

$$e = ri + L \frac{di}{dt} + v.$$

Men, emedan vid en kondensator elektricitetsmängden är lika stor med produkten af laddningskapaciteten och potentialskillnaden, är tillika

$$idt = Cdv$$

eller

$$v = \frac{1}{C} \int idt$$

Införes i dessa ekvationer värdet

$$i = I \sin wt,$$

erhålles efter integration

$$v = -\frac{I}{Cw} \cos wt$$

samt

$$e = Ir \left[\sin wt + \frac{1}{r} \left(Lw - \frac{1}{Cw} \right) \cos wt \right].$$

Sättes här

$$\frac{1}{r} \left(Lw - \frac{1}{Cw} \right) = \tan w\varphi_2,$$

får man slutligen

$$e = Ir \frac{\sin w(t + \varphi_2)}{\cos w\varphi_2} = I \sqrt{r^2 + \left(Lw - \frac{1}{Cw} \right)^2} \sin w(t + \varphi_2) \quad (16).$$

Den elektromotoriska kraftens maximivärde är således

$$E = \frac{I}{Cw} \sqrt{C^2 w^2 r^2 + (Cw^2 L - 1)^2} \dots \dots (17).$$

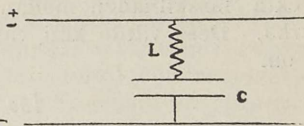
Det största värde kondensatorns spänning V kan er- hålla är

$$V = \frac{I}{Cw},$$

då afseende icke fästes å tecknet. Införes det af ekv. (17) bestämda värdet å I , fås häraf

$$V = \frac{E}{\sqrt{C^2 w^2 r^2 + (Cw^2 L - 1)^2}}.$$

Fig. 127.



De senast härledda relationerna gälla naturligtvis äfven då man inför den verksamma strömstyrkan och den verksamma elektromotoriska kraften och potentialskilnaden.

Kvantiteten φ_2 i ekv. (16) angifver den i sekunder uttryckta fasskilnaden mellan elektromotorisk kraft och strömstyrka. Dess värde kan vara positivt eller negativt beroende på om

$$Lw > \frac{1}{Cw}.$$

Om återigen

$$Lw = \frac{1}{Cw} \quad \text{eller} \quad CL = \frac{1}{w^2} = \frac{T^2}{4\pi^2} \quad \dots (18),$$

skulle icke någon fasförskjutning äga rum. Antaga vi tillika, att vid växelströmmen arbetet är maximum (se § 72), vore

$$Lw = r,$$

och i så fall blefve

$$L = Cr^2 \quad \dots \dots \dots (19),$$

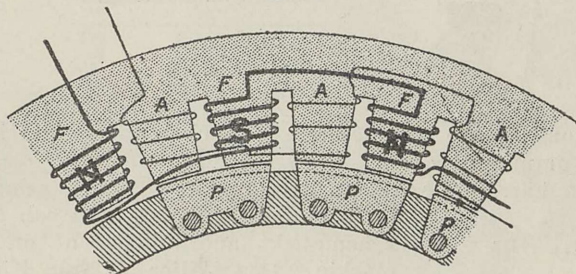
vilkoret för att själfinduktionen skulle upphävas genom kondensatorns laddningskapacitet.

75. Kingdons växelströmmaskin. — Vi skola nu i korthet beskrifva några nyare enfasiga generatorer och till en början omnämna en af *Kingdon* konstruerad sådan maskin, hvars anordning ligger till grund för flera af de moderna växelströmmaskinerna och som därför är af särskildt intresse.

Vid de förut vanliga växelströmmaskinerna är antingen elektromagneten eller induktorn roterande. Det förra är t. ex. fallet vid *Grammes*, *Zipernowskys*, *Mordeys* m. fl. maskiner, det senare däremot vid *Siemens & Halskes* äldre maskiner samt vid *Westinghouses*, *Kapps* och andra växelströmstyper. Vid Kingdons maskin äro både elektromagneten och induktorn stillastående, med andra ord: ingen af trådlindningarna roterar, hvaremot ett järnstycke, som utgör ett slags ankare till elektromagneten, försättes i rotation. Fig. 128 visar en del af denna maskin. En järnring har ett antal inåt vända framsprång $F, F \dots$ på lika afstånd från hvarandra och utgörande järnkärnornas elektomagnet. De med hvarandra förenade trådspiralerna, hvarigenom magnetiseringsströmmen ledes, frambringa i närliggande framsprång omväxlande nord- och sydmagnetism. Mellan dessa framsprång förefinnas på samma gång andra sådana $A, A \dots$ utgörande kärnor till induktorlindningen. Ringen är sammansatt af hoplagda stycken af järnbleck. Det roterande ankaret utgör ett hjul med därvid fästade stycken af hoplagda järnbleck $P, P \dots$, hvilka

sträcka sig efter hjulets omkrets så långt, att ett styckes längd motsvarar två framsprång, på sätt afbildningen visar. Elektromagnetens särskilda delar äga oförändrad magnetism, hvaremot induktorns poler under rotationen erhålla omväxlande nord- och sydpolaritet genom att ankarstyckena P , $P \dots$ än komma i närheten till elektromagneternas nordpoler och än till deras sydpoler, så att kraftliniernas riktning omkastas. Denna förändring äger rum, när ett stycke P står midt framför en pol N eller S . På detta sätt måste en växelström alstras, hvars period är den tid, som åtgår för att P s midtpunkt skall förflyttas från midtpunkten af en polyta till närmaste polyta med samma polaritet. Betecknar p antalet

Fig. 128.



polpar samt n antalet hvarf per minut, så är frekvensen f , d. v. s. antalet hela perioder per sekund

$$f = \frac{pn}{60}.$$

Maskiner af denna typ hafva fått namn af induktor-alternatorer.

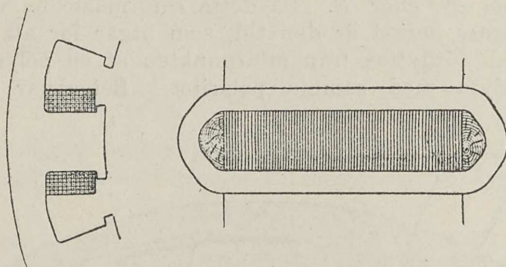
26. Några nyare generatorer för enkel växelström. —

Bland dessa böra vi omnämna en af Oerlikonfabriken härörande typ, som utgör en modifikation af dess bekanta trefasgenerator.* Induktorn är här den yttre orörliga delen i form af en ring (fig. 129 a), sammansatt af utskurna plåtar, hvilka hållas tillsammans af ett gjutjärnsstativ i två hopskrufvade stycken. Spolarna äro löst lindade efter schablon, uppträdda öfver de inåtvända järnkärnorna samt dragna efter längden och fästade medels träkilar på sätt figuren antyder, så att de lätt kunna ombytas. Elektromagnetens

*) Se »Elektriciteten», 2:a uppl. p. 594.

anordning framgår af fig. *b*. Den är i två hälfter af gjutstål med framskjutande poler af omväxlande polaritet. Magnetiseringen sker med en enda spiral. För att hindra uppkomsten af foucaultska strömmar äro de yttersta delarna af polstyckena i närheten af polytorna bildade af hoplagda plåtremsor med isolering, hvilka äro fastgjutna vid gjutstålsstommen.*)

Fig. 129 a.



Bland nyare generatorer för enkel växelström böra vi äfven omnämna de af *Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft* i Berlin härrörande, till en del grundade på den princip vi i § 75 omtalat. Fig. 130 *a* och *b* visar schematiskt anordningen af en sådan maskin. Den skiljer sig från Kingdons maskin väsentligen därigenom att kraftliniernas riktning icke omkastas, utan blott deras antal förändras, d. v. s. det

är blott styrkan men icke polariteten hos fältets olika delar, som förändras i likhet med hvad som äger rum vid

Fig. 129 b.

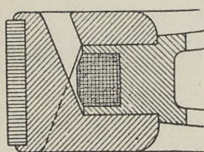


Fig. 130 a.

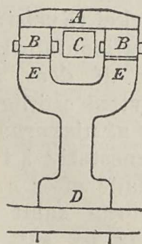
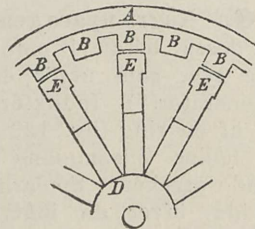


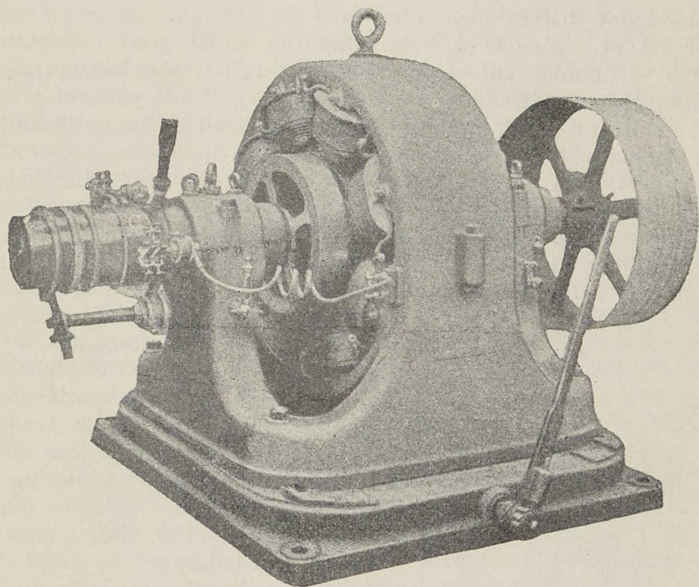
Fig. 130 b.



*) Se vidare en reseberättelse af ingenjör R. Dahlander i Teknisk Tidsskrift, 1895.

Mordeys maskin. Å afbildningen föreställer *A* en gjutjärnsring, vid hvars inre yta två af järnplåt hopsatta ringar *B*, *B*... äro fastsatta. Dessa sistnämnda ringar äga framsprång inåt, hvilka utgöra induktorns järnkärnor och som omgifvas af dess trådspolar. Mellan ringarna ligger magnetiseringsspiralen *C*. Innanför ringarna och spiralen roterar ett hjul af järn, hvilket är hopsatt af ett naf *D* med radielt utlöpande armar *E*, *E*..., som under rotationen gå tätt förbi induktor-

Fig. 131.

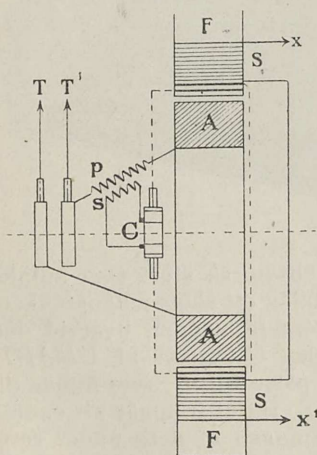


kärnorna. Armarnas antal är hälften så stort som antalet af de sistnämnda. Dessa armar bilda ett slags magnetankare till induktorkärnorna, när de passera förbi dem, hvarvid den magnetiska ledningen kring spiralen *C* utgöres af *EBABE*. Härvid är att märka, det alla de poler till *B*, som finnas till vänster, äga liknämig magnetism. Häraf framgår att endast antalet kraftlinier, men icke riktningen af dem under rotationen är växlande.

Westinghouses alternator har i Norra Amerika och äfven i Europa vunnit vidsträckt tillämpning och torde vara den vanligast använda bland de maskiner, som lämna enkel växelström. Fig. 131 lämnar föreställning om utseendet af den-

samma i en nyare form, sådan den numera i förstnämnda land ofta utföres. En väsentlig skilnad mot äldre maskiner af samma slag är den nedsättning af frekvensen, som de nyare maskinerna erhållit. Under det att förut en frekvens af 125 till 133 var bruklig, är den numera förminskad till 60. Härigenom har man vunnit följande fördelar: Omloppshastigheten har kunnat väsentligen förminskas, regleringen af strömmen är förbättrad, hvarjämte maskinen med större fördel kan användas för bågglampors samt små motorers drifvande. Där emot erfordras något större transformatorer till dynamos för lägre frekvens. Den i fig. 131 afbildade maskinen har 8 poler samt drifves med rem med en hastighet af 900 hvarf per minut. Medels kollektorringarna uttill samt borstarna föres strömmen till den yttre ledningen. En kommutator upptager och rättvänder en del af den alstrade strömmen för att jämte en särskild maskin med likriktad ström underhålla elektromagneterna. Det är således principen för compound-dynamos, som här är tillämpad. Alla de åtta magnetiserings-spolarna erhålla dock nästan hela strömmen från likströms-maskinen, och detta är tillräckligt att alstra hela spänningen — vanligen 1,100 eller 2,200 volt — vid öppen ledning. Men när ledningen slutas, skulle spänningen vid kollektor-

Fig. 132.



ringarna sjunka, om icke elektromagneterna voro försedda med andra spolar, stående i förbindelse med kommutatorn, hvarigenom en likriktad ström går, och dennas styrka ökas på samma gång som belastningen, så att spänningen mellan borstarna bibehålles oförändrad. Fig. 132 visar schematiskt, huru ledningen är anordnad inom maskinen för detta ändamål. AA är induktorn, och i följd med dess trådspiral finns en spiral p , hvilken står i förbindelse med borstarna T, T' . Växelströmmen, som genomgår p , inducerar en ström i en sekundär spiral s , hvilken är förenad med kommutatorn C 's segmenter. Från dessa föres den rättvända strömmen till elektromagneterna F . Likströmsmaskinens ström föres genom x, x' till spolarna S, S' . Denna alternator är afsedd för 60 kilowatt, men andra maskiner för samma frekvens och med samma anordning byggas för 75 och 150

kilowatt. De förra gifvas 10 poler och 720 hvarf i minuten samt de sistnämnda 12 poler och 600 hvarf. Magnetiseringsströmmen är för de mindre maskinerna 8 och för de största 22 ampère vid 125 volt. Magnetkärnorna äro hopsatta af tunna plåtar af mjukt stål och försedda med gröfre ändplåtar. De så bildade polstyckena äro fastgjutna med den af två delar bestående gjutna ringen och stativet. Induktorns kärna är äfven hopsatt af tunna utstansade plåtar eller ringar, hvilka trädas öfver axeln och sålunda förenade bilda grofva tänder eller framsprång, lika många som antalet magnetpoler. Öfver dessa tänder anbringas de aflånga spolarna, hvilka vid ändarne fästas med träkilar, på samma sätt som den i fig. 129 *a* afbildade anordningen. De trådar, som förena induktorspolarna med ringarna, gå genom kanaler i maskinaxeln. Compoundlindningens spolar äro anbragta i induktorns järnkärna.*)

77. Svenska generatorer för enkel växelström. —

Äfven i vårt land äro sådana maskiner utförda, om de ock ej här vunnit en så vidsträckt tillämpning som trefasmaskinerna. De vanliga af *Allmänna svenska elektriska aktiebolaget* i Vesterås tillverkade dynamos af detta slag äro af tolf olika typer, till utseendet liknande den nyss beskrifna Westinghousemaskinen, men med flera olika detaljanordningar. Af de för jämförelsevis låg spänning, 300—1,200 volt, afsedda maskinerna erfordra de minsta 4,5 hk. och lämna 2,7 kw. samt de största 420 hk. och lämna 287 kw. Maskinerna för hög spänning, 600—3,000 volt, erfordra de minsta 4 hk. och utveckla 2,3 kw samt de största 390 hk. och 264 kw. Men äfven andra generatorer för enkelfasväxelström ha tillverkats af samma bolag. Sålunda funnos vid 1897 års utställning i Stockholm dylika af bolaget tillverkade, men af ingenjör *E. Danielson* konstruerade dubbelmaskiner med två orörligt liggande induktorer samt två roterande elektromagnet-hjul med två spolar och af martinstål. Induktorlindningarna voro afpassade för en effektiv spänning af 1,000 volt och kunde kopplas antingen parallelt eller i serie, i hvilket sistnämnda fall 2,000 volt polspänning erhöles. Trådarna voro inlagda i rännor, uttagna i den af tunna plåtar hopsatta järnkärnan samt med isolering af mikanitrör.

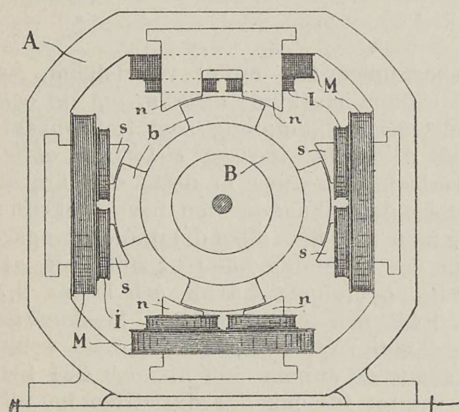
Vi böra äfven omnämna en nyare af samme konstruktör härrörande växelströmgenerator, vid hvilken en konstant spänning erhålles. Detta är vid växelströmsmaskinerna svå-

*) Se vidare Houston & Kennely: Recent types of dynamo-electric-machinery, 1898, p. 215.

rare än vid likströmsmaskinerna, emedan vid de förra icke blott strömstyrkan varierar, utan äfven fasförskjutning äger rum. Den af ingenjör Danielson uppfunna metoden består däruti, att induktorn till den likströmsmaskin, som underhåller elektromagneterna, förses med en andra trådlindning, hvilken genomgås af växelströmmen eller af en från denna transformerad ström. Härigenom förstärkes nyssnämnda maskins fält i samma förhållande som fasförskjutningen i hufvudströmmen förstoras. Kompensation såväl för strömstyrkan som fasförskjutningen kan på så sätt erhållas.*)

Vid nämnda utställning förefanns äfven en af *Aktiebolaget de Laval's ångturbין* tillverkad växelströmsmaskin, som

Fig. 133.



konstruerats af den finske ingenjören *J. Sohlman*. Äfven denna var en dubbelmaskin, men med orörliga elektromagneter och induktorer samt med roterande ankare efter den princip vi i § 75 omtalat, ehuru med väsentligt olika detaljer. Anordningen har i Sverige patenterats**), och vi skola nu i korthet redogöra därför, men tillämpad vid en enkel maskin. Fig. 133

visar densamma. *A* är en järnram, *n, n, s, s* de å denna anbragta inåt skjutande polerna, som hvar och en är omlindad med en induktionsspole *I*. Två och två bredvid hvarandra liggande poler äro omlindade med en gemensam magnetiseringsspole *M* på så sätt, att de erhålla lika polaritet och de närmaste motsatt. *B* är det roterande ankaret med framsprång, hvilkas bredd är dubbelt så stor som de fasta polernas. Vid dess rotation uppstår icke några magnetiska variationer inom den till två närliggande poler med samma polaritet hörande magnetiseringspolen, hvaremot magnetismen i de till dess poler hörande induktionsrullarna *I* är underkastad hastiga växlingar. I de faststående polerna varierar

*) Se vidare *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1899, p. 38.

**) Se patentbeskrifningen n:o 7,322.

magnetismen mellan nära noll och ett maximum, men däremot äger omkastning rum i den roterande delen. I den yttre ramen är magnetismen dels konstant och dels varierande. Det förra gäller de delar, som ligga mellan en nordpol och närgränsande sydpol, och dessa delar kunna vara massiva, hvaremot öfriga delar af ramen och polerna samt det roterande ankaret böra vara lamellerade.

Med den nu beskrifna anordningen åsyftas enligt patentanspråket att förminska den magnetiska spridningen mellan magnet- och induktionsspolarna samt att förhindra uppkomsten af induktionsverkningar på magnetiseringsspolarna vid ankaret *B:s* rotation.

78. Beräkning af den elektromotoriska kraften hos dynammaskiner med enkel växelström. — Vid den beräkning af den elektromotoriska kraftens maximivärde hos en växelström, som vi i § 68 verkställt, ha vi funnit, att denna kan uttryckas genom

$$E = \frac{2\pi NnZ}{60 \cdot 10^8} \text{ volt,}$$

där *N* betecknar hela antalet i följd varande trådvarf i den roterande spiralen, *n* antalet hvarf per minut samt *Z* största antalet kraftlinier, som under spiralens rörelser omslutas af denna, d. v. s. det antal kraftlinier, som spiralen innehåller, när dess plan är vinkelrätt mot deras riktning. Men vid härledningen af detta uttryck antogo vi, att det magnetiska fältet var enformigt och att således öfverallt lika många kraftlinier innehållas per kvem. De dynammaskiner, som användas inom tekniken, äga dock i regeln flera poler, och ofta ett mycket stort antal sådana. Huru olika de maskiner än äro, som alstra enkel växelström, utgöras de nästan alltid af en krans eller ring med ett jämnt antal magnetpoler samt en ring med motsvarande antal induktorspolar, hvilken ring i vissa fall kan vara densamma som den förra, och genom dessa spolar går en följd af magnetiska fält, hvilka antingen äga växlande riktning eller ock blott föränderlig intensitet. I alla händelser genomgås spiralerna af ett föränderligt antal kraftlinier, hvilket är vilkoret för att en elektromotorisk kraft skall frambringas. Om antalet polpar i stället för att vara 1, som nyss anförda ekvation förutsätter, vore t. ex. 4, så skulle den elektromotoriska kraften fyrdubblas, och vore polantalet $2p$, skulle den elektromotoriska kraften blifva p gånger större än när blott ett polpar förefinnes. Dessutom är antalet sam-

verkande trådspolar i induktorn afpassadt efter antalet poler, så att värdet å N förökas. Man kan därför sätta

$$E = \frac{2\pi p N n Z}{60 \cdot 10^8} \text{ volt.}$$

Men vanligtvis inför man den verksamma elektromotoriska kraften E_1 (se ekv. 5, p. 165) samt antalet N_1 verksamma trådar, d. v. s. de trådar å ömse sidor af spiralerna, hvilka utöfva inflytande, eller $N_1 = 2N$, och man får således

$$E_1 = \frac{2\pi p N n Z}{2\sqrt{2} \cdot 60 \cdot 10^8} = \frac{2,22 p N_1 n Z}{60 \cdot 10^8} \text{ volt} \quad \dots (20).$$

Man får dock erinra sig, att detta endast gäller under förutsättning af, att den kurva, som angifver den elektromotoriska kraftens variationer, är en sinusoid. Men då erfarenheten visat, att den verksamma kraften är proportionel mot p , N , n och Z , kan samma ekvation tillämpas jämväl äfven för de maskiner, där variationerna följa en annan lag, blott koefficienten gifves ett värde, som är afpassadt efter denna lag. Således har man den allmänna formeln

$$E_1 = \frac{k p N_1 n Z}{60 \cdot 10^8} \text{ volt} \quad \dots \dots \dots (20 \text{ a}).$$

Stundom införas i stället för p och n frekvensen f , hvilken vid de nyare maskinerna vanligen är 50 eller 60. Sättes

$$f = \frac{pn}{60},$$

$$\text{erhålles} \quad E_1 = \frac{k f N_1 Z}{10^8} \text{ volt} \quad \dots \dots \dots (20 \text{ b}).$$

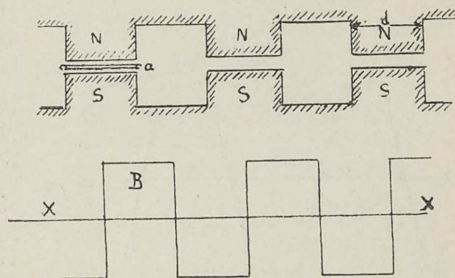
79. Kapps metod för beräkning af den verksamma elektromotoriska kraften. — Det är möjligt att på förhand approximativt beräkna storleken af den verksamma elektromotoriska kraften vid växelströmsmaskiner enligt en af den bekante elektroteknikern *Gisbert Kapp* *) först angifven metod. Vi skola nu tillämpa denna vid Mordeys generator, vid hvilken en orörlig induktor är anbragt mellan de två delarna af ett roterande elektromagnethjul med framåtskjutande poler, hvilka äro vända mot hvarandra. Alla nordpolerna äro där på ena sidan och alla sydpolerna på den andra sidan om induktorn. Fig. 134 lämnar begrepp härom. Antag till en början, att en trådspiral af ett enda hvarf har det läge relativt

*) *Dynamos, alternators and transformers*, 1893, p. 364, äfvensom *Elektrische Wechselströme*, 1897, p. 35.

polerna, som α antyder, så går hela strömmen af kraftlinier därigenom, men i det angifna läget är den elektromotoriska kraften noll. Ett ögonblick därefter har t. ex. den vänstra sidan af trådharfvet inkommit i fältet, och den elektromotoriska kraften uppnår genast positiva maximivärdet, som den bibehåller till dess den vänstra trådsidan uppnått fältets gräns, där den elektromotoriska kraften ånyo blir noll, för att genast därefter erhålla det negativa maximivärdet. På samma sätt är verkan vid den högra sidan af trådspiralen. Den elektromotoriska kraftens variationer komma under sådana förhållanden att geometriskt angifvas genom en figur liknande B i stället för sinuskurvan.

Fig. 134.

Räta linien xx motsvarar nollvärdet. Den verksamma elektromotoriska kraften E_1 öfverensstämmer i detta fall med största elektromotoriska kraften E . För att genom en formel uttrycka dem, så antag, att p poler finnas å hvardera sidan, d. v. s. att antalet polpar är p . Antalet trådspiralerna är då $2p$. Emedan den i absoluta enheter angifna elektromotoriska kraften bestämmes genom det antal kraftlinier, som trådarna träffa på en sekund, så är densamma



$$\frac{2 \cdot 2p \cdot pnZ}{60 \cdot 10^8} = \frac{4p^2 nZ}{60 \cdot 10^8} \text{ volt.}$$

Men om här hvarje spiral utgöres af m trådar eller band, blir den elektromotoriska kraften m gånger så stor, dock under förutsättning, att den bredd i rörelsens riktning, som spiralerna eller spolarna upptaga, är mycket liten i förhållande till polbredden. Antalet verksamma trådar i serie är här

$$N_1 = 4pm,$$

och maskinens elektromotoriska kraft

$$E_1 = E = \frac{pN_1 nZ}{60 \cdot 10^8} \text{ volt} \dots \dots \dots (21).$$

Skulle trådarna eller banden upptaga en afsevärd del af spolens bredd, blir E_1 mindre än E , emedan de särskilda harfven icke samtidigt komma i lika läge till magnet-

polerna. Den form, som kurvan B i så fall erhöles, antydes af fig. 135. Antaga vi t. ex. att bredden af spolarna vore $\frac{1}{4}$ af polbredden d , skulle E_1 kunna beräknas af ekvationen

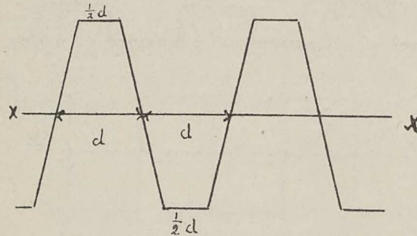
$$dE_1^2 = \frac{1}{2}dE^2 + 2\int_0^{\frac{1}{4}d} e^2 dx,$$

där E bestämmes af ekv. (21) och $e: E = x: \frac{1}{4}d$.
Häraf följer

$$E_1 = E\sqrt{\frac{2}{3}} = \frac{0,816pN_1nZ}{60 \cdot 10^8} \text{ volt} \dots (22).$$

Om återigen polerna äga omväxlande tecken å samma sida af induktorringsen, såsom händelsen är med Siemens &

Fig. 135.



Halskes växelströmsmaskin, samt induktorspolarna äga en dubbelt så stor vidd som polafståndet d och deras inre fria rum har bredden d , då åskådliggöres den elektromotoriska kraftens växlingar af fig. 136, A och B . Antalet spolar å induktorn antages vara så stort som

antalet polpar, således p , och de verksamma trådarnas antal är

$$N_1 = 2pm,$$

om m är antalet trådar i en spole. Den största elektromotoriska kraften är nu

$$E = \frac{4pN_1nZ}{60 \cdot 10^8} \text{ volt},$$

och

$$dE_1^2 = 2\int_0^{\frac{d}{4}} e^2 dx,$$

där $e: E = x: d$.

Häraf följer

$$E_1 = \frac{E}{\sqrt{3}} = \frac{2,31pN_1nZ}{60 \cdot 10^8} \text{ volt} \dots (23).$$

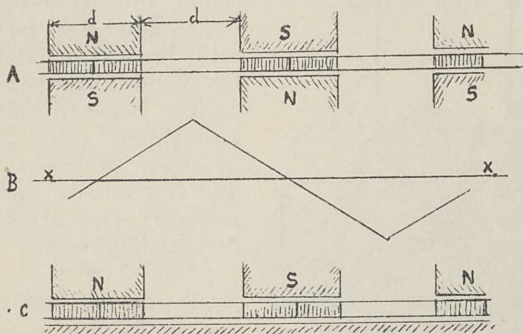
Denna formel är äfven tillämplig vid Westinghouses alternator, fig. 131, § 76, och andra dylika maskiner, som äga poler af omväxlande polaritet på ena sidan, och där den andra sidan utgöres af en järnkärna, hvarigenom kraftlinierna gå.

I fig. 136 antyder *C* denna anordning. Men antalet poler är blott hälften så stort som förut.

På samma sätt kan man gå till väga äfven med andra växelströmsmaskiner. Kapp har uppställt följande tabell, visande det på anfördt sätt bestämda värdet af koefficienten *k* i ekv. 20 *a* och *b*.

- 1) Maskinen lämnar noggrant en sinusoid $k = 2,22$.
- 2) Polernas bredd är lika stor med afståndet $2d$ mellan polernas
midtpunkter, och spolarnas bredd är äfven $2d$ $k = 1,160$.
- 3) Likasom i 2), men spolarnas bredd $= d$ $k = 1,635$.
- 4) Polbredden $= d$ och spolarnas bredd $= 2d$ $k = 1,635$.
- 5) Likasom i 4), men spolarnas bredd $= d$ $k = 2,300$.

Fig. 136.

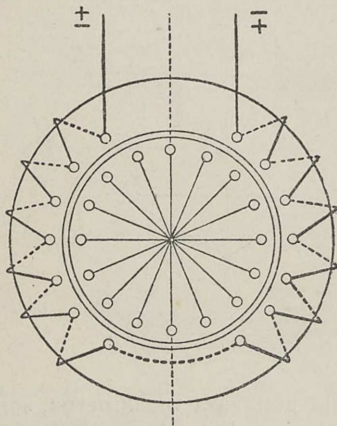


Det sistnämnda värdet skulle motsvara maskinerna, som de numera konstrueras. I själfva verket öfverensstämmer detta värde ganska väl med det som erhålles på grund af sinuslagen, och de verkliga kurvorna, sådana maskinerna lämna dem, närma sig också ofta mera till sinuskurvorna än hvad de rätliniga figurer göra, som ligga till grund för Kapps bestämning. Ekv. 20 kan därför i regeln ganska väl användas för den elektromotoriska kraftens beräkning.

80. Motorer för enkel växelström. — Ehuru dessa erbjuda åtskilliga olägenheter, äro de dock tämligen mycket använda, emedan många centralstationer för elektrisk belysning med växelström finnas, och det är af stor fördel att kunna i dessas nät införa smärre eller större motorer. Såsom bekant kan en vanlig växelströmsmaskin äfven användas såsom motor, men den måste då först sättas i rotation, så att den går synkront med generatoren, d. v. s. så att båda maskinerna

erhålla samma frekvens. Om de då förenas genom ledningar, kan generatoren drifva motorn. Uppenbart är likväl, att det i allmänhet är olämpligt eller obekvämt att begagna motorer, som icke af sig själfva komma i gång vid strömmens slutning. Flera uppfinnare ha därför försökt att konstruera motorer, vid hvilka detta vilkor är uppfyllt. Ett sätt, som här för blifvit användt, är att göra bruk af den maskin för likriktad ström, som måste användas för motor-elektromagneternas drifvande, och hvilken maskin ofta har samma induktoraxel som denna, men som här till en början sättes i verksamhet med ett litet accumulatorbatteri. När växelströmsmaskinen sedermera arbetar såsom motor, sätter den tillika

Fig. 137.



i rörelse likströmsmaskinen, och denna kan då samtidigt användas såväl för att lämna ström till den förstnämndas elektromagneter som ock till att ladda accumulatorbatteriet för nästa igångsättning. Men dylika anordningar blifva kostsamma och invecklade. Af större praktiskt värde äro utan tvifvel de växelströmsmotorer, som grunda sig på flerfasströmmarnas egenskaper, om hvilka vi i det följande komma att tala. Det var vid början af 1890-talet, som nära samtidigt flera sådana konstruktioner vunno insteg i praktiken. Vi skola anföras en af de första, nämligen den från Oerlikon-fabriken. Principen för denna induktionsmotor åskådliggöres genom fig. 137. Här finnes en orörlig yttre ring med två trådspolar, hvilka frambringa poler upptill och nedtill. Inuti finnes en roterande induktor med en järncylander samt en sluten ledning utan något samband med den yttre ledningen. Om denna induktor sättes i rotation under det att växelströmmen genomgår elektromagneten, induceras strömmar i de delar af dess ledningar, hvilka närmas till och aflägsnas från polerna. Dessa strömmar repelleras mindre kraftigt af den pol, till hvilken de närmas, än den motsatta, emedan till följd af rotationen en ledare antager en fas, som i hviloläget skulle tillhöra en längre bort belägen ledare. Men icke heller denna motor är, som man uttrycker det, själfstartande. Anordningen kan likväl här vara

af enklare beskaffenhet, och någon hjälpmaskin med likriktad ström är icke behöflig. I stället användes vid själfva motorn antingen en särskild trådlindning å den orörliga elektromagneten, hvars ström skiljer sig i fas från magnetiseringsströmmen, eller ock är trådlindningen å induktorn så anordnad, att de i densamma alstrade strömmarna åstadkomma en polaritet i sned riktning mot elektromagneten. Om det förra sättet begagnas, kan fasskilnaden framkallas antingen genom att de båda trådlindningarna gifvas olika självinduktionskoefficienter eller genom att anbringa motstånd eller laddningskapacitet i följd med den ena och självinduktion i följd med den andra af dem. Om i den ena ledningen en anseelig självinduktion förefinnes och ett icke induktivt motstånd i den andra, kan en fasskilnad af nära 90^0 erhållas. Ett roterande fält uppstår sålunda på sätt vi i nästa paragraf skola närmare lära känna. Att äfven genom kondensatorers införande i ledningen till en växelström en fäsförskjutning kan uppstå framgår af hvad vi i paragraf 73 anförte. Kondensatorer för detta ändamål bildas helt enkelt af järnplåtar och sodalösning. Äfven genom vanliga transformatorer kan fasskilnaden åstadkommas.

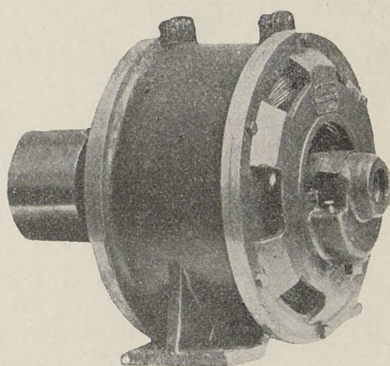
Fig. 138 visar utseendet af en bland de förnämsta bland de nyare växelströmsmotorerna.

Den är konstruerad af firman *Brown, Boveri & Cie* i Baden (Schweiz). Motorn

är mångenstädes använd. Särskildt må nämnas dess begagnande vid elektricitetsverket i Frankfurt am Main. Detta verk, som arbetar med 3,000 volt primärspänning, gör bruk af den enkla växelströmmen, som ledes genom koncentrisk kablar till fördelningsledningen med transformatorer, så att i det sammanhängande sekundära nätet 120 volt lämnas, hvar med motorerna drifvas.

I flera fall är det vid enkelfasmotorer tillfyllestgörande att sätta dem i rörelse genom enkla mekaniska medel.*)

Fig. 138.



*) Om enkelfasiga induktionsmotorer se vidare en uppsats af ingenjör S. Norberg i Teknisk Tidskrift, 1899, p. 24.

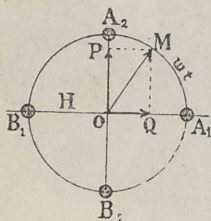
81. Roterande magnetiska fält. — Den af den italienske fysikern *Ferraris* år 1888 gjorda undersökning af roterande magnetiska fält har under det därpå följande årtiondet blifvit af stor praktisk betydelse. Vi skola nu visa, huru ett sådant fält erhålles af två växelströmmar, som skilja sig på en fjärdedelsfas från hvarandra och genomgå hvar sin af två trådspiralerna, hvilka äro upplindade öfver en cylinder längs dennas generatriser på så sätt, att spiralernas medelplan äro vinkelräta mot hvarandra. Antag att A_1B_1 och A_2B_2 (fig. 139) äro dessa spiraler samt låt

$$i_1 = I \sin wt; \quad i_2 = I \sin \left(wt - \frac{\pi}{2} \right) = -I \cos wt. \quad (24)$$

uttrycka styrkan af de båda strömmarna i samma ögonblick. Vi antaga vidare, att hvardera alstrar ett magnetiskt fält, som är vinkelrätt mot dess plan och hvars intensitet är proportionel mot strömstyrkan samt växlar riktning med denna. Betecknar H hvardera fältets maximi-intensitet samt h_1 och h_2 de båda fältintensiteterna vid tiden t , förutsätta vi, att

$$h_1 = H \sin wt; \quad h_2 = H \sin \left(wt - \frac{\pi}{2} \right) = -H \cos wt. \quad (25)$$

Fig. 139.



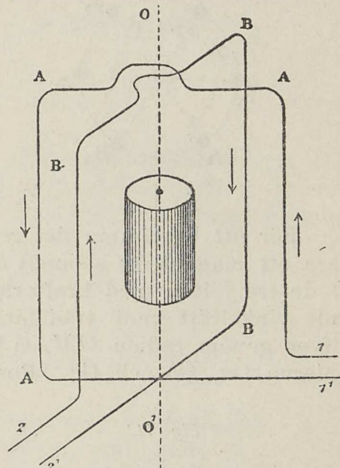
Låt dessutom, i fig. 139, radien $OA_1 = OA_2 = OM$ beteckna H samt vinkeln MOA_1 motsvara wt . Då uttryckas de numeriska värdena å h_1 och h_2 genom OP och OQ eller genom projektionerna af OM på diametrarna A_2B_2 och A_1B_1 . Det framgår tydligt häraf, att om ett magnetiskt element med intensiteten ett vore anbragt på radien OM detsamma skulle åverkas af två magnetiska krafter, hvilkas resultant vore

$$\sqrt{H^2 \sin^2 wt + H^2 \cos^2 wt} = H,$$

och om radien roterade med vinkelhastigheten w skulle det därvid fästade elementet i alla lägen åverkas af en efter OM riktad resultant, hvars storlek oförändradt vore H . Häraf synes, att det magnetiska fält, som alstras af de båda enkla växelströmmarna af lika maximi-intensitet I och med samma frekvens, samt med en fjärdedels periods fasskilnad, är roterande samt beskriver ett hvarf under en hel period T , så att vinkelhastigheten $w = \frac{2\pi}{T}$, hvarvid fältets konstanta intensitet är lika stor med hvardera fältets maximi-intensitet H .

Det är tydligt, att om en magnet anbringas i ett sådant roterande fält, så att den är lätt rörlig kring sin mittpunkt vid fältets medelpunkt O , bör magneten komma i rotation, förutsatt att fältets intensitet är tillräcklig för motståndens öfvervinnande. Men äfven en icke magnetisk metallmassa kan till följd af de foucaultska strömmarna bringas i rotation på samma sätt. Ferraris använde härför den anordning fig. 140 åskådliggör. Från en transformator fördes den primära strömmen genom den ena och den sekundära strömmen genom den andra af de båda platta trådspiralerna A , B , och i midten mellan dessa upphängdes en liten cylinder af kopparbleck. När strömmen fördes genom blott endera af spiralerna, uppkom ingen rörelse, men när båda strömmarna verkade kom cylindern i rotation kring OO' . Rörelseriktningen kunde omkastas genom omkastning af strömmen i den sekundära ledningen. Samma verkan erhöles, om cylindrar af järn och andra metaller, t. o. m. kvicksilfver användes.

Fig. 140.



Men äfven om flera symmetriskt anbragta trådspolar, genomgås af växelströmmar med en viss fasskilnad under analoga förhållanden med de nyss anförda, kan ett roterande fält erhållas. I tekniskt hänseende äro trefasströmmarna af det största intresse, och vi skola nu redogöra för dem. Låt i fig. 141 A_1B_1 , A_2B_2 och A_3B_3 vara tre trådspiraler, upplindade på en cylinder efter generatriserna med 120° afstånd sinsemellan. I dessa spiraler gå tre växelströmmar, hvars fasskilnad är $\frac{2\pi}{3}$ och som uttryckas genom

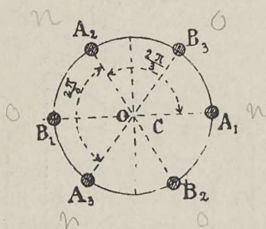
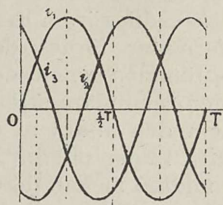
$$i_1 = I \sin \omega t; \quad i_2 = I \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right); \quad i_3 = I \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \quad (26).$$

Summan af dessa strömmars styrka erhålles efter utveckling och reduktion af ekv. (26)

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad \dots \dots \dots (27).$$

Trefasströmmarna åskådliggöras genom fig. 141 *b*. Vi förutsätta vidare att de magnetiska fält, som alstras af de tre strömmarna, äga intensiteter, som uttryckas genom

$$h_1 = H \sin wt; \quad h_2 = H \sin \left(wt - \frac{2\pi}{3} \right); \quad h_3 = H \sin \left(wt - \frac{4\pi}{3} \right) \quad (28).$$

Fig. 141 *a*.Fig. 141 *b*.

För att bestämma det resulterande fältet låt M (fig. 142) vara ett magnetiskt element med intensiteten ett, som åverkas af de tre fälten med krafterna h_1 , h_2 och h_3 , hvilka äro riktade vinkelrätt mot trådspirallernas resp. plan. Om H angifves genom radien OM , så betecknas nämnda krafter genom linierna Oa , Ob och Oc . Resultanten bestämmes genom den

fjärde sidan Oc' i kraftpolygonen $Oab'c'$. Antaga vi ett rätvinkligt koordinatsystem OX , OY , hvars förstnämnda axel ligger i spolen A_1B_1 's plan, samt projicierar polygonen på de båda axlarna, blifva OQ och OP resultantens projektioner, så att

$$Oc' = \sqrt{OP^2 + OQ^2}.$$

Af ekv. (26), (27) och (28) framgår att

$$h_1 + h_2 + h_3 = 0,$$

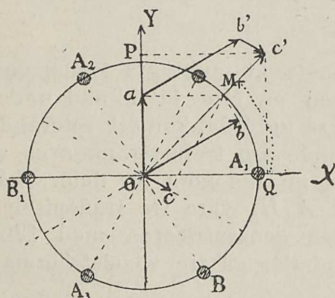
så att en, hvilken som helst, af de tre komponenterna bör vara lika stor med summan af de båda öfriga med iakttagande af tillhörande tecken. Sålunda är

$$Oa = Ob - Oc = ab' - b'c'.$$

Men ab' och $b'c'$ bilda lika som Ob och Oc en vinkel af

$$30^\circ = \frac{\pi}{6} \text{ mot } OX.$$

Fig. 142.



Således är

$$OP = Oa + aP = Oa + (ab' - b'c') \sin \frac{\pi}{6}$$

eller

$$OP = Oa + \frac{1}{2} Oa = \frac{3}{2} h_1 = \frac{3}{2} H \sin wt.$$

På samma sätt finner man att

$$OQ = (ab' + b'c') \cos \frac{\pi}{6} = (2ab' - Oa) \cos \frac{\pi}{6}$$

eller

$$OQ = (2h_2 - h_1) \frac{1}{2} \sqrt{3}.$$

Nu är på grund af ekv. (28) numeriska värdet af h_2 bestämdt och således, om man inför detta värde å h_2 samt det af ekv. (28) gifna värdet å h_1 i det nyss funna uttrycket för OQ , fås denna komposant

$$OQ = \frac{3}{2} H \cos wt$$

samt resultanten

$$Oc' = \frac{3}{2} H \sqrt{\sin^2 wt + \cos^2 wt} = \frac{3}{2} H.$$

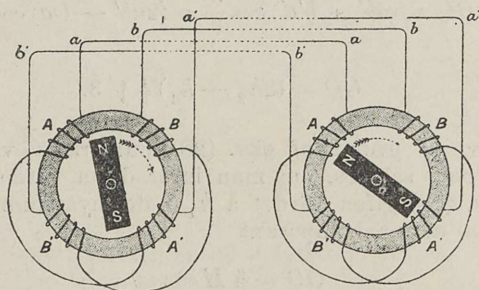
Det resulterande fältets intensitet skulle således i detta fall vara konstant samt en och en half gång så stor som maximivärdet hos hvarterdera af de särskilda magnetiska fälten. För öfrigt framgår det af hvad vi anför, att fältet måste vrida sig kring medelpunkten O med en konstant hastighet samt beskrifva ett hvarf under perioden T .

Vi böra dock anmärka, att den beräkning öfver fältets styrka, som vi nu anför, endast kan vara approximativ, emedan de förutsättningar, som ligga till grund för densamma, endast äro närmevis riktiga. Särskildt bör nämnas, att själf-induktionen måste antagas vara utan inflytande.

Det är tydligt, att två- och trefasströmmar, sådana som vi i denna paragraf omtalat, skulle kunna erhållas genom att två eller tre generatorer för enkel växelström anbragtes med gemensam axel och i passande läge till hvarandra. Men man kan på enklare sätt vinna ändamålet medels en förändring af de vanliga alternatorerna, så att en maskin lämnar två eller flera växelströmmar af olika fas. Nära samtidigt ha i första rummet *Tesla* och *Bradley* i Norra Amerika, *v. Dobrowolsky* i Tyskland, *C. E. L. Brown* i Schweiz samt *Jonas Wenström* i Sverige lyckats lösa detta viktiga problem. Vi skola nu redogöra härför.

82. Tvåfasgeneratorer. För frambringande af tvåfasströmmar samt för dessas användande till erhållande af ett roterande fält skulle t. ex. den anordning kunna begagnas, som fig. 143 schematiskt åskådliggör. Generatoren till vänster och motorn till höger antagas vara lika inrättade. Hvardera af dessa äga fyra trådspolar A, A', B, B' , upplindade på en järnring och förenade med hvarandra på sätt afbildningen visar.

Fig. 143.



Vid generatoren finnes en roterande magnet, som sättes i rörelse af en kraftmaskin, och vid magnetens gång förbi spolarna alstras i dessa växelströmmar, af hvilka de i A, A' äga samma fas samt de i B, B' äfven samma fas, men hvilka äro en fjärdedels period efter de förstnämnda. De så frambragta strömmarna föras genom ledningarna $aa, a'a', bb, b'b'$ till motorn, i hvilken ett roterande fält uppstår, hvarigenom magneten NS sättes i rörelse på sätt vi i § 81 antydt. Dock äro förhållandena icke fullt lika vid de båda i fig. 139 och 143 visade anordningarna. Järnets närvaro förstärker i hög grad såväl det magnetiska fältet som själfinduktionen. Dessutom inverkar spolarnas längd på de inducerade strömmarna, emedan de elektromotoriska krafterna i de särskilda tråd-hvarfven blifva olika, så att de icke samtidigt uppnå maximumvärdet och icke samtidigt förändra riktning. Om vi frånse dessa inverknings, skulle den elektromotoriska kraften mellan två motsatta spolars poler och således mellan a och a' eller mellan b och b' vara

$$e = 2 E \sin wt,$$

då vi bibehålla de i föregående paragrafer angående växelströmmar använda beteckningarna. När fasskilnaden mellan båda strömmarna är en fjärdedels period, blifver den ögonblickliga potentialskilnaden mellan två ledningar med olika faser

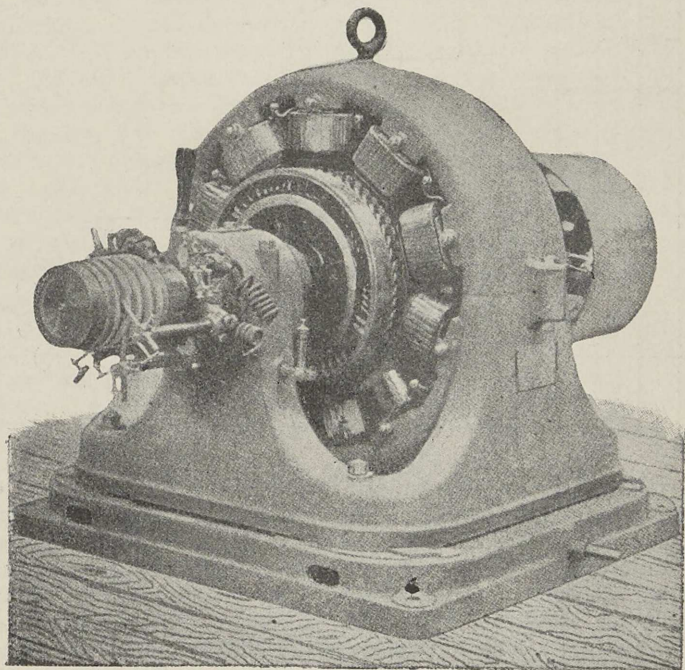
$$2E \sin wt - 2E \sin (wt - 90^\circ) = \sqrt{2} E \sin (wt + 45^\circ). \quad (29).$$

Med andra ord spänningen i linien är då $\sqrt{2} = 1,414$ gånger så stor som spänningen hos en af spolarna och med 45° fasförskjutning.

Huru de i praktiken använda tvåfasgeneratorerna äro beskaffade skola vi nu anföra.

Fig. 144 visar anordningen af en *Westinghouses* generator af detta slag, afsedd för 75 kilowatt, och fig. 145 lämnar ett schema för ledningarna.

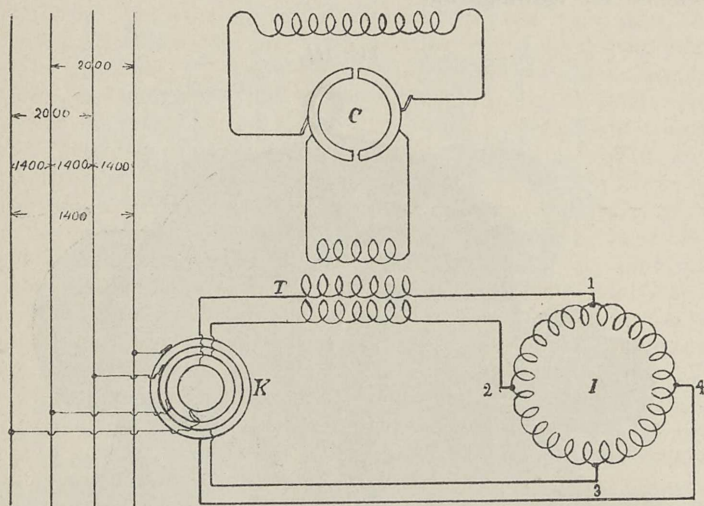
Fig. 144.



Generatoren gifver 1,000 eller 2,000 volt. Här är den roterande delen »rotorn» induktorn, och denna är anbragt inuti den orörliga delen »statorn», som omsluter induktorn och innehåller elektromagneterna. Maskinen är compoundlindad på så sätt, att elektromagneterna underhållas dels genom en liten likströmsdynamo, hvilken icke synes å afbildningen, och dels genom rättvända strömmar, som lämnas medels en kommutator *C* från en särskild trådlindning. Induktorn *I* (fig. 145) har en sluten trådlindning med fyra afledningar 1, 2, 3, 4 på 90° afstånd från hvarandra, hvilka föra till en kollektor

K. Två af dessa fyra ledningar 1, 2 gå genom de primära ledningarna till en transformator *T*, anbragt å induktorns armar. Den sekundära trådlindningen är satt i magnetisk förbindelse med de förstnämnda ledningarna. Från kommutatorns borstar går den rättvända strömmen till elektromagneterna.

Fig. 145.



Kollektorn *K* har fyra ringar, som äro förenade med de fyra yttre ledningarna. Vid de för 2,000 volt lindade maskinerna finnes mellan 1 och 3 samt mellan 2 och 4 en potentialskillnad af 2,000 volt samt mellan 1 och 2 samt mellan 2 och 3 samt 3 och 4 c:a 1,400 volt. Induktorn innehåller en järnkärna, sammansatt af bleckskifvor med trådlindningen utbredd öfver dess tandade yta. Elektromagneterna ha 10 inre poler, af hvilka de närgränsande äga motsatt polaritet. Emedan omloppshastigheten är 720 hvarf i minuten, blir antalet strömväxlingar således 7,200 på samma tid och frekvensen 60 pr sekund i hvarje särskild hufvudledning. För fältet användes 125 volt och 10 ampère ström. Vid de mindre maskinerna af samma typ, nämligen för 45 och 60 kilowatt är polantalet 8 och antalet hvarf 900, samt vid de större maskinerna, afsedda för 150 kilowatt resp. 12 och 600.

Samma amerikanska firma, »Westinghouse Electric and Manufacturings Company», som konstruerat de nu omtalade

maskinerna, har äfven utfört tvåfasgeneratorer af långt anseeligare storlek och af olika typer. De största af dessa maskiner äro de, hvilka tillhöra den stora anläggningen för tillgodogörande af en del utaf Niagarafallets kraft. Dessa maskiner äro af 5,000 hkr. och drifvas hvardera af en särskild turbin med vertikal axel, hvilken sätter i rotation ett däröfver anbragt med axeln direkt förenadt horisontalt hjul, rotern, omgifvande statorn. Den förra innehåller de 12 elektromagneterna, den sistnämnda utgör induktorn. Rotations-hastigheten är här 250 hvarf i minuten och frekvensen 25 pr sekund. Induktorn är försedd med två särskilda tvåfasledningar, hvardera för c:a 2,000 volt. Magnetfältet underhålles med en likströmsdynamo för 15 hkr. och 150 volt.

Äfven i Europa har mångenstädes tvåfssystemet blifvit användt och flera olika typer för tvåfasgeneratorer konstruerats. I Sverige har firman *Luth & Roséns elektriska aktiebolag* tillämpat detsamma. Vid industriutställningen i Stockholm år 1897 hade denna firma utställt en generator för tvåfasväxelström, hvilken maskin äfven kunde användas såsom synkron motor. Maskinen hade 8 inre poler samt 6,000 polväxlingar i minuten. Induktorn var här stator, omgifvande det inuti densamma roterande elektromagnethjulet, som ägde stjärnformig gjutstålskärna i två delar. Den ena hälftens poler lågo mellan polerna till den andra hälften, och elektromagnetlindningen var anbragt mellan båda. Anordningen liknar den i fig. 129, sid. 178 afbildade växelströmsmaskinen. Maskinen lämnade vid 750 hvarf i minuten 60 ampère och 500 volt.

Vid den af sistnämnda firma utförda anläggningen för kraftöfverföring mellan Uddby och Stockholm användes äfven tvåfasgeneratorer, som direkt drifvas af turbinaxlarna. De äro af väsentligen samma anordning som den nyss omtalade maskinen, men för 120 kilowatt hvardera.*)

83. Trefasgeneratorer. Genom ett schema, analogt med det vi i fig. 143 visat, kan äfven trefasgeneratorns verksamhet åskådliggöras. Den enklaste anordningen af spolarna antydes af fig. 146. Detta är hvad man benämner »stjärn-koppling», äfven kallad »Y-koppling», vid hvilken spolarna förenas till en punkt, från hvilken de utgå stjärnformigt till linierna. Vid en annan metod liknar anordningen Grammes ring, men utan de radiela ledningarna och kollektorn, hvar emot strömmen uttages vid tre punkter på 120° afstånd från hvarandra. Detta kallas »triangelkoppling» eller » Δ -koppling».

*) Om denna anläggning se Teknisk Tidskrift, 1899, p. 92.

Om vid stjärnkoppling vi antaga, att den elektromotoriska kraften hos spolen *a* (fig. 147) är

$$e = E \sin wt,$$

så är den hos spolen *b*

$$e' = E \sin(wt - 120^\circ),$$

hvarjämte potentialskillnaden mellan två hvilka som helst af polerna är

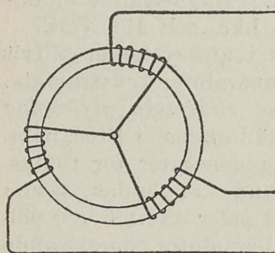
$$e - e' = \sqrt{3} E \sin(wt + 30^\circ) \dots \dots (30).$$

Spänningen mellan två poler är således $\sqrt{3} = 1,732$ gånger så stor som i en af spolarna hvarjämte fasskillnaden är 30° . Man kan uttrycka detta grafiskt genom den i fig. 147 visade konstruktionen.

Om triangelkopplingen användes, blir potentialskillnaden mellan två poler $= e$.

Man kan äfven förena sex spolar eller grupper af spolar, så att två motstående komma i följd, i hvilket fall den elektromotoriska kraften fördubblas (se fig. 148).

Fig. 146.



Vi skola nu beskrifva några nyare trefasgeneratorer. Såsom bekant utfördes de första sådana maskiner af någon större betydelse af Oerlikonfabriken efter Browns konstruktion.*) Dessa maskiner hade roterande inre elektromagneter samt yttre orörlig induktor, hvars ledare voro kopparstänger, anbragta i hål vid den af järnplåt sammansatta kärnans inre omkrets. Samma fabrik har sedermera

Fig. 148.

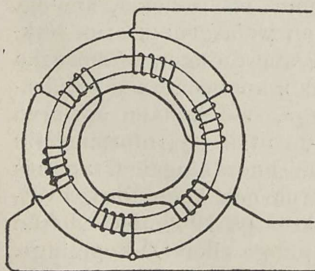
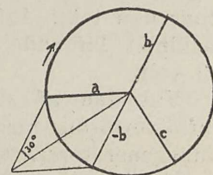


Fig. 147.



användt i hufvudsak lika anordning, men med något olika detaljer, särskildt vid de för hög spänning afsedda trefasgeneratorerna, hvilka direkt utan transformering lämna ström med flera tusen volt potential. De sistnämnda maskinerna äro ganska lika de Oerlikonfabrikens enkelfas-alternatorer, hvilka i § 76 beskrifvits, med den skillnad, att under det antalet magnetpoler och induktorspoler

*) Se Elektriciteten, 2:a uppl., p. 594.

är lika stort vid de sistnämnda maskinerna, är vid trefas-maskinerna antalet spolar större än antalet poler i förhållande af 3:2. Spolarna äro så kopplade, att tre växelströmmar med 120° fasskilnad erhållas (se fig. 149). Frekvensen antages numera till 50. Magnetiseringsströmmen lämnas af en liten likströms-dynamo, som antingen är förenad med alternatorn och har samma axel som denna eller som drifves särskildt.

Allgemeine Elektri-citäts Gesellschaft i Berlin utställde år 1897 i Stockholm en trefasgenerator, vid hvilken både induktor och elektromagneter och således alla trådlindningar voro orörliga. Fig. 150 visar en del af tvärskärningen till denna maskin, fig. 151 en sidosritning till densamma med angifvande af induktorspolarnas kopplingar samt kraftlinierna. Fig. 152 visar särskildt det roterande ankaret. I det inre af en massiv gjutstålsstomme är en magnetiseringsspole *A* anbragt. Å ömse sidor af denna

Fig. 149.

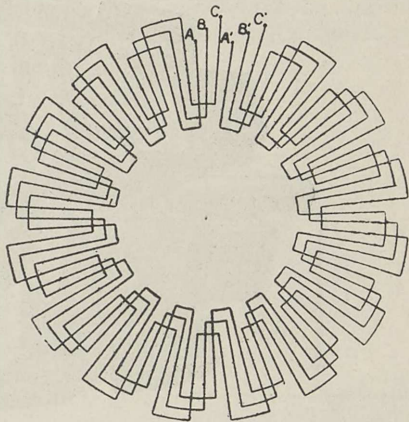


Fig. 150.

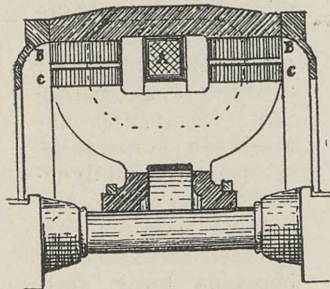
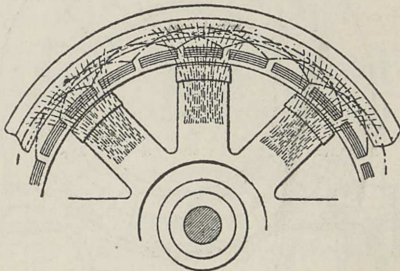


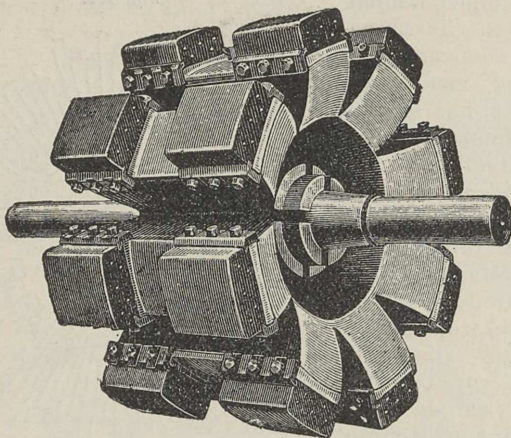
Fig. 151.



äro de båda järnkärnorna *B, B* till induktorn. Dessa äro sammansatta af bleck i form af två ringar med trådspolar, af hvilka hvar tredje tillhör samma fas. Ankarhjulet är i två afdelningar med tänder *C, C* på hvardera sidan, hvilka tänder äro bildade af järnblecksringar och som under rota-

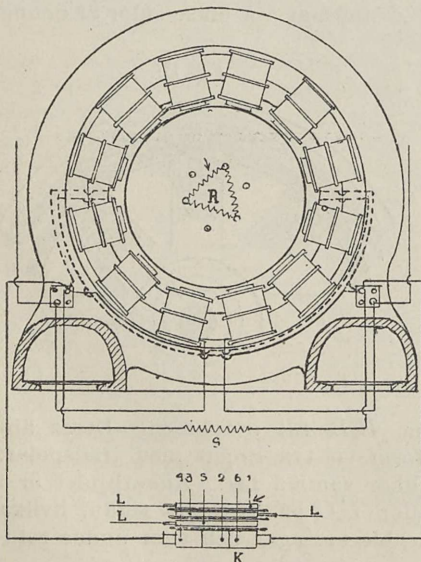
tionen gå förbi induktorspolarna samt därvid omsluta ett föränderligt antal kraftlinier. Maskinen är afsedd för 115 kilowatt samt en frekvens af 50 och att lämna 3,100 volt.

Fig. 152.



Ett stort amerikanskt bolag: *General Electric Company*

Fig. 153.

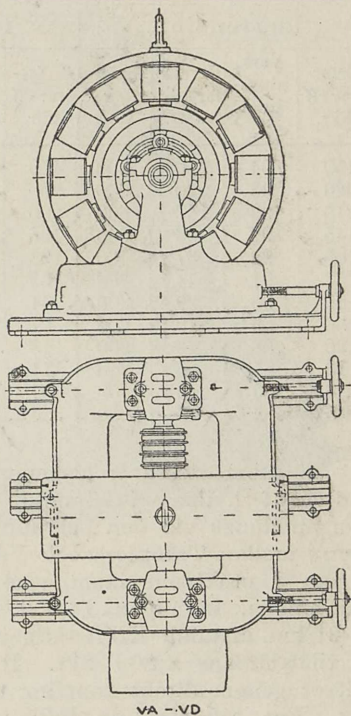


har utfört en mängd anläggningar för kraftöfverföring och belysning medels trefasström. Fig. 153 lämnar en schematisk framställning af generatorernas vanliga anordning, särskildt med afseende å magnetfältets ledningar, när maskinen konstrueras såsom compound-dynamo. Denna maskin har orörliga elektromagneter med järnkärnor af hoplagda bleck, fastgjutna vid den omslutande ramen. Inuti elektromagnetringen roterar induktorn. Magnetiseringsströmmen lämnas hufvud-

sakligen af en särskild likströmsdynamo, men därjämte genom att en del af den i trefasgeneratoren alstrade strömmen rättvändes. Detta sker genom att de tre ledningarna 2, 4 och 6 från induktorn ömsevis sättas i förbindelse med olika afdelningar till kommutatorn *K*. Borstarna glida mot denna och föra den rättvända strömmen till motsvarande magnetlindning, som är försedd med en stationär shunt *S*. Trefaslindningen går från den triangulära roterande shunt *R* och slutar vid 1, 3, 5, där den står i samband med kollektorns tre ringar. Från dessa utgå de yttre ledningarna *L, L, L*. Den del af magnetiseringsströmmen, som sålunda tages från induktorn, bestämmes genom shunt *S*.

Vi anföra ett exempel å sistnämnda bolags trefasgeneratorer. För kraftöfverföring användas vid Sacramento maskiner med 24 poler, som alstra strömmar med 800 volt spänning vid 300 hvarf i minuten samt följaktligen en frekvens af 60. Medels transformatorer höjes spänningen till 11,000 volt och ledes strömmen sedermera ett afstånd af c:a 4 svenska mil. Maskinerna drivas direkt af turbiner med horisontal axel och lämna 750 kilowatt. — En annan maskin har 40 poler och lämnar vid 175 hvarf 750 kilowatt samt direkt 4,400 volt i hvardera ledningen. Fältet är här rotor och induktorn stator. Hvarje magnets kärna är fastbultad vid en smidd ring utan fog, och dess lindning är bildad af på kant ställda kopparremсор. Kollektorringarna äro af gjutjärn med kolborstar.*)

Fig. 154.



84. Svenska trefasgeneratorer. I vårt land har trefassystemet själfständigt utbildats förnämligast genom *Jonas*

*) Se vidare om amerikanska trefasgeneratorer det i § 76, p. 181 citerade arbetet.

Wenströms uppfinningar, hvilka tillämpats i vidsträckt skala af Allmänna svenska elektriska aktiebolaget. Bland de af detta bolag utförda växelströmmaskiner är det stora flertalet afsedt för trefasström och endast ett mindre antal för enfasström. Fig. 154 lämnar i sidoritning och plan afbildning af den vanliga anordningen af dessa trefasgeneratorer, hvilka äga yttre orörliga elektromagneter samt en inre roterande induktor. Nedanstående tabell innehåller närmare uppgifter rörande de tolf olika typerna af dessa maskiner.

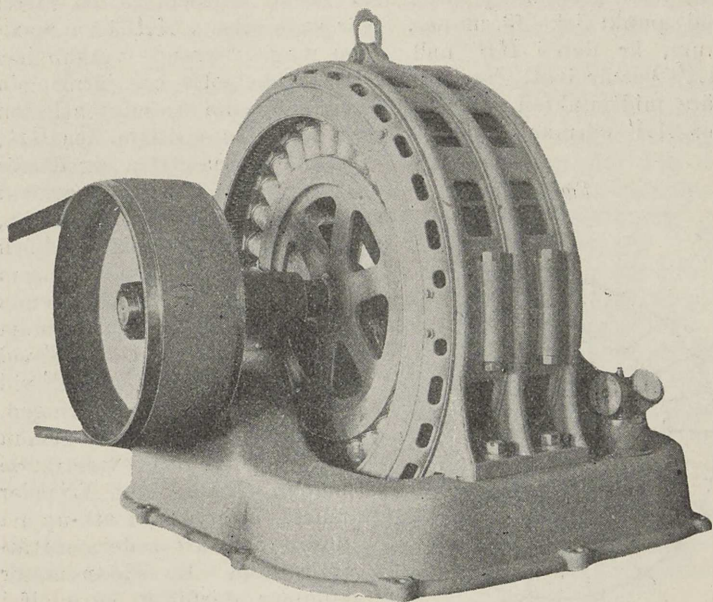
Lågtension.				Högtension.				Antal watt för magn.	Hvarf-antal vid frekvens ca 60.
Erfor- drar eff. hkr.	Verk- nings- grad o/o	Utveck- lar kilo- watt.	Spän- ning i volt.	Erfor- drar eff. hkr.	Verk- nings- grad o/o	Utveck- lar kilo- watt.	Spän- ning i volt.		
450	94	310	800	420	93	287	2,000	3,600	300
320	93	220	600	300	91	200	1,500	3,300	400
215	93	147	600	200	91	134	1,500	2,700	450
145	92	98	600	135	90	89,5	1,500	2,200	515
100	92	67,7	400	93	90	61,6	1,000	1,700	515
67	91	44,9	400	62	89	40,6	1,000	1,200	600
45	90	29,8	200	41	88	26,5	1,000	850	600
30	89	19,7	200	27	87	17,3	800	600	600
20	88	13	200	18	86	11,4	800	430	720
13	87	8,3	200	11,5	85	7,2	600	310	720
8,5	85	5,3	200	7,5	83	4,6	400	210	720
5	82	3	200	4,4	80	2,6	400	140	900

Förutom dessa trefasgeneratorer har bolaget utfört flera andra, af hvilka vi särskildt vilja omnämna de maskiner, som användas vid den betydande anläggningen för kraftöfverföring mellan Trångfors och Vesterås. Vid denna finnes den högsta i praktiken inom vårt land hittills begagnade liniespänningen, nämligen 14,000 volt, för öfverförande af kraft på 21 km. afstånd. Kraftstationen vid Trångfors har 6 turbiner af tillsammans 1,800 hkr. Hvar och en af dessa turbiner drifver genom direkt koppling en trefasgenerator om ca 300 hkr. Fig. 155 visar en dylik maskin, som vid 250 hvarf och en frekvens af 50 alstrar en spänning af 460 volt per fas. Induktorlindningen är anbragt på den yttre vid bottenplåten fästade plåtkärnan och skyddas af gjutjärnsmantlar. Elektromagneterna bilda ett hjul, som roterar inuti statorn, och hvilket har naf och armar af gjutjärn samt 24 genom en stålring förenade stålpolstycken. Magnetlindningen utgöres af ett enda lager på hög kant ställda kopparband af 1 mm. tjocklek och 17 mm. bredd. På detta sätt såväl sparas utrymme som ock erhålles en hållfast lindning, som förmår uthärda en be-

tydande omloppshastighet. — Genom transformatorer, som vi längre fram skola beskrifva, höjes spänningen till 14,000 volt mellan de tre linietrådarna.

Bland andra betydande nya konstruktioner af detta slag, som Allmänna elektriska bolaget utfört, vilja vi omnämna

Fig. 155.

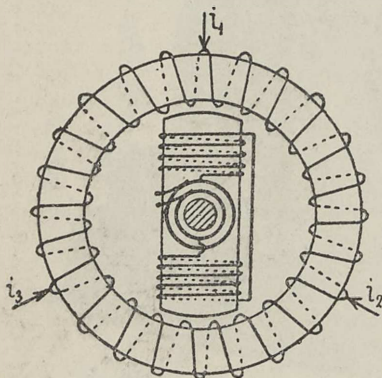


generatorerna vid kraftöfverföringen Flögfors—Stripa. Två trefasgeneratorer, direkt kopplade till hvar och en sin turbin, lämna vid 300 hvarf per minut hvardera 200 hkr. med en liniespänning om 7,000 volt utan transformering förrän vid de på 8 km. afstånd varande motorerna, där spänningen nedsättes till 160 volt per fas.

85. Synkrona motorer för flerfasström. Den anmärkningsvärdaste delen af flerfassetmet utgöres af motorerna, genom hvilka kraftöfverföringen blifvit möjlig under i allmänhet gynnsammare förhållanden än med likströmsmotorer. Såsom vi förut antydt (§ 81) kan ett roterande magnetiskt fält åstadkomma en rotationsrörelse hos vare sig en magnet eller en metalldrömslinder som är däruti anbragt. Flera olika slag af motorer äro grundade härpå, och ett stort antal uppfinnare

ha egnat sig åt detta problems lösning. Ifrågavarande motorer kunna indelas i två hufvudklasseer: *synkrona* och *asynkrona*. Om vi på sätt fig. 143, p. 194 visar framställa en tvåfasström, och denna i motorn till höger alstrar ett roterande fält, bringas genom detta magneten *NS* i rotation, så framt icke motståndet är för stort. Det inses lätt, att t. ex. spolarna *AA'* i motorn icke upphört att verka på magneten förr än spolarna *BB'* börjat därmed, så att någon död punkt icke förefinnes. När strömmen i *AA'* är i maximum, är den i *BB'* noll. Den magnetiserande verkan hos *AA'* består i att frambringa två dubbelpoler hos järnringen nära midtpunkten af *BB'*. I den mån som strömintensiteten hos *AA'* närmar sig noll, växer i stället intensiteten hos *BB'*,

Fig. 156.



och polerna flytta sig därför framåt. När strömmarna i *AA'* och *BB'* blifva lika starka, verka de båda spolarna *A* och *B* såsom en enda äfvensom *A'* och *B'* såsom en enda spole, hvarvid polerna komma att ligga mellan *A* och *B'* vid ena samt mellan *B* och *A'* vid andra sidan af motorringen. I denna uppstår således genom tvåfasströmmen ett vandrande polpar och magneten *NS* poler måste sträfvä till att uppnå dessa och att sedermera åtfölja dem. En sådan motor kommer därför af sig själf i rörelse, och därjämte ökas dess hastighet till dess den erhållit samma rotationshastighet som det magnetiska fältet. Man uttrycker detta genom att säga det rotorn går *synkront* med fältet. En dylik synkron motor har därför ett omloppstal, som är oberoende af belastningen och endast beror af växelströmmens frekvens. Likaså är förhållandet med motorer ägande ett roterande fält, som alstras af trefasströmmar. Fig. 156 visar ett schema för en synkron trefasmotor med triangelmontering. i_1, i_2, i_3 äro de tre växelströmmarna, som skilja sig 120° från hvarandra i fas. De ingå till statorn från linieledningarna. Rotorn är betecknad såsom en enda elektromagnet, men utgör i verkligheten ett system af elektromagneter, hvars magnetiseringsström lämnas från en likströmsdynamo. Det bör för öfrigt anmärkas, att vanliga flerfasgeneratorer kunna användas såsom synkrona motorer. Vid igångsättningen är icke elektromagnetströmmen

sluten, utan rörelsen uppstår genom det roterande fältets verkan på de foucaultska strömmar, som alstras i polstyckena, hvilka därför icke böra vara delade utan solida. Först sedan synkronism erhållits slutes magnetiseringsströmmen, hvarvid flerfasströmmens styrka plötsligt förminskas till följd af färförskjutningen. Motorn kan då belastas. Slötes däremot magnetiseringsströmmen, innan synkronismen blifvit uppnådd, skulle motorn stanna, emedan det af elektromagneterna frambragta kraftparet ömsevis skulle verka i den ena och andra riktningen.

En annan egenskap hos synkrona flerfasmotorer bör framhållas. Antag, att synkronismen erhållits och att spänningen hos flerfasströmmen blifvit konstant samt att magnetiseringsströmmen småningom förökas. Det visar sig då, att den förstnämnda strömmen aftager till dess att den sistnämnda uppnått en viss intensitet. Vid ytterligare förstärkning hos magnetiseringsströmmen ökas flerfasströmmens styrka. Med andra ord, det gifves ett visst värde å magnetiseringsströmmen, vid hvilket den i motorn verkande flerfasströmmen nedgår till ett minimum. Detta äger rum både vid motorns tomgående och när den är belastad. Orsaken till dessa flerfasströmmens variationer är att vid svag magnetiseringsström motorn verkar å hela systemet såsom ett motstånd med själfinduktion, men vid stark magnetiseringsström såsom en kondensator, och dessas verkningar äro motsatta i det att de förskjuta fasen i motsatta riktningar (§ 74).

För att beräkna det antal n hvarf i minuten, som en synkron motor beskriver, antag, att f är frekvensen per sekund. Vore anordningen sådan fig. 143 och 156 antyda, skulle man erhålla

$$n = 60f \dots\dots\dots (31).$$

Om t. ex. f vore 50 blefve $n = 3,000$, en omloppshastighet, som i allmänhet är alldeles för stor. För att erhålla ett mindre omloppstal, användes ett större antal spiraler. Vid en tvåfasmotor anbringas å statorringen i stället för fyra $4k$ sådana spiraler, hvardera upptagande $1:4k$ af omkretsen, samt dessa förenas så att hvarannan af spolarne d. v. s. 1, 3, 5... äro kopplade i serie och 2, 4, 6... i serie och genomgås af växelströmmarna, så att dessa i de båda serierna skilja sig med en fjärdedels period från hvarandra. Vi förutsätta att alla spolarna äro upplindade i samma riktning och att i samma serie den enas början är förenad med den andras slut. Då uppstår i ringen $2k$ poler, de närgränsande med motsatt polaritet, hvilka förflytta sig efter ringens omkrets. Rotorn gifves äfven $2k$ framskjutande polstycken, hvilka äro

så upplindade, att två närgränsande poler blifva motsatta. Under dessa förhållanden blifver

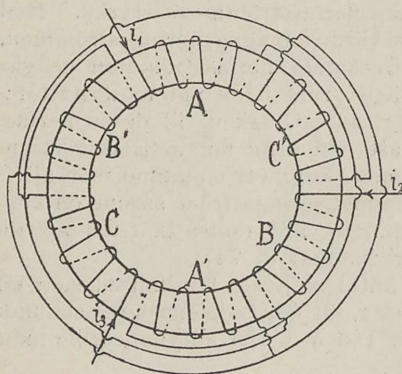
$$n = \frac{60f}{k} \dots \dots \dots (31 a).$$

På analogt sätt bestämmes omloppshastigheten för synkrona trefasmotorer.

86. Asynkrona eller induktiva flerfasmotorer. Såsom redan *Ferraris* visade kan det roterande magnetiska fältet sätta i rörelse en däruti anbragt metallmassa (jämför fig. 140, § 81), och man har med framgång begagnat sig häraf för konstruktionen af motorer för såväl tvåfas- som trefasström. Det är genom de i metallmassan inducerade foucaultska

strömmarna, samt genom de mellan dessa strömmar och magnetfältet verkande krafter, som rotorn försättes i rörelse. Men den hastighet, hvarmed rotorn kringvrides, är mindre än det roterande fältets omloppshastighet, och den elektromotoriska motkraft, som uppstår i motorn, är proportionel mot antalet kraftlinier, som strömledarna skära, och följaktligen mot den relativa hastigheten mellan rotorn och magnetfältet. Det är tyd-

Fig. 157.

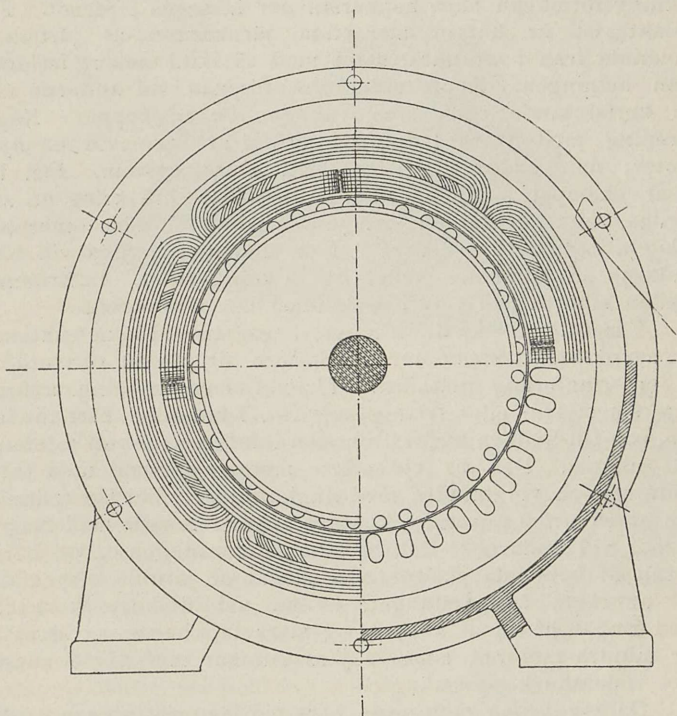


ligen ett nödvändigt vilkor för en sådan motors verksamhet, att den roterar långsammare än magnetfältet, så att en eftersläpning äger rum, ty för att ström må kunna alstras måste kraftlinierna skäras. En dylik motor kallas därför asynkron. Den benämnes äfven *induktionsmotor* eller *induktiv motor* till följd af sättet för dess verkan. Såframt icke det yttre motståndet är för stort, d. v. s. om belastningen icke är för stor, kommer vid flerfasströmmens slutning rotorn i sig själf i rörelse; den är som man säger *själfstartande*. Vridningsmomentet är i själfva verket störst, när rotorn är i hvila och strömmen slutes. Eftersläpningen utgör vanligen 4 à 5 %, men kan stiga till väsentligt högre värden vid helt små motorer.

Beträffande anordningen af ifrågavarande maskiner, visar fig. 157 schemat för *statorn* till en trefasmotor. Denna har på den af järnbleck sammansatta ringen sex spiraler *A, A'*,

B, B', C, C' , i hvilka de tre strömmarna i_1, i_2, i_3 ingå. På analogt sätt vid tvåfasmotorn. Därjämte förutsättes i fig. 157 ringlindning, men äfven trumlindning begagnas ofta. Fig. 158 lämnar ett exempel i detta hänseende. Den antyder anordningen af en från *Brown, Boveri & Co* härrörande tvåfasmotor å 6 hkr., visande den yttre statorn samt den inre rotern. I statorns af mjukt bleck sammansatta järnkärna

Fig. 158.



äro 40 ovala hål af 1 cm. bredd utstansade så nära omkretsen som möjligt. 9 trådar af 3,8 mm. diameter äro inlagda i hvarterdera af dessa hål och förenade på sätt afbildningen antyder. Spänningen är 100 volt och frekvensen 40 vid 1,200 hvarf i minuten.

Hvad åter angår *rotern* till asynkrona flerfasmotorer, så skulle visserligen den kunna utgöras helt enkelt af en kring en axel rörlig metalcyllinder, men det är tydligt, att det är

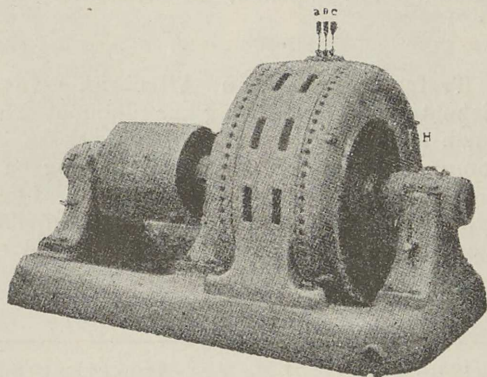
lämpligare att här använda ett särskildt, slutet system af ledningar, hvari strömmarna induceras. Dessa böra ledas på så sätt, att de verka så fullständigt som möjligt för drifkraftens frambringande. Man får härvid ihågkomma, att den mekaniska kraft, hvarmed en strömledare åverkas i ett magnetiskt fält, är riktad vinkelrätt såväl mot dettas kraftlinier som mot strömmens riktningelinie. Vidare måste användandet af en järnkärna vara fördelaktigt för förstärkande af det magnetiska fältet genom det magnetiska ledningsmotståndets förminskning. Men för att föröka den elektriska ledningsförmågan böra kopparstänger inläggas i järnet. Fördelaktigast är härvid att bilda järnkärnan af järnbleck, isolerade från hvarandra, samt med särskild omsorg isolerade från ledningen. Kopparstängerna förenas vid ändarne med en kortslutande ring, som vanligen är af koppar. Någon förening med yttre ledningen erfordras icke vid en dylik motor; den bildar ett i sig själfvt slutet system. Fig. 158 visar exempel å denna anordning. Den inre kring en axel rörliga rotorn bildar en järncylder med 37 nära omkretsen inlagda kopparstänger med 9 mm. diameter, hvilka vid båda ändarne äro förenade medels breda kopparband. Luftrummet mellan statorn och rotorn är endast 0,5 mm. bredt.

Väsentligen lika anordningar begagnas vid konstruktionen af asynkrona trefasmotorer. Statorn är ytterst och utgöres af en ringformig plåtkärna, försedd med lindning, anbragt vare sig stjärn- eller triangelkopplad, i hål nära kärnans inre yta, och till hvilken trefasströmmen inledes, så att ett roterande fält alstras. Den är vid större motorer försedd med trumlindning och vid mindre med ringlindning. Vid låg spänning och stark ström användes kopparstänger förenade med kopparskenor vid ändarne. Rotorn innehåller vanligen en cylindrisk kärna af hoplagda skifvor eller ringar af järnbleck med däruti anbragta kopparstänger, hvilka vid ändarne kortslutas med ringar äfven af koppar. I vissa fall begagnas, särskildt för mindre motorer, massiva järnstommar med däruti inlagda icke isolerade kopparstänger.

De asynkrona motorerna böra vid igångsättningen erhålla ett stort kraftpar eller vridningsmoment, utan att strömstyrkan springer upp till allt för högt värde. Ju mindre ledningsmotståndet är i rotorn och således ju mindre eftersläpningen är vid normal belastning, dess större bliver begynnelseströmmens styrka. Denna försvagas dock genom läckningen. Om man vill förminska denna genom att använda starkt magnetiskt fält och ett litet antal trådharf i rotorn, uppstår en anseelig fasförskjutning, hvarigenom effekten bliver mindre. Fasförskjutningen vid full belastning kan uppgå till 30 à 40°

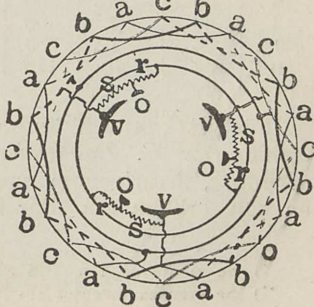
och ännu mera. För att kunna reglera strömstyrkan genom ökad motstånd vid igångsättningen, begagnas af *Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft* i Berlin i förbindelse med statorn varande vätskemotstånd, bestående af sodalösning i ett tredelat tråg, hvari tre sektorformade järnbleck nedföras. Ett sådant yttre motstånd har dock den olägenhet, att släp-kontakter blifva nödvändiga. I stället kan motståndet för-

Fig. 159.



läggas i rotorn och införas medels en häfstång, som kringvrides, när motorn skall startas eller stannas. Fig. 159 visar en dylik trefasinduktionsmotor från det amerikanska bolaget *General Electric Company*. Maskinen är afsedd att lämna 100 kilowatt vid 600 hvarf i minuten och vid 3,000 volt. Den erhåller 12 poler af omväxlande polaritet och på 30° afstånd från hvarandra. Frekvensen är således 60. Trefasströmmen inledes vid *a, b, c* upptill på maskinen. Genom en häfstång *H* sker igångsättningen. När dess handtag tryckes mot maskinen, uppstå kontakter, hvarigenom vissa motstånd kortslutas. Fig. 160 förtydligar denna anordning. *a, a... b, b... c, c...* äro rotorns ledningar, förenade mellan ett par kopparringar. I hvardera ledningen äro ett par motstånd *r* och *s* anbragta, så att tre trefasledningar, som utgå från en ring, efter att ha genomgått dessa motstånd sluta vid den andra ringen. När en på rotorns axel

Fig. 160.



varande muff tryckes medels häfstängen *H* (fig. 160) mot maskinen, åstadkommes först kontakt vid de tre skorna *o, o, o* och sedan vid de tre skorna *v, v, v*. Härigenom utkopplas motstånden i två successiva steg.

Verkningsgraden hos induktiva motorer kan vara fullt ut lika hög som hos likströmsmotorer. Sålunda är den vid Oerlikonfabrikens trefasmotorer vid stora motorer ända till 94 % och vid helt små motorer 55 till 75 %. De förstnämnda af dessa motorer äro 8-poliga, de mindre 4-poliga och frekvensen 50. *)

87. Trefasmotorer från Allmänna svenska elektriska aktiebolaget. — Detta bolag har tillämpat och utvecklat konstruktionen af induktiva trefasmotorer. Dessa äga likasom de förut omnämnda motorerna af detta slag en inre rotor och en yttre stator. Deras utseende framgår af fig. 161, som visar en dylik motor å 2 hkr. och drifvande en fläkt samt af fig. 162, som visar en vid Hofors bruk använd trefasmotor å 200 hkr. För öfrigt lämnar bifogade tabell närmare uppgifter öfver ifrågavarande maskiner.

Lågtension.				Högtension.				
Utveck- lar eff. hkr.	Verk- nings- grad o/o	Erfor- drar kilowatt.	Spän- ning i volt.	Utveck- lar eff. hkr.	Verk- nings- grad o/o	Erfor- drar kilowatt.	Spän- ning i volt.	Hvarf- antal vid frekven- sen 60.
215	93	170	600	200	91	162	1,500	385
145	93	115	600	135	91	109	1,500	430
100	92	80	600	93	90	76	1,500	430
67	92	53,5	400	62	90	50,7	1,000	570
45	91	36,5	400	41	89	33	1,000	570
30	90	24,5	200	27	88	22,6	1,000	685
20	89	16	200	17	87	14,4	800	685
15	88	12,5	200	12	86	10,3	800	850
9	87	7,6	200	7	85	6,2	600	850
6	85	5,2	200	4	83	3,5	400	1,130
3	80	2,75	200	2	78	1,9	400	1,120
1,5	74	1,5	150	—	—	—	—	1,700
0,5	66	0,56	110	—	—	—	—	1,650

För att kunna förändra motorns hvarfantal användes en af ingenjörerna *R. Dahlander* och *K. A. Lindström* uppfunnen anordning, hvarigenom motorns polantal förändras, så att den kan erhålla två eller flera synkrona hvarfantal. **) Vid

*) Se vidare de å p. 128 citerade reseberättelserna.

**) Se svenska patentet n:o 9542.

utställningen i Stockholm år 1897 fanns i verksamhet en dylik motor, vid hvilken två olika omloppshastigheter kunde erhållas, den ena dubbelt så stor som den andra. För den

Fig. 161.

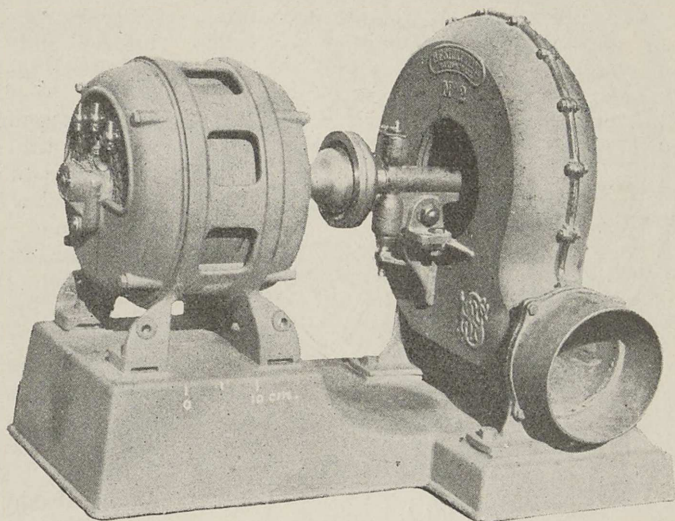


Fig. 162.

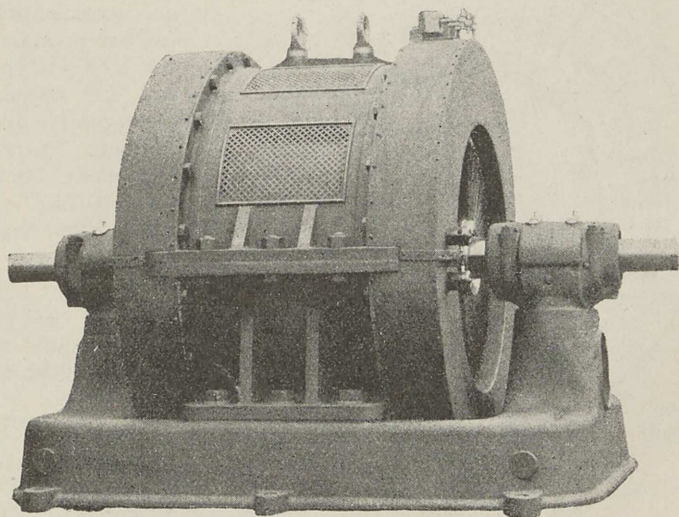


Fig. 163 a.

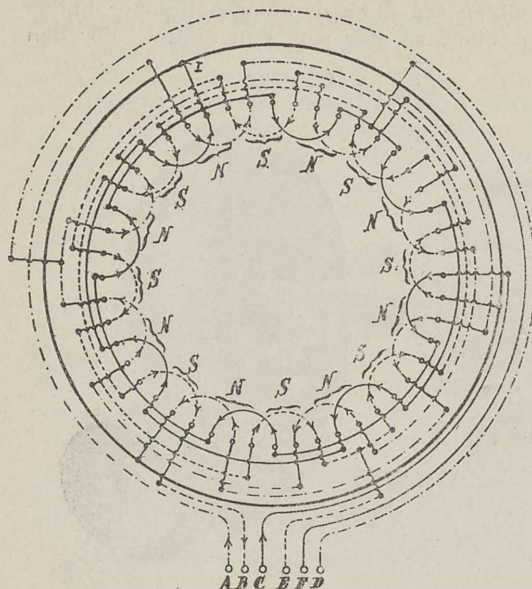
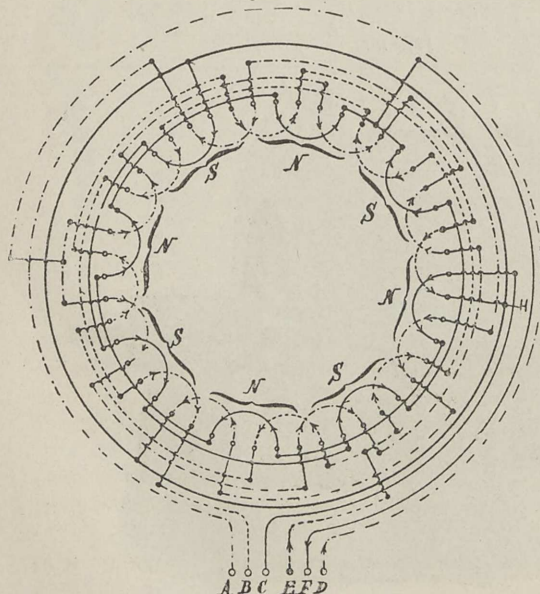


Fig. 163 b.



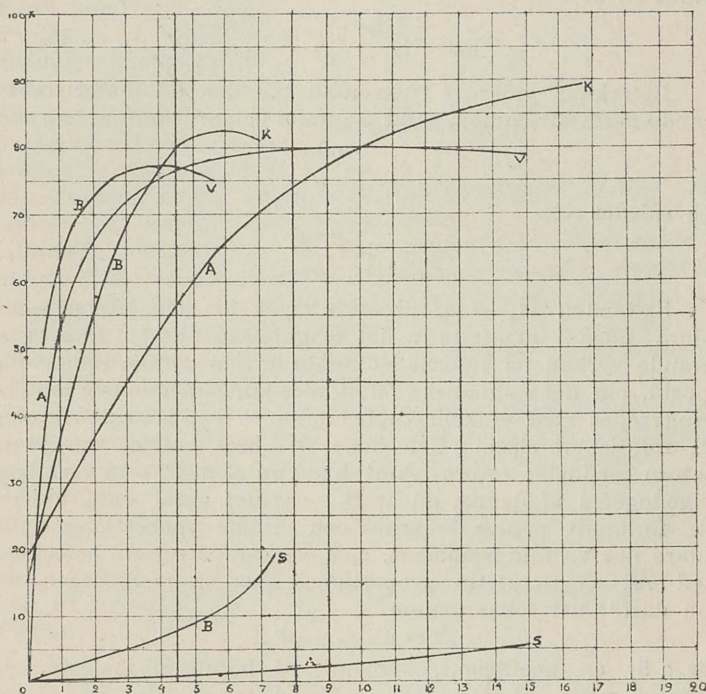
skull är hvarje fas försedd med ett uttag på midten, så att motorn i stället för de vanliga tre uttagen erhåller sex sådana. Fig. 163 a och b lämnar ett kopplingschema till statorn *a* med dubbla antalet poler. Omkopplingen sker här genom en tvåvägsswitch. Denna anordning begagnas vid motorer till kranar, hissar, fläktar m. m. Så t. ex. vid en trecylindrisk, horisontal kolfpump, afsedd för två olika uppfordringsmängder, hvilken drifves af en trefasmotor. Motorn är afsedd för 270 volt per fas och kopplas antingen 10- eller 20-polig, hvarvid den utvecklar 20 och 10 hkr. vid 580 och 280 hvarf per minut.

Fig. 164 lämnar en grafisk framställning*) af egenskaperna hos en sådan tvåhastighets trefas-

*) Efter meddelande af ingenjör Sven Norberg.

motor, utvecklande normalt 9 och $4\frac{1}{2}$ hkr. allt efter som den är 6-polig (A) eller 12-polig (B). Här betecknar V verkningsgraden i procent, K kraftfaktorn $= \cos \varphi$ i procent samt S eftersläpningen i grader, hvilka tre kvantiteter angifvas genom ordinaterna. Abscissorna uttrycka de utbromsade hästkrafterna. Voltantalet per fas är 190 och frekvensen 60.*)

Fig. 164.



88. Elementär teori för induktiva flerfasmotorer. —

Dessa motorer ha varit föremål för flera teoretiska undersökningar, och vi skola nu anföra några resultat af dessa, som på elementär väg kunna härledas och hvilka äro af praktiskt intresse.

Antag att i motorn ett roterande magnetiskt fält alstras vare sig genom tvåfas- eller trefasströmmar, som ingå i

*) Teorien för dessa motorer med olika polantal är utvecklad af E. Ziehl i *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1897, p. 535.

motorns stator. Härvid induceras strömmar i rotorn, och dessa återverka på statorn, så att ett resulterande, roterande magnetiskt fält uppstår, hvars kraftlinier vi antaga gå genom rotorn, skärande under rörelsen ledningarna såväl i rotorn som i statorn.

Vi beteckna vinkelhastigheten, hvarmed det roterande fältet kringvrides, med w_1 samt med w_2 vinkelhastigheten hos rotorn. Om n_1 och n_2 äro motsvarande antal hvarf per minut så är

$$w_1 = \frac{2\pi n_1}{60}; w_2 = \frac{2\pi n_2}{60} \dots \dots \dots (32).$$

Betecknar vidare f frekvensen hos den till motorn kommande flerfasströmmen, samt p antalet polpar i statorn, har man

$$n_1 = \frac{60f}{p}$$

och således

$$w_1 = \frac{2\pi f}{p} \dots \dots \dots (32 a).$$

Skilnaden $w_1 - w_2$ är ett uttryck för den eftersläpning rotorn lider i afseende å det magnetiska fältet. Den inducerande verkan på rotorns ledningar är densamma, som skulle uppstå, om det magnetiska fältet vore stillastående och motorn kringvrides med vinkelhastigheten $w_1 - w_2$ i motsatt riktning till rotationsrörelsen. Betecknar W hela antalet watt, som statorn meddelar rotorn, samt w det antal watt, som verkligen tillgodogöres af denna, då är $W - w$ det antal watt, hvilket går förloradt genom ledarnes och järnets upphettning. Om vidare det vridningsmoment, som verkar på rotorn, betecknas med M , så är detta proportionellt mot eftersläpningen och kan därför uttryckas genom

$$M = c (w_1 - w_2) \dots \dots \dots (33),$$

där c är en koefficient, beroende på fältets styrka samt på motorns radie och dess ledares beskaffenhet. Man kan äfven, om lämpliga enheter väljas, sätta

$$W = Mw_1; w = Mw_2 \dots \dots \dots (34),$$

eller

$$\frac{w}{W} = \frac{w_2}{w_1}.$$

Af ekv. (33) och (34) följer

$$W = cw_1 (w_1 - w_2) \dots \dots \dots (35)$$

och

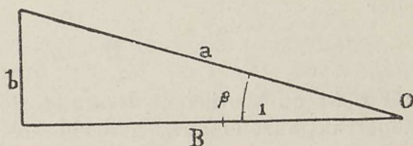
$$w = cw_2 (w_1 - w_2) \dots \dots \dots (36),$$

äfvensom wattförlusten

$$W - w = c (w_1 - w_2)^2 \dots \dots \dots (37).$$

Strömmen i rotorledningarna utöfvar ett tvärmagnetiserande inflytande på statorns magnetiska fält. För att utröna detta beteckna med B maximum af kraftflödet i motorns fält, hvilket roterar med en vinkelhastighet w_1 . Men detta fält härrör icke blott af flerfasströmmen i statorn, utan jämväl af den i rotorn inducerade strömmen, hvars intensitet vi beteckna med i . Vi draga (fig. 165) en rät linie, representerande B , samt afsätta från dess ena ändpunkt O ett afstånd angifvande strömstyrkan i . Det af denna alstrade tvärmagnetiska fältet betecknas genom den motnyssnämnda linie vinkelräta linien b , hvars storlek är ki , där k beror

Fig. 165.



af det magnetiska ledningsmotståndet samt af antalet tråd-hvarf hos rotorn. Den tredje sidan a i den rätvinkliga triangeln representerar då den magnetiska fältintensiteten, som måste meddelas genom strömmen i statorn, hvarjämte vinkeln β mellan a och B angifver fasskilnaden, hvarmed den i rotorn inducerade strömmen kommer efter a . Arealen hos den rätvinkliga triangeln kan uttrycka rotorns vridningsmoment M , hvilket är proportionellt mot både B och i .

Strömstyrkan i är proportionel mot såväl B som $w_1 - w_2$ samt omvänt proportionel mot det elektriska ledningsmotståndet r i motorn. Den kan därför angifvas genom

$$i = \frac{KB(w_1 - w_2)}{r} = \frac{KBs}{r} = \frac{b}{k} \dots \dots (38)$$

om eftersläpningen för korthets skull betecknas med s och K är en koefficient.

Häraf följer

$$s = \frac{br}{kKB} = k'r \tan \beta \dots \dots (38 a),$$

där

$$k' = 1 : kK.$$

Eftersläpningen blifver således så mycket större, ju större fasskilnaden β och motståndet r äro.

Af ekv. (38) erhålles tillika

$$\frac{k'r}{s} = \frac{B}{b}$$

samt af fig. 165

$$\sin \beta' = \frac{b}{\sqrt{B^2 + b^2}} = \frac{s}{\sqrt{s^2 + k'^2 r^2}} \dots (39)$$

äfvensom

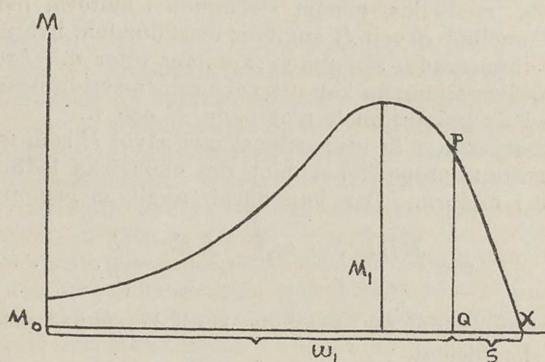
$$\cos \beta' = \frac{k' r}{\sqrt{s^2 + k'^2 r^2}} \dots (40).$$

Slutligen kan vridningsmomentet sättas proportionellt mot produkten $\sin \beta' \cos \beta'$ eller

$$M = q \frac{sr}{s^2 + k'^2 r^2} \dots (41),$$

där q är en koefficient, hvars storlek beror på vissa af motorns konstruktionselement, hvarvid dock förutsättes, att likasom vid en transformator kraftflödet är nära konstant äfven vid väsentliga förändringar i belastningen.

Fig. 166.



På grund af ekv. (41) kan den grafiska framställning erhållas, som fig. 166 visar angående sambandet mellan vridningsmomentet och eftersläpningen, hvarvid motståndet r antages vara konstant.

Låt de horisontala abscissorna uttrycka omloppshastigheten, hvarvid OX är det roterande fältets och OQ motorns vinkelhastighet. Skilnaden QX mellan båda angifver eftersläpningen s . De vertikala ordinaterna föreställa momentet M , beräknadt af ekv. (41). Kurvans form antyder, huru M varierar, när s förändras samt huru momentet uppnår ett maximum. Vid motorns igångsättning är $s = w_1$ och $M = M_0$; det synes att ett flera gånger större värde å M kan erhållas, sedan hastig-

heten ökats. Maximivärdet å M vid olika värden å s kan lätt af ekv. (41) bestämmas^{*)}; det motsvarar värdet $s = k'r$ eller, på grund af ekv. (38 a) vinkeln $\beta = 45^\circ$. Vridningsmomentet vid startningen är approximativt

$$M_0 = \frac{qr}{w_1} \dots \dots \dots (41 \text{ a})$$

och dess maximivärde är

$$M_1 = \frac{q}{2k'r} \dots \dots \dots (41 \text{ b}).$$

M_0 är således nära propotionelt direkt mot motståndet r i den sekundära strömkretsen och M_1 omvänt mot denna kvantitet. Man kan således föröka momentet vid igångsättningen genom att införa ett tilläggs-motstånd, hvilket sedermera kortslutes (jämför § 86).

Ingeniör *E. Danielson* har visat, att det är möjligt att på grafisk väg lösa åtskilliga problem angående induktiva flerfasmotorer. Utrymmet medgifver oss icke att redogöra härför, utan måste vi hänvisa till hans afhandling i ämnet.^{**)}

89. Nyare växelström-transformatorer. — De apparater, med hvilkas tillhjälp en växelströms potential och intensitet förändras, äro af synnerligt stor betydelse för användande af växelströmmar vare sig för elektrisk belysning eller kraftöfverföring. Det är i själfva verket till en väsentlig del genom transformatorernas bruk, som växelströmmarna blifvit af så stort värde för tekniken. Men de medföra dock äfven åtskilliga olägenheter. Sålunda förminskas verkningsgraden något genom dem, ehuru icke i särdeles hög grad, då de vid full belastning kunna återgifva mer än 95 % af den elektriska energi de mottaga. Vidare ökas genom transformeringen de fasförskjutningar, som vid växelströmmaskiner alltid uppstå i större eller mindre grad, och härigenom försvagas generatoren, och potentialens fördelning i ledningsnätet blifver svårare att förutbestämma. Detta blifver i synnerhet händelsen, när generatorns potential först genom transformeringen höjes men strömintensiteten nedsättes, för att kunna använda mindre grofva ledningar för strömmens öfverförande, hvarefter vid ledningarnas andra ände genom ny transformering potentialen förminskas och strömstyrkan förökas för att kunna på fördelaktigt sätt använda den elektriska energien. Af dessa skäl

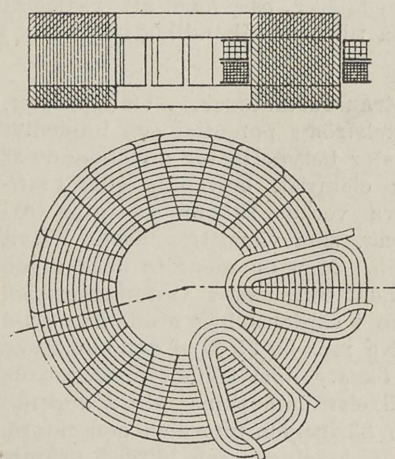
^{*)} Detta sker enklast genom att ur den kvadratiske ekvationen (41) härleda värdet å s och sätta kvantiteten under rotmärket lika med noll.

^{**)} Se *Teknisk Tidskrift*, 1895, p. 41.

har man allt mer sökt undvika en dylik dubbeltransformering och i stället konstruerat generatorerna så, att de omedelbart lämna en mycket hög spänning, och äfven för motorerna har man tillämpat en liknande anordning, så att transformatorerna skulle kunna undvaras eller deras bruk inskränkas. Dock utgöra de ännu ett mycket viktigt tillbehör till växelströmssystemet, vare sig detta är enkelfasigt eller flerfasigt.

Såsom bekant består den enkla transformatorn hufvudsakligen af en primär och en sekundär trådspiral, hvilka äro elektriskt isolerade från hvarandra, men som äro magnetiskt bragta i samband genom en för båda gemensam, af tunna med papper från hvarandra isolerade järnplåtar sammansatt kärna. Vi ha redan i våra föregående arbeten öfver elektriciteten redogjort för flera af de förnämsta bland dessa apparater och kunna nu inskränka oss till att omnämna några konstruktioner af detta slag, afsedda för flerfasström.

Fig. 167.



Schuckerts transformator för tvåfasström har en järnkärna i ringform, bildad af tunna i spiral lindade band med radiella utskärningar (se fig. 167). I dessa äro de primära och sekundära spolarna införda på sätt framgår af figuren. Antalet utskärningar är en multipel af fyra. De primära spolarna till vänster äro förenade i följd eller parallelt och utgöra tillsammans en af de båda afdelningarna till transformatorn; den andra af dessa bildas af de till höger varande spolarna. På samma sätt äro de sekundära spo-

larna sinsemellan hopkopplade. De uppstående tänder, som erhållits genom utskärningarna i järnblecksspiralen, betäckas genom en ring, som utgöres af ett i spiral lindadt järnband, hvilken ring fastbultas vid nyssnämnda tänder.

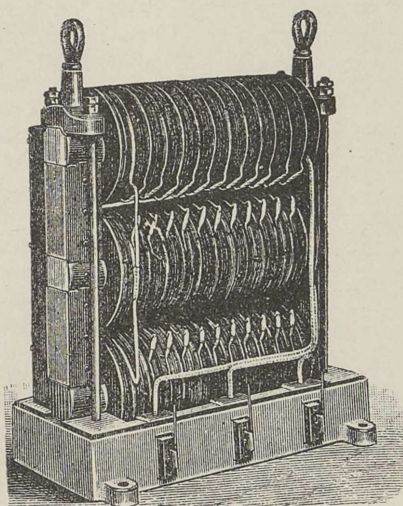
Vid en transformator af detta slag var:

Effekten i kilowatt	20
Frekvensen	50
Spänningen vid primära polskrufvarna	3,000 volt
Strömstyrkan i de primära spolarna	3,5 ampère

Spänningen vid sekundära polskrufvarna i ena afdelningen . .	115	volt
Strömstyrkan i de sekundära spolarna	87	ampère
Antalet kraftlinier per kv.-cm. i järnet	4,000	
Antal primära trådvarf i ena afdelningen	1,950	
» sekundära » » » »	76	
Primära ledningens diameter	2,5	mm.
Sekundära ledningarnas tvärsärning	72	kv.-mm.
Järnkärnans vikt	430	kg.
Kopparens vikt	270	»

Vid utställningen i Stockholm år 1897 fanns en af *Allgemeine Elektrizitäts Gesellschafts* i Berlin trefastransformatorer för 45 kilowatt, hvilken är afbildad i fig. 168. Den

Fig. 168.



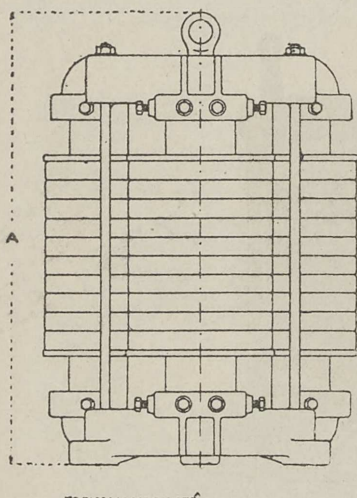
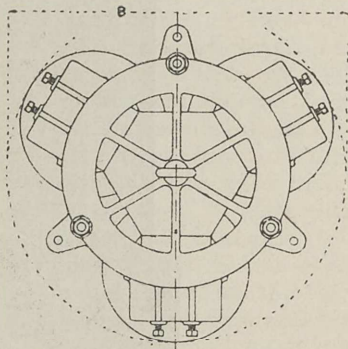
har ett omsättningsförhållande af 3,000 : 200. De tre järnkärnorna äro anbragta horisontalt mellan två vertikala tvärestycken, hvilka likasom kärnorna äro sammansatta af järnbleck. På kärnorna äro trådspolarna uppträdda, så att de primära och sekundära ledningarna komma omväxlande, dock med luftmellanrum för att erhålla säkrare isolering. En mantel af genombruten järnplåt omgifver transformatorn.

Allmänna svenska elektriska aktiebolaget använder en af *Jonas Wenström* härrörande anordning för transformatorer. *)

*) Svenska patentet 4914 (år 1894).

Fig. 169 *a* och *b* visar dessa, sådana de användas för trefasströmmar. Tre järnkärnor med kvadratisk tvärskäring äro ställda vertikalt och förenas upptill och nedtill genom block af på hvarandra lagda sexkantiga järnbleck. Kärnorna äro äfven bildade af bleck, som äro ställda vertikalt och vinkelrätt mot blockens kanter. Blockens och kärnornas bleck korsas därför hvarandra vid beröringsytorna. Härigenom lämnas tillfälle för de kraftlinier, som genomgå kärnblecken, att utbreda sig i alla blecken i blocken och tvärtom, och kraftlinierna från en kärna kunna på grund af blockens lamelleringsriktning obehindradt fördela sig genom dem åt hvilken som helst af kärnorna och omvänt. Elektrisk kontakt vid be-

röringsytorna måste undvikas, på det att ej starka foucaultska strömmar skola uppstå, hvarför en tunn isolering insättes mellan kärnor och block. Spolarna gifvas en cylindrisk

Fig. 169 *a*.Fig. 169 *b*.

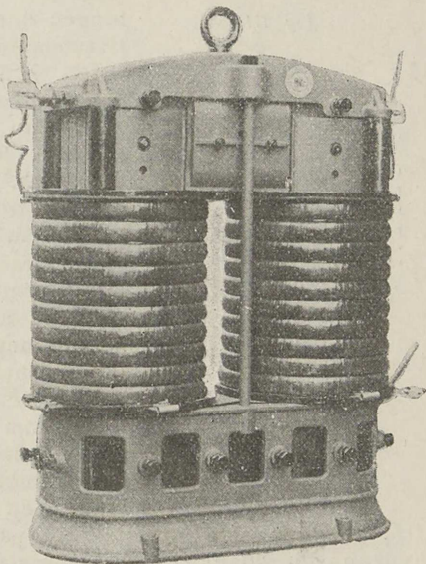
form och anbringas utanpå de parallelipipediska kärnorna, så att ett litet luftmellanrum uppkommer, hvarigenom luftväxlingen främjas.

En liknande anordning begagnas äfven vid enkelfasström. Två järnkärnor äro då ställda bredvid hvarandra och förenas med två block, så att de tillsammans bilda en rektangulär ram, vid hvars vertikala sidor trådspolarna äro anbragta. Transformatorerna uppställas antingen på golfvet eller upphängas på stolpar.

För flerfasströmmars transformering kan man äfven använda flera med hvarandra kombinerade enkelfastransforma-

torer. Sålunda användes vid den i § 84 omnämnda ledningen mellan Trångfors och Vesterås i samband med hvarje trefasgenerator tre sinsemellan stjärnkopplade enkelfastransformatorer, en i hvarje fas, af det utseende fig. 170 visar. Hvardera af de 18 vid kraftstationen begagnade transformatorerna äger 67 kilowatts kapacitet, och transformerar strömmen, hvars frekvens är 50 och spänning 460 volt per fas, till 14,000 volt mellan de tre linieträdarna. Inuti järnkärnorna, äfvensom mellan dessa och spolarna finnas vertikala kanaler, som genomströmmas af kall luft. Medels en fläkt, hvilken

Fig. 170.



I Norra Amerika är en dylik afkylning af de stora transformatorerna ofta använd, så t. ex. vid Niagara-kraftöfverföringen.

Stundom sker afkylningen med kallt vatten.

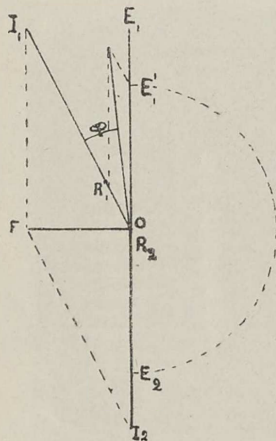
I vissa fall har man vid mycket höga spänningar anbragt transformatorn i olja för främjande af isoleringen. I alla händelser måste stor försiktighet iakttagas vid de primära och sekundära spolarnas isolering från hvarandra, så att icke strömmen från ledningar med hög spänning må direkt öfvergå till den andra ledningen.

90. Kapps geometriska teori för transformatorer. —

Vi förutsätta till en början, att icke någon afsevärd magnetisk läckning äger rum vid järnkärnan samt att omsättningskoefficienten, d. v. s. förhållandet mellan antalen trådvarf i de primära och sekundära spolarna är $= 1 : 1$. Det är möjligt att göra dessa antaganden vid den geometriska konstruk-

tionen, emedan man sedermera utan svårighet kan öfvergå till en annan omsättningskoefficient genom att föröka antalet trådhvarf i endera af spolarna, hvarigenom spänningen i den samma växer i lika förhållande och strömstyrkan i omvänt förhållande, så att antalet ampère-hvarf förblifver oförändradt. Men vi kunna därjämte antaga, att båda spolarna blott utgöras af ett trådhvarf i hvardera med en tvärskärning, som är lika stor med de särskilda trådhvarfvens tillsammans. Härigenom låter det sig göra att använda samma skala för ampère och för ampère-hvarf i diagrammet. Slutligen förut-sättes att spänningen är konstant vid de primära polskrufvarna samt att den sekundära, yttre ledningen har variabelt men icke induktivt motstånd.

Fig. 171.



Låt i fig. 171 OI_2 angifva den verksamma strömstyrkan i_2 i den sekundära ledningen samt OE_2 den alstrade elektromotoriska kraften E_2 därstädes. Längden OR_2 föreställer den elektromotoriska kraft, som tages i anspråk för att öfvervinna den sekundära spolens eget motstånd R_2 . Den spänning, som återstår för för rättande af arbete i den yttre ledningen, angifves då genom $e_2 = R_2 E_2$. Låt dessutom den mot OI_2 vinkelräta linien OF uttrycka antalet ampère-hvarf, som erfordras för att alstra ett magnetiskt fält, hvilket i sin ordning frambringar den elektromotoriska kraften e_2 . Med OF till diagonal och

OI_2 till ena sida uppritas nu parallelogrammen OI_2FI_1 , i hvilken då sidan OI_1 motsvarar den primära strömmen i_1 . Effektförlusten i transformatorn måste ersättas genom den primära strömmen och kan uttryckas genom produkten af i_1 med en viss elektromotorisk kraft, hvilken angifves genom längden OR_1 . Denna föreställer då den elektromotoriska kraft, som åtgår för att öfvervinna den primära spolens motstånd äfvensom för att ersätta de genom hysteresis och foucaultska strömmar föranledda förlusterna. För att drifva strömmen genom den primära spolen måste därför vid dess polskrufvar verka en spänning, som kan motväga icke blott den af fältet alstrade elektromotoriska kraften, utan tillika ersätta den genom nyssnämnda motstånd, hysteresis och foucaultska strömmar uppkommande förlusten i elektromotorisk kraft. I ändamål

som uttrycker antalet primära ampère-hvarf, vara vinkelrät. Häraf erhålles den primära strömmen OI_1 . Men denna har

Fig. 173.

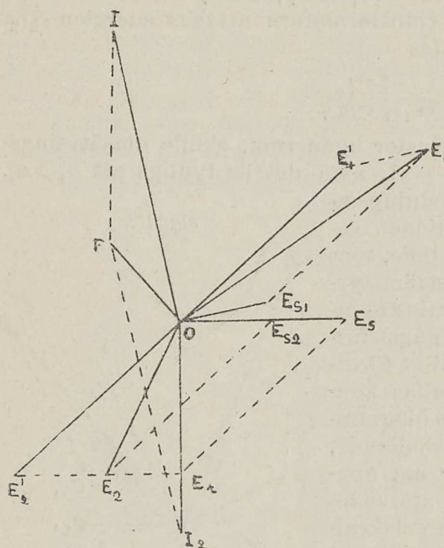
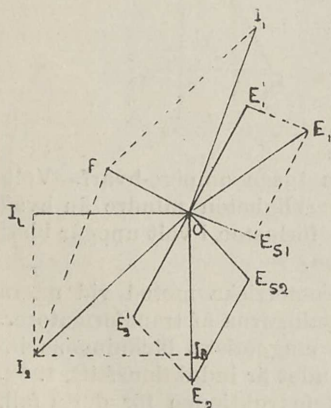


Fig. 174.



sitt eget af läckningen härrörande fält med en elektromotorisk kraft, som motväges genom den elektromotoriska kraften OE_{s1} , hvilken är en fjärdedels period framför OI_1 . Den inducerade elektromotoriska kraften OE'_1 i den primära spolen måste vara lika stor med OE'_2 , men riktad motsatt denna. Resultanten OE_1 af OE_{s1} och OE'_1 är den spänning, som efterdras vid polskruvarna. För enkelhets skull förutsättes dock här, att hvarken hysteresis, foucaultska strömmar eller inre motstånd inverka.

Antag nu, att självinduktion finnes i serie med motståndet i den sekundära ledningen, såsom händelsen är, då båg-lampor eller motorer sättas i verksamhet medels transformatorer. Fig. 173 visar diagrammet i detta fall. OE_{s2} föreställer den af den magnetiska läckningen i den sekundära spolen alstrade elektromotoriska kraften samt förlängningen $E_{s2} E_s$ af samma linie det självinduktiva motsvarande voltantalet. Vidare betecknar OE_r det af motståndet i den yttre ledningen upptagna samt OE_2 det totala voltalet vid de sekundära polskruftarna. Den elektromotoriska

kraften i den sekundära spolen blir då OE'_2 och i den primära spolen OE_1 , analogt med föregående konstruktion.

Vi skola slutligen taga i betraktande det fall, då en

transformator lämnar ström till en lång koncentrisk kabel af anseelig laddningskapacitet. Fig. 174 är det motsvarande diagrammet, och figuren angifver en schematisk framställning af ledningen. Strömmen I_2 , som genomgår den sekundära spolen, är resultanten af strömmen I_1 , motsvarande den elektromotoriska kraften i samma spole samt af kondensationsströmmen, som skiljer sig en fjärdedels period därför. Här uppstår icke en förminskning, utan i stället en förhöjning af spänningen, när kabeln inkopplas till transformatorn.

91. Ledningarna till flerfasströmmar. — Af stor betydelse för dessa växelströmmars användande är det sätt, på hvilket de föras från de generatorer, där de alstras, till de motorer eller belysningsanläggningar, där de användas. Utrymmet medgifver oss blott att här i största korthet afhandla anordningen och egenskaperna hos de härvid använda ledningarna.*) Att dessa vid flerfasströmmarna blifva af ännu större inflytande på hela den elektriska anläggningen både i tekniskt och ekonomiskt hänseende, än hvad fallet är då likström eller enkel växelström begagnas, är uppenbart.

Hvad angår tvåfasledningar (jämför § 82), skulle dessa utgöras af fyra särskilda trådar, som vi skola beteckna med A , B , C och D . Af dessa genomgås A och B i samma ögonblick af samma ström i_1 i motsatta riktningar samt C och D af samma ström i_2 , äfven i motsatta riktningar, hvarvid vi antaga, att strömmarna i A och C samtidigt gå åt samma håll, men äro motsatta strömmarna i B och D . Betecknar E verksamma spänningen vid början af de båda ledarsystemen A , B och C , D , som vi antaga hvar för sig äga lika motstånd R , och I är den verksamma strömstyrkan, hvilken är lika stor för dem båda, så är den effekt generatören lämnar till ledningen

$$W = 2IE \dots$$

Spänningsförlusten i ledningarna antaga vi så stor, att $p\%$ af den elektriska energien tages i anspråk för dess öfvervinnande. I så fall är för hvarje system och under förut-

*) Beträffande en närmare redogörelse för flerfasströmmarnas frambringande, ledning, transformering och användande, hänvisas förnämligast till följande specialarbeten: *Rodet & Busquet*, Les courants polyphasés; *F. Loppé & R. Bouquet*, Traité theorique et pratique des courants alternatifs industriels; *Silvanus P. Thompson*, Polyphase electric currents; *Rodet*, Distribution de l'énergie par courants polyphasés, samt till de elektrotekniska tidskrifterna.

sättning att icke självinduktionen eller kondensationen är afsevärd

$$\frac{p}{100} IE = 2RI^2$$

eller

$$R = \frac{p}{100} \cdot \frac{E}{2I}$$

af hvilken ekvation motståndet R och sedermera den erforderliga tvärskärningen hos trådarna kan härledas.

Samma vikt koppar erfordras för tvåfasströmmarnas ledning medels fyra trådar som för den enkla växelströmmen med samma elektriska energi och potential.

Det är möjligt att förminska antalet trådar till tre. Man kan förena två af dem till en enda återgångsledning C , där strömstyrkan är $i_1 + i_2$, under det att i de båda andra ledningarna A och B strömmarna i_1 och i_2 framgå. Men dessas fasskilnad blifver nu större än en fjärdedels period, hvarjämte fasskilnad uppstår mellan spänningen e_1 vid AC och strömmen i_1 samt mellan spänningen e_2 vid BC och strömmen i_2 .

Dessa fasskilnader blifva $\psi - \frac{\pi}{4}$, hvarvid i_1 kommer före e_1 och i_2 efter e_2 . Mellan i_1 och i_2 uppstår således fasskilnaden 2ψ , hvars värde är något större än $\frac{\pi}{2}$. Förhållandet mellan

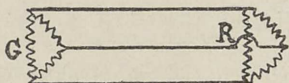
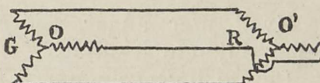
den verksamma strömstyrkan i den gemensamma återgångsledningen och i hvardera af de särskilda trådarna blifver $= \sqrt{2}$. Men det får anmärkas, att spänningen mellan de två särskilda ledarna blifver, när tre trådar användas, $E\sqrt{2}$, så att om den vore 100 volt med fyra trådar, blefve den 141 volt med tre trådar. Vikten koppar för ledningen kunde i så fall nedsättas med c:a 27 % i jämförelse med den vikt, som tages i anspråk med fyra trådar. Ville man däremot icke föröka spänningen samt använda tre lika grofva trådar, skulle för samma effektförlust ledningens tvärskärning behöfva fördubblas. Vikten af kopparen blefve då 1,5 gånger den som skulle tagas i anspråk för fyra trådar. Dessa skulle för öfrigt vara nödvändiga, om det vore fråga om tvåfasström till synkrona motorer.

Hvad åter angår trefasströmmarna (jämför § 83), blifver beräkningen af de tre ledarna olika allt efter som generatoren eller receptorn är triangel- eller stjärnkopplad.

Fig. 175 a och b lämnar en schematisk framställning af dessa båda metoder. G betecknar generatoren och R receptorn. Det är här förutsatt, att samma kopplingsmetod användes för

båda, men det är möjligt att göra bruk af t. ex. stjärnkopplad generator och triangelkopplad receptor eller till och med receptor, kopplad på samma gång efter triangel- och stjärnmetoden.

Beträffande den af fig. 175 *a* antydda triangelkopplingen, visar teorien, att de tre strömmarna i ledningen äga samma

Fig. 175 *a*.Fig. 175 *b*.

fasskilnad som spänningarna i generatorns tre afdelningar, således $\frac{2\pi}{3}$ eller 120° . Verksamma strömstyrkan I_1 hos receptorns strömmar blifver lika stor för dem alla och är, om E_1 betecknar den verksamma elektromotoriska kraften samt R det lika stora motståndet för de tre linieledningarna och r motståndet i hvardera af receptorns tre afdelningar,

$$I_1 = \frac{E_1}{3R + r}.$$

Vidare finner man, att oaktadt de tre linieströmmarna visa sinsemellan en fasskilnad af $\frac{2\pi}{3}$ eller 120° likväl en fasskilnad af $\frac{\pi}{6}$ eller 30° äger rum mellan dem och arbetsströmmarna i receptorns tre afdelningar. Linieströmmarnas maximistyrka och verksamma styrka är $\sqrt{3} = 1,732$ gånger så stor som motsvarande värden hos arbetsströmmarna i receptorn.

Det förtjänar anmärkas, att den nyssnämnda egenskapen hos trefasströmmarna, genom hvilken de skilja sig i fas 30° från arbetsströmmarna, möjliggör en anordning, hvarigenom det roterande fältet i en motor erhåller jämnare intensitet och hastighet. Fig. 176 visar schematiskt en af *v. Dobrowolski* uppfunnen anordning af statorn till en asynkron motor, vid hvilken denna princip är tillämpad. Hvardera af de tre linieströmmarna i_1 , i_2 och i_3 genomgå två diametralt anbragta trådspolar å järnkärnan och grenar sig sedermera i två delar gående till de närliggande trådspolarna. Så t. ex. går i_1 genom polarna A , A samt delar sig till $i_{1,2}$ och $i_{3,1}$, gående till polarna b , b och c , c . Emedan den verksamma strömstyrkan såsom nyss nämndes är $1,732$ gånger så stor som $i_{1,2}$ och $i_{3,1}$,

bör antalet trådvarf hos A, A vara 1,732 gånger mindre än hos b, b, c, c . De tolf trådspolarna alstra i ringen två diametralt motsatta poler, hvilka rotera i den af pilen angifna riktningen.

Om man jämför trefasledningen med enkelfasledningen vid samma spänning mellan två hvilka som helst af den förstnämndas trådar som vid den sistnämndas, visar det sig, att för samma vikt koppar förlusten i elektrisk energi i linien är 25 % mindre vid trefasledningen än vid enkelfasledningen.

Hvad åter angår stjärnkopplingen (fig. 175 b) lämnar teorien följande resultat.

De tre linieströmmarna äga två och två en fasskilnad af $\frac{2\pi}{3}$ eller 120° , och deras faser öfverensstämman med motsvarande generatorspänningars faser. Verksamma strömstyrkan hos hvardera af dessa tre strömmar är

$$I_1 = \frac{E_1}{R + r}$$

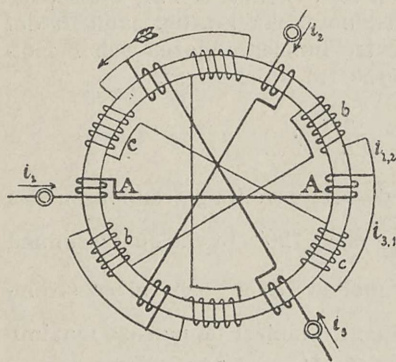
där E_1 , R och r äga samma betydelse som i fråga om triangelkopplingen. Trefasledningen verkar således i detta fall som tre särskilda trådar, hvardera med en enkelfasström I_1 samt ett motstånd R .

Potentialskilnaden mellan punkterna OO' är alltid noll, och mellan två ändpunkter, hvilka som

helst af de tre afdelningarna i generatoren, är den $E_1 \sqrt{3}$, eller 1,732 gånger så stor som den elektromotoriska kraften E_1 , hvilken alstras inom hvardera afdelningen.

Vid samma värden å den elektromotoriska kraften inom generators afdelningar samt lika strömstyrka och med lika tråddiameter är effektförlusten i linien med stjärnkoppling endast en tredjedel af förlusten, då triangelkoppling användes. En besparing af c:a 66 % i vikt koppar skulle således kunna vinnas med stjärnkoppling i jämförelse med triangelkoppling, och af 75 % i jämförelse med enkelfasström. I dessa båda fall förutsättes dock, att icke något hinder möter för spänningens förhöjning mellan linieträdarna i förhållande af 1,732 : 1. Men om vid högspänningslinier för isoleringen eller af andra

Fig. 176.



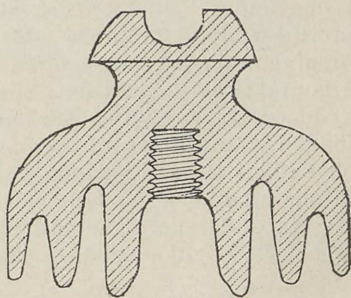
orsaker en sådan förhöjning i spänning icke kan äga rum, utan lika spänning användes, blir den erforderliga tråddiametern och således vikten koppar lika stor vid linierna, vare sig triangel- eller stjärnkoppling användes.

Vi ha här förutsatt, att icke någon afsevärd självinduktion eller kondensation äger rum i ledningarna.

92. Några detaljer vid starkströmsluftledning. —

För öfverförande af den elektriska energien på stora afstånd användes förnämligast luftledningar af koppar utan isolerande omhölje, men anbragta på stolpar af trä eller järn med porslinsisolatorer på väsentligen samma sätt som för telegrafien och telefonien begagnas, ehuru stolparna och isolatorerna måste gifvas större dimensioner än hvad som erfordras vid svagströmsledningar. Det är tydligt, att starkströmsledningarna böra erhålla en så stor höjd öfver jordytan, att icke någon fara kan uppstå för personer, hvilka äfven på de högsta fordon passera därunder; en minimihöjd af 7 meter påkallas härför. Stolparna böra anbringas på högst 50 m. afstånd men i kurvor närmare hvarandra, och så stadigt att de icke kunna kullkastas af vinden. Isolatorerna af porslin afsedda för mycket hög spänning ha ofta anordnats med en inre omböjd kant eller med flera sådana samt med isolerande olja i det ringformiga rummet. Flera olika former af dylika oljeisolatorer äro försökta. Fyllningen och rengöringen af dessa medföra dock så stora olägenheter, att man numera vanligen äfven för mycket hög spänning föredrager porslinsisolatorer utan olja, men af större dimensioner och med flera klockor för att förminska ytledningen samt så väl brända, att deras ledningsmotstånd genom massan blir ofantligt stort. Fig. 177 visar i en tredjedels storlek en vid en kraftledning från Niagara använd sådan porslinsisolator. I de flesta fall göras stolparna eller masterna af trä, såsom minst kostsamma, men äfven begagnas sådana af gjutjärn i form af rör eller ock af dragna rör efter Mannesmanns system eller samman-satta af gallerverk. Höjden af dessa stolpar tages olika allt efter det läge dessa skola erhålla och efter den afsedda elektriska spänningens storlek, 8—14 m., någon gång ända

Fig. 177.



till 20 m. Trästolparnas minsta diameter är vanligen 16—22 cm., men vid ovanligt stark påkänning gör man bruk af ännu gröfre stolpar. Den i jorden nedsatta delen af träet skyddas mot förruttelse genom samma förfaringssätt som användes vid telegraf- och telefonstolpar.

Koppartråden är antingen mjuk eller hårddragen, hvilken sistnämnda är starkare och gifver åt anläggningen ett prydligare utseende. Den sänkning tråden bör erhålla under fästpunkten vid stolparna bestämmes genom dess hållfasthet och afståndet mellan stöden samt af lufttemperaturen vid ledningens utförande. Tvärskärningen hos denna är härvid utan inflytande, medan ledningens tyngd och hållfasthet ökas i samma förhållande. Däremot är den erforderliga sänkningen vid samma hållfasthet per kvmm. och vid oförändrad temperatur proportionel mot kvadraten på afståndet mellan stöden, om dessa äro anbragta i samma horisontalplan.

Vid starkströms- eller rättare sagdt högspänningsledningar äro flera försiktighetsmått att iakttaga, som icke äro nödvändiga vid de ledningar, i hvilka ström af ringa spänning framföres.* De böra således icke komma i närheten af byggnader med undantag för deras början och slut, 4 m. minimi-afstånd kan härför anses lämpligt. På hvarje stolpe anbringas en bygel eller annan lämplig trådfångare för att upptaga möjligen nedfallande trådar. Varningstaflor böra uppsättas på de särskilda stolparna.

En synnerligt viktig del af ifrågavarande säkerhetsåtgärder har afseende på skyddet af telegraf-, telefon- och andra elektriska ledningar, som komma i närheten af starkströmsledningarna, och hvilka kunde vid en tråds nedfallande eller på annat sätt komma i beröring med hvarandra. Den höga potential, som starkströmsledningen äger, skulle då meddela sig åt den andra ledningen och äfven på betydande afstånd från beröringsstället föranleda stor fara. Därför anbringas vid korsningar mellan dessa olika slag af ledningar för hindrande af kontakt ett skyddsnät eller isoleradtf öfverdrag jämte en skyddstråd. Vanligtvis gör man bruk af ett glest nät af utglödgad järntråd, som upptager den nedfallande ledningen, och hvilket sättes i ledande förbindelse med jorden. Naturligtvis bör afståndet mellan nätet och ledningarna vara sådant att icke under normala förhållanden beröring mellan dem är att befara. Dylika skyddsmedel böra ock användas, när stark-

*) I flera länder äro särskilda bestämmelser gällande för starkströmsledningar. Hvad Sverige beträffar utfärdades de första sådana föreskrifter för kraftöfverföringen mellan Hellsjön och Grängesberg. En kungl. kommitté är för närvarande sysselsatt med utarbetande af förslag till dylika stadganden.

strömsledningen går öfver en byggnad eller öfver metallmassor af stor utsträckning, t. ex. rörledningar i fria luften eller trådlineledningar. Visserligen kan erforderligt skydd erhållas, om tillräckligt starka och säkert fästade ledningar användas. *) Vid korsningar af landsvägar eller järnvägar användas kablar under jordytan eller ock trummor för trådarnas inneslutande eller skyddsnät, om luftledningen fortsättes äfven öfver vägbanan.

En annan viktig klass af säkerhetsanordningar vid luftledningar afser att skydda dessa mot den atmosferiska elektricitetens inverknings. Beträffande den statiska induktionen från åskmolnen, äro i allmänhet icke några särskilda skyddsåtgärder behöfliga, emedan ledaresystemet sällan är så fullständigt isolerad, att icke tillräcklig afledning till jorden förefinnes. Särskildt gäller detta för flerfasledningar, vid hvilka föreningspunkten mellan ledningarna, den så kallade nollpunkten, sättes i förbindelse med jorden. Däremot är det nödvändigt att åstadkomma ett sådant skydd mot direkta urladdningar och så kallade bakslag, genom hvilka strömmar af hastigt växlande styrka och riktning samt följaktligen med stark självinduktion i maskinernas och transformatorernas ledningar frambringas. För att skydda svagströmledningar användas såsom bekant åskledare, grundade på den principen, att den af den atmosferiska elektriciteten alstrade strömmen går öfver ett luftlager till jorden, under det att batteriströmmen, hvars spänning är jämförelsevis låg, icke kan öfvergå detta. Vid starkströmsledningar och därmed i samband stående maskiner och transformatorer äger till en del men icke fullständigt samma förhållande rum. **) Om en ljusbåge uppstått vid åskledarens luftlager i en svagströmsanläggning, så kan den blott äga kort varaktighet, emedan elektricitetskällan själf icke kan underhålla densamma, hvaremot en dynamomaskin med hög potential kan vidmakthålla den af den atmosferiska elektriciteten frambragta ljusbågen. Denna båge verkar såsom kortslutning och slocknar icke förrän åskledarens poler förstörts eller maskinen blifvit afstängd. Till följd häraf är det nödvändigt att genom någon anordning släcka ljusbågen. Detta skulle kunna ske genom att i jordledningar från åskledaren införa ett säkerhetsstycke af lättsmält metall, så att den genom ljusbågen gående strömmen afbröts. Men då ganska många urladdningar kunna före-

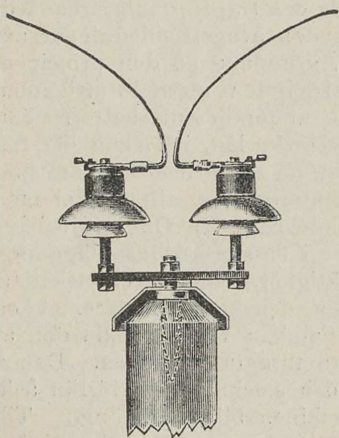
*) Om den i Schweiz vunna erfarenheten härutinnan se en uppsats af öfveringenjören N. Rahm i Teknisk Tidskrift 1899.

**) Se häröfver en utredning af ingenjör K. A. Lindström i Förhandlingarna vid Nordiska Teknikermötet i Stockholm 1897, p. 129.

komma under ett enda åskväder, skulle icke säkert skydd sålunda erhållas utan att använda ett flertal dylika parallelt anbragta säkerhetsstycken. I stället har man gjort bruk af en egenskap, som vissa metaller, förnämligast zink, kadmium, magnesium och kvicksilfver, äga, att en ljusbåge visserligen till en början uppstår, när de användas som elektroder, men att den icke fortsätter, om ock ytorna äro nära hvarandra. På flera sätt har detta tillämpats vid åskledare för starkströmslinier. Så t. ex. har på en marmor- eller porslinsskifva anbragts ett udda antal små zinkcylindrar i följd efter hvarandra och på en bråkdel af en millimeters afstånd mellan baserna. Den mellersta cylindern sättes i förbindelse med jorden, de båda yttersta med ledningen, som skall skyddas.*) Maskinens skydd förökas, om mellan densamma och åskledaren induktionsspolar införs, så att urladdningens gång genom maskinen försvåras.

Ett annat slag af säkerhetsapparater äro sådana, vid hvilka den i åskledarens luftmellanrum alstrade ljusbågen

Fig. 178.



utsläckes medels en stålagnet eller en elektromagnet, som frambringar ett magnetiskt fält med kraftlinier, vinkelräta mot strömmens riktning i bågen. Vidare omnämna vi *Siemens & Halskes* s. k. hornåskledare, hvilken helt enkelt utgöres af två böjda, grofva metalltrådar af den form fig. 178 visar, anbragta på isolatorer. Afståndet mellan trådarna ökas uppåt. Ljusbågen alstras nedtill vid det minsta mellanrummet och går af sig själf uppåt tills den slocknar, därtill föranledd så väl af den uppstigande varma luftströmmen som af ljusbågens egen elektromagnetiska verkan. Afbildningen visar denna åskledare af den nyaste på grund af erfarenheten modifierade inrättning för växelströmsledningar, hvilka uppbäras af trästolpar. De horisontala delarna af de böjda koppartrådarna kunna förskjutas

*) Om erfarenheter, som vunnits med zinkåskledare, se det sista å pag. 231 citerade arbetet.

för reglering. Den ena tråden förenas med linien, den andra med jorden.

Vi anföra slutligen *Alioths* åskledare för starkströmsledningar. Den uppbäres af en vid en mur fästad gjutjärnsställning med tre porslinsskifvor, anbragta vertikalt på olika höjd. På den öfre skifvan finnes ett metallstycke, hvilket står i förening med den ledning, som skall skyddas, och som därjämte uppbär en vertikal kolskifva. Midt emot denna och på något afstånd därifrån finnes en andra kolskifva, som är fästad vid öfre ändan af en kring ett stöd rörlig häfstång af aluminium. Afståndet mellan de båda kolskifvorna är så stort, att strömmen icke kan öfvergå detsamma. Härför uppgifves

	Växelström med frekvensen 50	Likriktad ström
vid 2,000 volt	2,5 mm.	2,0 mm.
» 6,000 »	5,5 »	3,0 »
» 10,000 »	8,0 »	5,0 »

Den andra änden af aluminiumhäfstången uppbär ett järnankare med en mässingskam, midt emot hvilken en andra kam är fästad vid ett metallstycke, som är anbragt på den understa porslinsskifvan. Det sistnämnda metallstycket är genom en koppartråd förenadt med en jordplåt. På detta sätt erhållas två luftmotstånd, hvilka genomgås af urladdningsströmmen. Från de båda kammarna gå ledningar till två trådspiraler, som äro upplindade kring en hästskoformig järnkärna, hvilken uppbäres af den mellersta porslinsskifvan. Vid urladdningen uppstå gnistor mellan kolskifvan och mellan kammarna, och dessa gnistor åtföljas af strömmen, af hvilken en liten del genomgår trådspiralerne, hvars järnkärna då attraherar aluminiumhäfstångens ankare. Afståndet mellan de båda kolskifvorna förökas härvid och likaså mellan mässingskammarna, hvarigenom strömmen afbrytes.

93. Kablars användande för starkströmsledningar. —

Äfven för dessa ledningar begagnas ofta i jorden nedlagda kablar, ehuru de medföra stora kostnader. Flera försök äro gjorda att konstruera dylika kablar, i stånd att motstå de högsta spänningar, som i praktiken förekomma. Vi skola anföra några exempel i detta hänseende.

Vid den elektriska centralstationen vid Deptford, som förser en del af London med växelström för belysning, begagnas i gatorna nedlagda kablar med 10,000 volt potential. De åren 1890 och 1891 utförda ledningarna utgöras af två koncentriska kopparrör med isolering af papper, hvilket genom-

dränkts med en asfaltlösning och i flera lager lindats kring de båda ledarna, hvarefter hela kabeln fick genomgå en drag-skifva, så att det yttre röret hårdt trycktes mot den mellan båda rören befintliga isoleringen. Slutligen anbragtes ännu en pappersisolering kring det yttre röret jämte en beklädnad af järn. Kabelstyckenas längd utgjorde 5 m. och de förenades med hvarandra inuti med en kopparstång samt uttill med ett kopparrör. Vid Ferrantis kablar iakttogs först, att vid en kabels införande i ledningen en förhöjning i spänningen äger rum, hvilken beror på att laddningskapaciteten åstadkommer en fasförskjutning i motsatt riktning mot självinduktionen. Förhöjningen, som blifver störst, när de båda fasförskjutningarna upphäfva hvarandra (jämför § 74), är af stor olägenhet, emedan den kan föranleda genomslagning mellan de båda ledningarna. Kabeln måste i alla händelser provas för en vida högre spänning än den, vid hvilken den skall användas.

I allmänhet hopsättas dock kabelledningarna af en eller flera trådar af ren koppar, som stundom förtennas ifall detta påkallas till skydd mot isoleringsmedlets kemiska inverkan. För växelströmledningar användas ofta koncentriska kablar.*) Såsom isoleringsmedel begagnas flera olika ämnen, såsom vulkaniserad kautschuk, jute, hampa och bomull, impregnerade med harts, olja m. m., de sistnämnda dock endast för jämförelsevis låga spänningar, högst 2,500 volt, oljadt papper, sammanställningar af kautschuk och guttaperka m. m. Vid Kaiser Wilhelm-kanalens belysningsanläggning, som arbetar vid 7,500 volt, begagnas för kablarnas isolering en kombination af kautschuk och guttaperka, på grund däraf att den förstnämnda visserligen är det bästa isoleringsämnet vid stark spänning, men att då densamma i någon mån är porös, ett öfverdrag af guttaperka här anbringas för att erhålla de största isoleringsförmågan hos kabeln.

Blyöfverdrag hos kablarna har allt mer vunnit insteg och användes numera i de flesta fall. Stundom anbringas icke blott en yttre blybeklädnad utan tillika en sådan mellan de båda ledarna. Till skydd mot yttre våld gör man som bekant bruk af en armering med spiralformigt upplindade järnband eller järntrådar.

Vid kablar uppträder en företeelse, som är analog med magnetisk hysteresis, och som benämnes *dielektrisk hysteresis*. Enligt N. F. Weber***) skulle den i ett dielektriskt ämne genom hysteresis föranledda förlusten vara ytterst liten, blott motsvarande en uppvärmning af några hundratusendelar af en

*) Se »Elektriciteten», 2:a uppl. pag. 520.

**) Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie. Bd 21, pag. 353.

grad. Men att äfven ett dielektrikum kan starkt upphettas genom att utsättas för en hög potential framgår bland annat af ett försök att pröfva en vulkanitbeklädnad för polerna till en stor alternator i Deptford. Vulkaniten utsattes tio minuters tid för 20,000 volt under det att den simmade i ett kvicksilfverbad och inuti äfven innehöll något kvicksilfver. Härunder blef massan mer än handvarm.

Vi anföra slutligen exempel å kablar för trefasström, hvilka blifvit underkastade noggranna undersökningar. Den ena af dessa var utförd af *Siemens & Halske* i Berlin för elektricitetsverket i Wynau i Schweiz. Kabeln hade 450 m. längd och innehöll tre ledningar, hvardera med 16 kvmm. tvärskäring, omgifna med en blymantel och försedda med järnarmering, så att den färdiga kabelns diameter var 52 mm. Isoleringen bestod af jute, indränkt i lufttomt rum med en speciel isoleringsmassa. Spänningen är 9,000 volt, hvilken förefinnes dag och natt. Isoleringsmotståndet per kilometer efter en minut var minst 792 och högst 6,700 megohm. Hvardera ledningens motstånd uppgick till 0,477 ohm. Efter ett års begagnande var kabeln ännu i godt tillstånd. Profningen skedde med 12,000 volt.

En annan kabel, som tillverkats af kabelverket *Duisburg* för Botzen-Meraner anläggningen, har äfven tre ledningar med gemensam blymantel och järnarmering, men med gummiisolering. Ledningarnas tvärskärningsarea är 3×35 kvmm. Kabeln är afsedd för 10,000 volt och provvades en half timme med 20,000 volt mellan ledarna och jorden samt på samma sätt mellan två ledare, hvarunder kabeln befann sig i vattnet. Isoleringsmotståndet uppgick till minst 3,815 och högst 10,800 megohm per km. Kabelns kapacitet per km. erhöles till 0,427 à 0,497 mikrofara. — En annan kabel från samma fabrik provvades äfven. Den var anordnad på samma sätt, men isoleringsämnet var »kabelit». Isoleringsmotståndet växlade här mellan 1,180 och 3,520 megohm per km. samt laddningskapaciteten mellan 0,354 à 0,395 mikrofara. per km. *)

*) Beträffande nyare starkströmskablar se vidare *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1898 och 1899, äfvensom två uppsatser af lektor af Bjerkén i *Teknisk Tidskrift*, 1900.

FEMTE KAPITLET.

Den elektriska belysningens nyaste framsteg.

94. Enheter vid ljusmätning. — Den af *Violle* föreslagna ljusenheten, som grundar sig på ljusutstrålningen från smält platina (§ 22), har icke vunnit något allmännare användande i praktiken och lämpar sig icke heller för detta ändamål. Däremot har en af den bekante elektrikern *v. Hefner-Alteneck* härrörande och efter honom benämnd enhet *hefnerljus* vunnit insteg inom belysningsindustrien och detta så väl i fråga om gasbelysning som den elektriska belysningen. Den lampa, som begagnas för framställande af den nya ljusenheten, utgöres af ett amylacetat innehållande cylindriskt kärl, från hvars öfre sida ett nysilfverrör uppstiger med en veke. Lågans höjd regleras till 4 cm. och hefnerljuset är då den ljusstyrka, som denna lampa lämnar i horisontal riktning.*) Naturligtvis äro vissa försiktighetsmått och regler angifna för att en konstant ljusstyrka skall med densamma kunna erhållas.

I Physikalisch-Technische Reichsanstalt i Berlin har hefnerlampan sorgfälligt pröfvats och dess pålitlighet åtminstone i hufvudsak bekräftats. Dock får man icke påräkna en fullständig jämnhet hos denna ljuskälla, ty atmosfärens beskaffenhet utöfvar något inflytande därpå, såsom förhållandet alltid måste vara, då ljusutvecklingen beror på förbränning i fria luften. Särskildt inverkar luftens fuktighet, så att ljusstyrkan aftager, när halten af vattenånga i luften växer. Till följd häraf är lampans ljusstyrka större under vintern än under

*) Hefner-Alteneck lämnar följande definition på ifrågavarande ljusenhet: Som ljusenhet tjänar lyskraften hos en i lugn och ren luft brinnande låga, som uppstiger ur tvärskärningen af en massiv med amylacetat mättad veke, hvilken fullständigt utfyller ett cirkelrundt vektor af nysilfver med 8 mm. inre och 8,3 mm. yttre diameter och 25 mm. fristående längd vid en höjd af 40 mm. från vektorrens kant samt åtminstone tio minuter efter antändningen.

sommaren, eller med andra ord den angifver för litet resultat om vintern och för stort om sommaren. Den minsta ljusstyrkan, nämligen 0,948, erhöles i juli månad och det största, 1,033, i januari och februari månader. Betecknar x antalet liter vattenånga per kubikmeter luft samt y hefnerlampans ljusstyrka, så är

$$y = 1,049 (1 - 0,0053 x).$$

Införes denna korrektion, kan en icke oväsentlig förbättring vinnas i fråga om lampans noggrannhet. Lufttryckets vanliga växlingar äro däremot af föga inflytande på lampan. Atmosferens kolsyrehalt försvagar dock dennas ljuseffekt, så att fotometerförsöken böra äga rum i väl ventilerade rum.

Beträffande hefnerljusets styrka må anföras, att den är mindre än de engelska och tyska normalljusens intensitet. Sälunda är det engelska normalljuset, som förr hos oss användes vid profning af lysgasen = 1,14 hefnerljus och det tyska normalljuset 1,2 samma ljusenhet. Den äldre franska ljusenheten »bec Carcel» är 10,83 och Violles enhet 22,5 hefnerljus.

95. Några undersökningar öfver den elektriska ljusbågen. — Vi skola nu anförä några nyare försök öfver den elektriska ljusbågen och skola till en början omnämna *L. Arons* arbeten häröfver.*)

Arons har till en början sökt utreda huruvida verkligen såsom *Edlund* först antog en elektromotorisk ljuskraft finnes i ljusbågen. Åtskilliga forskare ha förnekat dess tillvaro. Sälunda har *Stenger* genom ett enkelt experiment sökt visa frånvaron af en dylik elektromotorisk kraft. Han införde nämligen i bågens strömkrets ett accumulatorbatteri, som laddades af maskinströmmen, äfvensom en galvanometer, hvilken genom en hämning hindrades från att gifva utslag för samma ström. Vid maskinernas kortslutning, hvarvid den ström, som underhöll lampen, upphörde, visade galvanometern utslag för accumulatorströmmen, hvilken tillika genomgick bågen. Stenger drog häraf den slutsats, att den ifrågasvarande elektromotoriska kraften icke fanns. Arons har modifierat Stengers metod och har därigenom kommit till ett motsatt resultat. Han bestämde nämligen minimivärdet hos den elektromotoriska kraften i batteriet för att detta skulle kunna alstra en ström genom den utsläcktå bågen, hvarefter han förökade batteriets spänning så mycket, att ljusbågen skulle kunna frambringas i motsatt riktning. Härvid befanns

*) Annalen der Physik und Chemie, 1896, Bd 57; p. 185

det, att åtminstone 18 till 22 volt tagas i anspråk för att framkalla en stötvis ström genom den utsläckta bågen samt att denna vid 28 volt stundom uppstår ett ögonblick åt motsatt håll, vid 30 volt brinner några sekunder, men först vid 40 volt blir varaktig. Häraf drager Arons den slutsats, att den elektromotoriska motkraften verkligen förefinnes.

Vi böra dock anförä, att *G. Granqvist* i Upsala vid sina försök med ljusbågen kommit till ett annat resultat.^{*)} Genom att använda en känsligare undersökningsmetod än den Arons begagnade, fann han att efter ljusbågens upphörande endast en helt liten elektromotorisk kraft af 0,227 volt kvarstod, hvarjämte han utan svårighet kunde påvisa en ström från ett enda Daniells element i gassträckan, då Arons behöfde 18—22 volt härför. Granqvists undersökningar föra till samma slutsats som flere föregående forskares, nämligen att den elektromotoriska kraften i ljusbågen upphör, när strömmen i denna afbrytes. Den elektromotoriska kraften af 0,227 volt, som han fann 0,0009 sek. efter afbrottet, synes vara af termoelektriskt ursprung. Sedermera har äfven *Blondel* genom likartade försök^{**)} kommit till det resultat, att blott en helt liten elektromotorisk motkraft återstår efter ljusbågens upphörande. Blondel bestrider tillvaron af en större elektromotorisk motkraft i bågen och vill förklara det ansevärd potentialfallet i denna genom ett stort motstånd i bågen. Detta skulle äfven framgå däraf, att vid växelströmsbågen potentialskilnaden och strömstyrkan samtidigt blifva = 0. Granqvist har däremot vid en med konstant ström alstrad ljusbåge medels telefon och induktionsströmmar bestämt ohmska motståndet r och bekräftat Edlunds formel

$$V = e + ir,$$

där V är potentialskilnaden mellan elektroderna och e den elektromotoriska motkraften vid strömstyrkan i . Den svenske fysikern anser därför, att det enda antagande öfver den elektromotoriska kraften i ljusbågen, som är förenligt med de hittills gjorda försöken, är, att en elektromotorisk motkraft förefinnes i bågen, men att den upphör på samma gång strömmen, som framkallar denna, upphör att verka. Om Edlunds åsikt, att ifrågavarande elektromotoriska kraft härrör af det i bågen föregående mekaniska sönderdelningsarbetet, hvilket utföres af strömmen, är riktig, bör äfven så vara förhållandet.

Bland andra undersökningar öfver ljusbågens egenskaper, vilja vi särskildt framhålla de försök, som blifvit anställda

^{*)} Öfversigt af K. Vetenskaps-Akademiens förhandlingar, 1897, p. 451.

^{**)} Journal de Physique, 1897, p. 513.

af den bekante elektrikern *Ayrton* och af hans hustru *Hertha Ayrton*.*) Af den sistnämndas undersökningar skulle följa, att det totala elektriska motståndet i ljusbågen icke noggrant uttryckes genom en konstant kvantitet plus en med ljusbåglängden proportionel term, utan att härtill bör läggas en tredje term, som växer med båglängden l , men som är omvänt proportionel mot strömstyrkan i . Potentialskilnaden V mellan elektroderna skulle på grund häraf kunna uttryckas genom formeln

$$V = a + bl + \frac{c + dl}{i},$$

där a , b , c och d äro fyra koefficienter, som bero på kolspetsarnas beskaffenhet och diameter. Den elektromotoriska motkraften, om den förefinnes, skulle då vara

$$e = a + \frac{c}{i}.$$

Häraf följer, att vid konstant båglängd det i ljusbågen förbrukade arbetet är en lineär funktion af strömstyrkan samt att vid konstant ström arbetet är en lineär funktion af båglängden. En liksidig hyperbel angifver geometriskt sambandet mellan potentialskilnaden och strömstyrkan vid konstant båglängd. Om potentialskilnaden, strömstyrkan och båglängden framställas genom tre rätvinkliga koordinater, så är den yta, hvilken angifver sambandet mellan dem, en hyperbolisk parabolid. I fråga om det fräsande ljudet hos bågen erhöles det resultat, att det gifves en maximiströmstyrka, vid hvilken en tyst bäge kan bibehållas, och att en starkare ström än denna framkallar ljudet äfven om bågen har stor längd. Vare sig att massiva kol eller vekköl begagnas, blifver den sänkning i potentialskilnaden, som äger rum i samband med det fräsande ljudets uppkomst, konstant för samma kolspetsar och således oberoende af bågens längd och strömstyrkan.

96. Försök öfver växelströmmars användande vid bågampor. — Af särskildt intresse äro de undersökningar, som de senare åren blifvit anställda i fråga om växelströmmar för drifvande af bågampor. Vi anföra till en början *Ayrtons* försök med homogena kolspetsar, vid hvilka det visade sig att en fasförskjutning äger rum i ljusbågen, så att denna skenbart förhåller sig som ett motstånd med själfinduktion. *Heubach***)) har närmare undersökt detta och därvid kommit

*) The Electrician, 1895 och 1896.

**) Elektrotechnische Zeitschrift, 1892, p. 460.

till följande resultat. Vid konstant strömstyrka stiger spänningen mellan kolspetsarna med växande båglängd, hvarjämte det elektriska arbetet i ljusbågen tilltager. Vid konstant båglängd aftager spänningen med växande strömstyrka, men detta oaktadt ökas det elektriska arbetet. I den bekanta af *Edlund* först uppställda formeln för det skenbara ledningsmotståndet i bågen med längden l mm., nämligen $m = a + bl$, där a och b äro två koefficienter erhöles a störst, motsvarande 45 volt, vid två homogena kol och lugn båge, men mindre, 26 volt, om man upptill använde vekköl och nedtill homogent kol samt ännu mindre, 22 volt, om kolen ställdes i motsatt ordning. Ett minimum erhöles för a , nämligen motsvarande 20 volt, när två vekköl användes.

Arbetsförbrukningen utgjorde för olika kol vid lika strömstyrka 6 ampère och vid lika båglängd 2 mm. med

2 vekköl	142 watt
2 homogena kol (lugn båge)	206 »
vekköl upptill " "	168 »
» nedtill " "	159 »

När vekköl begagnas äger icke någon fasförskjutning rum, hvilket däremot är händelsen med homogena kol. Fasförskjutningsvinkeln φ är oberoende af strömstyrkan, båglängden och strömfrekvensen, och beror blott på användandet af homogena kol och af bågens beskaffenhet, så att

vid två homogena kol och fräsande båge	$\varphi = 42^\circ$
» " " " " lugn "	$\varphi = 35^\circ$
» ett homogent och ett vekköl (alltid lugn båge), upptill eller nedtill	$\varphi = 23^\circ$

Beträffande bågens fräsande ljud *) anmärkes, att detsamma endast uppstår med två homogena kol och vid liten båglängd. Det blifver häftigare vid aftagande båglängd och vid växande strömstyrka. När det inträder sjunker arbetet och spänningen anseeligt.

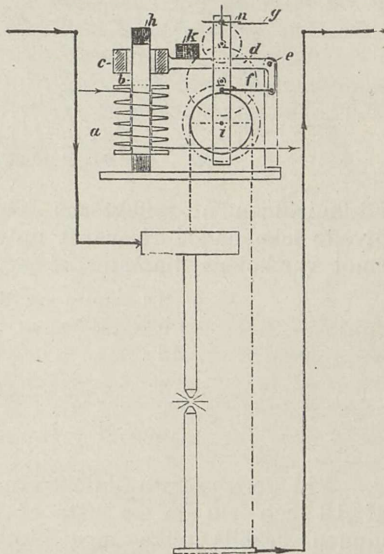
Andra betydande undersökningar öfver växelströmmars användande vid bågampor äro utförda af *Wedding*. **) Den lampa, som härvid begagnades var från firman *Körting & Mathiesen* i Leutzsch nära Leipzig, och är en shuntlampa med konstant brännpunkt. Regleringen (se fig. 179) är af egenomlig anordning, beroende på den s. k. Thomson-effekten. Härmed menas den företeelse, som visar sig hos en sluten strömkrets, hvilken under inverkan af den elektromotoriska

*) Se »Elektriciteten», 2:a uppl. p. 383.

**) Elektrotechnische Zeitschrift, 1897, p. 716.

kraften i en trådspiral, som genomgås af en växelström, samt af tyngdkraften håller sig sväfvande. Vid ifrågavarande lampa finnas såsom vanligt två stående trådspiraler *a* med långa fina ledningar, i hvilka en derivation af hufvudströmmen framgår, och två orörliga järnkärnor *b*, som genom två tvärstycken *h* bilda en sluten magnetisk ledning. Kring de öfver spolarna förlängda järnkärnorna finnas två slutna, massiva, rörliga metallringar *c*, hvilka uppbäras af en vinkelhäfstång *d* och genom denna stå i förbindelse med regleringsmekanismen *e, f, g, i*. Dessa utgöra ledningen, i hvilken de strömmar induceras, som genom sin växelverkan med de magnetiska kraftlinierna och tyngden hos det rörliga systemet hålla detta sväfvande. För strömmens alstrande begagnades en växelströmgenerator med åtta poler, som lämnade en nära sinusoidformig strömkurva med en frekvens af 50.

Fig. 179.

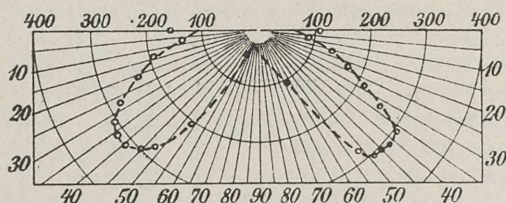


Fotometermätningar anställdes blott under horisontalplanet. Mätningarna gjordes för hvar 7:e grad. Till en början undersöktes inflytandet af reflektorn. Denna utgjordes af en hvit emaljerad järnskifva af 12 eller 15 cm. diameter, anbragt å ställningen öfver ljusbågen, och med en utborrning vid midten för öfre kolspetsen. Genom reflektorn förökades den nedåt frambragta ljusmängden med vid pass hälften. För reflektorns lämpligaste inställning iakttoogs följande regel. Vid olika strömstyrka gifves det en lägsta ställning hos den något öfver bågen anbragta reflektorn, i hvilken ljus ur det undre kolets krater tränger genom reflektorns utborrning till lampans öfre del. Flyttas reflektorn högre upp, lägger sig en skugga kring utborrningen, härrörande af det öfre kolets undre kant. Den fördelaktigaste ställningen hos reflektorn är den, vid hvilken nämnda skugga just börjar uppstå.

Fig. 180 visar ljuskurvan, när icke skärmen användes. Om denna påsattes, utsträcktes de båda grenarna af kurvan,

så att maximi-intensiteten, hvilken, när icke reflektor begagnades, var obetydligt öfver 300, blef 400 à 430, hvarjämte medelljusstyrkan ökades från 184 till 248 à 281 hefnerljus.

Fig. 180.



Förändringen af reflektorns diameter från 12 till 15 cm. utöfvade icke något afsevärdt inflytande på ljusmängden. Där emot var kolens diameter af betydelse. Vid en strömstyrka af

4—9,3 ampère var diametern 8 mm.

9,4	"	"	"	10	"
12,5	"	"	"	12	"
16	"	"	"	15	"
28	"	"	"	18	"
40	"	"	"	20	"

Vid de tre första diametrarna hos kolen användes reflektor af 12 och vid de tre sista af 15 cm. diameter. Ljusfördelningen erhöles olika med olika diametrar. När denna är mindre, kommer maximum djupare, så t. ex. vid 10 mm. diameter $38^{\circ},5$ och vid 12 mm. diameter $34^{\circ},5$ under horisontalplanet. Det för en hefnerenhet använda arbetet var i förra fallet 1,056 och i det sistnämnda 1,242 watt. Den härigenom förorsakade olägenheten hos de gröfre kolen motväges dock till en del genom den fördelaktigare ljusfördelningen, som man med dem erhåller, hvarjämte deras bränntid är längre. Beträffande ljusstyrkans beroende af strömstyrkan och arbetet, visade det sig, att vid en energiförbrukning af 75 till 250 watt eller en strömstyrka af 4 till 9,3 ampère förbrukningen per ljusenhet mycket starkt aftager, men att däremot från 250 watt och uppåt blott en långsam förändring äger rum. Den specifika förbrukningen förminskas då väsentligt långsammare, men blifver allt fördelaktigare vid stigande strömstyrka. Tydligt framgår af försöken, att det är ekonomiskt ofördelaktigt att vid växelström-båglampor använda en strömstyrka under 9 ampère till följd af den höga specifika förbrukningen eller den svagare ljusutvecklingen. Till en del

beror detta på, att vid en svag ström är det en jämförelsevis stor del af den totala energien, som användes för regleringen. Så t. ex. konsumerades af 75 watt icke mindre än 20 %, men vid 250 watt 8 % samt vid 1,153 watt blott 2 % i shunten. En annan orsak till det nyssnämnda förhållandet är den olika strömtätheten i kolen. Vid en svag ström var denna blott 0,06 ampère per kvmm., men vid en stark ström kunde tätheten stiga till 0,12. I det senare fallet upphettas kolen långt mera, hvaraf åter följer större ljusutstrålning och mindre energiförbrukning. Relationen mellan medelljusstyrkan y och strömstyrkan x mellan gränserna 4 och 25 ampère kan sättas

$$y = 43x - 160.$$

Ljusstyrkan y och antalet z watt äro förenade genom ekvationen

$$y = 1,4z - 102,$$

gällande ända till 700 watt.

Wedding har äfven på grund af de vid elektricitetsutställningen i Frankfurt a. Main år 1891 gjorda försöken anställt en jämförelse mellan ljuset från bågglampor med konstant ström och med växelström. Det framgår här af, att bågglampan med likriktad ström är betydligt öfverlägsen lampan med växelström. Under det att den sistnämnda vid en lägre energiförbrukning än 200 watt arbetar mycket ogynnsamt, kan likströmslampan arbeta ända ned till 60 watt. Växelströmslampan påkallar ett vida högre värde på energien för samma specifika förbrukning per ljusenhet. Men härvid anmärkes, att det är möjligt att med samma spänning af 110 watt i belysningsnätet ställa tre växelströmsbågglampor efter hvarandra, hvaremot vid likström endast två lampor kunna anbringas i följd, och ljusfördelningen blir härigenom fördelaktigare vid växelströmmens användande.

En iakttagelse, som de senare åren blifvit gjord vid ljusbågar med växelström och mellan metallelektroder, är af särskildt intresse, emedan den praktiskt tillämpats vid åskledare till starkströmsledning (jämför § 92). Det har nämligen visat sig att fastän en permanent ljusbåge ganska lätt uppstår mellan kolspetsar, så kan en sådan ljusbåge icke bibehålla sig, när metallelektroder i stället begagnas, äfven om frekvensen uppgår till 100 och spänningen är 10 à 12 gånger så stor som vid den likriktade strömmen. *Arons* fann t. ex., att med en växelström af 360 volts spänning icke någon fortvarande ljusbåge kunde erhållas ens på mikroskopiskt afstånd mellan metaller, under det att mellan kolspetsar en

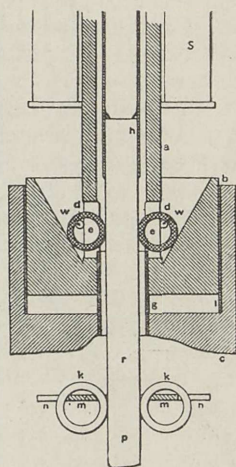
7 mm. lång båge uppstod. Man kan däremot ganska lätt frambringa en ljusbåge mellan kol och metall, så framt den sistnämnda icke smälter, hvilket är händelsen med platina. Med koppar, mässing, järn eller nickelin såsom den ena elektroden och kol såsom den andra erhöles ljusbåge. Egenomligt förhåller sig härvid aluminium. Mellan denna metall och kol uppstår med stor lätthet ljusbåge, om växelström användes, men däremot endast med svårighet för likriktad ström. *v. Lang* har med ström af sistnämnda slag uppmätt den elektromotoriska motkraften mellan två aluminiumelektroder och funnit tämligen osäkra värden till följd af ljusbågens opålitlighet, men tämligen nära 22 volt, hvilket äfven är den elektromotoriska motkraften, när strömmen går i riktning från aluminium till kol. Om däremot strömmen går från kol till aluminium, är motkraften lika stor som mellan två kolspetsar. *v. Lang* har visat, att man kan transformera en växelström till likriktad ström, genom att låta den förra gå genom en dylik ljusbåge, hvari den erhållna likriktade strömmen går från aluminium till kol. Detta är motsatt den riktnig den transformerade strömmen erhåller, om växelströmmen får genomgå en elektrolyt, hvilken, såsom förut är känt, kan användas för en dylik transformering, om elektroderna äro kol och aluminium.

97. Janduslampan. Det förnämsta framsteg den elektriska bågglampbelysningen gjort under de senaste åren är uppfinningen af den efter *Jandus* benämnda lampan med lång bränntid. Vid konst- och industriutställningen i Stockholm år 1897 var ett stort antal dylika lampor i bruk, tillverkade af den svenska patentinnehafvaren, Aktiebolaget De Lavals glödlampfabrik Svea, numera De Lavals elektriska aktiebolag. I Norra Amerika, uppfinningens hemland, äfvensom i England ha Janduslamporna vunnit vidsträckt spridning, och de vinna allt mera insteg äfven i andra länder. De skilja sig i flera hänseenden från andra bågglampor. Det mest betecknande är deras långa bränntid, som erhålles genom att ljusbågen är omgifven af två glaskupor, benämnda den yttre och den inre globen, af hvilka dock den senare äger nära cylindrisk form. På det att endast ett sparsamt lufttillträde till kolspetsarna må äga rum, är den yttre globen lufttät för enad med lampan med undantag för dennas nedre del, där en öppning finnes, slutet af ett utåt fjädrande plåtlock, hvilket när det öppnas lämnar tillfälle för luften och de vid kolens förbränning alstrade gaserna att utströmma. Genom denna öppning kan äfven lampans rengöring försiggå och nya kol-

spetsar införas. Med tillhjälp af asbestpackning är den yttre globens öfre del lufttät förenad med ramen för den negativa kolhållarens uppbärande. Dessa delar bilda tillsammans ett orörligt helt, som fastskrufvas vid lampans öfre del, hvilken innehåller den mekanism, hvarmed ljusbågen regleras. Den inre globen, som närmast omgifver ljusbågen, är icke lufttät tillsluten. När ljusbågen alstras och den i sistnämnda glob varande luften upphettas samt blandas med kolets förbränningsprodukter, utströmmar en del af denna luft till den yttre globen och härifrån utdrifves genom det sig utåt öppnande plåtlocket i stället kall luft. Den inre globen kommer sålunda efter det att lampan verkat någon tid, att fyllas med kväfve och kolets förbränningsprodukter, och på så sätt förhindras syrets tillträde. Häri- genom blifver det möjligt att vid 4 ampère strömstyrka och 13 mm. diameter hos kolspetsarna erhålla öfver 200 timmars bränntid med ett enda par kol. Vid 5 ampère ström kan bränntiden nedgå till c:a 160 och vid 6 ampère till c:a 130 timmar.

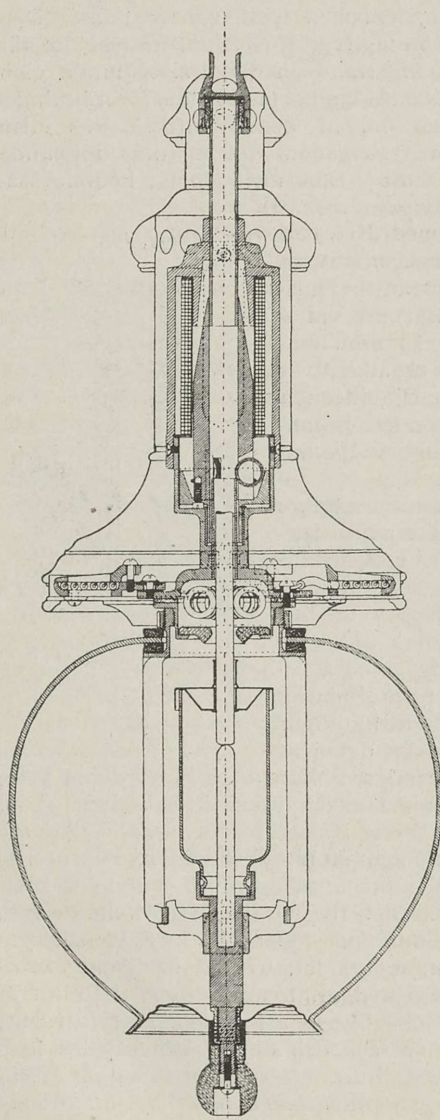
Fig. 181 visar den ursprungliga anordningen af Janduslampans regleringsmekanism i vertikal genomskärning. Det öfre positiva kolet *p* uppbäres jämte dess kolhållare *h* medels fyra stålringar *d, d*, hvilka äro uppträdda på en cirkelformigt höjd horisontal ståltråd *ww*. De fyra ringarna äro inlagda i motsvarande uttagningar *e, e* i den nedre cylindriska delen af regleringsspiralens *s* rörformiga ankare *a*, och på deras yttre sida beröra de den refflade koniska ytan till mässingshylsan *b*. Ankarets öfre del är äfven konisk för att erhålla jämnare reglering. Hylsan *b* kan något höjas eller sänkas i en orörlig cylinder *c*, som innehåller ett mässingsrör *g*, i hvilket kolet *p* är flyttbart. Vid det af fig. 181 visade läget hvila de fyra ringarna *d, d* med ena sidan mot hylsan *b*'s inre, koniska yta och med den andra sidan mot kolet, hvilket därigenom kvarhållles. Men när hylsan *b* nedgår, hvarvid röret *g* förblifver i sitt läge, kommer hon icke längre att trycka mot ringarna, hvilka därför släppa kolspetsen och denna kan således nedsjunka. Man finner häraf, huru regleringen försiggår. När icke någon ström genomgår trådspiralen *s*, är hylsan *b* i sin

Fig 181.



lägsta ställning, och kolspetsarna beröra då hvarandra. Om nu strömmen slutes, genomgår den spiralen *s*, attraherar järn-

Fig. 182.



ankaret *a*, hvarvid hylsan *b* upplyftes och med den kolet *a*, så att ljusbågen kan alstras. När afståndet mellan de båda spetsarna blir för stort, försvagas strömmen i spiralen, och ankaret nedsjunker ända till dess att ringarna *d*, *d* möta öfre änden af röret *g*. Den öfre kolspetsen sjunker äfven till dess att ljusbågen ånyo blifvit normal. Då det öfre kolet nära förbrukats, kommer en förstärkning af den öfre kolhållaren att trycka mot ringarna, så att rörelsen upphör. Nedanför hylsan *b* finnes en anordning för centrering af kolspetsen samt för strömmens införande. Den utgöres af en kopparring *n*, *n*, som är förenad med den positiva polskrufven och utgör en del af lampan. Ringens inre del är utskuren som ett kugghjul, och i hvarje dess utskärning *m* finnes en liten kopparring *k*. Härigenom gifves åt den öfre kolspetsen ett centralt läge.

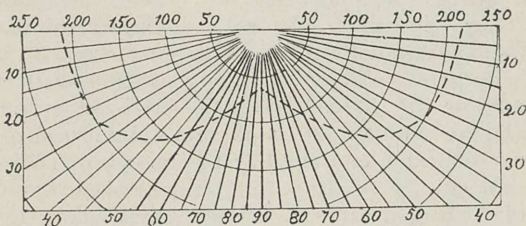
Anordningen af Janduslampan i dess helhet, sådan den till-

verkas af De Lavals elektriska aktiebolag, synes af fig. 182. Öfver glasgloberna samt centreringsmekanismen finnes ett motstånd, som är anbragt i en cirkelformig gjutjärnsram.

Vanliga kol få icke användas vid dessa båglampor, utan särskildt tillverkade homogena kol af lika diameter för båda spetsarna begagnas. Bränntiden beror på strömförbrukningen. Med ett enda par kol uppgifves bränntiden vara c:a 220 timmar vid 4 ampère, 160 à 180 timmar vid 5 ampère och 130 à 160 timmar vid 6 ampère. En särskild lampa har konstruerats för $2\frac{1}{2}$ ampère ström och c:a 90 timmars bränntid. Såsom serielampa användes Janduslampan antingen 2 i följd med 200 à 230 volt eller 3 i följd med 300 à 330 volt. Ensam brinner lampan med 100 volt spänning och utan att något yttre motstånd behöfver användas.

Af de försök, som blifvit anställda med Janduslampan, skola vi anföra de *Wedding* i Berlin utfört.*) Han iakttog med en liten vattenmanometer öfvertrycket i lampans inre. När lampan sattes i verksamhet uppgick det först till c:a 1 mm. men sjönk snart till under $\frac{1}{2}$ mm. vattenpelare. Ljusfördelningen blirver tämligen ojämn, men i det hela taget fördelaktigare än vid vanliga båglampor, emedan maximum för Janduslampans ljusintensitet kommer betydligt högre än vid de sistnämnda lamporna. Dessutom förändras icke ljusintensiteten i närheten af maximivärdet lika hastigt som förhållandet är med de äldre lamporna. Fig. 183 visar åskådligt

Fig. 183.



ett exempel å Janduslampans ljusfördelning efter medelvärden. För belysning af en nedanför belägen yta samt för aflägsnare punkter är detta gynnsammare än vanligt vid båglampor. Janduslampan är företrädesvis lämplig för inre belysning, och i allmänhet då äfven det öfver bågens horisontalplan riktade ljuset kan tillgodogöras. Härtill kommer besparing i kol och

*) Elektrotechnische Zeitschrift, 1897, p, 763.

betjäning. Däremot anmärkes såsom fel hos de nya lamporna svagare ljusstyrka för samma elektriska energi. Försöken med Janduslampor visade, att af de 110 volt, som en sådan lampas tog i anspråk, förefanns vid bränntidens början 80 volt i ljusbågen, hvilken potentialskilnad småningom sjönk till ett konstant värde af 76 volt, så att 34 volt konsumerades af det i serie anbragta motståndet och af trådspiralen. En dylik lampas brinner således med nära dubbelt så hög spänning som de vanliga lamporna. Man skulle därför kunna jämföra en Janduslampa med två vanliga lampor i serie för samma strömstyrka. Dessa båda lampor tillsammans skulle då gifva större ljusutveckling och dock taga mindre energi i anspråk, hvarjämte ljusfördelningen med de två lamporna ofta vore fördelaktigare än med en lampas af större ljusstyrka. Men däremot vore kostnaden för anskaffande af två lampor äfvensom deras skötsel kostsammare samt kolförbrukningen större. I synnerhet är Janduslampan fördelaktig, när lampan måste anbringas på icke lätt tillgängliga ställen, då det är af stor vikt, att ombytet af kol endast med långa mellan-tider påkallas.

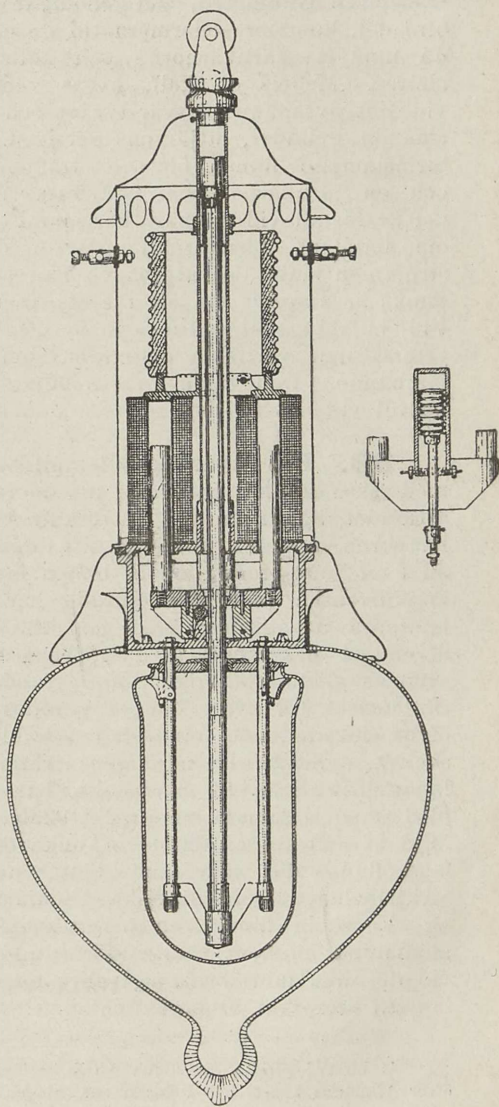
98. Siriuslampan. En annan ny båg-lampa, som vunnit ganska vidsträckt användning i vårt land, är den af »Elektriska Aktiebolaget Sirius» i Stockholm tillverkade lampan, hvaraf fig. 184 visar en afbildning. Äfven denna lampas har en inre cylinder och en yttre glob likasom Janduslampan, men dess regleringsmekanism är väsentligt olika och enklare än dennas. Afståndet mellan kolspetsarna bör vid Siriuslampan efter kolningen vara vid 100 à 130 volts spänning minst 18 à 20 mm., då strömstyrkan är 2,5 à 3 ampère, samt 30 à 32 mm. vid 4 à 6 ampère. Vid en spänning af 200—220 volt samt vid 1,5 ampère är äfven afståndet 30 à 32 mm. men vid 2 à 3,5 ampère lampor 40 à 42 mm. Den undre negativa kolstångens ursprungliga längd är 13 cm. och den öfre positiva stångens 35 cm. På sätt afbildningen visar uppbäres den förstnämnda stången af ett tvärstycke, hvilket är anbragt nedtill vid en ram och medels två muttrar fasthålls vid denna. Upptill å samma ram finnes ett lock, och genom ett hål i detta går den öfre kolstången, hvilken dessutom omslutes af ett rör. Den inre glascylindern, som nedtill är slutet, upphänges medels två hakar, i hvilka vid locket fastnitade hängslen ingripa.

Cylinderns öfverkant bör sluta tätt till locket, på det att kolets förbränning må ske långsamt. Vid införande af kolen och rengörning af cylindern skjutes denna jämte lock upptill

tills detta berör det öfverliggande planet, då locket kvarhålles i detta läge, men cylindern sänkes och borttages. Sedan uttages den till en del afbrända öfre kolstängen, hvilken afskäres till noggrant 13 cm. längd och insättes såsom undre kolstäng, hvarvid dennas båda ändar böra vara fullt plana. Den undre kolstängens längd är af-satt å ramen för att underlätta denna operation. Ytterglobens metallkrans är försedd med en kedja, vid hvilken globen kan upphängas, om så erfordras, under det att kolen införs.

Denna lampas bränntid är 90 à 200 timmar, men utsträcket icke gärna öfver 150 timmar, emedan därefter på innercylindern af-sättningar äga rum, som försvaga ljuset. När vid lampan användes likriktad ström, brännes homogena kol, men vid växelström är det ena kolet vekk. Vid 2,5 ampère strömstyrka användas kolstänger med 8 mm. diameter, vid 3 à 3,5 ampère 10 mm. samt vid 4 à 6 ampère 13 mm. Mindre koldiameter lämnar stadigare ljus och större effekt, men mindre bränntid.

Fig. 184.



Beträffande den enkla regleringsmekanism, hvars hufvudsakliga anordning framgår af fig. 184, må anmärkas att den öfre kolhållaren är förenad med ett horisontalt tvärstycke, från hvilket två järnkärnor uppstiga, ingående i hvar sin trådspiral. Strömmen, som genomgår ett motstånd vid lampans öfre del, kommer sedermera till de orörliga spiralerna, hvilka då upplyfta järnkärnorna och kolhållaren, så att ljusbågen alstras. Medels en kolf, hvars vertikala stång är anbragt vid det nyssnämnda tvärstycket och upptill ingår i en liten, stående cylinder, utjämnas rörelsen. Vid en nyare form af Siriuslampan finnes blott en trådspiral vid kolstångens sida och en järnkärna, som nedhänger i spiralen och hvars öfre del är fästad vid en nära horisontal tvåarmad häfstång ofvanom spiralen. Järnkärnan upplyfter den öfre kolhållaren, när strömmen slutes, så att bågen kan bildas. Häfstångens fästpunkt är anbragt vid ett tvärstycke nära spiralens öfre sida. Vid häfstångens andra arm är öfre kolhållaren fästad samt ytterst den vertikala cylindern, som tjänar för rörelsens utjämning. Den till cylindern hörande kolstången är fästad nedtill vid det tvärstycke, som uppbär trådspiralen.

99. Den nyare glödlamptillverkningen. Man torde med skäl kunna anmärka, att de framsteg, som det senare årtiondet ägt rum vid tillverkningen af de elektriska glödlamporna, i mindre grad bestått i dessas tekniska fulländning än i en massproduktion af billiga lampor. Den långt drifna konkurrensen på detta område har förmått glödlampsfabrikanterna att alltmera söka nedsätta tillverkningskostnaderna äfven på bekostnad af lampornas varaktighet. Den första svenska glödlampfabriken, som grundades af ingenjör *R. W. Strehlenert*, för hvars lampor vi redogjort i föregående arbeten öfver elektriciteten, har sedan dess blifvit nedlagd. En annan svensk dylik fabrik, nämligen »Aktiebolaget De Lavals glödlampfabrik Svea» i Stockholm har under flera år tillverkat glödlampor i ganska vidsträckt skala, men har äfven den till följd af den stora utländska konkurrensen upphört.*) I vårt land finnes för närvarande blott en mindre glödlampfabrik: »Aktiebolaget Skandinaviska Glödlampfabriken» i Nyköping.

Vi skola lämna en öfversikt af det vid tillverkning af glödlampor numera vanliga förfaringssättet, hvilket visserligen vid de olika fabrikerna mer eller mindre modifieras.

Af stor vikt är beskaffenheten af det glas, som användes

*) En redogörelse för denna fabrik är lämnad i den officiella berättelsen öfver Allmänna konst- och industriutställningen i Stockholm 1897, sid. 1029.

till dessa lampor och det sätt, på hvilket de vanligtvis päronformiga glaskolfvarna och de till dem hörande glaströren tillverkas och behandlas. Flera glödlampfabriker äga därför särskildt glasbruk för att säkrare kunna kontrollera denna del af tillverkningsprocessen. Så var äfven händelsen med den nyss omtalade fabriken »Svea».

Men af ännu större betydelse är sättet för koltrådens framställning. Numera beredes denna tråd i regeln genom att kolloidium, som framställes vid upplösning af bomullskrut i eter och alkohol, i flytande tillstånd reduceras genom järnoxidul- eller tennoxidulsalter, hvarefter ur denna cellulosa-lösning, som utspädes med salpetersyra, trådar utdragas. Eller ock uppvärmes cellulosan i en mättad lösning af zinkklorid först i ett vattenbad och sedermera i ett sandbad, hvarefter den tjockflytande massan medels en glasspruta utpressas vid c:a 2 atmosferers tryck i en vätska, t. ex. alkohol, så att den fina strålen stelnar till en tråd. Denna afskäres nu i passande längder och förkolas i kärl, innehållande ångor af olja med hög kokpunkt.

För reglering af koltrådarnas motstånd användes fortfarande det bekanta förfaringssättet att införa trådarna i glaskupor, innehållande flytande eller gasformiga kolväteföreningar, under det att en elektrisk ström genomgår kolet. Enär ledningsmotståndet är störst vid de ställen, där tråden är smalast, äger äfven där den största värmeutvecklingen rum, så att det ur kolvätet utfällda kolet därstädes företrädesvis afsättes. Koltråden erhåller härigenom öfverallt lika tjocklek. Motståndets reglering sker under det att detta utgör en af delarna till en Wheatstones brygga, ur hvilken den automatiskt urkopplas, när det bestämda motståndet erhållits.

Glaskolfvarnas nedre del formas så, att de korta glaströren med platinatrådar, hvilka skola upptaga koltrådens ändar, kunna där införas. Detta kan ske på det sätt, att platinatrådarna genom stansning och sträckning i en dragskifva vid ändarna formas som små rör, i hvilka koltrådens ändar ingå. För att bespara den dyra platinan användes blott så mycket däraf, som är nödvändigt för tätningen vid glaset och trådarna, och förlängas dessa med koppartrådar, hvilka utgöra ledningen till lampans fattning. Äfven andra metaller än platina har man försökt använda för samma ändamål. Beträffande föreningen mellan kolet och platinan, äro flera metoder försökta. Såsom bekant användes till en början en galvanoplastisk utfällning af koppar för att erhålla en sådan ledande förening. Sedermera har begagnats ett ledande, väsentligen af kol bestående kitt.

Numera gör man bruk af kol, som utfälles vid föreningsställen ur kolväteföreningar medels elektricitet.

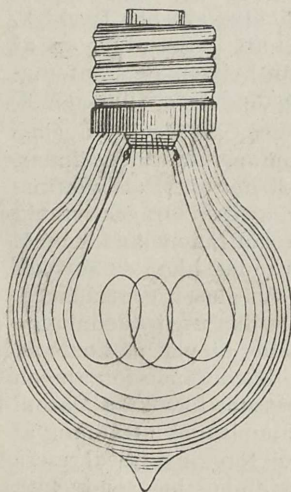
Sedan koltrådarna jämte de till dem hörande glaströren blifvit införda i glaskolfvarna, fastsmältas rören, och kolfvarna utpumpas. Detta sker till en början med vanliga luftpumpar, men sedermera med kvicksilfverpump, hvarvid elektriska strömmar föras genom trådarna. Lamporna provas i afseende å luftförtunningen med en induktionsapparat, hvars ström frambringar rödaktigt eller violett ljus i dem, om förtunningen är otillräcklig. Deras ljusstyrka undersökes i särskilda fotometerrum, där jämförelsen göres med normallampor. Härvid är dock att märka, att, emedan normallamporna med tiden förändras, de tid efter annan böra ombytas. På lamporna utsättes det antal volt, vid hvilket de utveckla den bestämda ljusstyrkan. De monteras med metallhylsor, som fästas med gips. I vissa fall mattslipas lamporna med sandbläster eller ock färgas de.

Bland de af fabriken »Svea» lämnade lamporna må nämnas: »normallampor» för 50 å 125 volt och 5 å 32 normalljus, samt en strömförbrukning motsvarande 3 å 3,5 watt per normalljus och med uppgifven bränntid af 800 å 1000 timmar; »ekonomilampor» för samma volttal och ljusstyrka, men med mindre strömförbrukning, motsvarande 2 å 2,5 watt och med mindre varaktighet, 300 å 400 timmar; »lampor med

förankrad kolfiber», vid hvilka, på det att lampan må kunna gifvas horisontal ställning, slingans nedre del genom en tråd förenas med glaskolfvens botten; »högtensionslampor» (se fig. 185) i två typer, den ena för 126—160 och den andra för 161—245 volt, båda för 10—32 normalljus; »lampor med spegelreflektorer», hvilkas undre hälft utgör en speglande yta; »fokuslampor» med många små slingor vid midten för att därstädes koncentrera en större ljusutveckling; »kronljuslampor» med yttre delen spetsig o. s. v.

Den nya glödlampfabriken i Nyköping tillverkar lampor af det utseende fig. 186 antyder för 50 å 80 eller 90 å 125 volt och 5—100 normalljus samt en strömförbruk-

Fig. 185.

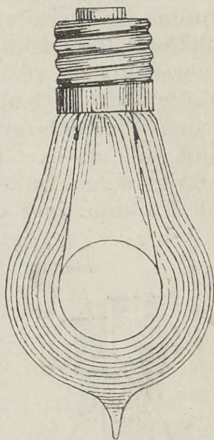


ning motsvarande 3 à 3,5 watt med en bränntid, som uppgifves vara 800 à 1000 timmar. Dessutom tillverkas »ekonomilampor» med mindre strömförbrukning, motsvarande 2,5 watt och blott hälften så stor bränntid som de förstnämnda lamporna, samt lampor för 200 à 230 volt och 16 à 32 normal-ljus o. s. v.

Edisonsfattningen användes fortfarande vanligtvis vid glödlamporna.

100. Nernsts glödlampa. Den uppfinnning inom glödlampsbelysningen, som under det senaste årtiondet väckt största uppmärksamheten, är en af professor *W. Nernst* i Göttingen uppfunnen elektrisk lampa med glödkropp, genom hvilken en anseelig nedsättning af den eljes vid glödlampor erforderliga strömförbrukningen erhålles. När denna lampa för några år sedan först blef bekant, var allmänna föreställningen, att den skulle uttränga de vanliga glödlamporna och framkalla en omstörtning af det elektriska belysningsväsendet. Detta har åtminstone ännu icke besannat sig, och Nernsts lampa har ännu icke utom Göttingen och Berlin vunnit någon egentlig praktisk tillämpning, troligen till följd af åtskilliga svårigheter vid tillverkningen. Den var emellertid i verksambhet i Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschafts paviljong vid 1900 års utställning i Paris och lär numera af detta bolag användas. Principen för den nya lampan är att i stället för koltråden göra bruk af ett ämne, som bättre än denna förmår uthärda en hög temperatur. I själfva verket är detta ett vilkor för att vid en glödlampa erhålla en stor ljusutveckling vid ringa förbrukning af energi. Kolet är för detta ändamål mindre lämpligt, emedan det vid stark glödning lätt kommer i ångform, hvarefter det utfälles å glaset. Den bekante uppfinnaren till gasglödljuset, *Auer von Welsbach* i Wien försökte att göra bruk af osmium, som uthärdar mycket stark upphettning. Han använde därvid ett förfarings-sätt, som påminner om det vid Crutos lampa begagnade.*) Osmium utfälles på en platinatråd, hvilken sedermera vid upphettning genom strömmen till bländande hvitglödning bortgår. Större betydelse torde dock Nernsts äfven i Sverige patenterade

Fig. 186.



*) Se »Elektriciteten», 2:a uppl., p. 460.

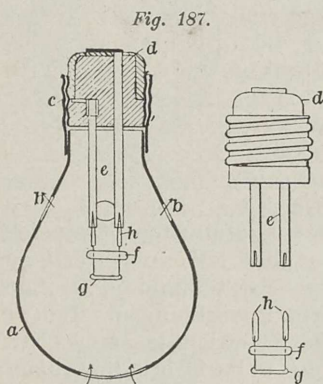
uppfinring äga.*) De principer, som ligga till grund för densamma, äro följande: De ledare, hvilka hittills användts för glödlampor, äro af första ordningen, motsvarande metalliska motstånd. Men dessa utsända vid glödning företrädesvis ultraröda strålar, som icke frambringa ljusintyck. Om däremot ledare af andra ordningen användas såsom glödkroppar, kunde det vara möjligt att finna ämnen, hvilka i glödande tillstånd företrädesvis utsända på ögat verksamma strålar. Auergasljusets verkan beror härpå. Försök ha visat det vara möjligt att af kalk, magnesia m. m. tillverka glödkroppar, hvilka bibehålla sig i fast tillstånd äfven vid stark vitglödning. Så t. ex. kunde ett litet, i fria luften glödande rörformigt stycke bränd magnesia af 7 mm. längd, 1,5 mm. yttre och 0,4 mm. inre diameter, som genomgicks af en växelström

af 0,23 ampère och vid en spänning af 118 volt, lämna i fria luften en ljusstyrka af 31 hefterljus, hvilket motsvarar 27,2 eng. normalljus (se § 94). Man erhöi således helt nära 1 normalljus per watt, hvilket är särdeles fördelaktigt i jämförelse med de vanliga glödlamporna. Men i verkligheten är resultatet icke fullt så gynnsamt. Vid vanlig temperatur äro dessa ämnen mycket dåliga ledare för elektriciteten, men vid upphettning blifva de goda ledare. Det erfordras således att först upphetta glödkroppen, så att strömmen kan genomgå densamma. Detta är den svaga punkten hos dessa lampor. På det att icke någon elektrolytisk verkan må äga rum har man helst gjort bruk af växelström, men det har visat sig att likriktad ström äfven är användbar.

En stor fördel hos den nya lampan är, att den icke behöfver ett luftförtunnadt rum. Visserligen användes en glaskupa, men detta är blott till skydd mot yttre äverkan, och om den föregående upphettningen verkställes med t. ex. en spritlampas låga, lämnas nedtill en öppning för dennas införande.

En stor fördel hos den nya lampan är, att den icke behöfver ett luftförtunnadt rum. Visserligen användes en glaskupa, men detta är blott till skydd mot yttre äverkan, och om den föregående upphettningen verkställes med t. ex. en spritlampas låga, lämnas nedtill en öppning för dennas införande.

Fig. 187 visar en dylik lampa, formad som en vanlig glödlampa *a*, men med en öppning nedtill för antändning



*) Svenska patentbeskrifningen N:o 9937.

med en spritlampa eller t. o. m. vid smärre lampor med en tändsticka, samt med hål b, b vid sidan för den varma luftens utströmning. Glödkroppen g uppbäres af korta, tunna platinatrådar, som äro insmälta i glasstången f . Strömmen införes genom gröfre metalltrådar h , som äro fästade i rören e , så att glödkroppen lätt kan utbytas, när den är utbränd, utan att lampan i öfrigt behöfver kasseras. Denna inrättning jämte lampans fattning d visas särskildt till höger å figuren.

Äfven elektriska anordningar kunna begagnas för lampans tändning. Den enklaste inrättning af detta slag visar det af

Fig. 188.

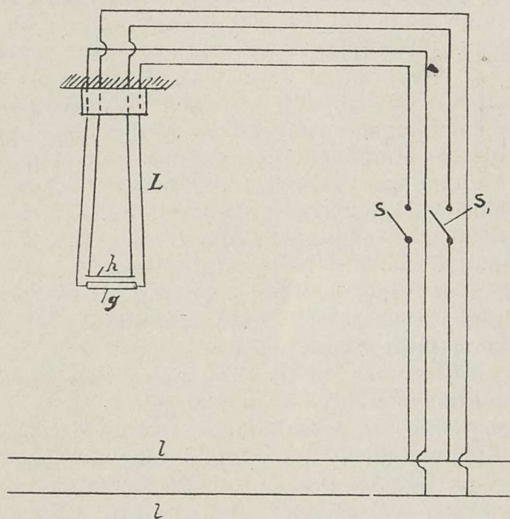


fig. 188 angifna ledningsschemat. Från hufvudledningen l gå två derivationer till lampan L . I den ena af dem införes glödkroppen g och i den andra upphettaren h , som är en bleckremsa eller tråd af metall. Båda derivationerna äro försedda med strömbrytare s, s_1 . Om dessa samtidigt äro slutna, upphetas h och denna meddelar värme till den under liggande glödkroppen. Till en början går icke någon afsevärd elektricitetsmängd genom g , men i den mån glödkroppens temperatur stiger, blifver den ledande och kommer slutligen i hvitglödning, hvilket kan inträffa efter en mycket kort tid. Strömbrytaren s_1 i den till h förande derivationen öppnas då, och

endast den genom glödkroppen förda strömmen fortsätter att verka. En fullständigare automatisk upphettningsanordning utgöres af en fin platinatråd, som är upplindad på ett porslinsrör och anbragt nära glödkroppen. Strömmen får till en början gå genom denna tråd, som därvid upphettas och meddelar värmet åt glödkroppen, hvilken förblifver ledande. En elektromagnet, hvars trådlindning är i följd med glödkroppen, så snart strömmen genomgår denna, attraherar ett ankare, som afbryter ledningen till platinatråden.

De ämnen, som användas såsom glödkroppar, äro förnämligast rena oxider af de sällsynta jordarterna, såsom magnesia men äfven zirkonjord, ceroxid, toroxid o. s. v., hvilka i Sverige varit föremål för flera vetenskapliga undersökningar. De formas såsom små stafvar eller stift och kunna då äga bestånd ända till c:a 300 bränntimmar. En af strömmen förorsakad molekyllär förändring begränsar varaktigheten.

De nyare lamporna af detta slag tillverkas för 25, 50 och 100 hefnerljus samt för 110 och 220 volt, förnämligast den sistnämnda spänningen, samt gifvas vanlig glödlampform, så att de brukliga lampfattningarna kunna vid dem begagnas. Man kan beräkna per hästkraft 480 hefnerljus, då blott 240 kunna erhållas vid glödlampor med kolfiber. För lampor med stor ljusstyrka är förhållandet ännu fördelaktigare.

En annan fördel hos Nernsts glödlampa är, att den utan svårighet kan anordnas för hög spänning. Dessutom är dess ljus synnerligen vackert och torde vara det af alla artificiella ljuskällors som mest liknar solljuset.

Äfven *Edison* och andra uppfinnare ha sysselsatt sig med konstruktionen af dylika glödlampor.

En förbättring vid dessa lampor, som är af vikt, är användande af ett metalliskt motstånd i serie med glödkroppen, hvilken äger en negativ temperatur koefficient, d. v. s. hvars motstånd aftager vid stigande temperatur. Utan ett sådant seriemotstånd skulle äfven en ringa förökning i spänningen kunna förstöra glödkroppen. Järn, nickel, platina och andra metaller med stor temperaturkoefficient äro passande för dylika motstånd. Dessa anbringas lämpligast i den ledning, som är gemensam för den upphettande kroppen och glödkroppen, så att äfven motståndet uppvärms på samma gång som dessa.

101. Nyare undersökningar öfver den elektriska glödlampans egenskaper. Vi skola till en början omnämna några experimentela och teoretiska undersökningar beträffande glödlampor, som blifvit meddelade elektricitetkongressen i Frankfurt a. Main af professor *H. F. Weber* i Zürich. Genom för-

sök med en mängd olika lamptyper erhöill han tillräckligt många fakta för att tjäna till grund för bestämning af kolträdens temperatur. I själfva verket uppställde han en formel, medels hvilken denna temperatur kan beräknas. Denna formel är

$$S = C \cdot F \cdot T \cdot e^{aT}$$

där S betecknar totala strålningen vid den absoluta temperaturen T , F den strålände kroppens yta, e basen för de naturliga logaritmerna, a en för alla fasta kroppar gemensam konstant $= 0,0043$ och C en koefficient, som är olika allt efter ytans beskaffenhet. Då den strålände kroppen, såsom händelsen är vid en vanlig glödlampa, befinner sig i tomrummet och väggarnas temperatur är T_0 , blifver strålningen

$$S_0 = C \cdot F(T \cdot e^{aT} - T_0 \cdot e^{aT_0}).$$

Den sista termens inflytande är dock mycket ringa. Koefficienten C bestämdes för 33 olika lamptyper. För Edisons, Crutos samt Woodhouse & Rawsons lamporna blef $C = 0,0000169$ å $0,0000174$, för de 30 andra lamporna erhöills $C = 0,0000127$ å $0,0000132$. De tre första lampornas koltrådar voro svarta, de sistnämndas grå. Koefficienten för de båda grupperna förhålla sig i medeltal $= 100 : 75$, hvilket nära sammanfaller med det förhållande redan *Leslie* fann mellan kimrökens och grafitens strålningsförmåga. Man kan däraf draga den slutsats, att koltrådarna med grå ytor böra räknas till grafit. — Normaltemperaturen hos koltrådarna till de olika lamptyperna visade sig nära densamma för dem alla, nämligen mellan 1565° och 1580° . För några lampor med gröfre trådar, som kunna uthärda högre temperaturer, stiger temperaturen när de lysa mycket starkt med c:a 40° därutöfver.

En 16-ljus lampas ljusstyrka varierar från 2 till 30 ljus, när temperaturen hos kolet stiger med c:a 180° . Weber fann i det hela taget bekräftad den af *Voit* först uppställda regeln, att en glödlampas ljusstyrka växer tämligen nära proportionellt mot kuben på den använda elektriska energien. Mellan temperaturgränserna 1400° till 1650° motsvarar 1° temperaturhöjning hos koltråden en förminskning af nära 1 % af den för ljusenheten erforderliga elektriska energien, således en besparing af 1 % för lampans underhåll. Härvid får dock ihågkommas, att ju högre temperatur koltråden erhåller, dess kortare varar denna. — Den optiska verkningsgraden, d. v. s. förhållandet mellan de synbara strålarnas energi och hela

strålningens energi, erhöles större ju högre temperaturen var, nämligen

vid $T = 1500^{\circ}$	3 %
» » » 1550°	3,7 »
» » » 1600°	4,3 »
» » » 1650°	4,9 »

Vi anföra vidare de af *I. E. Randall* utförda försöken öfver glödlampor. Enligt dessa skulle för ljusstyrkans oföränderlighet snarare ett konstant vacuum än en hög grad af förtunning vara af vikt. Koltrådens beskaffenhet är bestämmande för lampans effekt. Numera tillverkas på kemisk väg cellulosatrådar, hvilkas förfärdigande påkallar stor skicklighet och erfarenhet, och hvarigenom det blifvit möjligt att erhålla tillfredsställande 220 volts lampor. Nedanstående tabell innehåller några uppgifter öfver glödlampor, förnämligast för 110 volt, af hvilka de första lampornas tråd var af cellulosa, de andra af obearbetad och de tredje af bearbetad bambufiber:

	Efter 0	200	400	700 timmar
Medelljusstyrka.	Cellulosa 16	15,86	15,41	14,74
	Bambu 16	12,9	11,0	9,6
	» 16	15,3	14,6	13,7
	3,16	3,13	3,53	3,74
Antal watt per normalljus.	3,20	3,80	4,32	4,90
	3,20	3,37	3,53	3,76

Försöken lämnade samma resultat, när de anställdes med partier af lampor vid olika tider.

L. Blechrode har anställt åtskilliga undersökningar öfver glödlampor med olika slags gasfyllning. Fyra stycken 16 ljus lampor anbragtes parallelt, utsatta för samma spänning. Den första var fylld med kolsyra, den andra med lysgas, den tredje med väte och den fjärde var lufttom. Vid alla anbragtes upptill på utsidan ett litet stycke fosfor. Detta antändes genom lampans värme på olika tider vid de särskilda lamporna, först vid den med kolsyra, sedan vid den med lysgas och väte samt långt senare vid den tomma lampan. Här af synes, att de mörka värmestrålarna endast ofullkomligt fortplantas genom tomrummet, och att det är genom strömmar i gaserna, som värmemeddelningen hufvudsakligen äger rum. Koltråden skyddas därför genom tomrummet för hastig afkylning och den kan antaga en hög temperatur samt omsätta den upptagna elektriska energien förnämligast till ljus. Så mycket mindre elektrisk energi tages därför i anspråk för samma

ljusutveckling, ju högre grad af luftförtunning, som blifvit uppnådd.

Vi vilja slutligen fästa uppmärksamheten vid de på föranstaltande af ett amerikanskt bolag för tillverkning af glödlampor »The Shelly Electric Company» anställda försöken öfver ljusfördelningen vid sådana lampor. Det är af vikt vid de fall, då ljuset företrädesvis bör kastas i riktning nedåt, att glaskärlet, hvars fattning följaktligen bör vara vänd uppåt, icke vid sin undra del utdrages till spets, utan där är fullkomligt jämnt samt att koltråden är försedd med dubbla slingor. Vid de vanliga 16 ljus lamporna kommer ljusstyrkan nedåt blott att uppgå till vid pass 6,5 normalljus, men med den förbättrade anordningen till 11,5.

102. Glödlampor och ledningar för 220 volt. I allmänhet har den elektriska belysningen med glödlampor utförts med en spänning af omkring 110, rättare 100 à 120 volt. De senare åren har likväl en sträfvan uppstått att fördubbla denna spänning vid likriktad ström och en förändring i denna riktning har flerstädes blifvit verkställd. Det är uppenbart, att betydande fördelar däraf skulle vinnas. Med 220 volts spänning i ledningarna skulle dessa kunna förse fyra gånger så många 110 volts lampor med elektrisk ström som vid ledningar med sistnämnda potential. Två sådana lampor skulle då sättas i följd, hvilket visserligen medför någon olägenhet. Den högre potentialen gör äfven möjligt att utsträcka ledningen och således att från samma centralstation förse ett vidsträckt område med elektricitet eller ock för en anläggning begagna mindre grofva ledningar. Genom 220 volt spänningens användande möjliggöres äfven införandet af 220 volts glödlampor i belysningsanläggningar. Sådana lampor utföras numera äfven af flera glödlampsfabriker för såväl svag som stark ljusstyrka. De äro lika varaktiga och erfordra samma antal watt per ljusenhet som 110 volts lamporna. Vid tre ledare systemets tillämpning, sättes den mellersta, d. v. s. neutralledningen, i förbindelse med jorden, så att dess potential blifver noll, fastän hvardera af de båda yttre ledningarna erhåller en spänning af 220 volt, men då derivationen tages mellan den mellersta ledningen och någondera af de yttre ledningarna, är 220 volt den högsta spänning, som vid ledningarna till husen personer riskera att utsättas för. Uppstår något isoleringsfel hos en sådan ledning, genomgår en stark ström denna, till följd hvaraf säkerhetsstycket smälter. Det uppgifves därför, att det nya systemet är mindre eldfarligt än med 110 volt och tre isolerade trådar.

Det är i synnerhet i England, som 220 volts systemet vunnit användande, men äfven i andra länder har det allt mer kommit i bruk. I Sverige är det redan tillämpadt vid flera betydande anläggningar med 220 volts glödlampor, och det synes antagligt, att framtida nya belysningsanläggningar för likriktad ström skulle företrädesvis, om icke uteslutande så utföras.

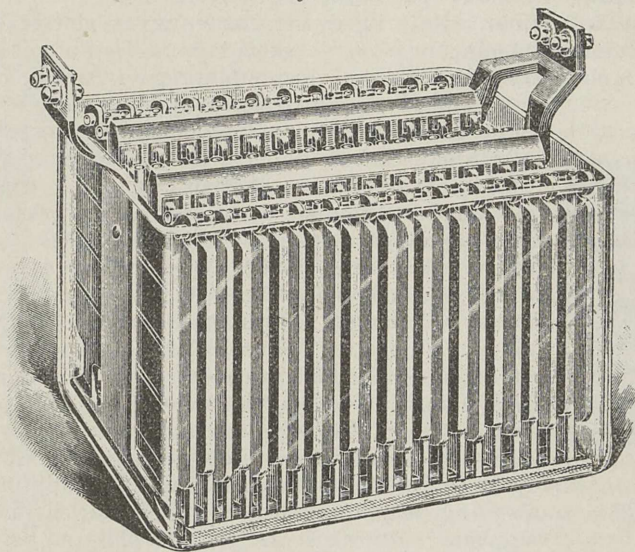
Beträffande den materiel, som erfordras vid de elektriska belysningsstationerna för 220 volt, skiljer den sig i vissa fall från den för den lägre spänningen använda. Vi anföra i detta hänseende exempelvis de regler, som ligga till grund för »Allgemeine Electricitäts Gesellschafts» i Berlin många nya anläggningar af detta slag. Dessa äro förnämligast: Alla strömförande delar böra vara fullkomligt tillgängliga, och vid instrumenttaflorna böra de fullständigt anbringas å dessas framsidor. De delar, som tillhöra de olika polerna, åtskiljas fullständigt från hvarandra på det sätt, att vid deras handterande på instrumenttaflan vid ström, t. ex. vid insättning af en säkerhetsapparat, kortslutning blifver nära nog omöjlig. Nya säkerhetsapparater begagnas för installationerna med den högre spänningen. Edisons proppsystem är fortfarande i bruk, men med vissa modifikationer, förnämligast bestående däruti, att i stället för bly numera användes silfver. Detta medför åtskilliga fördelar. Emedan silfret är en vida bättre ledare än blyet, blifver skyddsträdens massa mindre och vid genombränning utvecklas icke så mycket ånga af metallen som då bly användes, hvarför ljusbågen hastigt upphör. Härigenom förhindras smältningen af trädens fästställen. Silfret erbjuder också större säkerhet för att icke den tillåtliga strömstyrkan öferskrides.

Vi skola något längre fram anföra exempel å en dylik anläggning för elektrisk belysning.

103. Accumulatorers användande vid elektriska belysningsanläggningar. Under det senast förflutna årtiondet ha accumulatorbatterierna blifvit allt mera allmänt begagnade vid såväl större som mindre elektriska centralstationer för likriktad ström. Det var först år 1888, som sådana batterier började i större skala tillämpas vid de stora belysningsstationerna, ehuru de då redan några år varit i bruk vid enskilda anläggningar för elektrisk belysning. Numera torde det vara mera ovanligt att någon sådan centralstation för likriktad ström anlägges utan i samband med accumulatorer, emedan dessa såväl medgifva, att maskinerna arbeta med full belastning som, när så erfordras, därjämte lämna ett tillskott af elektrisk ström.

Härtill kommer deras värde såsom en reserv för den elektriska anläggningen. Vid de smärre anläggningarna möjliggöra de, att maskinerna få hvila utan att därför belysningen behöfver upphöra, något som ofta är af stor betydelse. Slutligen erbjuder det elektriska ljuset från accumulatorerna den fullständigaste jämnhet, hvilket ingalunda är händelsen, när strömmen direkt erhålles från de af ångmaskin eller gasmaskin drifna dynamomaskinerna. Man begagnar därför ofta de sistnämnda endast för laddning af accumulatorerna och tager strömmen blott från dessa. Så är t. ex. händelsen vid

Fig. 189.



Tekniska Högskolans elektriska belysningsanläggning. Här användes ett Tudors accumulatorbatteri med 54 element, hvarterda med 11 plåtar, samt en ursprunglig kapacitet af 210 ampèretimmar, hvilken dock numera (år 1900) sjunkit till hälften. Batteriet laddas med två dynamomaskiner, den ena en Manchester-dynamo, som drifves af en Ottos gasmaskin, den andra en Körtings gasdynamo, vid hvilken dynamomaskinen direkt drifves af gasmaskinen. Accumulatorbatteriet har varit i verksamhet sedan år 1892 utan några större reparationer. Nyligen är anläggningen förstärkt med ett nytt Tudors batteri af 60 element, hvarterda äfven med 11 plåtar och med en kapacitet af 120 ampèretimmar.

Bland de apparater af detta slag, som i praktiken mest användas, äro fortfarande de i författarens föregående arbete i elektroteknik beskrifna accumulatorerna af *Electrical Power Storage Co* i London och de af Tudors system från fabriken i Hagen, hvilken innehafves af »Accumulator-fabrik Aktiengesellschaft» i Berlin. För att lämna begrepp om den nu varande formen hos de förstnämnda *E. P. S.* elementen visa vi i fig. 189 ett element (*KWS* typen) med 23 plåtar, afsedt för smärre centralstationer, hvilket element innehålles i en glaslåda. Det kan utan olägenhet urladdas under 2 timmar. Andra element, som begagnas vid enskilda installationer, (*K*-typen), urladdas på högst $3\frac{1}{2}$ timmar och (*L*-typen) på högst 9 timmar. Naturligtvis är elementernas storlek olika efter det antal ampère, som de skola lämna. De nu omtalade accumulatorerna funnos vid världsutställningen i Paris år 1900.

Tudors accumulator, som åtminstone i vårt land är den allmännast använda, har undergått åtskilliga modifikation. En del af en negativ plåt är i tvärskärning afbildad i fig. 190 a. Plåtens tjocklek är 12 mm. I densamma äro rektangulära öppningar utskurna med vid pass 2 cm. längd och 4 mm. bredd. Öppningarna samman draga sig något inåt, så att de horisontala reglarna mellan dem kilformigt tillspetsas mot båda sidor. De negativa plåtarnas fyllningsmassa bildas af blyglete, utspädd svafvelsyra och neutrala inblandningar, hvarigenom massan blifver porös och kornig. Vid blyramens vertikala sidor äro nära halfcylindriska rännor uttagna för insättning af de plåtarna åtskiljande glaströren, samt upptill äro vid dem framsprång, som tjäna till att vid glaskärlens kanter uppbära plåtarna. — De positiva plåtarna beredas numera endast genom Plantés förfaringssätt, utan att Faures system användes, så att ytan erhåller ett fast vidhäftande lager af blysuperoxid. Fig. 190 b visar i tvärskärning blykärnans form vid en sådan positiv plåt af 12 mm:s tjocklek. Mellersta delen har blott vid pass 1 mm:s tjocklek och 5,5 mm. höga spetsiga framsprång, liggande tätt intill hvarandra å ömse sidor. Härigenom förstoras den verksamma ytan flerdubbelt, och blysuperoxiden, som blott delvis uppfyller mellanrummen, äger lätt tillfälle att förändra volym, hvarigenom plåten skyddas. På 10 mm:s afstånd finnas vertikala tunna väggar för plåtarnas för-

Fig. 190 a.

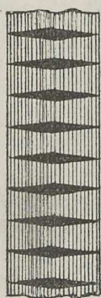
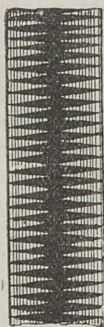


Fig. 190 b.



stärkning. — Såväl de positiva som de negativa plåtarna gjutas af rent bly.

Bland det stora antalet nyare konstruktioner af accumulatorer anföras vi några få exempel.

Pollaks accumulatorer, som tillverkas af en fabrik (Accumulatorerwerken System Pollak) i Frankfurt a. Main ha blykärnan i plåtarna försedd med en mängd likformigt fördelade korta framsprång i form af hakar, hvilka kvarhålla fyllningsmassan (fig. 191). Dessa kärnor tillverkas af 6 mm. tjocka blyblecksremсор, som få genomgå ett valsverk, hvars

Fig. 191.



valsar äro försedda med stålringar utskurna som kugghjul, hvilkas tänder äro så formade, att de nyssnämnda hakarna uppstå. Blykärnorna fyllas med poröst bly på det sätt, att en deg, bildad af kolsyrad blyoxid och kaustiskt kali, instrykes. Efter torkning behandlas massan elektrolytiskt i en alkalisk lösning, och det utfällda blyet hoppressas ännu fuktigt. Därefter verkställes prepareringen på vanligt sätt.

Khotinskys accumulator, som tillverkas af »Elektricitäts-Gesellschaft Geinhausen», har äfven plåtar af en tunn blykärna med framsprång, men dessa äro anbragta i dubbel T-form, och såsom långa lister sträcka de sig horisontalt efter plåtens hela bredd.

De positiva plåtarnas lister komma närmare intill hvarandra, och deras antal på samma plåt är därför större än hos de negativa plåtarna. Hvarje plåt är likväl sammansatt af fem öfver hvarandra ställda afdelningar med något mellanrum mellan dessa, så att en utvidgning af dem möjliggöres utan att plåten krökes. Genom vertikala, fastgjutna sidostycken sammanbindas de särskilda afdelningarna. Fyllningsmassan utgöres för så väl de positiva som negativa plåtarna af fint fördeladt metalliskt bly, hvilket erhålles genom inverkan af en ångstråle på en utströmmande stråle af flytande bly. Blystoffet blandas med pimsten för att göra fyllningen mera porös, hvarigenom plåten lättare uthärdar volymförändringarna. De negativa plåtarna behöfva efter fyllningen icke någon vidare preparering, hvaremot de positiva plåtarnas blystoff förvandlas till blysuperoxid genom en veckas oafbruten strömtillförsel.

Boeses accumulator, som tillverkas af »Berliner akkumulatorerfabrik», har hårda skifformiga fyllningar, som insättas i rektangulära blyramar, i hvilka de kvarhållas medels i

blyet uttagna Λ -formiga fördjupningar. Skifvorna bildas af blyoxid med ett bindmedel af flytande kolväteföreningar. Genom denna anordning blifver hela plåtens yta verksam.

Zink-bly accumulatorer tillverkades först af *Reynier**) i Paris och sedermera i förbättrad anordning af *Leitners* elektricitetsverk i Berlin. Vid dessa element användes bly-superoxid till positiva och zink till negativa elektroder. I ett cylindriskt kärl anbringas vid omkretsen en böjd blyskifva, hvars inre yta är förvandlad till blysuperoxid, och i dess midt nedstår en zinkstång. Den elektromotoriska kraften blifver här större än vanligt, ända till 2,45 volt.

Fortfarande användes till fyllningen af accumulatorerna ren svafvelsyra, utspädd med rent, helst destilleradt vatten. Äfven ringa inblandningar af främmande ämnen verka skadligt på plåtarnas bestånd. Salpetersyra eller ättiksyra samt metaller, t. ex. koppar och zink, verka i hög grad skadligt på de negativa blyplåtarnas varaktighet. Det är därför af stor vikt att vid accumulatorerna använda omsorgsfullt renad syra, sådan som accumulatorfabrikerna lämna. Vid fyllningen af elementen begagnas vanligtvis svafvelsyra af sp. vikten 1,15, som vid urladdningen sjunker till vid pass 1,14, men vid laddningen stiger till 1,16.

Det kan förtjäna omnämnas, att äfven om den utspädda svafvelsyran utsättes för stark köld och stelnar, den bibehåller sin ledningsförmåga, så att accumulatorbatteriets verkan fortgår. *Nansen* använde ett sådant batteri på »Fram», hvilket oaktadt vätskan vid den starka kölden stelnade ända till kärlets botten underhöll den elektriska belysningsanläggningen.

Vid de vanliga accumulatorerna med blyplåtar är elementens spänning, när urladdningen börjar, 1,95 volt, och denna får upphöra, sedan den efter några timmar sjunkit till 1,85 volt. Efter laddningens början stiger spänningen ganska hastigt från sistnämnda värde till 2,1 volt och sedan långsamt till 2,2 och därefter hastigt till 2,5 volt och därutöver. Vid 2,2 volt börjar syrgas att uppstiga från den positiva och vid 2,3 volt väte från den negativa elektroden, och vid 2,5 volt bildas vid båda plåtarna starka gasströmmar och vätskan antager ett mjölkaktigt utseende. Laddningen afbrytes då i allmänhet, men i vissa fall sker öfverladdning. Så snart laddningsströmmen upphört, sjunker spänningen till 1,95 volt.

Genom de förbättringar accumulatorerna de senare åren undergått har det blifvit möjligt att föröka *strömtätheten*, hvilken vanligtvis räknas i ampère per kvadratdecimeter verk-

*) Se »Elektriciteten», 2:a uppl., p. 164.

sam yta af den positiva plåten. Denna hänföres då till den yta, som står midt emot en negativ plåt, och således till båda sidorna af den positiva plåten.

Men därvid får uppmärksammas, att den verksamma ytan förstöras genom de framsprång eller utskärningar i blyet, som därstädes blifvit anbragta, så att strömtätheten kan tagas större vid sådana ytor än vid släta ytor. Vid hvarje särskild typ af accumulatorer blifver därför en olika gräns för strömtätheten, så t. ex. uppgifves för gallerplåtar med väl häftande massa 0,8 vid laddning och 1 vid urladdning.

Beträffande laddningskapaciteten hos accumulatorerna, uttryckes den vanligen i ampèretimmar per kilogram af de positiva plåtarnas vikt. Därvid är att uppmärksamma, att kapaciteten blifver så mycket större ju svagare urladdningsströmmen är, d. v. s. ju längre tid urladdningen fortgår. Så t. ex. är vid en typ af Tudorelementet kapaciteten 96 vid 32 ampère ström, således under 3 timmars urladdning, men 115 vid 175 ampère och $6\frac{1}{2}$ timmars urladdning. *Peukert* har uppställt en empirisk formel, som visar sambandet mellan urladdningstiden t och strömstyrkan I , nämligen

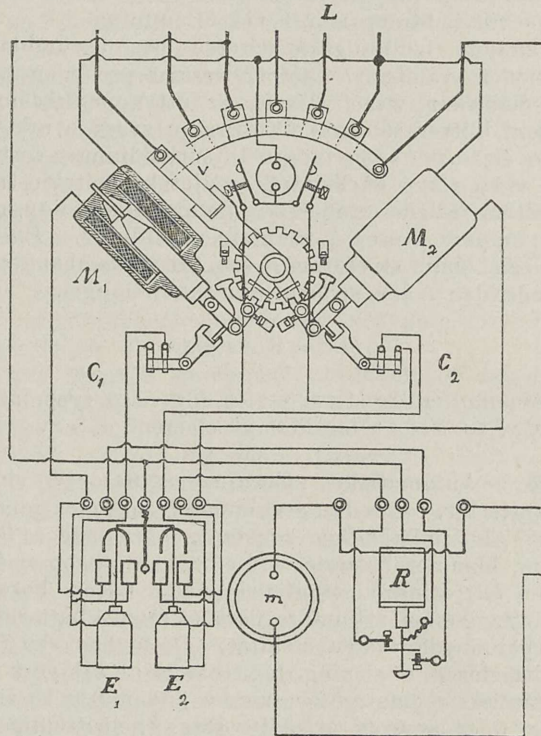
$$I^n \cdot t = \text{Konstant}$$

där exponenten n är 1,35 à 1,48 för vissa typer af Tudorelementet, 1,36 à 1,51 för Pollaks element o. s. v.

104. Automatiska spänningsregulatorer vid accumulatorbatterier. Emedan accumulatorernas elektromotoriska kraft icke är fullständigt konstant, utan något försvagas med tiden, kommer batteriet att efter laddningen småningom erhålla en allt mindre potentialskillnad. Såsom bekant förebygges detta genom att införa flera element i batteriet, hvarigenom spänningsförlusten ersättes. Detta kan ske för hand efter voltmeterens anvisning, men bättre är att göra bruk af en automatisk regulator för samma ändamål. Vi skola här omnämna den apparat af detta slag, »Selbstthätige Zellschalter», som utföres af den förut omnämnda accumulatorfabriken i Hagen och hvilken finnes vid Tekniska Högskolans nya accumulatorbatteri. Fig 192 visar en afbildning jämte ledningsschema till densamma. Här betecknar R en relais, hvars trådleddning jämte motståndet m står i förening med de punkter af anläggningen, mellan hvilka spänningen skall hållas konstant. Allt efter som relaisens rörliga del berör den öfre eller den undre af de båda kontaktskrufvarna, sättes endera af de båda elektromagneterna E_1 och E_2 i

verksamhet genom ström från batteriet. Härvid drages motsvarande järnkärna in i elektromagneten, så att det ena eller det andra af de båda kvicksilfverkontakterna sluter ledningen till de båda stora elektromagneterna M_1 och M_2 . Dessa äro bildade af ihåliga järncylindrar med trådspiralerna inuti och i dessa järnkärnor, hvilka medels en häfstängmekanism åverka spärrhakar, som ingripa i ett

Fig. 192.



tandadt hjul. När någondera af de sistnämnda järnkärnorna vid motsvarande kvicksilfverkontakts slutning indrages i sin elektromagnet, vrides det tandade hjulet och därmed tillika en vefarm V , som flyttas från ett cellkontakt till det närmaste på sätt som framgår af figuren. När järnkärnan fullständigt indragits i magneten, föranleder den att genom de vid C_1 och C_2 antydda inrättningar strömmen, som genomgår E_1 eller E_2 , afbrytes. Härigenom frigöres motsvarande lilla

elektromagnets ankare, kvicksilfverkontaktet öppnas och M_1 , M_2 genomgås icke af någon ström. En fjäder utdrager sistnämnda elektromagnets järnkärna, hvarvid den tillhörande spärrhaken återgår till begynnelseläget, utan att medtaga det tandade hjulet och vefarmen. När järnkärnan åter framkommit tillräckligt långt ur spolen, åstadkommer den en själfverkande förening vid C_1 eller C_2 med batteriet, så att när relaisen ånyo genomgås af ström samma verkan upprepas, och vefarmen åter vrides till ett nytt kontaktställe. Allt efter relaisens ställning kommer den ena eller den andra af de båda magneterna M_1 eller M_2 i verksamhet och ett eller flera element till- eller fränkopplas genom ledningarna L .

Vid apparater af detta slag, som äro afsedda för anläggningar med stor strömstyrka, begagnas en liten elektrisk motor för att sätta vefarmen i rörelse.

Beträffande accumulatorernas användande vid elektriska vagnar och järnvägar, återkomma vi därtill något längre fram.

105. Nyare centralstationer för elektrisk belysning.

Dylika stationer ha de senare åren blifvit mycket talrika och icke endast de stora städerna utan äfven många mindre städer såväl i främmande länder som i Sverige ha upprättat sådana anstalter. Dessutom finnas flerstädes centralstationer för belysning af områden, som äro tämligen tätt bebyggda, utan att dock vara städer. Så t. ex. Djursholm och Saltsjöbaden. Utrymmet medgifver icke att närmare ingå på en redogörelse för dessa anstalter, men vi skola genom exempel antyda anordningen af några nyare bland dem.

Till en början skola vi omnämna det nya elektricitetsverket i Bonn, hvars ångmaskinsanläggning är utförd af firman G. Kuhn i Stuttgart, samt hvars elektriska del härrör af Siemens & Halske i Berlin. Elektricitetsverket, som tillhör staden, är anlagdt vid dennas gasverk, och båda anstalterna stå under samma förvaltning. Den erforderliga kraften erhålles genom ånga, som bildas i två pannor af Büttners system med 10 atm. öfvertryck samt två sådana pannor med 12 atm. öfvertryck. Vattnet pumpas med en af en 10 hks elektromotor drifven pump till en plåtreservoir, men underkastas rening, för att bortskaffa kalk och kolsyra. Pannorna äro försedda med rökförbränningsapparater. Ångan öfverhettas och ledes till två stående compound-maskiner med kondensation och direkt kopplade till dynamomaskinerna. Dessa göra 150 hvarf i minuten och taga hvardera högst 250 hkr i anspråk. Ångcylinderdiametrarna äro 465 och 685 mm. samt slagets längd 450 mm. Anläggningen skall

utvidgas med en trippel-expansionsmaskin, som kan lämna högst 650 hkr. vid 125 hvarf i minuten. Det för kondensationen användna vattnet afkyles åter i ett gradérverk, där det genom såll delas i flera strålar. Den under cylindrarna liggande maskinaxeln är medels en kopplingsfläns förenad med Siemens & Halskes bekanta dynamo med inre poler. Hvardera af dessa dynamos lämnar 175 kilowatt vid 440 till 550 volt spänning. En ännu större dynamo af samma typ med 2,4 m. induktordiameter lämnar 430 kilowatt vid nyssnämnda spänning. För att förstärka dynamomaskinernas verkan användes ett accumulatorbatteri af 290 Tudors element, hvilket äger 540 ampèretimmars kapacitet vid 180 ampère ström. I nödfall kan urladdning ske vid 400 ampère. Vid föreningen af de särskilda afdelningarna i detta batteri har särskild omsorg egnats att anbringa de punkter, där hög spänning äger rum, på så stort afstånd som möjligt, för att hindra ofrivillig samtidig beröring af dessa punkter. För samma ändamål finnas från jorden isolerade gångbanor vid batteriet, så att en på golfvet stående person, som berör elementen, icke samtidigt är i ledande förenig med jorden. Ledningsnätet är anordnadt för 2×220 volt. Bonn är den första stora station i Tyskland, där detta system blifvit användt. Kostnaden för anläggningen förminskas härigenom betydligt och beräknas vara endast $\frac{1}{2}$ till $\frac{2}{3}$ af den som ett belysningsnät af lika nytta för 2×110 volt skulle kosta. Härtill kommer att samma maskin kan användas såväl för belysning som för elektrisk spårvägsdrift. För reglering af spänningen i nätet äro 38 element afsedda, hvarjämte en cellregulator med två element mellan de närliggande kontaktarna är inrättad. För laddning af batteriet förstärkes spänningen i dynamomaskinerna genom två tillsatsdynamos med 60 till 280 volt spänning och 180 ampère hvardera. De sistnämnda maskinerna drifvas genom elektromotorer, som erhålla ström från ledningsnätet med 220—270 volt. Dessa motorer tjäna tillika att utjämna de båda olika belastade grenarne af treledarenätet. Ledningarna från dynamomaskinerna till instrumenttaflan äro järnbandarmerade blykablar, som äro lagda under golfvet. Den i stationen alstrade strömmen föres genom en mätare, som angifver förbrukningen i watt-timmar och vidare genom en hufvudledning, bestående af fyra kablar med hvardera 625 kvmm. koppar-tvårskärning till en 1,5 km. från stationen varande centralt belägen fördelningspunkt, där den grenar sig i 2×13 matareledningar, gående till de 13 öfver hela konsumtionsområdet fördelade matarepunkterna. Hufvud-, matare- och fördelningsledningarna

ligga under jordytan. De utgöras af järnbandarmerade blykablar för de yttre ledningarna och blanka kopparstänger för den mellersta ledningen. Fördelningspunkten befinner sig i en liten byggnad, som tillika upptager säkerhetsstycken för matareledningarna samt telefonapparat o. s. v. De från de särskilda matarekablarne förande proffradarna förenas i nämnda byggnad till en kabel, som går till stationen.

Afståndet mellan yttersta punkten af nätet från stationen utgör vid pass 3,8 km. och kablarnas sammanlagda längd 29 km. Anläggningen är beräknad för 8,000 samtidigt lysande glödlampor à 16 normalljus. — Vid denna belastning uppstår 2×50 volts förlust i hufvud- och matarekablarne samt 2×3 volts i fördelningskablarne. Alla de till byggnaderna gående ledningarna äro anordnade efter treledaresystemet med blank mellanledning. Elektriska motorer med mer än 2 hkr. kunna drifvas med 220 volt, men äro de för större hästkraft måste 440 volt användas.

Staden Zürichs elektriska belysningsstation är af intresse såsom exempel på en anläggning, vid hvilken såväl vattenkraft som ångkraft användes vid driften och där växelström alstras. Den första delen af belysningsanläggningen blef färdig 1892 och utfördes af Oerlikonfabriken. Man begagnade då den stadens vattenverk vid floden Limat, 2,5 kilometer från stadens centrum, tillhörande öfverflödiga vattenkraften med 1,7 à 3 m. fall samt en vattenmängd af 34,1 till 57 kbm. i sekunden. Denna kraft upptages af tio fulltrycks-reaktionsturbiner af Henschel-Jonvals system, af hvilka två och två verka på en gemensam horisontal axel. Alla dessa öfverflytta kraften till en enda, i det 100 m. långa maskinhuset liggande axel, som beskrifver 100 hvarf i minuten.

Af den till vid pass 1000 hkr. uppgående effekten användes dock endast 400 hkr. till elektricitetsverket. Men ytterligare uppställdes två turbiner, hvardera afsedda att vid hvarje vattenstånd lämna 175 hkr. Medels kugghjulsutväxling öfverföres kraften till två växelströmsdynamos på 300 hkr. hvardera samt två Manchesterdynamos för fältmagnetströmmens frambringande. De förstnämnda dynamos äro efter Kapps system. Vid inre omkretsen af ett gjutjärnsomhölje äro på hvardera sidan 30 fältmagneter anbragta. Mellan magneterna roterar flackringsinduktorn, som innehåller 30 spolar, af hvilka 15 äro i följd. Dessa maskiner lämna vid 200 hvarf i minuten 2000 volt och 100 ampère samt en frekvens af 50. Likströmmaskinerna lämna hvardera vid 400 hvarf i minuten 100 volt och 200 ampère. En af dem är tillräcklig för magnetiseringsströmmen till samtliga växel-

strömmaskinerna, så att den andra tjänar till reserv. Ledningsnätet utgöres af tre hufvudkablar, som gå direkt från stationen till det nära stadens centrum befintliga fördelningshuset, samt från detta utgående kablar, hvilka föra strömmen till transformatorer, hvarifrån sekundärledningarna med 200 volts spänning utgå efter treledaresystemet. Hufvudkablarne äro koncentriskas med 2×60 kvmm. tvärsärning hvardera. Spänningsförlusten i dem utgör 5 % och i de särskilda fördelningskablarne högst 1 %. Kablarne äro efter Berthoud—Borels system och nedlagda i kanaler af bränd lera. Transformatorerna äro anbragta i cylindriska, små plåthus, hvilka på samma gång tjäna till annonspelare. — Sedermera är denna anläggning utvidgad med två af ånga drifna anläggningar, den ena innehållande en 750 hkr. ångdynamo och den andra två ångdynamor å 1000 hkr. Ångmaskinerna äro s. k. tandemmaskiner med kondensation, och dynamomaskinerna äro direkt kopplade med dem samt göra 100 hvarf i minuten. Dessa dynamor äro trefasmaskiner, som lämna 2000 volt, men äro så anordnade, att äfven enkelfasström vid 2000 volt kan erhållas för belysningen. Effekten hos en sådan dynamo utgör som enfasmaskin 660 kilowatt för belysning och som trefasmaskin 1200 kw. vid 50 perioder. Belysningsanläggningen är beräknad för 25,000 samtidigt i verksamhet varande 16 ljus lampor, hvilket i detta fall anses motsvara 50,000 installerade sådana lampor. En del af alternatorns ström transformeras till likström af 550 volt och 400 kw. samt användes för spårvägsdrift.

Stockholms stads elektricitetsverk. Vi ha redan i föregående arbete öfver elektriciteten antydtt de viktigaste grunddragen af denna anläggning. Såsom drifkraft begagnas trippel-expansionsmaskiner af W. Lindbergs bolags tillverkning. Dynamomaskinerna med inre poler alstra likriktad ström. Accumulatorer af Tudors system användas och strömmens fördelning sker genom ett efter treledaresystemet anordnad ledningsnät, för hvilket järnbandarmerade blykablar äro nedlagda i gatorna.

Sedan elektricitetsverkets första anläggning har det anseeligt utvidgats, så att då det år 1892 öppnades endast hade 4000 därtill anslutna lampor år 1900 antalet af dessa stigit till 87,000, hvarjämte äfven många elektriska motorer därifrån erhålla sin ström. Belastningen öfverstiger redan 1000 kilowatt. Men då äfven sedan det nuvarande elektricitetsverket utvidgats så långt möjligt är, det icke kan lämna mer än 1500 kilowatt, ha stadsfullmäktige i Stockholm beslutat att anlägga en ny ångcentralstation vid Hjorthagen nära Värtan

utanför Stockholm, hvarjämte ifrågasättes att vid Forssa vattenfall i Dalälven anlägga en stor elektrisk generatorstation för växelström af 30,000 volt spänning och sedan föra denna medels på stolpar anbragta kablar af koppar eller möjligen aluminium till Hjorthagen. Denna ström skulle där transformeras till 6000 volt och sedermera i underjordiska ledningar föras till fyra stationer inom staden för att där medels roterande transformatorer förvandlas från trefasström till likström. Denna skulle slutligen med tillhjälp af accumulatorbatterier och treledarenät fördelas med en spänning af 2×220 volt till stadens olika delar. Ifrågavarande plan för elektricitetsverkets utvidgning är upprättad af dettas föreståndare ingenjör *Decker*.

SJETTE KAPITLET.

Den elektriska arbetsöfverföringens nyaste framsteg.

106. Exempel på några nya anläggningar för öfverförande af mekaniskt arbete genom likriktad ström. Den senare tiden har visserligen förnämligast växelströmmen blifvit använd för ifrågavarande ändamål, men ännu begagnas här ofta den likriktade strömmen. Vi skola till en början anföra några exempel härpå.

Till en början må omnämnas en af Siemens Tekniska byrå i Stockholm utförd anläggning vid Gellivare malmfält. Här användes likström för kraftöfverföring till ett antal elektriska motorer äfvensom för belysning med såväl bågglampor som glödlampor. Centralstationen är förlagd till Malmberget, och därifrån fördelas den elektriska energien inom ett område med vid pass 2,5 km. radie. Det var ifrågasatt, att vid denna anläggning göra bruk af trefasström, med hvilken högre spänning, och därför smalare ledningar kunna begagnas, hvarjämte skötseln blifver enklare och generatorerna blifva mindre känsliga för kortslutning än vid likriktad ström. Den sistnämnda äger däremot företräde genom att generatorerna lättare kunna kopplas parallelt samt att motorerna tåla en starkare tillfällig öfverbelastning, hvarjämte accumulatorer och elektriska lokomotiv lättare kunna användas och bågglampor blifva mera effektiva än med trefasström. Då vid ifrågavarande fall de sistnämnda fördelarna ansågos öfvervägande, kom den likriktade strömmen att tillämpas. Såsom drifkraft användes flera ångmaskiner, hvardera å 150 hkr., försedda med två svänghjul samt drifvande med remutväxling två shuntodynamomaskiner af typen *LH* med öfre poler. Gradérverk användes för att kunna minska åtgången af kondensationsvatten. Enär vid medelstora motorer en spänning af 500 och vid små motorer af 250 volt icke ansågs böra öfverskridas, anlades ett ledningsnät för 2×250 volt efter

treledaresystem. Men då en del af anläggningen, nämligen för glödlampor och värmeapparater, var afsedd för blott 125 volt, har en ytterligare fördelning skett, så att densamma i själfva verket är ett femledaresystem med 4×125 volt spänning. Detta sker genom dubbelmaskiner, hvilka äro af samma typ som generatorerna men bestående af två på samma axel kopplade shuntmaskiner, den ena insatt mellan + och 0 och den andra mellan — och 0-polerna. I de mindre belastade ledarna förstoras härigenom strömstyrkan, men denna förminskas i stället i de mera belastade, så att en utjämning äger rum. Om treledarenätets båda grupper äro lika belastade, gå båda de hopkopplade maskinerna såsom tomgående motorer och med en sådan hastighet, att den i dessa alstrade elektromotoriska motkraften i hvarje hälft blifver lika stor med spänningen i ledningsnätet, men om den ena gruppen får större belastning än den andra, upphäfves denna jämvikt. Detta sker på så sätt, att dubbelmaskinen konsumerar ström såsom motor i den minst belastade delen, men frambringar ström i den del, där belastningen är störst.*) Från stationen utgå flera grupper af blanka hufvudledningar, anbragta på stolpar.

De större motorerna ha särskilda ledningar. Bland dem äro flera på 18 hkr. hvardera och användas för uppföring af gråberg, malm, vatten o. s. v. samt för drifvande af cirkelsåg och vedhuggningsmaskin. Smärre motorer begagnas för drifvande af arbetsmaskinerna i en mekanisk verkstad samt för malmkross, pumpar m. m. Slutligen må nämnas, att strömmen äfven drifver ett elektriskt gruflokomotiv med 9 hkr. och 250 volts spänning. Banan är 425 m. lång, däraf 215 m. i tunnel. Strömmen tillföres genom en blank tråd, spänd midt öfver spåret, samt med kontaktrulle, och återföres genom skenorna.**)

Vi skola vidare omnämna en af firman »Compagnie de l'industrie électrique» i Genève utförd arbetsöfverföring med likström från Frinvillier till Biberist på ett afstånd af 28,5 km. Kraftstationen är anlagd vid ett vattenfall, som drifver en Girards turbin, hvilken vid 120 hvarf i minuten lämnar högst 350 hkr. Genom en konisk hjulutväxling sättes härifrån två Thury's dynamos i verksamhet. Dessa maskiner äro serielindade och äfven anbragta i serie samt arbeta hvardera med en spänning af högst 3500 volt. De äro profvade med en spänning af 4700 volt. Deras magnetiska fält

*) Se häröfver, »Elektriciteten», 2:a uppl., p. 475.

**) Se vidare härom en uppsats af ingenjör H. Marchander i Teknisk Tidskrift 1897.

har sex inåt vända poler med magnetkärnor och polstycken af smidesjärn. Elektromagneterna äro fullständigt isolerade från bottenplåten medels glimmer. Dessutom är den ringlindade induktorn isolerad från axeln, så att lagren blifva ofarliga. Induktorns järnkärna har 1,077 m. diameter och dess längd är 0,475 m., den är lindad med 2652 hvarf koppartråd af 2,8 mm. diameter. Kollektorn har 442 lameller med sex borstlägen, så att spänningen mellan två närgränsande lameller blifver 47,5 volt. De sex borsthållarstiften äro fastsatta vid två ebonitskifvor. Bottenplåtarnas bultar hvilat på porslinsisolatorer. Generatorer och motorer äro lika beskaffade. Medels afstängare är så anordnad, att om en generator är skadad, den andra ensam kan sända ström till linien. Genom andra automatiska afstängare kortslutes en del af fältet, och nedsättes således spänningen, om denna öfverstiger en viss gräns, samt dessutom finnas apparater, som fränkoppla maskinerna, om en tråd skulle brista. Detta är nödvändigt för att hindra en tråd, som nedfaller, att antaga en hög potential och sålunda blifva farlig. Från primärstationen ledes strömmen genom två koppartrådar af 7 mm. diameter till pappersfabriken Biberist. Trådarna uppbäras af dubbelklockisolatorer, som äro fästade vid de 10 m. höga och i medeltal vid pass 37 m. från hvarandra varande stolparna. På samma stolpar uppbäras två telefontrådar, hvilka för induktionens upphäfvande sex gånger under vägen byta plats. Härigenom höres ljudet i telefonen lika tydligt vare sig att starkströmledningen är i verksamhet eller icke. Vid järnvägs-korsningar omgifvas trådarna på alla sidor med ett skyddsnät af ståltråd. I stället för stolpar äro där gallerverkspelare af smidesjärn uppställda, hvar och en tillräckligt stark för att motstå den ensidiga dragning, som vid ett trådbrott skulle uppstå. De båda lika motorerna äro förenade medels Raffards koppling, och två andra sådana kopplingar förena dem med fabriken hufvudtransmissionsaxel. Det är endast genom denna mekaniska hopkoppling, som det blifvit möjligt att förena två seriemaskiner efter hvarandra, så att arbetet fördelas likformigt på de båda maskinerna.

Försök med denna anläggning ha visat, att verkningsgraden uppgår ända till 74,7 % med alla fyra maskinerna samt till 63,6 % med endast en generator och en motor.

107. Exempel å arbetsöfverföring med tvåfasström.

En betydande anläggning af detta slag finnes i vårt land, utförd af firman *Luth & Roséns Elektriska Aktiebolag*, från Uddby nära Tyresö till firmans fabrik och till andra verk-

städer vid Liljeholmen, en sträcka af c:a 21,5 kilometer. Kraftstationen är belägen på det ställe, där de bekanta Uddby kvarnarna fordom voro anlagda. Vattenkraften upptages därstädes medels två dubbla turbiner för 180 hkr. hvardera samt en liten turbin å 8 hkr. för elektromagneterna. Generatorerna för linieströmmen drifvas direkt af de horisontala turbinaxlarna med en hastighet den ena af 375, den andra af 430 hvarf i minuten. De äro tvåfasmaskiner å 120 watt hvardera samt med roterande inre magnethjul af gjutstål med magnetiseringsspiralen längs omkretsen. Induktorn, som är stillastående, utgör den yttre delen. Dess kärna är sammansatt af mycket tunna, ringformiga järnplåtar med gjutjärnsram. I ovala utskärningar i plåtarna äro induktorspolarna inlagda. I dessa alstras växelström med 500 volt spänning samt med en frekvens af 50, hvilken medels transformatorer efter Schuckerts system å 175 kilowatt hvardera erhåller 10,000 volts spänning. Genom kombination af de båda högespända växelströmmarna erhålles tvåfasströmmen. Denna föres genom fyra blanka koppartrådar af 4,3 mm. diameter, på 0,7 m. afstånd sinsemellan samt uppburna medels tremantlade isolatorer af trästolpar på c:a 40 m. afstånd. På så sätt ledes strömmen från Uddby till Skanstull vid Stockholm en väglängd af c:a 17 km. Vid Skanstull transformeras en del af strömmen till 1,000 volt, och det är denna del, som ledes genom staden. Den öfriga delen föres med den höga spänningen genom ledningar längs Årstavikens strand till ett transformatorhus vid Liljeholmen, där den transformeras till 500 volt och användes vid statens järnvägars reparationsverkstäder och Liljeholmens stubinfabrik för drifvande af motorer. Den del af strömmen, som genomgår staden, ledes medels fyra isolerade koppartrådar af 7 mm. diameter till Luth & Roséns A.-B:s verkstäder på Söder. Den af stadens myndigheter bestämda gränsen för spänningen, 1,000 volt, inom stadens områden nedsattes genom transformering till 110 volt i fabriken, där strömmen användes såväl för drifvande af motorer som för belysning. Motorerna från 1,5 till 36 hkr. äro i allmänhet asynkrona. Blott en synkron motor, å 36 hkr. begagnas och detta icke blott för kraftöfverföring, utan tillika för reglering af fastförskjutningen mellan strömstyrka och spänning.*)

Den förnämsta tillämpningen af tvåfassetmet för arbetsöfverföring är den, hvarigenom en del af Niagarafallets

*) En närmare redogörelse för denna anläggning finnes i Teknisk Tidskrift 1899, afdeln. för Mek. och Elektr., p. 92.

kraft tillgodogöres. Vi ha redan förut (§ 82) antydtt beskaffenheten af de härför använda generatorerna. Dessa äro afsedda för 5,000 hkr. och numera äro tio sådana maskiner i verksamhet. De drifvas direkt af turbiner med vertikal axel med en hastighet af 250 hvarf i minuten. Strömmens frekvens är 25 och induktorn lämnar densamma med 2250 volts spänning. Den grenas i två af hvarandra oberoende strömmar med 775 ampère intensitet. Den del af linieströmmen, som sändes från Niagara till Buffalo, en 25 eng. mil lång väg, transformeras till 11,000 volt och föres till den vida större delen på stolpar med porslinsisolatorer, som vi förut i fig. 177 afbildat. Stolparna äro af cederträ, vanligen på 75 eng. fots afstånd, men vid kurvor äro de ställda närmare hvarandra. Deras längd är 35 à 65 fot och deras tjocklek upptill 8 tum. Ledningen, som är sammansatt af 19 koppartrådar, har 0,267 kv.-tum tvärskäring och uppbäres medels isolatorerna af tvärstycken, så att tre dylika hattar komma på hvar sin sida af stolpen. För att hindra induktionens inverkan äro kablarnas lägen fem gånger ombytta mellan Niagara och Buffalo. Närmast denna stad går linien en väg af c:a 4,000 fot under jordytan, och här användas med kautschuk isolerade samt med bly beklädda kablar, hvilka äro lagda i terra-cottarör. Inom staden ledes den till lägre potential transformerade strömmen genom kablar med pappersisolering och blybeklädnad, hvilka äro nedlagda i gatorna. Genom roterande transformatorer verkställes förvandlingen till likström, och som sådan fördelas den elektriska strömmen genom de sistnämnda med tre ledningar försedda kablarna.

108. Exempel å arbetsöfverföring med trefasström.

Vi skola till en början anføra några exempel å dylika anläggningar i vårt land bland de många, hvilka äro utförda af *Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget* i Västerås. Den första bland dessa anlades år 1893 för öfverförande af drifkraft från Hellsjön till Grängesbergs grufvor, ett afstånd af i medeltal 11 km. Strömmen alstras medels fem af turbiner drifna generatorer, hvaraf tre på 100 och två på 150 hkr. hvardera förutom andra maskiner för magnetiseringsström och för belysningsändamål. Efter transformering till 5,500 volt ledes den för motorerna afsedda strömmen genom tre koppartrådar, som äro anbragta på stolpar till olika delar af grufältet, där den efter nedtransformering till 150 volt sätter trefasmotorerna i verksamhet. Sedermera äro andra kraftstationer för Grängesberg anlagda vid Enkullen och Lernbo, af hvilka den sistnämnda har betydande storlek. Vid dessa

anläggningar äro för närvarande i verksamhet omkring 40 trefasmotorer och lika många transformatorer, med tillsammans 1,500 à 2,000 hkr. Vid försök, som blifvit anställda med den äldre anläggningen, erhöles af 200 hkr., som turbinerna vid Hellsjön lämnade, helt nära 140 hkr. öfverförda, således en verkningsgrad af 70 %.

Vid denna kraftledning begagnas följande skyddsmedel. Koppartrådarna, hvilka under första delen af vägen äga 4 mm. och sedermera 3 mm. diameter, uppbäras af porslins-isolatorer på 7,5 meters höjd från marken. På stolparna äro ledningarnas farlighet antydd. Vid vägfövergångar är under ledningstrådarna anbragt ett skyddsnät af galvaniserad järntråd, och detta nät är genom en dylik tråd satt i ledande förbindelse med jorden. Skyddsnätet uppbäres af stolpar, stående nära banan.

Vidare må äfven omnämnas en af samma bolag utförd elektrisk arbetsöfverföring vid Boxholms valsverk, hvilken är anmärkningsvärd genom den reglering af kraften, som äger rum i samband med arbetsöfverföringen. Det vattenfall, som här tillgodogöres, drifver fem turbiner, hvardera på c:a 50 hkr., hvilka i sin ordning medels remutväxling sätta i verksamhet hvar sin dynamo. Af dessa äro två shunt-dynamos, hvilka lämna ström till en belysningsanläggning, inrättad efter treledarsystemet, en seriedynamo, som lämnar ström till den elektriska järnbanan*), samt två trefasgeneratorer, hvilka drifva valsverket. De två förstnämnda maskinerna äro fullständigt oberoende af den öfriga elektriska anläggningen, men de tre turbiner, som drifva de tre sistnämnda generatorerna, ha sina axlar förenade med remmar, så att de alltid äga samma hastighet. På detta sätt lämnas järnbanaturbinens öfverflödiga drifkraft till de öfriga, hvilket är en icke ringa fördel, emedan järnbanan högst erfordrar 20 hkr., dels utjämnas hastigheten hos järnbangeneratorn. Trefasmaskinerna erhålla härigenom tillsammans 130 à 150 hkr. effekt och alstra en ström af 400 volt per fas och en frekvens af 60. Ledningen till valsverket utgöres af tre blanka koppartrådar af 6 mm. diameter samt 330 m. längd, hvarefter en förgrening till båda valsverken af tre lika grofva trådar af 100 m. längd gå till hvardera. I valsverken upptages strömmen af en stor asynkron trefasmotor, hvilken med remmar öfverför kraften till svänghjulsaxeln. Men härvid bör anmärkas, att valsverkens igångsättning icke sker medels de elektriska motorerna, utan medels på stället varande turbiner, och de

*) Se »Elektriciteten», 2:a uppl., p. 616.

elektriska motorerna inkopplas först sedan hastigheten uppnått en viss gräns. Särskilda säkerhets- och afstängningsapparater finnas därför i båda valsverken. Motorernas kapacitet är tillsammans 170 hkr., således större än generatorernas, och vanligen äro båda motorerna på samma gång inkopplade. Det valsverk, som för ögonblicket påkallar den största kraft, får härigenom hjälp icke blott från de elektriska generatorernas turbiner, utan tillika från det andra valsverkets turbin och från det arbete, som är magasinerad hos båda svänghjulen. *)

Vi anföra vidare bland de af Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget utförda anläggningar den betydande elektriska arbetsöfverföringen vid Hofors i Gestrilands för tillgodogörande af ett vattenfalls kraft på c:a 2,5 kilometers afstånd för drifvande af tre valsverk med sina hjälpmaskiner, hvarför erfordrades tillsammans vid pass 900 hkr. Dock var icke hela denna kraft af nöden vid motorerna, utan blott c:a 600 hkr., emedan endast två af valsverken samtidigt skulle vara i verksamhet. Vattenkraften drifver sex turbiner, som sätta i rörelse trefasgeneratorerna, hvaraf två upptaga 300 hkr. vid 480 hvarf samt två 300 hkr. vid 480 hvarf eller 200 hkr. vid 320 hvarf i minuten. En femte turbin lämnar 145 hkr. vid 515 hvarf och den sjette drifver två likströmsmaskiner för magnetiseringsströmmens alstrande. För att vinna full säkerhet vid driften anordnades det hela så, att soliditet och enkelhet i första rummet tillgodosågos och först i andra rummet hög verkningsgrad och prisbillighet. Spänningen togs därför tämligen låg, 880 volt per fas, så att faran för genomslag blef mindre. Motorerna med kortsluten, sekundär kärna äro utan släpringar och igångsättas genom att turbinen till en generator, elektriskt i samband med en motor, pådrages. För att förminska linieförlusten användes för ledningen tämligen grof koppartråd. För att förminska självinduktionen och för att kunna erhålla motorer med föga magnetisk läckning användes en så låg frekvens som 16 och i ett fall blott 10,7. Blott en motortyp användes, nämligen för 200 hkr. vid 450 hvarf i minuten. Trefasgeneratorerna äga gjutjärnsstomme, med cirkelformig ring och endast fyra inåt radiellt ställda elektromagneter, som omgifva induktorn. Denna beskrifver 480 hvarf i minuten och är medels kuggkoppling förenad med turbinen. Dessa generatorers verkningsgrad är 96,3 %, kopparförlusterna 1,28 % och de öfriga

*) En grafisk teori är utvecklad för denna reglering af E. Danielson i Teknisk Tidskrift, 1895, afdeln. för Mek. och Elektr., p. 9.

förlusterna $2,42\%$ vid en strömstyrka af 100 ampère. Motorernas verkningsgrad är $89,5\%$, kopparförlusterna $6,4\%$ och öfriga förluster $4,1\%$. Antalet linietrådar är 12, hvaraf 9 med 9 mm. diameter för de stora generatorerna och 3 med 5,5 mm. diameter för generatoren med 145 hkr. Trådarna uppbäras af oljeisolatorer, som äro anbragta på stolpar.*) — Denna anläggning är nyligen utvidgad.

Bland andra betydande trefasanläggningar, som samma bolag utfört, må nämnas arbetsöfverföringen från Trångfors till Västerås, 22 km., afsedd för 1,800 hkr., och vid Fagersta bruk, där en motor å 400 hkr., anordnad för att kunna gå med två olika hastigheter, användes.

Vi skola nu taga i betraktande en intressant arbetsöfverföring från Paderno till Monza och Milano, ett afstånd af 33 kilometer. Vid Paderno upptages ett vattenfalls kraft medels 7 turbiner, som hvardera lämna 2,160 hkr. vid 180 hvarf i minuten. Dessa turbiner äro af Jonvals system med horisontal axel samt äro försedda med automatiska regleringsinrättningar. De drifva direkt hvar sin trefasgenerator, som har orörlig induktor och roterande elektromagnetfält samt en därmed förenad likströmsdynamo för 38 kw. Dessa maskiner äro konstruerade af firman Brown, Boveri & C:ie i Baden (Schweiz). De stora maskinernas induktor uppbäres på hvardera sidan af en ring med 8 armar, och dess trådlindning omgifves med särskilda isoleringsrör, hvilka äro anordnade så, att ventilation erhålles. Magnetfältet bildas af ett svänghjul af stål, gjutet af ett enda stycke, och vid dess omkrets äro 28 runda polkärnor med lamellerade polskor fästade. Vid hvarje sådan magnetkärna finnes en magnetiseringsspiral af 3×32 kv.-mm. kopparband, hvilket band är ställt på högkant kring kärnan och isoleras med papper. Sådana spolar uppgifvas vara mycket varaktiga. Induktorns yttre diameter är 5,14 m. och dess inre diameter 4,1 m. Vid 180 hvarf i minuten är trefasströmmens frekvens 42 och polspänningen 13,500 volt. Om belastningen är 64,5 ampère per fas är kraftfaktorn (se § 70) = 1 och vid 79 ampère 0,8. Trefasgeneratorernas verkningsgrad vid dessa belastningar är $95,1\%$ och $93,4\%$. Linien, som är utförd af Edisonbolaget i Milano, har 6 trefasledningar, hvardera med 3 trådar af elektrolytiskt utfälld koppar och ägande 9 mm. diameter. Trådarna äro anordnade efter likbenta trianglar med 60 cm. sida. De upp-

*) En teori för den vid Hofors använda igångsättningsmetoden är utvecklad af E. Danielson i Teknisk Tidskrift 1899, afdeln. för Mekanik och Elektroteknik, p. 81.

bäras af dubbla ståndare af profiljárn, 2 m. från hvarandra och med 60 m. afstånd mellan ståndarna, hvilkas höjd är 10 m. — Förlusten i linien af energi är vid full belastning c:a 10 % och förlusten i spänning 8,1 %. Strömmen transformeras i Milano först från 12,000 till 3,600 volt och föres sedan i underjordskablar till olika delar af staden och transformeras ånyo dels till växelström med låg spänning, dels till 550 volt likström för spårvägsdriften och dels till likström af 125 volt. En ångcentralstation tjänar till reserv.

Vi skola nu redogöra för en arbetsöfverföring mellan Snoqualmie falls till Seattle och Tacoma vid Nordamerikas västkust. Denna anläggning är af stort intresse, dels genom den betydande kraft, som öfverföres, dels genom användandet af aluminium till ledningarna. Vid Snoqualmiefloden upptages medels turbiner c:a 14,000 hkr., hvilken kraft dock kan flerdubblas. Centralstationen är förlagd i en ur klippan sprängd kammare af 9 m. höjd samt 60 × 12 kvm. bottenyta, hvilken genom en hiss i ett schakt står i förbindelse med det yttre. Samma schakt upptager tillika det 2,25 m. vida tilloppsröret för vattnet. Under kammarens golf ligger den äfven i klippan sprängda undervattenskanalen, som utmynnar i en afloppskanal, utsprängd i klippan och ledande till den lägre flodytan. Fördelningen af tryckvattnet till de särskilda turbinerna sker genom ett horisontalt samlingsrör, som har 3 till 2,25 m. diameter. Turbinerna drifva direkt trefasgeneratorer med 1,500 kilowatt effekt hvardera vid 300 hvarf i minuten. Generatorerna ha roterande induktor med 2,4 m. diameter och 10 tons vikt hvardera. Regleringen sker för hand. Spänningen mellan polerna är 1,000 volt, hvilken genom transformatorer höjes till 29,000 volt, med hvilken spänning ledningen sker. Transformatorerna ha icke någon konstgjord afkylning, men däremot oljefyllning. De primära och sekundära strömkretsarna äga triangelkoppling. Såväl de inre som de yttre ledningarna äro hufvudsakligen af aluminium. De yttre ledningarna till Seattle och Tacoma äro åtskilda, men gå parallelt på 12 m. afstånd. Hvardera af dessa ledningar ha två gånger tre trådar af 6,54 och 7,35 mm. diameter. För hela anläggningen har användts 63 ton aluminium. Spännvidden varierar mellan 27 och 60 m., hvilket är mindre än med koppar. Vid konsumtionsställena lämnas såväl trefasström som likström, hvilken sistnämnda erhålles genom särskilda, roterande transformatorer.

Flera andra nordamerikanska anläggningar ha dylika ledningar af aluminium. Man hade till en början betänkligheter med anledning af denna metalls mindre hållfasthet,

men de ha visat sig ogrundade. För att utröna de svagaste ställena sträckas trådarna till en början mera än den färdiga ledningen, då de skadade ställena brista. Trådändarna förenas sedermera, då dessa delar borttagits, med Melntyre-hylsor. Om däremot tråden vid sträckningen håller, kan man vara säker om, att den efter monteringen är varaktig.

109. Försök med elektrisk arbetsöfverföring vid 40,000 volt spänning. Den väsentliga förminskning i kostnaden, som erhålles vid arbetsöfverföring på elektrisk väg, när hög spänning användes, har gjort, att man försökt uppdridva spänningen så långt som möjligt för att nedbringa anläggningskostnaden så vidt sig göra låter. Särskildt beaktansvärda i detta hänseende äro de försök, som vid Telluride i Colorado i Norra Amerika blifvit anställda af *C. F. Scott* och *L. L. Nunn* för Westinghouse-bolagets räkning. Vid en anläggning af detta slag öfverföres kraften på ett afstånd af 56 km. med en spänning af 40,000 volt. Generatorerna lämna fyrfasström med 60 perioder i sekunden vid 500 volt. Den alstrade strömmen transformeras till den höga spänningen medels tre stjärnkopplade transformatorer, hvardera afsedd för 250 kilowatt. Vid de första undersökningarna, som endast utsträckte sig till 10,000 volts spänning, användes flera transformatorer i serie. Lågspänningsledningarna, tillhörande de enskilda transformatorerna, kopplades parallelt samt erhöilo ström från en isolerad transformator, på hvilken ett antal trådspolar voro anbragta, som hvar för sig matade en särskild transformator.

Sedermera öfvergick man till stora transformatorer för mycket hög spänning. Dessa användas dels för att höja spänningen från generatoren till linien, dels för att sänka densamma från linien till motorn. Spolarna äro förenade med flera par klämskrufvar, så att spänningen kan förändras inom vida gränser ända till 60,000 volt. De anbringas i skifform öfver hvarandra, och hvarje skifva har flera lager, men blott ett fåtal hvarf i hvardera, så att en jämförelsevis ringa potentialskillnad äger rum mellan två på hvarandra följande lager. Den för högspänningen afsedda trådlindningen är delad i fyra lika afdelningar, hvardera för högst 15,000 volt. Lågspänningsspolarnas antal är fem och de anordnades så, att de verk samma trådlindningarnas antal kunde förändras. Tre af de sistnämnda spolarna voro lagda mellan två par högspänningsspolar, och de två återstående lågspänningsspolarna blefvo vid båda sidor lagda mot järn. Mellan låg- och högspänningsspolarna anbragtes med jorden förenade metallsköldar. Äfven

järnkärnan och transformatoromhöljet sattes i förening med jorden. Transformatorn ställdes dessutom i ett kärl med olja.

Isolatorerna äro af glas, monterade på ek, som är genomdränkt med paraffin. Under torr väderlek är icke någon svårighet för driften, i det att isoleringen är nästan lika god som när blott några tusen volts spänning användes. Men vid regnig väderlek inträffa rubbningar, hvilka gifva sig tillkänna genom våldsamma svängningar i ampèremetrarnas nålar och stundom genom kortslutning och smältning af säkerhetstycken. Orsaken till dessa rubbningar är ögonblickliga starka urladdningar. Men sedan de skadade delarna återställts, är anläggningen ånyo tjänstbar. Densamma är i verksamhet både sommar och vinter, under alla väderleksförhållanden, så att möjligheten af kraftöfverföring med 40,000 volt spänning kan anses vara ådagalagd. Men visserligen är ännu icke tillräcklig erfarenhet inhämtad om kraftöfverföring med så hög potential, och det är utan tvifvel goda skäl för den uppfattningen, att 30,000 volt ännu är den högsta spänning, som med säkerhet kan användas vid anläggningar af detta slag.

110. Åtgången af koppar vid arbetsöfverföring med olika slag af växelström. Vi skola efter *Kapp* och *Emmet* jämföra den relativa ekonomien beträffande kopparledningarna vid enkelfas-, tvåfas- och trefasström. Härvid antagas trådarna äga samma längd samt att vid det ställe, där arbetet tillgodogöres, den högsta förekommande potentialskillnaden är V volt, äfvensom att det disponibla elektriska arbetet, som öfverföres är W watt samt förlusten i linien genom upphettningen enligt Joules lag är L watt.

Om vi först taga i betraktande den enkla växelströmmen, hvars verksamma strömstyrka är I , så förutsätta vi dess verksamma potentialskillnad mindre än V i förhållande af $1 : \sqrt{2}$ och att således:

$$W = \frac{VI}{\sqrt{2}} \text{ eller } I = \frac{\sqrt{2} W}{V} \text{ ampère.}$$

Om r betecknar motståndet i hvardera af de båda ledningstrådarna, är förlusten i linien

$$L = 2rI^2 = \frac{4rW^2}{V^2}$$

och således

$$r = \frac{LV^2}{4W^2} \text{ ohm.}$$

Ledningsförmågan hos tråden kan således sättas

$$\frac{1}{r} = \frac{4 W^2}{L V^2}$$

och hos hela systemet med två ledningstrådar

$$E_1 = \frac{8 W^2}{L V^2} \dots \dots \dots (1).$$

Användes tvåfasström och tre trådar (jämför p. 226), blir strömstyrkan i två af trådarna för hvardera

$$I_2 = \frac{\sqrt{2} \sqrt{2} W}{2 V} = \frac{W}{V}$$

samt i den tredje eller den gemensamma återgångstråden

$$I_2 = \sqrt{2} \frac{W}{V}.$$

Hela strömmängden i de tre trådarna är således

$$I_1 = 2I_2 + I_2 = (2 + \sqrt{2}) \frac{W}{V}.$$

Förlusten i linien kan då sättas under formen

$$L = r_1 I_1^2 = r_1 (2 + \sqrt{2})^2 \frac{W^2}{V^2}$$

och ledningsförmågan hos hela systemet

$$E_2 = \frac{1}{r_1} = \frac{(2 + \sqrt{2})^2 W^2}{L V^2} \dots \dots \dots (2).$$

Vid trefasström (jämför p. 228) blir strömstyrkan i hvardera grenen

$$I_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot W}{3 V}$$

och i hela systemet med tre trådar

$$3 I_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot W}{V}.$$

Förlusten i linien kan uttryckas genom

$$L = r_2 I_3^2 = r_2 \cdot \frac{6 W^2}{V^2}$$

och systemets ledningsförmåga genom

$$E_3 = \frac{1}{r_2} = \frac{6 W^2}{L V^2} \dots \dots \dots (3).$$

Man får således

$$E_1 : E_2 : E_3 = 8 : (2 + \sqrt{2})^2 : 6 = 200 : 291 : 150,$$

såsom Kapp uppgifvit, och dessa siffror uttrycka således förhållandet mellan de vikter koppar, som tagas i anspråk för enkel växelström, tvåfas- och trefasström vid lika arbetsförmåga, lika förlust och lika maximispänning, under förutsättning att ledningsförmågan är proportionel mot tvärskräningsarean hos tråden, hvilket visserligen icke alltid vid växelström är fullt riktigt. Själfinduktionen och kondensationen äro icke heller medräknade.

111. Det elektriska järnbaneväsendets utveckling.

Under det senaste årtiondet har elektriciteten blifvit alltmer använd vid korta järnbanor och vid spårvägar i städer. I nästan alla Europas länder finnas anläggningar af detta slag, om ock Nordamerikas förenta stater ännu står främst i denna gren af elektrotekniken. En mängd uppfinningar äro gjorda härutinnan, och flera af dem äro med mer eller mindre framgång tillämpade. Man kan dock icke säga, att någon af de nyare metoderna för de elektriska järnbanornas anordning vunnit allmänare användande. De många försöken, att med under jorden anbragta ledningar föra strömmen till de elektriska vagnarna, ha endast i undantagsfall kommit i bruk redan till följd af de stora kostnader, som dylika ledningar taga i anspråk, oafsedt andra olägenheter. Likaså ha de förhoppningar man hyst om accumulatorernas allmänna bruk vid spårvägar i städer icke gått i fullbordan. Den betydande vikt vagnarna erhålla samt de kostnader accumulatorernas underhåll föranleder äro olägenheter, som ännu icke blifvit fullständigt öfvervunna. I synnerhet måste accumulatorerna anses mindre lämpliga för ifrågavarande ändamål, när betydande stigningar förekomma på banan. De tillfällen, där de med ekonomisk fördel hittills blifvit använda vid spårvägar, t. ex. i Köpenhamn, äro när icke några afsevärda stigningar förekomma och därjämte trafiken är liflig. På flera ställen har man, efter staden Hannovers exempel, gjort bruk af ett blandadt system, i det accumulatorer begagnats för spårvägsdriften inom de mer centrala delarna af staden och luftledningar vid de öfriga delarna. Fördelaktigast i tekniskt och ekonomiskt hänseende är systemet uteslutande med luftledningar, och detta har allt mera vunnit insteg. Äfven vid städernas spårvägsanläggningar har detsamma mångenstädes och äfven i stora städer t. ex. Hamburg funnit tillämpning. Den enda befogade anmärkning, som kan göras däremot, är

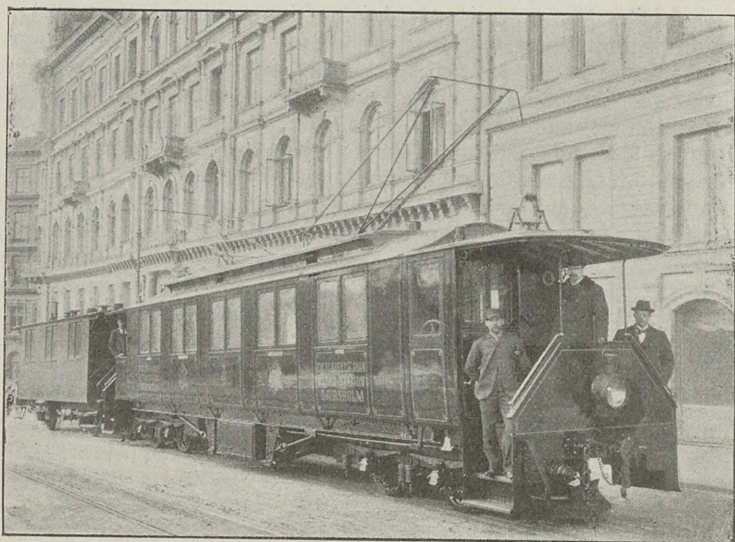
att stolparna och luftledningarna misspyda gatorna, men detta fel kan i hög grad förminskas genom sättet för deras utförande. Vid spårvägen å Söder i Stockholm skola äfven luftledningar begagnas.

Af stor betydelse äro de försök, som de senaste åren blifvit gjorda, att vid de vanliga järnvägarna använda elektrisk drifkraft. Som vi något längre fram skola genom exempel visa, ha dessa försök rönt så stor framgång, att det icke är osannolikt att i framtiden elektriciteten vinner vidsträckt tillämpning äfven för detta ändamål. Vi behöfva knappast påpeka, huru viktigt detta skulle vara för vårt land med dess stora rikedom på vattenkraft.

112. Några nyare elektriska järnbanor. Till en början skola vi omnämna banan Stockholm—Djursholm, hvars längd är 11,2 kilometer, hvaraf 1,2 km. inom staden. Denna banas spårvidd är ovanligt liten, blott 0,891 m. och banan äger betydande sluttningar, ända till 48 på 1,000, och skarpa kurvor. Det är därför icke förvånande, att dess anläggning och drift varit förenade med stora svårigheter, i synnerhet, som här påkallades motorvagnar och personvagnar, tillsammans upptagande 150 personer samt hastigheten skulle vara 35 å 40 km. per timme. Till följd häraf erfordrades hos motorerna en effekt intill 140 hkr. Vid den första anläggningen, som är utförd af den bekanta firman Mather & Platt i Manchester, användas såsom elektricitetskälla tre tvåpolsdynamos, som drivas af hvar sin tvåcylindriska ångmaskin, direkt kopplade med dem. Kraftstationen finnes vid Stocksund, nära banans midt. Det visade sig dock, att denna drifkraft var otillräcklig, och den förstärktes därför medels ett accumulatorbatteri för att i någon mån utjämna belastningen vid centralstationen och för att uppehålla spänningen. Detta batteri har 264 element och 400 ampèretimmar kapacitet vid en timmes urladdning. Af de fyra äldre motorvagnarna ha två motorer, som äro direkt kopplade på axlarna, samt äro två försedda med kugghjulsutväxling. Någon fjädrande upphängning förekommer icke på någon af dem, så att stötarna vid skenskarfvarna blifva ganska oangenäma. År 1898 utfördes två nya motorvagnar för samma bana af Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget i Vesterås. Dessa i fig. 193 afbildade vagnar kunna upptaga 75 personer hvardera och därjämte draga en lika stor personvagn. Deras längd är 13,4 m. och hjulens diameter 0,8 m. Hvardera vagnen har fyra motorer, som äro förenade med hjulaxlarna genom kugghjulsutväxling, i förhållande af 3:1. Induktorn är ringlindad, dess järnkärna har 59 utskärningar för trådarna. Kollektorn har 118 lameller.

Lagrens smörjning sker uppifrån genom en veke och vanlig olja men äfven med fast fett. Motorns vikt fördelas så, att vid pass hälften kommer på två hänglager och den andra hälften på fjädrar. På hvardera af de vridbara vagnställningarna vid vagnens ändar komma två motorer och de fyra ledningarna från dessa gå till en under vagnen anbragt kopplingslåda, som är lätt tillgänglig från sidan. Genom blyskyddstrådar äro ledningarna förenade med regleringsapparaterna. På så sätt är det möjligt att, om en motor skadas under gången, utkoppla densamma genom blytrådens

Fig. 193.



uttagande samt fortsätta med tre motorer. Vid båda ändarna af vagnen finnes plats för lokomotivföraren äfvensom kopplingsapparater, ampèremeter, handjul för mekanisk bromsning samt anordning för omkastning af rörelseriktningen och för elektrisk bromsning. För hastighetens reglering dels införs motstånd och dels kopplas två motorgrupper i serie eller parallellkoppling. De två främre motorerna äro alltid kopplade parallellt och bilda en motorgrupp, likaså de båda borte motorerna. Kopplingsapparaterna, som äro utsatta för starka påkänningar vid de oupphörliga afbrotten med hög spänning

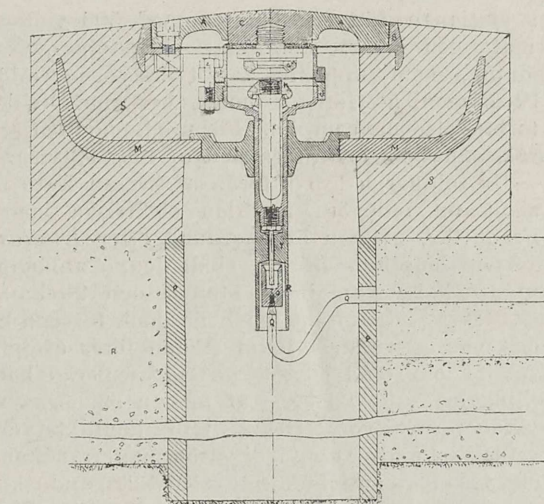
och stor strömstyrka, äro af en speciel konstruktion, som visat sig mycket tillfredsställande. För att hindra upphettning af kontakterna är nämligen ett stort antal sådana anbragta i serie, så att för hvarje afbrott blott en obetydlig spänning vid kontaktet äger rum. Äfven äro försök gjorda med elektrisk hopkoppling af flera vagnar, så att en förare från sin plats kan sköta två hopkopplade motorvagnar jämte två tillhörande andra vagnar. Båda vagnarna äga elektrisk belysning med 8 glödlampor à 16 normalljus, hvilka lampor äro kopplade i två serier. Därjämte kan vid den ena af vagnarna elektrisk uppvärmning ske med 12 apparater, som kunna kopplas så, att 19, 12 eller 8 ampère ström erhålles.

Från stationen föres strömmen med 500 volt spänning genom matareledningar, anbragta på stolpar, samt en kontaktledning, som uppbäres af tvärstycken midt öfver banan. Strömmen återföres genom skenorna, hvilka stå i ledande förbindelse med jorden. För upptagande af strömmen från kontaktledningen användes den af fig. 193 visade anordningen. — Ledningarna äro utförda af firman Luth & Rosén.

Vi skola nu redogöra för den elektriska spårvägen i Tours i Frankrike, hvilken är anordnad efter *Diatlos* system med underjordsledning. Färdig skall denna anläggning äga en väglängd af 19 km. inom staden och 26 km. utanför densamma. Den sistnämnda delen är dock försedd med luftledning och vanlig trolley. Inom staden föres strömmen till lokomotivet genom en i jorden nedlagd isolerad kabel, som står i förbindelse med en serie af mellan skenorna vid vägytan liggande järnskifvor. Dessa utgöra kontaktstycken, som det ena efter det andra upptager strömmen från kabeln, och medels en vid lokomotivet anbragt nedhängande kontaktinrättning föres strömmen från kabeln genom nämnda stycken till motorerna på vagnen. Vid dylika anordningar får naturligtvis strömmen endast genomgå en järnskifva under den korta tid, som lokomotivet befinner sig öfver denna. I annat fall skulle fara eller obehag kunna uppstå för personer, som passera spårvägen och komma i beröring med skifvorna. Den i Tours använda inrättningen af detta slag afbildas i fig. 194, som visar densamma i en mot skenorna vinkelrät tvärskärning. Järnskifvornas öfre yta är något buktig, så att deras öfre del kommer vid pass 2 cm. öfver vägen. Ihåliga asfaltblock *SS*, som hvila på betonalager, omsluta kontaktinrättningen. De innehålla lerrör *PP*, som direkt stöda på jordmassan. För öfrigt är marken mellan skenorna stensatt och stenläggningen uppbäres af ett murbrukslager, hvarjämte

dess fogar upptill äro asfalterade för att hindra vattnets nedträngning. Järnskifvorna *C* omgifvas med ringar *A* af icke magnetiskt nickelstål, hvilka uppbäras af bronsringar *B* samt fästas orubbligt medels bultar. En ebonithylsa *I* är ställd under hvarje järnskifva och uppbäres medels gjutjärnsstycken *M*, *L*. I hylsan finnes kvicksilfver, hvilket genom en skruf *N* af koppar samt en stång af samma metall står i förbindelse med en äfven kvicksilfver innehållande mindre metallhylsa *O*, som i sin ordning är förenad med den ledning *Q* hvari genom strömmen införes. Uti ebonithylsans kvicksilfver

Fig. 194.



simmar en järnflottör *K*, som lätt upplyftes äfven af en ganska ringa magnetisk kraft. Denna flottör är upptill försedd med ett grafitlufvud *H*, hvilket är en god ledare för elektriciteten. Under järnskifvan *C* är medels en skruf *D* anbragt ett annat grafitstycke nära ofvan *H*. En mässingscylinder samt nedtill ett ebonitrör *R* omsluter denna mekanism, och om vatten skulle nedtränga i det öppna rummet inuti asfaltblocket, komprimeras luften något i *R* och hindrar vattnets uppträngande till de elektriska kontaktarna. Under den elektriska vagnen finnes upphängd en kontaktinrättning, som när den passerar öfver järnskifvorna, kraftigt attraherar flottören *K*, hvilken då förmedlar den elektriska ledningen

mellan Q och elektromotorerna i vagnen. Kontaktinrättningen utgöres af tre järnstänger, liknande en släde med tre medar, jämte ett antal däremot vinkelrätt anbragta, horisontala elektromagneter, hvilka äga två skilda trådlindningar. Strömmen, som genomgår dessa i samma riktning, är för den ena af dem hufvudströmmen, när vagnen är i rörelse, och för den andra af trådlindningarna kommer strömmen från ett litet accumulatorbatteri, som är anbragt under bänkarna i vagnen, och hvilket ensamt är i verksamhet, när vagnen till en början sättes i gång och när hufvudströmmen afbrytes. Af de tre medarna får den mellersta positiv och de två yttre negativ polaritet. Vid vagnens igångsättning kommer således flottören K att upplyftas genom accumulatorströmmen, men sedan grafitstyckena kommit i beröring och hufvudströmmen slutits, tryckas dessa stycken hårdare mot hvarandra. Det använda kolet är mycket rent, och genom en sinnrik anordning förhindras uppkomsten af en ljusbåge. Den bortre delen af de tre medarna är nämligen böjd uppåt, och, då medarna äro magnetiska, attrahera dessa ändar flottören med aftagande kraft, när de komma öfver densamma, hvarför strömmen afbrutits, innan flottören hinner att nedsjunka, så att icke ljusbåge och icke ens gnista uppstår. Kontaktmekanismen blirver därför varaktig. Det är endast den mellersta meden, som är i beröring med den metalliska delen af vägbanan mellan skenorna. De yttre medarna hållas genom fjädrar öfver banan och öfver de uppåtböjda gjutjärnsarmarna M , M , och genom dessa, asfaltblocket och luften slutes den magnetiska ledningen mellan kontaktinrättningens särskilda delar. Banans spårvidd är 1 m. Strömmen lämnas af tre dynamomaskiner med 500 à 600 volts spänning. I flera franska städer äro dylika anläggningar under utförande.

Så som exempel å nya elektriska spårvägar, som uteslutande drifvas med accumulatorer, anföra vi till en början den i Gent. Denna banas längd är 28 km. och dess spårvidd 1 m. Den har flera kurvor och en stigning ända till 4 %. Centralstationen innehåller 3 ångmaskiner, hvardera på 300 hkr., drifvande medels remutväxling hvar sin dynamo på 200 kw. vid 250 volt, äfvensom två tillsatsdynamos. Anläggningen är afsedd för 38 motorvagnar och 70 batterier, hvaraf c:a $\frac{1}{4}$ i reserv. En sådan vagn, hvilken rymmer 34 passagerare, innehåller ett batteri med 108 accumulatorer, fördelade i 12 kistor med 9 element i hvardera. Ett batteri väger 2,000 kg. Det är tillräckligt för 50 à 58 km. väg, och då hvarje vagn dagligen tillryggalägger vid pass 110 km., får batteriet ombytas en gång under dagens lopp. Vagnens hastighet än normalt 12

km., men utanför staden ända till 30 km. per timme. För ombyte af batterier finnes en täckt plats med 6 spår. Batterierna med sina kistor kunna lätt skjutas in och ut å ömse sidor om vagnen och få plats på träställningar under laddningen. Accumulatorerna äro af *Juliens* nya system och höra till Plantétypen. Ett sådant element innehålles i en låda af vulkaniserad kautschuk med c:a 19 cm. längd, 15 cm. bredd och 31,5 cm. höjd och har den positiva elektroden i form af ett block, sammansatt af c:a 120 öfver hvarandra lagda vågformiga blyblad med utpressade öppningar, hvilka bilda kanaler i blocket för upptagande af den negativa elektroden. Blybladens vågor korsa hvarandra, så att ett stort antal små ihålligheter uppstå i blocket. Lister af bly sammanhålla blocket vid de fyra kanterna. Den negativa elektroden utgöres af genombrutna cylindrar eller prismer i blyrör, innehållande blysvamp, samt omgifna med ett rör af vulkaniserad kautschuk, försedt med många öppningar. För att hindra kortslutning ha rören nedtill skor af nyssnämnda isoleringsämne. Upptill äro alla blyrören i ett element lödda vid blylister, hvilka genom glaströr stöda mot blockets öfre del. Den utspädda syran upptages äfven i blockets ihålligheter. Med en vikt af 25 kg., syran inberäknad, är kapaciteten på 20 timmar 300 ampèretimmar och på 5 timmar 250 ampèretimmar.

Vi vilja äfven omnämna den af Pollaks accumulatorbolag i Frankfurt a. Main anordnade elektriska banan. Dennas längd är 1,6 km., hvaraf en del med 8 %₀₀ stigning, men för öfrigt nära horisontal. Vagnarna väga 8 tons med batteri och elektrisk materiel, förutom passagerarna, hvilkas antal är beräknadt till 42. En sådan vagn drifves af en Kummers motor af 15 hkr. och kan då erhålla 15 km. hastighet i timmen. Batteriet innehåller 84 element, fördelade i 6 tråkistor under sittplatserna i vagnen. Kistorna kunna utdragas på glidskenor. Äfven utifrån är genom ventiler batteriet tillgängligt. Medels kautschuksunderlag isoleras kistorna från vagnen. Elementen äro efter Pollaks system med T-plattor, hvilka genom ett särskildt förfaringssätt vid valsningen blifvit försedda med ett stort antal hak, såväl för att kvarhålla den aktiva massan som för att förstora ytan. Den först på mekanisk väg påförda massan förvandlas på elektrokemisk väg till fint, poröst metalliskt bly, innan plåtarnas egentliga preparering äger rum. De positiva och negativa plåtarna underkastas samma process. En för de elektriska vagnarna lämplig plåt väger i medeltal 1,1 kg. och har 20 ampèretimmar vid 5 timmars urladdning. — I flera städer både i Europa och Amerika anställas f. n. försök med accumulatorer vid spår-

vägstrafiken, och det är att hoppas, att de slutligen skola leda till det önskade resultatet. Vi vilja äfven omnämna en svensk uppfinning, som torde blifva af betydelse för detta ändamål, nämligen *E. W. Jungners**) elektriska primära eller sekundära element, utgörande en kombination af en elektrolyt såsom kali eller natronhydrat samt elektroder af nickel eller koppar, omgifna af aktiva massor, som äro fint fördelade metaller, hvilkas hydrooxylföreningar ej kunna äga bestånd i elektrolyten. Accumulatorer låf sådan beskaffenhet uppgifvas kunna aflämna en elektrisk energi af 40—50 watt-timmar per kg., hvarjämte de blifva synnerligen varaktiga.

113. Försök öfver elektricitetens användande för erhållande af drifkraft vid längre banor. De i det föregående omtalade elektriska banorna äga endast ringa längd. Men de senare åren ha allvarliga försök i flera länder blifvit gjorda beträffande elektricitetens användande äfven för trafikerandet af de vanliga järnvägarna, således för banor af betydande längd. Vi skola i korthet redogöra för de viktigaste bland dessa. Det är tydligt, att vid långa elektriska banor flerfasström af hög spänning måste begagnas. Man har försökt tre olika metoder för detta ändamål.

Vid den ena af dessa metoder föres flerfasströmmen genom luftledningar längs banan från en centralstation till ett antal transformatorstationer vid olika delar af banan, och vid dessa sistnämnda stationer förvandlas strömmen medels roterande växelström-likströmstransformatorer till likström af måttlig spänning, hvilken sedermera på vanligt sätt drifver de elektriska vagnarna. Denna metod begagnas redan vid flera banor, såväl i Norra Amerika som i Europa. Vi anföra exempelvis den 61 km. långa banan mellan Albany och Hudson, N. Y. Flerfasströmmen med 12,000 volt spänning lämnas af en kraftstation vid ett vattenfall och den förvandlas i transformatorstationerna till likström, hvarmed lokomotiven drifvas. Kraftstationen har 10 af turbiner direkt drifna generatorer, af hvilka tre trefasdynamos för 750 kilowatt och en frekvens af 60 användas för järnvägsdriften på längre afstand och två likströmsdynamos af 200 kw. och 600 volt hvardera för samma ändamål i närheten af kraftstationen. De öfriga generatorerna begagnas för magnetiseringsströmmen, elektrisk belysning och reserv. Äfven en ångkraftsanordning finnes för sistnämnda behof. Trefasströmmen med 12,000 volt föres genom luftledningar nära banan till transformator-

*) Patentbeskrifningen N:o 10,177.

stationerna, där spänningen först nedsättes till 380 volt växelström, som sedan genom roterande transformatorer förvandlas till 550 à 600 volt likström. En mellanskena, som ligger 15 cm. öfver spåret, tjänar såväl till matare- som kontaktledning. Strömmen upptages af ett par släpskor på hvardera sidan. Vid korsningar är mellanskenan afbruten, och strömmen föres genom kablar. Återledningen sker genom de yttre skenorna. Vagnarna äro 16 m. långa och rymma 60 personer hvardera. — Vid »Central London Railway» användes 5,000 volt flerfasström, som förvandlas till 500 volt likström. — Anmärkningsvärd är en mellan Milano och Gallarate under anläggning varande bana af 40 km. längd, som har dubbla spår samt fortsättes från Gallarate med tre enkla linier, nämligen en 26 km. lång till Arona, en 31 km. till Laveno och en 33 km. till Porto Ceresio. Kraftstationen ligger 11 km. från Gallarate, där framdeles från floden Tessin vattenkraft skall erhållas. Tills vidare användes en ångcentralstation, hvilken efter vattenkraftsanläggningens fullbordande skall tjäna såsom reserv. Tre dynamomaskiner af 750 kilowatt hvardera alstra trefasström af 13,000 volts spänning, och med sex koppartrådar af 7,8 mm. diameter föres strömmen till Gallarate, där den fördelas genom tre ledningssystem. Fem smärre stationer finnas, tre med två 500 kilowatts och två med hvardera 250 kws transformatorer. Luftledningar hvilat på trästolpar med tvärarmar och porslinsisolatorer med 50 cm. afstånd mellan trådarna. Motorströmmen af 650 volt ledes genom en järnskena, som är anbragt mellan de båda spåren på särskilda isolatorer. Vid korsningar och vägfövergångar är denna skena afbruten, och den elektriska föreningen sker medels kablar. Vid den elektriska vagnen finnes vid hvardera änden två glidskor, ett par för hvarje riktning, så att strömmen upptages från mellanskenan i två punkter. Återledningen sker på vanligt sätt genom de båda järnvägs-skenorna.

En annan metod för drifvande af längre elektriska banor är, att i transformatorstationer på flera ställen under vägen förvandla den högspända trefasströmmen till dylik ström med lägre spänning. Lokomotiven måste då äga trefasmotorer, och strömmen föres till dessa genom tre ledningar från transformatorerna. Mellan Burgdorf och Thun i Schweiz är en sådan bana i verksamhet. Banans längd är 41 km. och den har förutom centralstationen 13 transformatorstationer. Den förstnämnda stationen lämnar strömmen med 15,000 volt spänning, de sistnämnda nedsätta denna till 750 volt, med hvilken spänning motorerna arbeta. Kontaktledningarna ut-

göras af två hård-dragna koppartrådar med 8 mm. diameter samt af skenorna, som bilda den tredje ledaren. De båda trådarna uppbäras af master å ömse sidor af banan med tvärstycken mellan dessa. De för persontåg afsedda motorvagnarna ha 4 motorer, hvardera på c:a 60 hkr, de äro afsedda för 66 personer samt medföra en annan lika stor vagn. Hastigheten är 36 km. i timmen. Godslokomotiven äga två motorer på 150 hkr. hvardera; de äro afsedda för 18 eller 36 km. hastighet i timmen. Den elektriska anläggningen är utförd af firman Brown, Boveri & Cie.

Slutligen vilja vi anföra en tredje metod för elektrisk drift af långa järnbanor, vid hvilken trefasströmmen direkt föres från ledningarna till det elektriska lokomotivet, där den transformeras och sätter trefasmotorer igång. Sådana anläggningar äro försöksvis utförda af Siemens & Halske vid Gross-Lichterfelde och Zehlendorf samt af Ganz & C:o vid Valtellinabanen. Vid den förstnämnda är försöksbanans längd 1,8 km. Ledningen utgöres af tre 8 mm. grofva trådar af hård-dragna koppar, hvilka uppbäras af klockisolatorer på master af järngallerverk, som stå 40 m. från hvarandra. Trådarna komma på 1 m. afstånd rätt öfver hvarandra. Strömmen, som har 10,000 volt spänning, upptages genom sidosläp-kontakter af aluminium, anbragta på järnrörsbyglar, hvilka äro böjda efter en elliptisk båge. Dessa uppbäras genom armar, fastsatta på en öfre del af det elektriska lokomotivet. Kontakterna äro rörliga i ett mot linien vinkelrätt plan och tryckas från sidan mot trådarna medels fjädrar. Vid växlar äro luftledningarna afbrutna, byglarna ställa sig vinkelrätt mot linien och gå sedan sakta tillbaka till sin plats. Lokomotivet innehåller transformatorer, regleringsmotstånd samt två trefasmotorer, en för hvarders hjulaxeln, för normalt 30 och högst 120 hkr. samt för vid pass 750 volt, med hvilken spänning strömmen vanligen föres från transformatorerna, ehuru äfven vida högre spänning försöktes. Såsom skyddsmedel för den höga spänningen är för öfrigt iakttaget, att längs hela banan ett skyddsnät är anbragt, så att, om en tråd brister, dess ändar icke falla till marken. Nätet utgöres af 4 parallela 5 mm. grofva ståltrådar, hvilka äro fastsatta på järnarmar, som utgå från masterna, samt tvärtrådar af 4 mm. tjocklek och på 1,5 m. afstånd sinsemellan. Lokomotivets golf är belagdt med järnbleck, som står i förbindelse med jorden, hvilket äfven är händelsen med alla andra delar af lokomotivet, där icke någon elektrisk spänning bör finnas,

INNEHÅLL.

I. Elektriciteten såsom vågrörelse sid. 1—39.

1. Faradays elektriska kraftlinier, 1. — 2. Maxwells hypoteser, 2. — 3. Den statiska elektriciteten, 5. — 4. Förhållandet mellan de elektriska enheterna, 7. — 5. C. A. Bjerknes hydro-elektriska och hydro-magnetiska undersökningar, 8. — 6. Hertz' upptäckter, 9. — 7. Apparater för framkallande och undersökning af elektriska vågor, 10. — 8. Dielektrikas inflytande på de elektriska vågorna, 13. — 9. De elektriska vågornas fortplantning vid metalltrådar, 15. — 10. De elektriska vågornas reflexion, 16. — 11. Strålar af elektrisk kraft, 18. — 12. Dämpning af elektriska svängningar, 20. — 13. Multipel resonans, 23. — 14. De elektriska vågornas mekaniska verkningar, 24. — 15. Utbredningen af den elektriska energien, 26. — 16. Bekräftelse af Maxwells teori genom dielektricitetskonstantens bestämning, 30. — 17. Elektriska oscillationer af ringa våglängd, 31. — 18. Branlys rör, 33. — 19. Marconis telegrafsystem, 34. — 20. Heavisides utveckling af Maxwells teori, 37. — 21. Von Bezolds undersökningar öfver elektriska urladdningar, 38.

II. Nya metoder och apparater för mätning af magnetismen och elektriciteten i tekniskt ändamål sid. 39—122.

22. De praktiska enheterna för elektricitets mätning, 39. — 23. De kvantiteter, hvilka angifva järnets och stålets magnetiska egenskaper, 41. — 24. Ewings apparater för undersökningar medels magnetometriska metoden, 42. — 25. Ballistiska metoden för undersökning af järnets magnetism, 47. — 26. Isthmus-metoden, 51. — 27. Hopkinsons apparat för järnets undersökning, 53. — 28. Elektromagneters bärkraft och därpå beroende metoder för järnets undersökning, 54. — 29. Några nyare apparater för järnets direkta undersökning, 57. — 30. Några resultat af undersökningarna öfver järnets magnetiska egenskaper, 60. — 31. Magnetisk hysteresis, 62. — 32. Effektförlust till följd af hysteresis, 65. — 33. Åtskilliga på hysteresis inverkan omständigheter, 67. — 34. Ewings apparat för teknisk undersökning af hysteresis, 69. — 35. Steinmetz' formel för beräkning af den genom hysteresis uppkommande effektförlusten, 73. — 36. Du Bois' och

Jones' försök öfver nyare järn- och stålsorters magnetiska egenskaper, 74. — 37. Försök öfver det svenska järnets magnetiska egenskaper, 78. — 38. Nya apparater för undersökning af magnetiska fält, 81. — 39. Lord Kelvins brygga för uppmätning af små motstånd, 85. — 40. Några nyare metoder för motståndsbestämningar, 87. — 41. Om telefonens användande vid elektriska motståndsbestämningar, 89. — 42. Legeringars elektriska ledningsmotstånd, 91. — 43. Temperaturens inflytande på det elektriska ledningsmotståndet, 92. — 44. Induktionsfria motstånd, 96. — 45. Nyare instrument för uppmätning af strömstyrkan, 97. — 46. Nyare voltmetrar, 103. — 47. Feussners kompensator, 109. — 48. Siemens & Halskes nya universalgalvanometer, 112. — 49. Undersökning af växelströmmar, 114. — 50. Wattmetrar, 116. — 51. Ayrton & Perrys secohmmeter, 120.

III. De nyare framstegen i likströmsdynamos och motorers konstruktion sid. 123—162.

52. Allmänna anmärkningar, 123. — 53. Exempel på några nyare tyska dynamosmaskiner för likriktad ström, 124. — 54. Oerlikons likströmsdynamos, 128. — 55. Likströmsdynamos från Allmänna svenska elektriska aktiebolaget, 130. — 56. Likströmsmotorer från Allmänna svenska elektriska aktiebolaget, 133. — 57. Andra svenska dynamosmaskiner, 136. — 58. Ringinduktorer af olika slag, 138. — 59. Truminduktorer af olika slag, 141. — 60. Armatur-reaktion, 144. — 61. Medel att motverka armaturreaktionen, 147. — 62. Gnistbildningen vid borstarna, 152. — 63. Beräkning af det gnistfria läget hos borstarna, 154. — 64. Spänningsförluster genom armaturreaktionen, 157. — 65. Effektförluster vid likströmsdynamos, 158. — 66. Verkningsgradens beroende af dynamosmaskinens omloppshastighet, 161.

IV. Växelströmsdynamos och motorer samt transformatorer sid. 162—235.

67. Olika slag af växelströmmar, 162. — 68. Den enkla växelströmmen, 163. — 69. Själfinduktionens inflytande på en växelström, 165. — 70. Växelströmmens arbete, 168. — 71. Blakesleys klockdiagram, 169. — 72. Villkor för maximieffekt med växelström, 172. — 73. Kondensatorns inverkan på en växelström, 173. — 74. Gemensam inverkan af själfinduktion och kondensation vid en växelström, 174. — 75. Kingdons växelströmsmaskin, 176. — 76. Några nyare generatorer för enkel växelström, 177. — 77. Svenska generatorer för enkel växelström, 181. — 78. Beräkning af den elektromotoriska kraften hos dynamosmaskiner med enkel växelström, 183. — 79. Kapps metod för beräkning af den verksamma elektromotoriska kraften, 184. — 80. Motorer för enkel växelström, 187. — 81. Roterande magnetiska fält, 190. — 82. Tvåfasgeneratorer, 194. — 83. Trefasgeneratorer, 197. — 84. Svenska trefasgeneratorer, 201. — 85. Synkrona motorer för flerfasström, 203. — 86. Asynkrona eller induktiva flerfasmotorer, 206. — 87. Trefasmotorer från Allmänna svenska

elektriska aktiebolaget, 210. — 88. Elementär teori för induktiva flerfas-motorer, 213. — 89. Nyare växelström-transformatorer, 217. — 90. Kapps geometriska teori för transformatorer, 221. — 91. Ledningarna till flerfasströmmar, 225. — 92. Några detaljer vid starkströmsluftledningar, 229. — 93. Kablars användande för starkströmsledningar, 233.

V. Den elektriska belysningens nyaste framsteg sid. 236—271.

94. Enheter vid ljusmätning, 236. — 95. Några undersökningar öfver den elektriska ljusbågen, 237. — 96. Försök öfver växelströmmars användande vid bågglampor, 239. — 97. Janduslampan, 244. — 98. Siriuslampan, 248. — 99. Den nyare glödlamptillverkningen, 250. — 100. Nernsts glödlampa, 253. — 101. Nyare undersökningar öfver den elektriska glödlampans egenskaper, 256. — 102. Glödlampor och ledningar för 220 volt, 259. — 103. Accumulatorers användande vid elektriska belysningsanläggningar, 260. — 104. Automatiska spänningsregulatorer vid accumulatorbatterier, 265. — 105. Nyare centralstationer för elektrisk belysning, 267.

VI. Den elektriska arbetsöfverföringens nyaste framsteg sid. 272—293.

106. Exempel på några nya anläggningar för öfverförande af mekaniskt arbete genom likriktad ström, 272. — 107. Exempel å arbetsöfverföring med tvåfasström, 274. — 108. Exempel å arbetsöfverföring med trefasström, 276. — 109. Försök med elektrisk arbetsöfverföring vid 40,000 volt spänning, 281. — 110. Åtgången af koppar vid arbetsöfverföring med olika slag af växelström, 282. — 111. Det elektriska järnbaneväsendets utveckling, 284. — 112. Några nyare elektriska järnbanor, 285. — 113. Försök öfver elektricitetens användande för erhållande af drifkraft vid längre banor, 291.

Rättelser.

Sid.	17	rad	7	nedifr.	står:	vågorna	bör	vara:	punkterna
»	17	»	12	»	»	blifva	»	»	blifver
»	164	»	15	»	»	f	»	»	$\frac{1}{f}$
»	194	»	1	»	2	utgår	ur	ekvationens	vänstra led
»	216	»	2	uppfifr.	står:	k'	bör	vara:	k'^2
»	217	»	7	»	ekv. (41	b)	bör	vara:	$M_1 = \frac{q}{2k'}$
»	217	»	9	»	står:	omvändt	mot	bör	vara: oberoende af

