

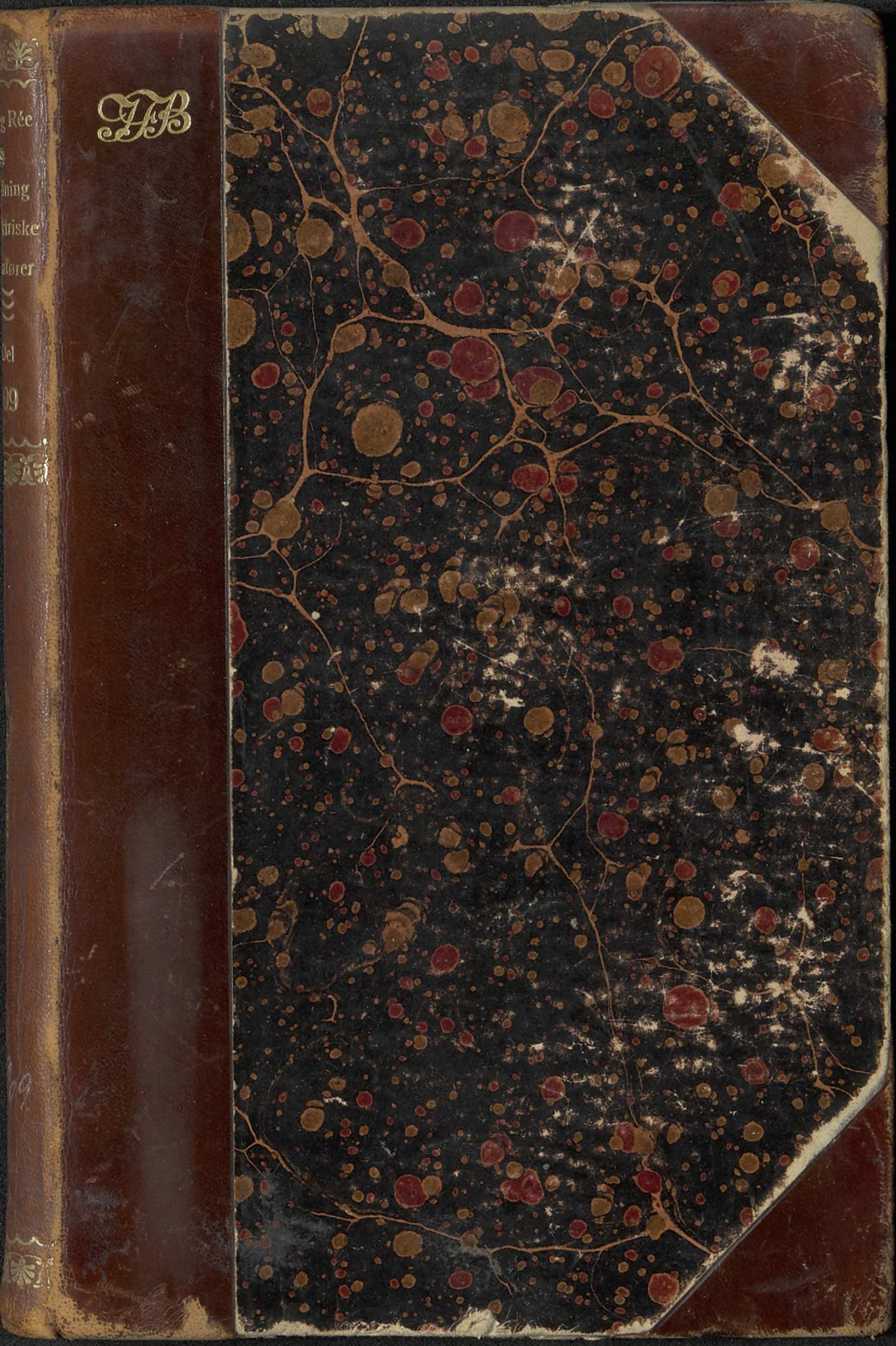
Denne fil er downloadet fra
Danmarks Tekniske Kulturarv
www.tekniskkulturarv.dk

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*



VEJLEDNING FOR ELEKTRISKE INSTALLATØRER

II. VEKSELSTRØM

AF

F. C. LETH

CAND. POLYT.

CHEF

FOR ELEKTRICITETSVÆRKERNES
INGENIØRKONTOR

OG

H. RÉE

CAND. POLYT.

INGENIØR

VED ELEKTRICITETSVÆRKERNES
INGENIØRKONTOR



H. HAGERUP_S FORLAG
KØBENHAVN

TRIERS BOGTRYKKERI (G.L. LIND & NUMA FRÆNKEL)

1909

Forord til 2den Del.

Foreliggende 2den Del har det Formaal, at supplere Bogens 1ste Del i et saadant Omfang, at den ogsaa kan tjene som Vejledning for Installatører af Vekselstrømsanlæg.

*Ved Udarbejdelsen har man søgt at indskrænke For-
dringerne til Læsernes matematiske Kundskaber til det
mindst mulige; Kendskab til de allerførste Elementer af
Trigonometrien vil dog være nødvendig. Desuden kræves
Kendskab til Bogens 1ste Del.*

Forfatterne.

II. Del.

VEKSELSTRØM.

Indledning.

1. Af Afsnit 33 i denne Bogs 1ste Del fremgaar det, at Tværsnittet af en elektrisk Ledning, gennem hvilken der skal overføres en vis Mængde elektrisk Energi, saaledes at der i Ledningen tabes en vis Procentdel af den oprindelige tilstedeværende Energi, er afhængigt af den Driftsspænding, der anvendes. — Tværsnittet er omvendt proportionalt med 2den Potens af den anvendte Spænding.

Drejer det sig om at overføre store Energimængder paa lange Afstande, f. Eks. Kraften fra et Vandfald til en fjernt liggende By, anvender man saa høje Spændinger, at man kan nøjes dels med tynde og derved billigere Ledninger, dels med et forholdsvis lille Tab i Ledningerne. Der kan isaafald blive Tale om at anvende Spændinger paa mange Tusinde Volt, og da det er vanskeligt at fremstille Jævnstrømsmaskiner til saa store Spændinger, benytter man Vekselstrøm, idet Vekselstrømsmaskiner uden Vanskelighed lader sig bygge til høje Spændinger. Den højspændte Vekselstrøm har yderligere den Fordel fremfor højspændt Jævnstrøm, at den ved Hjælp af hvilende Transformatorer (d. v. s. Transformatorer uden roterende Dele) med Lethed og uden synderligt Tab lader sig transformere fra højspændt til lavspændt Elektricitet. Den lavspændte Elektricitet føres derefter ind i de Ejendomme, der ønsker Forsyning.

Vi skulle herefter nærmere gøre Rede for Vekselstrømmen og dens Natur.

2. **Vekselstrøm og Vekselspænding.** En Vekselstrøm er en elektrisk Strøm, der periodisk skifter Størrelse og Retning.

Den elektromotoriske Kraft eller den Spænding, der frembringer en Vekselstrøm, maa selv veksle periodisk i Størrelse og Retning.

En periodisk vekslende Spænding kaldes en Vekselspænding.

Dersom der mellem to Klemmer a og b er en Vekselspænding, betyder det saaledes, at Spændingen regnet fra en af Klemmerne, f. Eks. fra a til b, periodisk forandrer Størrelse og Retning (Fortegn), det sidste vil sige, at b til visse Tider ligger i et højere til visse Tider i et lavere Potential end a. Dersom b ligger i et højere Potential end a, kaldes Spændingen fra a til b positiv, ligger b i et lavere Potential end a kaldes den negativ.

Fig. 1 viser skematisk en Maskine til Frembringelse af Vekselspænding og Vekselstrøm. Maskinen bestaar

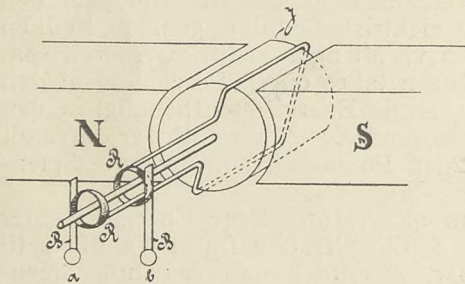


Fig. 1.

af en enkelt Vinding af isoleret Kobbertraad, lagt omkring en Jernkerne, der kan drejes rundt i et homogent magnetisk Felt. Enderne af Vindingen er ført til to fra hinanden isolerede Metalringe, R, paa hvilke der slæber

2 Børster, B. Imellem Klemmerne a og b vil der, naar Maskinen drejes rundt med konstant Hastighed, være en Vekselspænding. Vekselspændingens Retning til de forskellige Tider af Omdrejningen kan udledes ved Hjælp af den almindelige Haandregel. Vekselspændingen vil have sine største numeriske Værdier, naar Vindingen passerer Retningen N—S, idet der da overskæres flest Kraftlinier pr. Sekund.

Vinkelret paa denne Stilling har Vekselspændingen sine Nulværdier.

En Oversigt over en Vekselspændings Forløb faar man bedst ved at tegne en Kurve, der for hvert Øjeblik viser Størrelsen og Retningen af Spændingen fra a til b. Lad os f. Eks. antage, at Spændingen fra a til b i et

vist givet Øjeblik er lig Nul (d. v. s. a og b ligger i samme Potential), at den

efter 0,1	Sekunds	Forløb	er	+	15,45	Volt
- 0,2	—	—	-	+	29,39	-
- 0,3	—	—	-	+	40,45	-
- 0,4	—	—	-	+	47,56	-
- 0,5	—	—	-	+	50,00	-
- 0,6	—	—	-	+	47,56	-
- 0,7	—	—	-	+	40,45	-
- 0,8	—	—	-	+	29,39	-
- 0,9	—	—	-	+	15,45	-
- 1,0	—	—	-		0	-
- 1,1	—	—	-	÷	15,45	-
- 1,2	—	—	-	÷	29,39	-
- 1,3	—	—	-	÷	40,45	-
- 1,4	—	—	-	÷	47,56	-
- 1,5	—	—	-	÷	50,00	-
- 1,6	—	—	-	÷	47,56	-
- 1,7	—	—	-	÷	40,45	-
- 1,8	—	—	-	÷	29,39	-
- 1,9	—	—	-	÷	15,45	-
- 2,0	—	—	-		0	- og saa-

ledes videre, saa vil man kunne konstruere en Kurve paa følgende Maade.

Fra et Punkt o paa den rette Linie A — B (Fig. 2) afsættes 20 lige store Stykker. Ethvert af disse Stykker skal repræsentere $\frac{1}{10}$ Sekund. Længden af 10 Stykker repræsenterer 1 Sekund og Længden af 20 Stk. 2 Sekunder.

I alle Delepunkterne, af hvilke ethvert svarer til et ganske bestemt Øjeblik, oprejses vinkelrette Linier og ud ad disse afsættes i et eller andet Maalestoksforhold, f. Eks. 1 Volt = 1 m/m, de til de forskellige Øjeblikke svarende Spændinger, idet man afsætter de positive opad, de negative nedad, regnet fra Linien A — B. De Punkter, man derved har konstrueret, forbindes med en jævnt forløbende Kurve, og man faar derved den i Fig. 2 optrukne Linie.

Denne Kurve (Spændingskurven) giver en Oversigt over Vekselsspændingens Forløb.

I Tidspunktet o passerer Kurven Nul, d. v. s. a og b ligger i samme Potential, Kurven stiger derpaa i $\frac{1}{2}$ Sekund til sin højeste positive Værdi og falder derefter i det næste halve Sekund til Værdien Nul. I dette Sekund har Spændingen fra a til b stadig været positiv (altsaa b har stadig ligget i et højere Potential end a), men efter dette Sekunds Forløb bliver den negativ, naa'r

efter yderligere $\frac{1}{2}$ Sekunds Forløb et negativt Maximum for i Løbet af det næste halve Sekund igen at være naaet op til Nul. I den negative Del af Kurven har b stadig ligget i et lavere Potential end a.

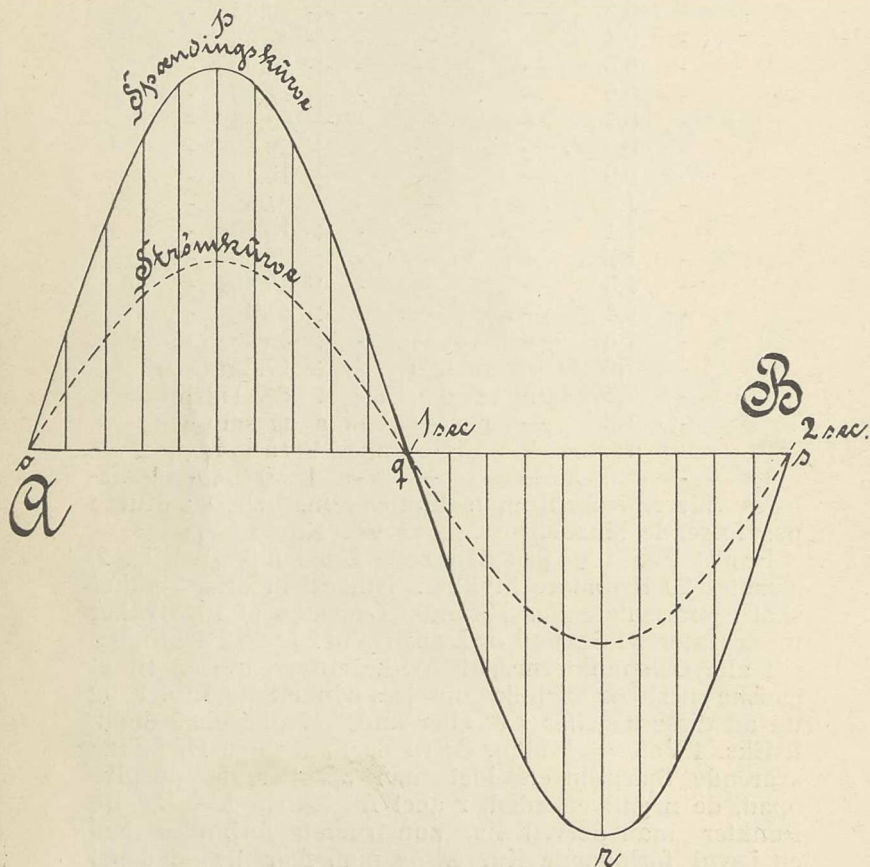


Fig. 2.

I Tiden fra 2 Sekunder til 4 Sekunder efter Tidspunktet o gennemløber Kurven en Figur, der er nøjagtig lig med den fra 0 til 2 Sekunder. Spændingen veksler saaledes periodisk, og en Periode fuldføres i 2 Sekunder. Det ses, at Spændingen skifter Retning 2 Gange i hver Periode eller Antallet af Vekslinger er lig $2 \times$ Antallet af Perioder.

Dersom man forbinder de to Klemmer a og b, mellem hvilke forudsættes en stadig Vekselspænding som

den ovenfor nævnte, med en Ledning med en Modstand af f. Eks. 2 Ohm og uden Spor af Selvinduktion, saa vil der som bevægende Kraft for Elektriciteten kun findes den givne Vekselsspænding, og da Ohms Lov maa gælde i ethvert Øjeblik, maa der opstaa en Vekselstrøm, der i ethvert Øjeblik vil have en Størrelse, der er lig den i dette Øjeblik mellem Klemmerne værende Spænding divideret med den ohmske Modstand, altsaa her divideret med 2. Retningen af Strømmen vil i første Halvdel af Perioden gaa fra b til a, i sidste Halvdel af Perioden fra a til b.

Da man saaledes kan beregne Vekselstrømmens Størrelse og Retning for ethvert Tidspunkt af Perioden, kan man ogsaa tegne Kurven for Vekselstrømmen (Strømkurven), naar man fastsætter, at Strømretninger fra b til a skal regnes positive og Strømretninger fra a til b negative, og vælger sig en Maalestok for Strømstyrken, f. Eks. 1 Ampere = 1 m/m. Man faar da den i Figur 2 punkterede Kurve, af hvilken det ses, at de Tidspunkter, hvori den har sine Maxima, falde nøjagtig sammen med Tidspunkterne for de tilsvarende Fremtoninger for Spændingens Vedkommende. Naar dette finder Sted, siger man at Strømmen og Spændingen er i Fase med hinanden. De to saaledes forløbende Kurver siges ogsaa at være i Fase med hinanden.

De Vekselstrømme, der benyttes i Praksis, veksle meget hurtigere end den her beskrevne; man vilde ellers faa et flakkende Lys.

Ved almindelige elektriske Centraler for Lys og Kraft anvendes ofte 50 Perioder pr. Sekund, hvilket Periodetal ogsaa er valgt ved de kommunale Elektricitetsværker i København.

Dersom man tegnede Kurven for en saadan Strøm, vilde Stykket fra o til s kun svare til $\frac{1}{50}$ Sekund og hvert Stykke fra Delestreg til Delestreg til $\frac{1}{1000}$ Sekund.

Dersom en Vekselstrøm har det Forløb, der er fremstillet ved Fig. 2, siger man, at den veksler efter en Sinuskurve (Sinoide), det vil sige, at Strømmens øjeblikkelige Værdier (i_o) lader sig beregne af Udtrykket:

$$i_o = i_{\max.} \sin v, *)$$

hvor $i_{\max.}$ er den højeste Værdi, som i_o naaar; $i_{\max.}$ er altsaa en Konstant, og de forskellige Værdier af i_o faas ved at indsætte de forskellige Værdier af v hele Omdrej-

*) Ved Bogens Slutning findes en Tabel, der angiver Værdierne af $\sin$ og $\cos$ for Vinklerne fra 0 til 90° .

ningen rundt; hver Grad svarer til $\frac{1}{360}$ af Tiden for en Perodes Forløb. — Sinoiden er, som det ses, fuldstændig bestemt ved $i_{\max}$. (Amplituden), og man kan saaledes f. Eks. ogsaa beregne Spændingskurven Fig. 2, idet man kender Spændingens Maximum, der er opgivet til 50 Volt. Man har, idet hele Omdrejningen 360° svarer til Stykket o—s, at hver af de 20 lige store Stykker af o—s svarer til $360/20 = 18^\circ$, og vil man finde p svarende til det 8. Delepunkt, regnet ud fra a, har man:

$$\begin{aligned} p &= 50 \cdot \sin(8 \cdot 18) = 50 \sin 144^\circ \\ &= 50 \sin 36^\circ = 50 \cdot 0,5878 \text{ (sin taget af en sin-Tabel)} \end{aligned}$$

$$= 29,39 \text{ o. s. v.}$$

Der skal her gøres opmærksom paa, at der i Fig. 2 ikke er benyttet samme Maalestoksenhed for Tiden som for Spændingen. Et Sekund repræsenteres ved 50 m/m, medens en Volt repræsenteres ved 1,0 m/m. Dersom man valgte samme Maalestof for Tiden som for Spændingen, vilde Stykket A—C kun blive 2 m/m, og Kurven vilde derfor blive meget utydelig som Oversigskurve. Man foretrækker derfor at indføre den større Grundlinie. Hvad Grundlinie der end vælges, repræsenterer o—s fysisk set en Tid, nemlig Tiden for en Periode. $\frac{1}{4}$ af Linien o—s, eller $\frac{1}{4}$ Periode, svarer til 90° af den hele Omdrejning o. s. v.

$$v = 90^\circ \text{ giver positivt Maximum af } i_o$$

$$v = 180^\circ \quad — \quad i_o = 0$$

$$v = 270^\circ \quad — \quad \text{negativt Maximum af } i_o \text{ og}$$

$$v = 360^\circ \quad — \quad i_o = 0 \text{ o. s. v.}$$

I Praksis søger man at konstruere sin Vekselstrøms-generator saaledes, at de Vekselspændinger, der afgives, forløbe efter Sinuskurver, og omendskønt det i Praksis er ugørligt under alle Forhold, ville vi i denne Bog, hvor det kun drejer sig om elementære Undersøgelser, altid antage, at de Vekselstrømme, vi beskæftige os med, følge Sinuskurver.

3. Effektiv Strøm og Spænding. Lad os antage, at der gennem en Leder med Modstanden w Ohm strømmer en Vekselstrøm, bestemt ved sit $i_{\max} = I$, saa vil der i denne Leder pr. Sekund udvikles en ganske bestemt Varmemængde, M .

Dersom en Jævnstrøm skulde udvikle den samme Varmemængde, maatte den i Henhold til Afsnit 12 i Bogens 1ste Del have en Størrelse i , bestemt ved

$$M = 0,24 \cdot i^2 \cdot w$$

og for at faa Overensstemmelse mellem Jævnstrøm og Vekselstrøm, har man indført Begrebet »Vekselstrømmens effektive Størrelse« og sat den lig med Størrelsen af en Jævnstrøm, der under de samme Forhold frembringer samme Varmeudvikling som Vekselstrømmen. Ovennævnte Vekselstrøm ($i_{\max.} = I$) har altsaa en effektiv Værdi, der er lig det af ovenstaaende Formel bestemte i.

I Praksis udtrykker man saaledes ikke Vekselstrømmen ved dens $i_{\max.}$, men man angiver den effektive Værdi. Ad matematisk Vej kan man finde Forholdet mellem Vekselstrømmens effektive og maximale Værdi; er Strømmens Forløb en Sinoide, faar man:

$$i_{\text{eff.}} = \frac{i_{\max.}}{\sqrt{2}} = i_{\max.} \cdot 0,707$$

I det Tilfælde, at Spænding og Strøm er i Fase med hinanden, hvilket som nævnt finder Sted, naar Ledningen er induktionsfri, vil man altid have

$$i_0 = \frac{P_0}{w} \quad (\text{Ohms Lov}),$$

hvor w er Ledningens ohmske Modstand.

Man har da ogsaa:

$$i_{\max.} = \frac{P_{\max.}}{w} \text{ og}$$

$$\frac{i_{\max.}}{\sqrt{2}} = \frac{\frac{P_{\max.}}{\sqrt{2}}}{w} \text{ eller}$$

$$i_{\text{eff.}} = \frac{\frac{P_{\max.}}{\sqrt{2}}}{w}$$

$$\frac{P_{\max.}}{\sqrt{2}} = P_{\max.} \cdot 0,707 = P_{\text{eff.}} \text{ er}$$

Spændingens effektive Størrelse og er lig med Størrelsen af den Jævnspænding, der i en Ledning med Modstanden w Ohm frembringer en Jævnstrøm paa $i_{\text{eff.}}$ Ampere.

Er der Tale om induktionsfri Ledninger og Brugs-
genstande (f. Eks. Glødelamper) gælder Ohms Lov, naar Vekselstrøm og Vekselspænding udtrykkes effektivt, og da dette altid sker i Praksis, vil man, naar det drejer sig om induktionsfri Anlæg og rene Belysningsanlæg,

der i Praxis kunne betragtes som induktionsfri, kunne benytte alle Formler, der i Jævnstrømsteknikken gælder for Varmedvikling, Spændingstab, Grenledninger, elektriske Strømmes gensidige Indvirkning paa hinanden og elektrisk Arbejde (Varmedvikling).

Til Maaling af effektive Strømstyrker og Spændinger har man særegne Amperemetre og Voltmetre, der senere ville blive omtalte.

4. **Faseforskydning og Spændingsdifferens.** Forinden vi gaa videre ville vi behandle et Par mere almindelige Opgaver i Vekselstrømsteknikken, nemlig 1) at bestemme den resulterende Vekselspænding, naar der i en Strømkreds optræder mere end een Vekselspænding eller elektromotorisk Kraft og 2) at bestemme Vekselspændingen mellem to Klemmer med hver sit Vekselpotential.

For begge Opgavers Vedkommende forudsættes der dog, at de optrædende Vekselspændinger have samme Periode.

Opgave 1. Lad os antage, at der mellem Klem-

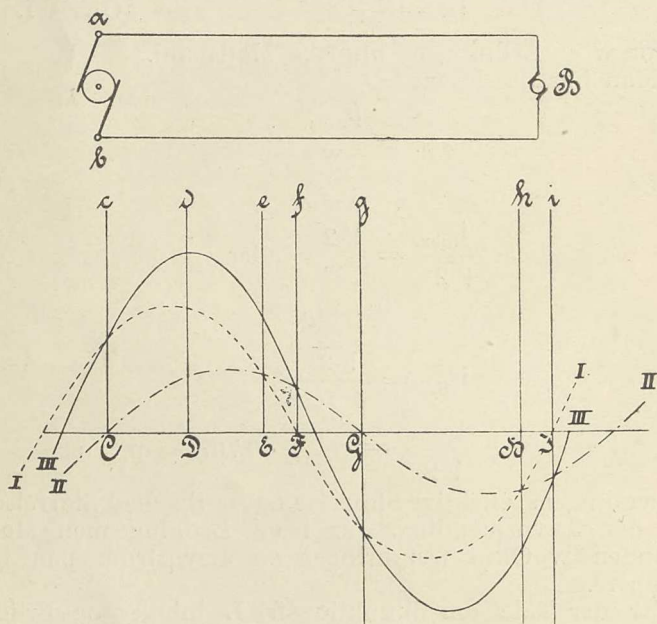


Fig. 3.

merne a og b, Fig. 3, vedligeholdes en Vekselspænding, bestemt ved Kurven I, og at Klemmerne forbindes gen-

nem en Ledning, hvori der ved B optræder en anden Vekselsspænding (elektromotorisk Kraft), fremstillet ved Kurven II, der vel har samme Periodetal som førstnævnte, men som ikke er i Fase med den. En saadan Vekselsspænding kunde f. Eks. tænkes frembragt ved en ved B indskudt Vekselstrømmaskine. Vi vide da fra Jævnstrømslæren, at elektromotoriske Kræfter, der er i Serie paa en Ledning, ganske simpelt maa summeres for at man kan faa den resulterende elektromotoriske Kraft, idet der dog maa regnes med Fortegn. Denne almindelige Regel maa ogsaa gælde her, men ifølge Sagens Natur maa Summationen foretages for hvert enkelt Øjeblik eller fra Øjeblik til Øjeblik, og paa den Maade kan den resulterende Vekselspændings-Kurve konstrueres.

Dersom vi f. Eks. oprejste de paa Grundlinien i Fig. 3 lodrette Linier c, d, e.....i, vil de Stykker, Kurverne I og II afskære, regnede ud fra Grundlinien, angive de respektive Vekselspændingers Værdi og Fortegn i de til de forskellige lodrette Linier svarende Øjeblikke. Stykkerne kunne let summeres (maal efter paa Figuren), og man faar derved Punkter af den resulterende Kurve III, der fremstiller den resulterende elektromotoriske Kraft, og med den vil følgelig den Vekselstrøm, der virkelig kommer til at gaa, være i Fase.

Den Kurve, der fremkommer, naar man summerer to Sinoider paa ovenanførte Maade er selv en Sinoide. Var der flere end to Vekselspændinger i samme Kredsløb kunde man nu summere III med een af disse, derved faa en ny Kurve, Sinoide, summere den med en af de tilbageværende og saadan videre, indtil den resulterende Kurve var naaet.

Den her beskrevne Maade er imidlertid temmelig langvarig, og vi skulle derfor vise en hurtigere og i mange Retninger mere overskuelig Methode. Det drejer sig nemlig ofte om kun at finde Vekselspændingernes og Vekselstrømmenes Amplituder og deres Faseforskydninger, medens deres momentane Værdier er af mindre Betydning for den foreliggende Opgave. — Man benytter da det saakaldte Vektordiagram.

Dersom man (se Fig. 4) har to paa hinanden vinkelrette Linier $o-x$ og $o-y$, som vi ville kalde x -Aksen og y -Aksen, samt en vilkaarlig tredie Linie $o-p$, vil det Stykke $o-p_1$, der fremkommer, naar man trækker Linien $p-p_1$ parallel med x -Aksen være lig med $o-p \sin v$, idet v er Vinklen fra $o-x$ til $o-p$. Herigennem lader

en Vekselspænding (og naturligvis ogsaa en Vekselsstrøm) sig fremstille. Man tænker sig o—p afsat lig

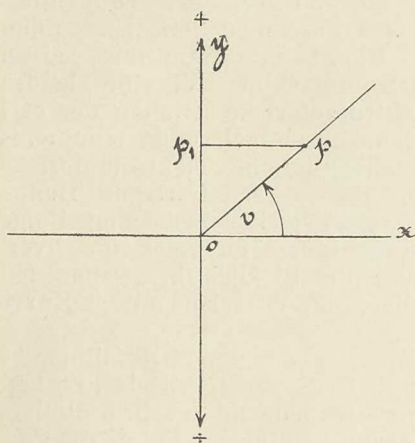


Fig. 4.

med Amplituden eller den maximale Værdi af Vekselspændingen, og at man drejer den om o netop saa hurtigt, at den udfører en Omdrejning i samme Tid som en Periode varer. For hver Stillings af o—p kan man konstruere og maale det tilsvarende o—p₁, hvorved man faar de øjeblikkelige Værdier af Vekselspændingen. Man ser, at Spændingens Værdier ere Nul, naar o—p, der kaldes

Vektoren (hvoraf igen

Fremstillingen har faaet Navnet Vektordiagrammet) passerer gennem x-Axen, medens de maximale Værdier fremkommer, naar Vektoren passerer y-Axen. To eller flere Spændinger, der er i Fase, maa fremstilles ved 2 eller flere Vektorer, der falde i samme rette Linie fra o. Er Spændingen ikke i Fase, viser det sig derved, at de paagældende Vektorer danne Vinkler med hinanden. Vinklerne repræsenterer en Tid, hele Omdrejningen 360° er jo Tiden for en hel Periode, og naar man, hvad der er blevet almindelig Sprogbrug, taler om, at Spændinger og Strømme ere faseforskudte en Vinkel for hinanden, maa dette opfattes billedligt, da det ikke fysisk set giver nogen Mening.

I Fig. 5 ses to faseforskudte Vekselspændinger fremstillede ved deres Vektorer o—p og o—q, mellem hvilke der er den uforanderlige Vinkel φ . Vektorsystemet tænkes drejet rundt modsat Viseren paa et Ur. Isaafald er o—q en Vekselspænding, der er forskudt bagud for o—p, der jo vil naa et bestemt Punkt af Perioden, f. Eks. sit positive Maximum, en vis Tid førend o—q, nemlig den Tid det varer for Systemet at dreje sig Vinklen φ . Dersom en hel Periode varer $\frac{1}{50}$ Sekund, er denne Tid $\frac{1 \cdot \varphi}{50 \cdot 360}$, hvor φ maa udtrykkes i Grader.

I Praksis regner man ofte med en Middelfaseforskydning mellem Strøm og Spænding bestemt ved

$\cos \varphi = 0,8$, hvilket giver $\varphi = \text{ca.}$

36°. Den Tid Strømmen er forskudt for Spændingen er isaa

$$\text{fald } \frac{1 \cdot 36}{50 \cdot 360} =$$

$\frac{1}{500}$ Sekund.

Det volder ingen Vanskelighed ved Hjælp af Vektordiagrammet (Fig 5) at finde og summere de øjeblikkelige Værdier af de to faseforskudte Spændinger $o-p$ og $o-q$;

man trækker Linierne $p-p_1$ og $q-q_1$ parallelle med x -Aksen, hvorved de øjeblikkelige Værdier lig med $o-p_1$ og $o-q_1$ findes, og afsætter man derpaa $p_1-r_1 = o-q_1$, vil Stykket $o-r_1$ være den søgte Sum. Men endnu bekvemmere vilde det være, hvis man kunde finde en resulterende Vektor, der da vilde vise alle den resulterende Spændings Forhold. En saadan resulterende Vektor lader sig ogsaa let finde. Matematikken lærer, at den findes ved at trække $p-r \neq$ og $= o-q$, saaledes at $p-r$ gaar i samme Retning som $o-q$, hvorefter $o-r$ netop vil være den omtalte Resultant.

Punktet r kunde ogsaa findes ved at man trak $q-r \neq$ og $= o-p$. Figuren $o p r q$ bliver et Parallelogram, og man ser, at Konstruktionen er den samme, der anvendes ved Sammensætning af Kræfter (Kræfternes Parallelogram).

At udføre den beskrevne Konstruktion, der giver os et Middel til paa en Maade at summere Størrelser, der med samme Periodetal veksler efter Sinoider, kaldes at summere eller addere geometrisk.

Dersom der er flere end 2 Vekselspændinger i Strømløbet i Fig. 3, summerer man geometrisk Resultanten af de 2 først behandlede Vektorer med en tredje, den

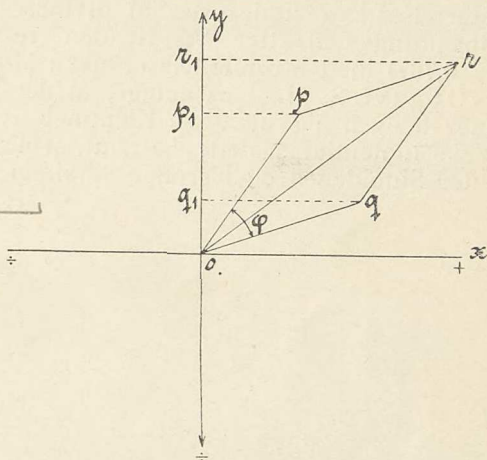


Fig. 5.

nye Resultant med en fjerde o. s. v., indtil man naar Slutningsresultanten. Den Vekselstrøm, der sluttelig gaar fra a til b er i Fase med denne Resultant, og dens Størrelse kan findes ved at dividere den resulterende Spændings effektive Værdi (den resulterende Vektor $\times 0,707$) med Strømløbets ohmske Modstand.

Opgave 2. Lad os antage, at der er givet 2 Klemmer a og b og at disse Klemmer hver for sig eje et Vekselpotential, saaledes bestemt, at a's Potential veksler efter Sinoiden a og b's efter Sinoiden i b i Fig. 6. De

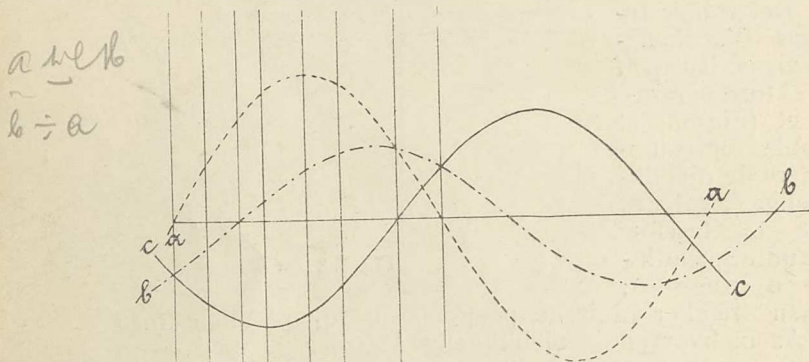


Fig. 6.

to Vekselpotentialer have samme Periodetal. Opgaven er at bestemme den Vekselspænding, der optræder mellem de to Klemmer. I Jævnstrømlæren have vi set, at man finder Spændingen mellem 2 Klemmer, hvis Potentialer man kender, ved at subtrahere den ene Klemmes Potential fra den andens, og drejer det sig om Vekselpotentialer og Vekselspændinger, maa der følges den samme Fremgangsmaade, idet man dog ifølge Sagens Natur maa foretage Subtraktionen fra Øjeblik til Øjeblik. Lad os antage, at det i det foreliggende Tilfælde er Vekselspændingen fra a til b, der skal findes; man maa da stadig trække a's øjeblikkelige Potential fra b's, hvorved man maa passe at regne med Fortegn. Er saaledes a's Potential i et givet Øjeblik $\div 195$ Volt og b's i samme Øjeblik $+ 95$ Volt, faar man Spændingen fra a til b i det paagældende Øjeblik

$$+ 95 \div (\div 195) = 95 + 195 = + 290 \text{ Volt.}$$

Gennemføres denne Subtraktion for Sinoiderne a og b i Fig. 6 (maal efter paa Figuren) faaes en ny Sinoide c,

Spændingskurven, og det ses, at denne nye Sinoide ikke er i Fase med nogen af Potentialkurverne.

Til Løsning af den foreliggende Opgave er Vektor-diagrammet ogsaa meget bekvemt. Fig. 7 viser to numerisk ligestore Vekselpotentialer $o-a$ og $o-b$, der

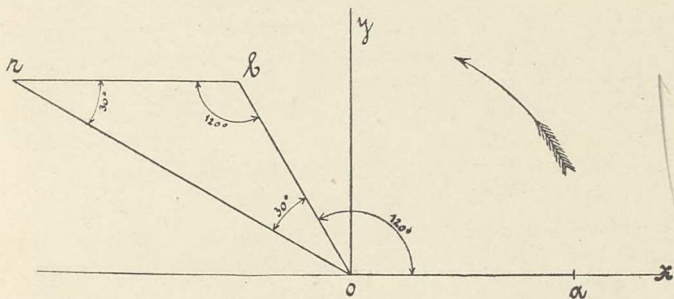


Fig. 7.

ere forskudte 120° for hinanden. Vekselpotentialerne antages at optræde ved to Klemmer respektive A og B og Vekselspændingen fra A til B findes ved at man afsætter Stykket $b-r \neq$ og $= o-a$, men saaledes, at $b-r$ gaar i modsat Retning af $o-a$, og $o-r$ vil herefter være den søgte Spændings Vektor, af hvilken man baade kan se Vekselspændingens Størrelse og Tidsbeliggenhed.

Da vi senere under Drejestrøm kommer til at beskæftige os med Vekselpotentialer, der netop ere forskudte 120° for hinanden, ville vi her med det samme angive Forholdet mellem de i Fig. 7 optrædende Potentialer og den deraf følgende Spænding. I Trekanten $o-r-b$ er Vinklen ved b 120° (nemlig = Vinklen mellem $o-a$ og $o-b$) og Vinklerne ved o og r hver 30° , idet Trekanten er ligebenet, $o-b$ er lig $b-r$. Heraf følger at

$$\overline{o-r} = 2 \overline{r-b} \cos 30^\circ, \text{ og idet } \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\overline{o-r} = \frac{2 \overline{r-b} \sqrt{3}}{2} = \overline{r-b} \sqrt{3} = \overline{r-b} \cdot 1,73.$$

Da de effektive Potentialer og Spændinger findes ved at dividere de respektive Vektorer med Konstanten 0,707, gælder den udledede Formel ogsaa for de effektive Værdier.

Vi gaa herefter over til at undersøge hvorledes en Vekselstrøm forløber i en Ledning, hvori der optræder saakaldt induktiv Modstand, det vil sige Modstand, hvori der findes Selvinduktion.

Lad os antage, at der gennem Ledningen mellem Klemmerne a og b, Fig. 8, strømmer en Vekselstrøm,

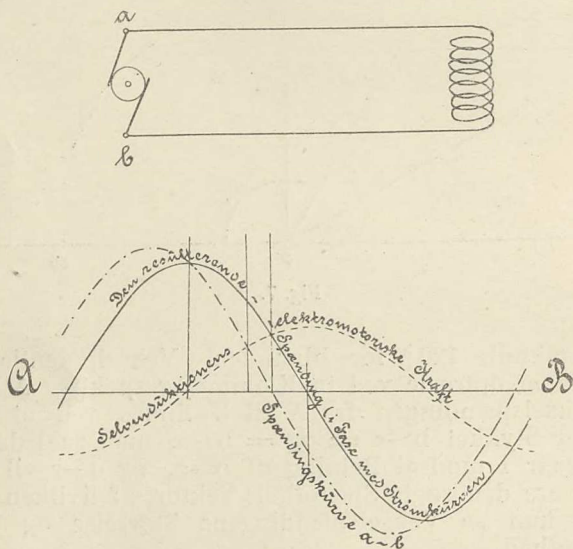


Fig. 8.

bestemt ved den tegnede resulterende Spændingskurve, med hvilken Strømkurven jo er i Fase, at Ledningens samlede ohmske Modstand er m Ohm, og at Ledningen paa Midten er viklet til en Solenoide, der jfr. Afsnit 16 i Bogens 1ste Del særlig giver Anledning til Selvinduktion. Af nævnte Afsnit vil man tillige se, at Selvinduktionen er en Følge af det af Strømmen frembragte Magnetfelt, og idet vi til en Begyndelse forudsætte, at der ikke findes Jern i Solenoiden, vil Antallet af de Kraftlinier, Strømmen frembringer, i hvert Øjeblik være proportionalt med det i samme Øjeblik tilstedeværende Antal Amperevindinger, altsaa være proportionalt med den øjeblikkelige Strømstyrke. Endvidere ses det, at den elektromotoriske Kraft, der frembringes af Selvinduktion, er proportional med Ændringerne pr. Sekund af Kraftlinieantallet, og den er saaledes ogsaa

proportional med Ændringerne pr. Sekund af Strømstyrken, det vil sige, den elektromotoriske Kraft, E_i , der hidrører fra Selvinduktionen, kan numerisk udtrykkes ved:

$$E_i = L \times \text{Strømhændringen pr. Sekund.}$$

Om E_i 's Retning lærer Afsnit 16 i 1ste Del, at den gaar imod Strømmen, naar denne tager til og med Strømmen, naar denne tager af, det vil sige, Selvinduktionen virker altid hemmende paa Strømforholdene, som de vilde forløbe, hvis der ingen Selvinduktion eksisterede.

Betragter man Udtrykket

$$E_i = L \times \text{Strømhændringen pr. Sekund,}$$

og antages Strømhændringen at være 1 Ampère pr. Sekund (lad os antage, at det foregik paa den Maade, at Strømmen (Jævnstrøm) i Løbet af 1 Sekund ganske jævnt gik fra 0 til 1 Ampère) saa vilde E_i hele dette Sekund igennem have Værdien L . Hver Solenoide har sit bestemte L , der kaldes Solenoidens Selvinduktionskoefficient, der saaledes kan defineres som den elektromotoriske Kraft, der fremkaldes gennem Selvinduktionen, naar Strømhændringen pr. Sekund er 1 Ampère.

Enheden for Selvinduktionskoefficienten kaldes en »Henry«.

Betragter man den resulterende Spændings Kurve, med hvilken Strømkurven jo er i Fase, i Fig. 8, vil man se, at Strømhændringen pr. Sekund er størst hvor Kurven skærer Grundlinien A—B, hvorimod den i Strømkurvens Maximumspunkter er mindst, nemlig lig med Nul. Heraf følger, at den Kurve, der angiver Forløbet af den fra Selvinduktionen hidrørende elektromotoriske Kraft, maa have Nulværdier i de Øjeblikke, hvor Strømkurven har sine Maximumsværdier og Maximumsværdier, hvor Strømkurven har sine Nulværdier.

Mathematiken lærer os, at Kurven under Forudsætning af, at Strømkurven er en Sinoide, ogsaa maa blive en Sinoide, og af den ovenfor angivne Regel om Selvinduktionens Retning følger det herefter, at den maa have et Forløb, som den punkterede Kurve i Fig. 8. Det ses, at den er forskudt nøjagtigt $\frac{1}{4}$ Periode bagud for Strømkurven, eller hvis man anvendte Vektordiagrammet, vilde dens Vektor være forskudt 90° bagud for den resulterende Vektor (Strømvektoren). Dersom man kendte Størrelsen af Selvinduktionens Vektor (dens

maximale Værdi $S_{\max.}$) vilde dens Forhold være fuldstændig bestemte. Denne Værdi kan imidlertid findes, idet man kan finde Strømændringens Maximum.

Lad os antage, at Linien o—i i Fig. 9 forestiller Vek-

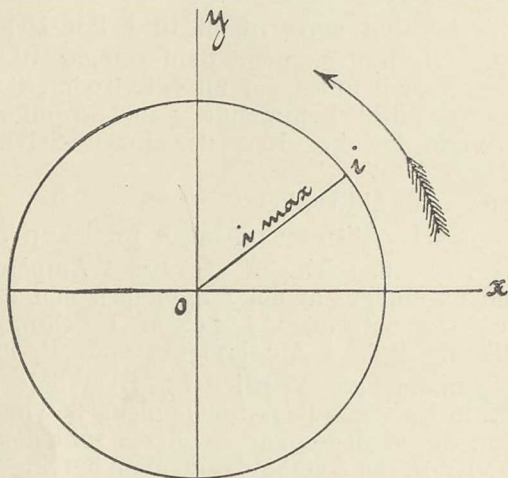


Fig. 9.

toren for den Strøm, der gaar mellem Klemmerne a og b i Fig. 8. Man ved da, at Strømændringen pr. Sekund er størst i det Øjeblik Vektoren passerer x-Axen, og med Henblik paa den Maade, hvorpaa Strømmens øjeblikkelige Værdier findes, ses det uden Vanskelighed, at den netop vil være lig den Hastighed, hvormed Punktet i passerer x-Axen. Denne Hastighed er lig den Vej længde Punktet i løber pr. Sekund og maa altsaa være lig den tegnede Cirkels Periferi ($2 \pi i_{\max.}$) multipliceret med det Antal Gange Vektoren løber rundt pr. Sekund, eller, da Vektoren løber 1 Gang rundt for hver Periode, multipliceret med Antallet af Perioder pr. Sekund.

Er Antallet af Perioder pr. Sekund, Periodetallet, $= n^*)$ faaes altsaa:

$$\text{Strømændringens Max.} = 2 \pi n i_{\max.}$$

hvoraf følger, at Selvinduktionens Maximum

$$S_{\max.} = L \times 2 \pi n i_{\max.}$$

Størrelsen $2 \pi n$ betegnes ofte ved det græske Bogstav ω og kaldes Vektorens Vinkelhastighed, der angiver Hastig-

*) Periodetallet betegnes ofte, saavel i Bøger som paa Brugs-genstande, ved Tegnet: ω .

heden af det Punkt af Vektoren, der ligger i Afstanden 1 fra Omdrejningspunktet 0.

Man kan nu ved Hjælp af Vektordiagrammet danne sig en fuldstændig Oversigt over Spændings- og Strømforskelene i Opstillingen i Fig. 8.

Der optræder i Kredsløbet 2 Vekselspændinger, nemlig den oprindelige Vekselspænding, der holdes mellem a og b, og den vekslende elektromotoriske Kraft, der kommer fra Selvinduktionen. Disse to fremstilles i Vektordiagrammet ved 2 Vektorer og summeres geometrisk til en Spændingsresultant, med hvilken den resulterende Strøms Vektor er i Fase, og da Størrelsen af Strømmens Vektor, $i_{\max.}$, findes ved at dividere Spændingsresultanten med Strømkredsens samlede ohmske Modstand, m , faaes:

$$\text{Spændingsresultanten} = i_{\max.} \times m.$$

Yderligere ved man, at Selvinduktionens Vektor maa staa vinkelret paa Strømvektoren (samme Linie som Spændingsresultanten), og det endelige Vektordiagram vil herefter komme til at se ud som Fig. 10.

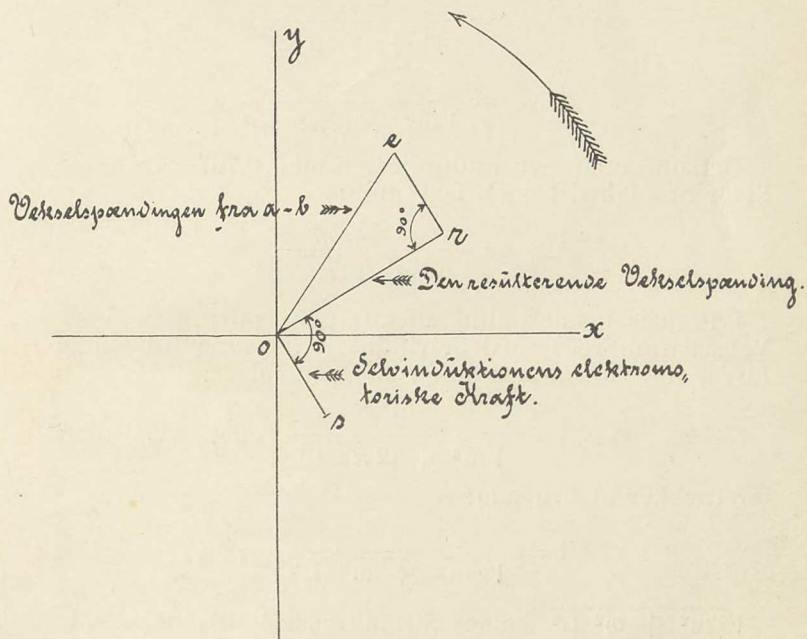


Fig. 10.

o—e fremstiller den mellem a og b værende Veksel-spænding, o—s er den fra Selvinduktionen stammende vekslende elektromotoriske Kraft og o—r er Spændings-resultanten.

o—e er givet, f. Eks. $= e_{\max.}$, o—s $= \overline{e-r} = L \times 2\pi n i_{\max.}$ (hvor L og n antages givne) og o—r $= m \times i_{\max.}$

Hvordan disse tre optrædende Vektorers Længder, der afhænge af e, L, n og m, end blive, ville de i Diagrammet altid danne en retvinklet Trekant, og man maa da i Henhold til den pythagoræiske Læresætning altid have:

$\overline{o-e}^2 = \overline{o-r}^2 + \overline{r-e}^2$ eller naar de ovenstaaende Værdier indsættes:

$$e_{\max.}^2 = m^2 \cdot i_{\max.}^2 + (2\pi n L)^2 \cdot i_{\max.}^2$$

hvoraf $i_{\max.}$ kan bestemmes; man har:

$$i_{\max.}^2 = \frac{e_{\max.}^2}{m^2 + (2\pi n L)^2}$$

$$i_{\max.} = \frac{e_{\max.}}{\sqrt{m^2 + (2\pi n L)^2}}$$

Dersom man her multiplicerer med 0,707 paa begge Sider af Lighedstegnet, faar man:

$$i_{\text{eff.}} = \frac{e_{\text{eff.}}}{\sqrt{m^2 + (2\pi n L)^2}}$$

I Praksis maales altid effektivt; Formlen, der i en Vekselstrømkreds med Selvinduktion, svarer til Ohms Lov i Jævnstrøm, ser derfor ud som følger:

$$i = \frac{e}{\sqrt{m^2 + (2\pi n L)^2}} \quad \text{eller hvis man}$$

foretrækker at bruge ω :

$$i = \frac{e}{\sqrt{m^2 + \omega^2 L^2}}$$

$\sqrt{m^2 + \omega^2 L^2}$ kaldes Strømkredsens tilsyneladende Modstand.

Formlen kan ogsaa omskrives til:

$$i = \frac{e}{m} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega \cdot L}{m}\right)^2}}$$

hvoraf det ses, at Selvinduktionen formindsker Strømmen, saaledes at denne bliver mindre, end hvis den samme Spænding e virkede paa en induktionsfri Leder.

Det bemærkes, at hvor der herefter i Bogen er benyttet Bogstaver uden Index til Betegnelse af Spændinger og Strømstyrker, menes der effektive Værdier.

Dersom man tegner en retvinklet Trekant ligedannet med $o r e$, men med Sider, der dannes ved at dividere $o r e$'s Sider med $i_{\max}$, faaes, idet $e_{\max} = i_{\max} \cdot \sqrt{m^2 + \omega^2 L^2}$ den i Fig. 11 viste Trekant.

$\sqrt{m^2 + \omega^2 L^2}$ kaldes Strømkredsens Impedans eller tilsyneladende Modstand.

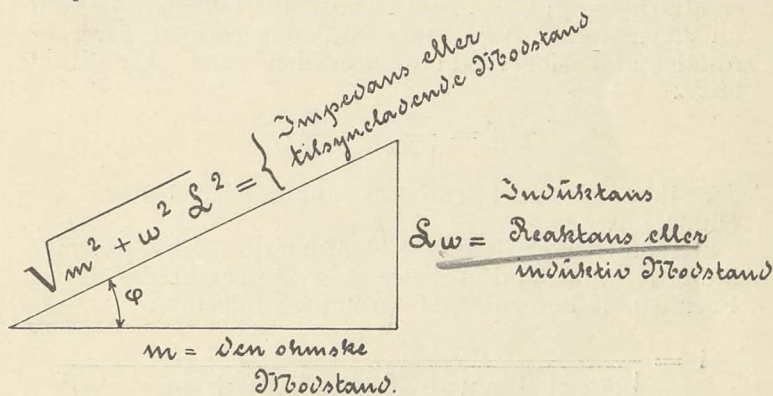


Fig. 11.

$L\omega$ kaldes Induktans, Reaktans eller induktiv Modstand, og m er Strømkredsens ohmske Modstand. Disse Benævnelser benyttes ofte i den elektrotekniske Litteratur, man husker let deres Betydning ved at indprente sig Fig. 11.

Det vil ses, at den resulterende Strøm er faseforskudt bagud for Spændingen fra a til b . Faseforskydningsvinklen er Vinklen mellem o — ro og o — e Fig. 10. Den bestemmes let, naar Fig. 11 erindres; kaldes den φ har man:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{L \cdot \omega}{m}$$

$$\cos \varphi = \frac{m}{\sqrt{m^2 + \omega^2 L^2}}$$

$$\sin \varphi = \frac{L \cdot \omega}{\sqrt{m^2 + \omega^2 L^2}}$$

Af Udtrykket $\operatorname{tg} \varphi = \frac{L \cdot \omega}{m}$ ses det, at Faseforskydningen bliver større jo større Selvinduktionen er i Forhold til den ohmske Modstand. Dersom den ohmske Modstand bliver forsvindende i Forhold til Selvinduktionen, bliver $\operatorname{tg} \varphi = \infty$ eller $\varphi = 90^\circ$. Strømmen er da forskudt $\frac{1}{4}$ Periode for Spændingen.

Den udledede Formel

$$i = \frac{e}{\sqrt{m^2 + (2\pi n L)^2}}$$

er almenyldig; den gælder saavel for Vekselstrøm som for Jævnstrøm. Har man med Jævnstrøm at gøre, er Antalet af Perioder Nul og Formlen gaar over til at blive:

$$i = \frac{e}{\sqrt{m^2}} = \frac{e}{m},$$

der ikke er andet end det almindelige Udtryk for Ohms Lov.

Dersom der er flere end et Apparat, f. Eks. tre, med induktiv Modstand i Serie i en Strømkreds, bliver Formlen til Beregning af Strømmen følgende:

$$i = \frac{e}{\sqrt{(m_1 + m_2 + m_3)^2 + \omega^2 (L_1 + L_2 + L_3)^2}}$$

hvor m_1 og L_1 er henholdsvis den ohmske Modstand og Selvinduktionskoefficienten for 1' Apparat, m_2 og L_2 det tilsvarende for det andet Apparat o. s. v.

Formlens Rigtighed ses af følgende: Strømmen i passerer alle Apparater, da de ere i Serie; i Vektordiagrammet ere alle de enkelte Apparaters Strømvektorer i Fase med den resulterende Spændingsvektor og denne maa have Størrelsen $i_{\max.} (m_1 + m_2 + m_3 \dots \dots)$. Alle Vektorerne, der fremstiller de fra Selvinduktionen stammende elektromotoriske Kræfter maa være vinkelrette paa den resulterende Spændingsvektor, altsaa ogsaa i Fase med hinanden. Diagrammet kommer derved til at se ud som Fig. 12.

$e_{\max.}$ er adderet geometrisk med $L_1 \cdot \omega \cdot i_{\max.}$ til o—c.
denne atter med $L_2 \cdot \omega \cdot i_{\max.}$ til o—b og denne sluttelig
med $L_3 \cdot \omega \cdot i_{\max.}$ til o—a, der er lig

$$i_{\max.} (m_1 + m_2 + m_3).$$

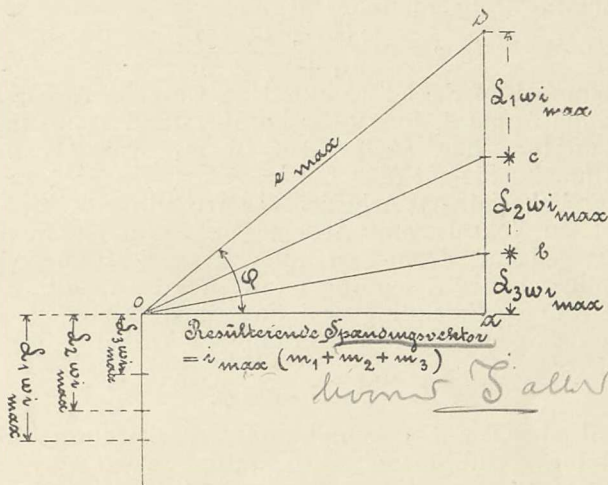


Fig. 12.

Trekanten o a d er altid retvinklet og man har:

$$e_{\max.}^2 = i_{\max.}^2 (m_1 + m_2 + m_3)^2 + i_{\max.}^2 \cdot \omega^2 (L_1 + L_2 + L_3)^2,$$

hvoraf

$$i_{\max.} = \frac{e_{\max.}}{\sqrt{(m_1 + m_2 + m_3)^2 + \omega^2 (L_1 + L_2 + L_3)^2}}$$

hvoraf atter ved Multiplikation med 0,707:

$$i = \frac{e}{\sqrt{(m_1 + m_2 + m_3)^2 + \omega^2 (L_1 + L_2 + L_3)^2}}$$

Selve Konstruktionen af Diagrammet, hvorved Strømkredsens tilsyneladende Modstand (Impedansen) findes, bestaar i at konstruere en retvinklet Trekant, hvis ene Kathete er $m_1 + m_2 + m_3$, medens den anden er $\omega (L_1 + L_2 + L_3)$, hvilket ikke er vanskeligt, da de nævnte Størrelser m og L samt ω er givet. Hypotenusen er den søgte Impedans og

$$= \sqrt{(m_1 + m_2 + m_3)^2 + \omega^2 (L_1 + L_2 + L_3)^2}$$

Hvis man maaler Hypothenusen og derved finder den lig h , har man altsaa:

$i = \frac{e}{h}$, hvoraf atter i kan bestemmes, da e er givet.

Faseforskydningen findes af

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega (L_1 + L_2 + L_3)}{m_1 + m_2 + m_3}$$

Dersom et af de i Strømkredsen værende Apparater, f. Eks. det Apparat, hvis ohmske Modstand er m , ingen Selvinduktion har, sættes den til m_1 svarende Selvinduktionskoefficient (her L_1) = Nul.

5. **En Vekselstrøms Arbejde.** Vi have tidligere (Punkt 3) set, at en Vekselstrøms Arbejde pr. Sekund (Effekten) ligesom ved Jævnstrøm kan udtrykkes ved Strømstyrken multipliceret med Spændingen (alt effektivt maalt), naar blot Strøm og Spænding er i Fase med hinanden. Er Strøm og Spænding faseforskudte en Vinkel φ gælder Formlen:

$$E = e \cdot i \cdot \cos \varphi.$$

E vil altsaa ved faseforskudte Vekselstrømme altid være mindre end Strømstyrken multipliceret med Spændingen, idet $\cos \varphi$ altid er mindre end 1.

At Formlen: $E = e \cdot i \cdot \cos \varphi$ er rigtig, kan ses paa følgende Maade.

Lad os antage, at vi have to Vekselstrømgeneratorer, I og II, Fig. 13, der ere nøjagtig ens i enhver Retning,

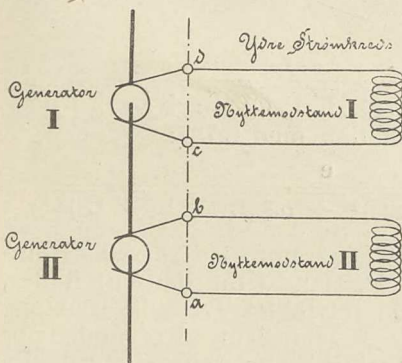


Fig. 13.

Strømkreds bliver en konstant Faseforskydningsvinkel, φ , mellem Strøm og Spænding. Under de foreliggende

at deres Ankre ere fastgjorte til samme Aksel, men drejede saaledes for hinanden, at den ene leverer Spændingsmaximum, naar den anden leverer Spændingen Nul, og at Generatorerne leverer Strøm til hver sin af to Nyttomodstande, 1 og 2, der ogsaa anlages at være nøjagtig ens og hver i Besiddelse af saa megen Selvinduktion, at der i hver

Forhold leverer I altsaa samme Energimængde til 1 som II til 2, ligesom Spændingerne og Strømstyrkerne mellem Klemmerne a og b og c og d ere respektive lige store, men i Følge de to Ankres Stilling til hinanden forskudte $\frac{1}{4}$ Periode for hinanden. — Den beskrevne Anordning er valgt, fordi man uden Vanskelighed ved Hjælp af Vektordiagrammet kan finde et Udtryk for de to Generators samlede Effekt. Den til hver enkelt Nytemodstand leverede Effekt vil herefter være dette Udtryk divideret med 2.

I Fig. 14 forestiller $o-e_I$ den maximale Spænding, $e_{\max.}$, og $o-i_I$ den maximale Strømstyrke, $i_{\max.}$, mellem

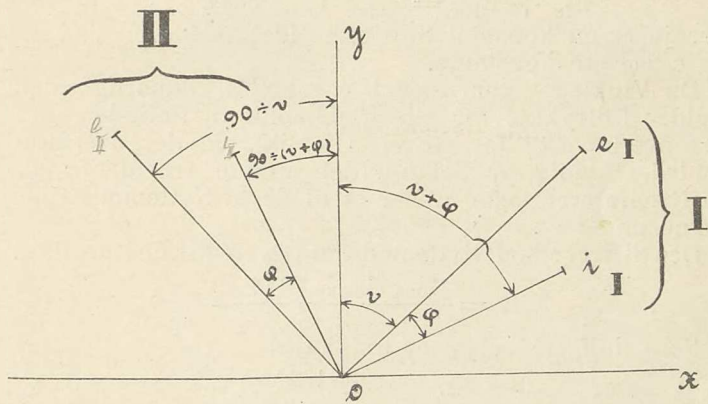


Fig. 14.

Klemmerne c og d (Generator I) i en aldeles vilkaarlig Stilling af Perioden, svarende til den vilkaarlige Vinkel v mellem y -Aksen og $o-e_I$. I dette vilkaarlige Øjeblik ere de øjeblikkelige Værdier af Spænding og Strømstyrke henholdsvis $e_{\max.} \cos v$ og $i_{\max.} \cos (v + \varphi)$ og den øjeblikkelige Effekt, det vil sige det Arbejde, der vilde blive udført pr. Sekund, hvis Spænding og Strøm forbleve konstante, maa analogt med den Formel, der gælder for Jævnstrøm, være:

$$E_{I\theta} = e_{\max.} i_{\max.} \cos v \cos (v + \varphi).$$

Dersom Generatoren II' Spændings- og Strømvektor skal optegnes, svarende til det samme Øjeblik, som er behandlet for Generator I' Vedkommende, maa det ifølge Ankrenes Stilling til hinanden ske gennem Linierne $o-e_{II}$ ($=e_{\max.}$) og $o-i_{II}$ ($=i_{\max.}$), der danne en Vinkel

paa 90° ($\frac{1}{4}$ Periode) med henholdsvis $0 - e_I$ og $0 - i_I$. De til samme Øjeblik svarende Værdier af Generator II' Spænding og Strømstyrke ville altsaa blive henholdsvis

$$e_{\max.} \cos(90 \div v) = e_{\max.} \sin v \quad \text{og}$$

$$i_{\max.} \cos(90 \div (v + \varphi)) = i_{\max.} \sin (v + \varphi)$$

og den øjeblikkelige Effekt

$$E_{II\theta} = e_{\max.} i_{\max.} \sin v \cdot \sin (v + \varphi).$$

De to Generatorers samlede øjeblikkelige Effekt bliver herefter:

$$E_{I\theta} + E_{II\theta} = e_{\max.} i_{\max.} (\sin v \sin (v + \varphi) + \cos v \cos (v + \varphi))$$

eller, da $\sin v \cdot \sin (v + \varphi) + \cos v \cdot \cos (v + \varphi) = \cos (v + \varphi - v) = \cos \varphi$,

$$E_{I\theta} + E_{II\theta} = e_{\max.} i_{\max.} \cos \varphi,$$

der jo er en konstant Størrelse, idet baade $e_{\max.}$, $i_{\max.}$ og $\cos \varphi$ ere konstante.

Da Vinklen v som nævnt er aldeles vilkaarlig valgt, gælder Udtrykket for ethvert Øjeblik af Perioden (altsaa overhovedet for ethvert Øjeblik), og der overføres saaledes stadig pr Sekund det samme Arbejde fra de to Generatorer tagne under et til de to Nytttemodstande tagne under et.

Den til hver enkelt Nytttemodstand leverede Effekter altsaa

$$E = \frac{e_{\max.} i_{\max.} \cos \varphi}{2}$$

Som tidligere oplyst er imidlertid

$$e_{\max.} = e_{\text{eff.}} \sqrt{2}$$

$$i_{\max.} = i_{\text{eff.}} \sqrt{2}, \text{ hvoraf}$$

$$E = \frac{e_{\text{eff.}} i_{\text{eff.}} \sqrt{2} \cdot \sqrt{2} \cos \varphi}{2} \quad \text{eller}$$

$$E = e i \cos \varphi.$$

Den ovenfor anførte Formel er altsaa rigtig.

Da $e \cdot \cos \varphi$ er lig den resulterende Spænding (se Fig. 10) kan Formlen skrives som:

$$E = i \times \text{den resulterende Spænding.}$$

og under Henblik til den for Jævnstrøm gældende Formel for Effekten kaldes den resulterende Spænding derfor ofte for den virksomme Spænding.

Til nærmere Forstaaelse af, hvad der foregaar i Strømkredsen, ville vi betragte Fig. 15, der fremstiller en Vekselspænding og en Vekselstrøm, der ere faseforskudte for hinanden. Strømmen tænkes at forløbe mellem Klemmerne a og b, mellem hvilke Vekselstrømgeneratoren stadig vedligeholder den ved Spændingskurven givne Spænding.

De sammenhørende Værdier af de øjeblikkelige Spændinger og Strømstyrker ere multiplicerede, og Resultaterne ere optegnede i Kurven a p b q c r d.

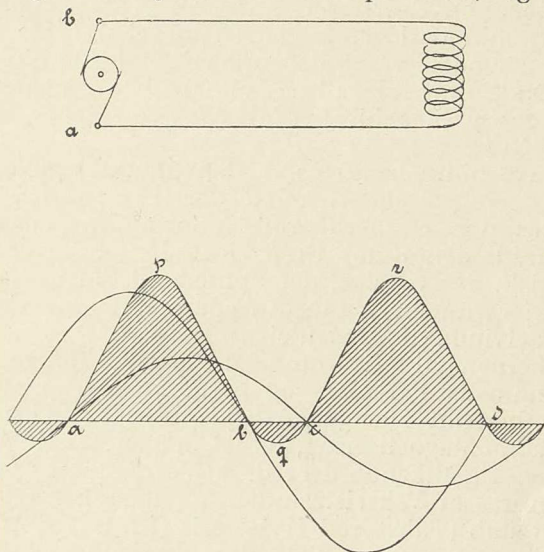


Fig. 15.

taterne ere optegnede i Kurven a p b q c r d. Der maa ved Beregningen og Afsætningen stadig regnes med Fortegn, det vil sige, hvis Strøm og Spænding have modsat Fortegn, bliver Resultatet negativt, og den fundne Værdi maa afsættes nedad fra Grundlinien. Det er nødvendigt for at faa et Overblik over Effektens Forløb saaledes at skelne mellem positivt og negativt Arbejde. I de Øjeblikke af Perioden, hvor Spænding og Strømstyrke have samme Fortegn, afgives der Arbejde fra den indre Strømkreds til den ydre, medens der i de Øjeblikke, hvor Strøm og Spænding have modsatte Fortegn, afgives Arbejde fra den ydre til den indre Strømkreds, altsaa her til Generatoren, det vil sige Strømmen gaar imod dennes elektromotoriske Kraft, den virker som Motor.

Arealet, der indesluttet imellem Nullinien og Kurven a p b, vil være et Maal for det i Tiden fra a til b til den ydre Strømkreds leverede Arbejde, ligeledes vil Arealet b q c under Nullinien være et Maal for det i Tiden fra b til c til Generatoren tilbageleverede Arbejde, og det Arbejde, der i en halv Periode afgives til den ydre Strømkreds, bliver saaledes Differencen mellem de skraverede Arealer a p b og b q c.

Jo større Faseforskydningen er, des større bliver Arealet bqc i Forhold til apb ; er Faseforskydningen $\frac{1}{4}$ Periode bliver Arealerne ligestore, det vil sige, den ydre Strømkreds leverer lige saa meget Arbejde tilbage, som den modtager, og det samlede Arbejde bliver saaledes Nul, svarende til $\varphi = 90^\circ$ i Formlen: $E = e \cdot i \cdot \cos \varphi$, der bliver Nul for $\varphi = 90^\circ$, idet $\cos 90^\circ = \text{Nul}$.

Vi have hidtil tænkt os, at Selvinduktionen opstod i Solenoider og deslige, i hvilke der ikke fandtes Jern.

Findes der en Jernkerne i Solenoiden, forstærkes Selvinduktionen i høj Grad, idet Jernet bliver stærkt magnetisk, det vil sige, der optræder i Solenoiden flere Kraftlinier end før, og hele Apparatet faar saaledes en større Selvinduktionskoefficient.

Jernkernen vil blive ommagnetiseret 2 Gange i hver af Strømmens Perioder, og hertil vil der medgaa en ganske bestemt Mængde Arbejde, der er afhængig af den Grad af Magnetisering, Jernet opnaar. Dette Arbejde, der giver sig tilkende derved, at Jernkernen opvarmes, maa leveres af Vekselstrømmen og maa betragtes som et Energital (Tabet ved Hysteresis (jfr. I. Del, Afsnit 23, Side 66)). — Et andet Tab, der fremkommer, saasnart der findes Metal (altsaa ogsaa Jernkernen) i et vekslende Felt, er Tabet ved Hvirvelstrømme. For at gøre dette Tab saa lille som muligt lamelleres Jernkernen i Veksel-

strømmagneter altid paa samme Maade som Kernen i en Jævnstrømdynamos Anker.

Til nærmere Forklaring af disse Forhold tjener følgende

Vi have tidligere set, hvorledes den resulterende Vekselsspænding, der opstaar ved Klemmerne af en induktiv Modstand, egentlig fremkommer som den geo-

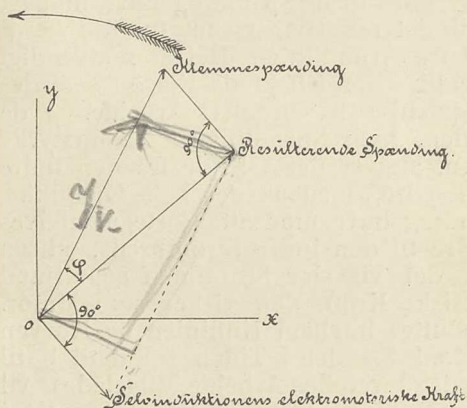


Fig. 16.

metriske Sum af 2 Addenter, Komponenter, nemlig:

- 1) den Klemmerne tilførte Vekselsspænding, og

2) den fra Selvinduktionen hidrørende vekslende elektromotoriske Kraft, der staar vinkelret paa den resulterende Vekselspænding (se Fig. 16).

Paa en lignende Maade tænker man sig Strømmen som geometrisk Sum (Resultant) af 2 Komponenter.

Man har:

$E = i e \cos \varphi$, der ogsaa kan skrives: $E = e (i \cos \varphi)$ og kaldes, med Henblik til den for Jævnstrøm gældende Formel for Effekten, $i \cos \varphi$ for Strømmens virksomme Komponent, Nyttekomponent eller Wattkomponent.

Man tænker sig herefter Strømmen som Resultant af Nyttekomponenten og en Komponent, der staar vinkelret paa denne.

Fig. 17 viser dette. Den resulterende Strøm, i er op-løst i de 2 Komponenter, den ene, $i_n =$ Nyttekomponenten $= i \cos \varphi$, faar samme Retning (er i Fase med) Klemmespændingen, og den anden, i_w , staar vinkelret paa denne.

Da hele Arbejdet pr. Sekund, som Vekselsstrømmen udfører i Nyttemodstanden, er udtrykt ved Klemmespændingen $\times$ Nyttekomponenten, yder i_w

ikke noget Arbejde, og den kaldes derfor den wattløse Komponent. —

Er Strømkredsen induktionsfri bliver $\varphi = 0$, $\cos \varphi = 1$, og $E = i e$.

Det vil sige den Strøm, der gaar, falder sammen med Wattkomponenten og Klemmespændingen, medens den wattløse Komponent forsvinder.

Tænkes Strømkredsen fri for ohmsk Modstand, medens der findes Selvinduktion, er $\varphi = 90^\circ$, $\cos \varphi = 0$ og

$$E = e \cdot i \cdot \text{Nul} = \text{Nul}.$$

Det vil sige, den Strøm, der gaar, falder sammen med den wattløse Komponent, og der ydes overhovedet intet Arbejde. Da der imidlertid stadig frembringes et magnetisk Vekselt, maa den wattløse Komponent være den, der frembringer Feltets Kraftlinier og derigennem Selvinduktionen, hvilket saaledes sker, uden at der forbruges Arbejde.

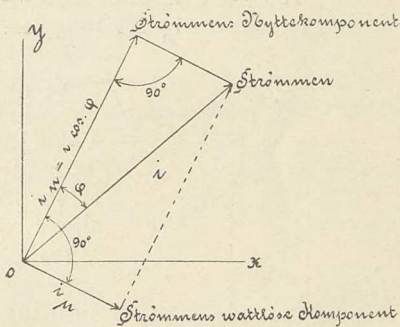


Fig. 17.

Har man en Vekselstrøm-Elektromagnet eller lignende, er der i Strømkredsen baade Selvinduktion og ohmsk Modstand. Selvinduktionen, der lægger Beslag paa den wattløse Komponent, kræver som ovenfor nævnt intet Arbejde, derimod giver den ohmske Modstand et Tab ved Strømvarme; endvidere er der i Strømkredsen Hysteresistab og Tab ved Hvirvelstrømme, og alle disse Tab maa leveres af Nyttekomponenten.

Lad os som Eks. antage, at vi have en Vekselstrøm-magnet, der forsynes med en effektiv Vekselklemmespænding paa 50 Volt, og at der til Strømvarme, Hysteresis og Hvirvelstrømme forbruges en Effekt = 100 Watt. Man har da, idet Nyttekomponenten og Klemmespændingen er i Fase:

$$100 = e i_n \text{ eller } 100 = 50 \cdot i_n, \text{ hvoraf} \\ i_n = 100/50 = 2 \text{ Ampere.}$$

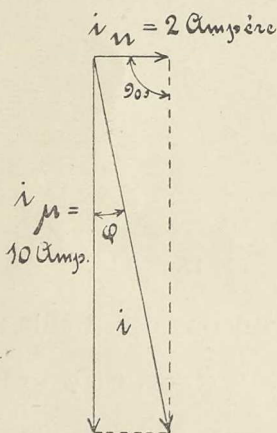


Fig. 18.

Vi antager dernæst, at der til Frembringelse af det magnetiske Vekselfelt, der i det foreliggende Tilfælde ønskes, kræves en Vekselstrøm paa 10 Ampere, det vil sige $i_\mu = 10$ Ampere.

Den Strøm, i , der isaafald maa gaa gennem Elektromagnetens Vindinger, kan herefter (Fig. 18) beregnes af:

$$i^2 = i_\mu^2 + i_n^2 = 100 + 4, \text{ hvoraf} \\ i = \sqrt{104} = 10,198 \text{ Ampere.}$$

Ved Transformatorer, Elektromotorer og lignende Vekselstrømsapparater, hvor der skal holdes elektromotorisk Kredsløb igang, optræder der Selvinduktion,

Hvirvelstrømme og Tab ved Strømvarme ganske som ovenfor angivet. Den Strøm, disse Apparater forbruge ved Tomgang, kaldes Tomgangsstrøm. Der er her stadig forudsat, at Strømmen forløber efter en Sinoide og til at give den Oversigt, der tilstræbes i denne Bog, er denne Antagelse tilstrækkelig nøjagtig. Det skal dog paapeges, at Strømmen, naar der optræder Jern i Apparaterne, ikke kan forløbe efter en Sinoide, selv om Klemmespændingen gør det. Der er nemlig ikke Proportionalitet

mellem Antallet af Ampèrevindinger og den frembragte Magnetisme (jfr. I. Del, Afsnit 15), hvorfor den fra Selvinduktionen stammende vekslende elektromotoriske Kraft ikke forløber som en Sinoide. Den virksomme Spænding maa altsaa sættes sammen af en Sinoide (Klemmespændingen) og en anden Art periodisk forløbende Kurve (Selvinduktionen) og taber derved sin Sinoideform. Man kan i saa Fald ikke mere tale om en Faseforskydningsvinkel i egentlig Forstand, dog bibeholder man Formlen for Effekten:

$$E = e \cdot i \cdot \cos \varphi$$

og kalder $\cos \varphi$ for »Arbejdsfaktoren«, der saaledes er det Tal, hvormed man maa multiplicere Produktet af Strømstyrke og Spænding for at faa Effekten. Til Bestemmelse af Effekten er det altsaa ikke som ved Jævnstrøm tilstrækkeligt at maale den effektive Spænding og Strømstyrke ved Hjælp af et Voltmeter og et Ampèremeter, idet disse Maalinger ikke give nogen Oplysning om Arbejdsfaktoren. Man har til direkte Bestemmelse af Effekten konstrueret saakaldte Wattmetre, der senere ville blive beskrevne.

Til nærmere Forstaaelse af det anførte ville vi behandle et Par bestemte Exempler.

1) Lad os antage, at der foreligger en Induktionsrulle (Solenoiden uden Jern), hvis Selvinduktionskoefficient er lig med 0,02 Henry, og hvis ohmske Modstand er lig med 6 Ohm, og at denne Rulle sluttes til 2 Klemmer, a og b (Fig. 19), mellem hvilke der holdes en Vekselsspænding paa 100 Volt og med 50 Perioder pr. Sekund.

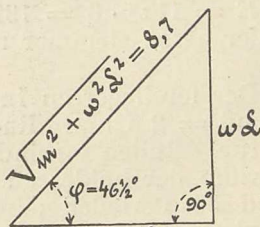
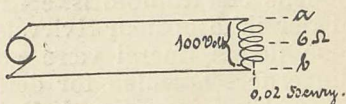


Fig. 19.

- Bestem: 1) Strømmens Størrelse,
2) Faseforskydningsvinklen og
3) den i Rullen forbrugte Effekt.

Til 1). Man har:

$$i = \frac{e}{\sqrt{r^2 + (2\pi n)^2 L^2}} =$$

$$\frac{100}{\sqrt{6^2 + 314,16^2 \cdot 0,02^2}} =$$

$$\frac{100}{\sqrt{36 + 39,48}} =$$

$$\frac{100}{8,7} = 11,5 \text{ Ampère.}$$

Til 2). Idet vi erindrer os Trekanten Side 23, har vi (se Fig. 19):

$$\cos \varphi = \frac{6}{8,7} = 0,69$$

$$\varphi = \text{ca. } 46^{1/2}^\circ$$

$$\text{Til 3). Effekten} = i \cdot e \cdot \cos \varphi = 11,5 \cdot 100 \cdot 0,69 = 793,5 \text{ Watt.}$$

Da vi vide, at det ikke kræver noget Energiforbrug at fremkalde det magnetiske Felt, der danner Selvinduktionens elektromotoriske Kraft, og idet vi gaar ud fra, at der ikke opstaar Hvirvelstrømme nogetsteds i Rullen, maa denne Energi være gaaet tabt som Varme i Vindingerne. Formlen for dette Tab er:

$$E = i^2 m \text{ (jfr. I. Del, Afsnit 12) eller her}$$

$$E = 11,5^2 \cdot 6 = 132,25 \cdot 6 = 793,5 \text{ Watt,}$$

hvad der ogsaa stemmer med det fundne.

2). Der foreligger en Induktionsrulle med en ohmsk Modstand = 2 Ohm. Rullen indeholder en lamelleret Jernkerne. Rullen forbindes til et Par Klemmer, mellem hvilke der holdes en Vexelspænding paa 127 Volt og med 50 Perioder pr. Sekund. Et indskudt Wattmeter viser, at Effekten er 400 Watt, og et indskudt Ampèremeter, at Strømstyrken er 10 Ampère.

Find følgende:

- a) Strømløbets tilsyneladende Modstand (Impedansen),
- b) Rullens tilsyneladende Selvinduktionskoefficient,
- c) Arbejdsfaktoren,
- d) Tabet ved Hvirvelstrømme og Hysteresis og
- e) Strømmens Nyttekomponent og wattløse Komponent.

Til a).

$$i = \frac{e}{\text{Den tilsyneladende Modstand (Impedansen)}}$$

$$\text{Impedansen} = \frac{127}{10} = 12,7 \text{ Ohm.}$$

Til b). Trekanten (se Fig. 20) giver:

$$\omega^2 \cdot L^2 = 12,7^2 \div 2^2$$

$$\omega^2 \cdot L^2 = 161 \div 4 = 157$$

$$L^2 = \frac{157}{\omega^2} = \frac{157}{(2 \pi \cdot 50)^2}$$

$$L^2 = \frac{157}{98700} = 0,00159$$

$$L = \sqrt{0,00159} = \text{ca. } 0,04 \text{ Henry}$$

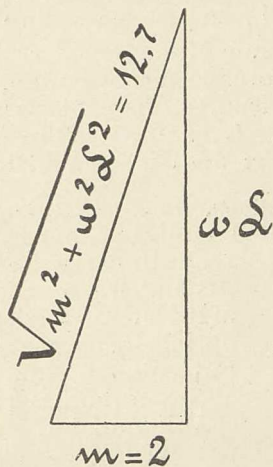


Fig. 20.

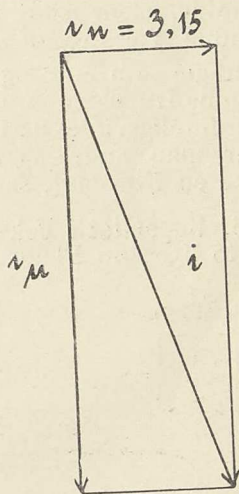


Fig. 21.

Til c).

$$i \cdot e \cos \varphi = i \cdot e \cdot \text{Arbejdsfaktoren} = 400$$

$$\text{Arbejdsfaktoren} = \frac{400}{1270} = 0,315$$

Til d). Det samlede Tab ved Strømvarme, Hysteresis og Hvirvelstrømme er 400 Watt.

$$\text{Tabet til Strømvarme} = i^2 \cdot 2 = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Watt.}$$

Tabet ved Hysteresis og Hvirvelstrømme er saaledes:
 $400 \div 200 = 200$ Watt.

Til e). Strømmens Nyttekomponent, i_n , faas af:

$$i_n \cdot 127 = 400$$

$$i_n = \frac{400}{127} = 3,15 \text{ Ampère.}$$

Den wattløse Komponent, i_μ , faas (se Fig. 21) af:

$$i_\mu^2 = i^2 \div i_n^2 = 10^2 \div 3,15^2$$

$$i_\mu = \sqrt{100 \div 9,93} = \sqrt{90,07}$$

$$i_\mu = 9,49 \text{ Ampère.}$$

Forudsætningen: at Strømmen forløber som en Sinoide, slaar som tidligere paapeget ikke til, og de fundne Værdier af L , i_n og i_μ ere saaledes kun at betragte som en Slags tilnærmende Middelværdier. Det fundne L gælder kun for den foreliggende Spænding og det foreliggende Periodeantal, ændres disse Størrelser, faar man andre Værdier af L . L er med andre Ord ikke en Konstant, saasnart der er Jern i Solenoiden.

6. Kapacitet i Vekselstrømkredsen. Lad os tænke os, at to lige store Plader, A og B, af Metal ligge paa et isole-

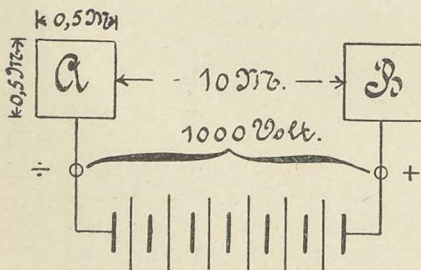


Fig. 22.

rende Underlag og i en Afstand fra hinanden af 10 Meter, at Pladerne oprindelig begge har Potentialitet Nul, og at de forbindes med et Akkumulatorbatteri paa 1000 Volts Spænding (se Fig. 22).

Pladen A vil da antage Potentialitet — 500 Volt og Pladen B Potentialitet + 500

Volt. Vi maa antage, at dette (jfr. I. Del, Afsnit 3) er sket derved, at Batteriets elektromotoriske Kraft ligesom har pumpet Elektricitet fra A til B og derved har hævet B's Potential og sænket A's. Der er altsaa gennem Batteriet passeret en vis Elektricitetsmængde, eller der er gaaet en Strøm, om end i dette Tilfælde kun en meget ringe Strøm i en meget kort Tid.

Fysiken lærer os imidlertid, at der skal en betydelig større Elektricitetsmængde til for at give de to Plader Potentialforskellen

1000 Volt, hvis de anbringes een paa hver Side af en Glasplade, saaledes som vist i Fig. 23, og derefter forbindes med Batteriet, og man kalder derfor den i Fig. 23 viste Sammenstilling for en elektrisk Kondensator, idet man tænker sig, at Elektriciteten ligesom fortættes eller sammentrænges i de to Metalplader.

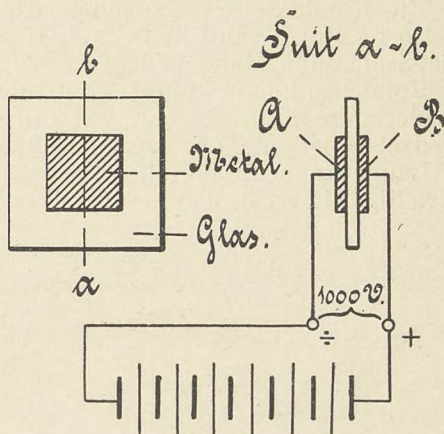


Fig. 23.

Fysiken lærer endvidere, at Spændingen mellem Pladerne A og B er proportional med den tilførte Elektricitetsmængde, eller:

Elektricitetsmængden = En Konstant $\times$ Spændingen,
hvoraf:

$$\frac{\text{Elektricitetsmængden}}{\text{Spændingen}} = \text{En Konstant.}$$

Maales Elektricitetsmængden i Coulomb (se I. Del, Afsnit 4) og Spændingen i Volt, er Konstanten saaledes lig med den Elektricitetsmængde, der skal til for at hæve Spændingen mellem A og B een Volt, eller, hvad der er det samme, lig med den Elektricitetsmængde, som Kondensatoren optager, naar den forbindes med et Par Klemmer, imellem hvilke der er Spændingen een Volt. Denne Elektricitetsmængde kaldes Kondensatorens Kapacitet, og man har altsaa:

Elektricitetsmængde = Kapacitet $\times$ Spænding
eller hvis Elektricitetsmængden kaldes q , Spændingen e
og Kapaciteten C :

$$q = C \cdot e$$

En Kondensator har Enhed af Kapacitet, naar den ved at forbindes med en Elektricitetskilde paa 1 Volt netop optager en Elektricitetsmængde af 1 Coulomb. Denne Enhed for Kapacitet kaldes en »Farad«.

I Praksis vil man dog aldrig faa Brug for at regne med Kapaciteter paa en Farad, og man plejer derfor at

bruge en Enhed, der er en Milliontedel af Faraden, denne Enhed kaldes en »Mikrofarad«.

En Kondensators Kapacitet afhænger af dens Størrelse og Form samt af Tykkelsen og Beskaffenheden af det isolerende Mellemlid.

Kondensationsvirkninger optræder overalt, hvor to Ledere ere anbragte nær ved hinanden, men adskilte ved et isolerende Lag (ogsaa Luft).

Lange koncentriske eller snoede Kabler (se de respektive Fig. 24 og 25), der bestaa af Ledere, adskilte ved et

*Gennemsnit af et koncentrisk
2 leder Kabel.
Jernbaandsarmeret Islykabel.*

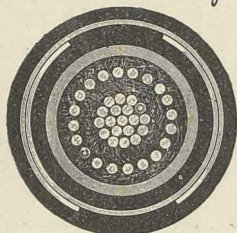


Fig. 24.

*Gennemsnit af et snoet
3 leder Kabel.
Jernbaandsarmeret Islykabel.*

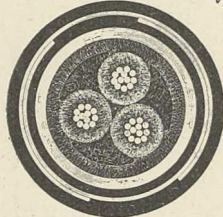


Fig. 25.

forholdsviis tyndt Isolationslag, ere saaledes at betragte som Kondensatorer, ligeledes et enkelt isoleret Kabel nedlagt i Vand, idet Vandet her danner den anden Leder. Naar en Kondensator ved Forbindelse med en Elektricitetskilde (Jævnstrøm) har faaet den hertil svarende Spænding, siges den at være »ladet«. Dersom en »ladet« Kondensator derefter udløses fra Elektricitetskilden, og Belægningerne forbindes gennem en Leder, da sender den en Strøm gennem Lederen, hvorved Kondensatoren efterhaanden »aflades«.

Hvis man derfor forbinder en Kondensator med Klemmerne af en Vekselstrømmaskine (se Fig. 26), saa vil der, omendskønt Kredsløbet ikke er sluttet, gaa en Vekselstrøm. Der vil ganske vist ikke passere nogen Elektricitet gennem Glasskiven, men det vil se saadan ud. Til nærmere Undersøgelse af, hvad der foregaar i Strømkredsen, ville vi antage, at Kurven E i Fig. 27 angiver Vekselstrømmaskinens elektromotoriske Kraft, og at den positive Retning for denne er valgt gaaende fra a gennem Maskinen til b, og lad os derefter antage, at

Kondensatorens Belægninger igennem Tilledninger med Modstanden m Ohm blive sluttede til Maskinen i det Øjeblik, hvor E er Nul, Punkt o paa Figuren. Efterhaanden som E vokser, vil der da blive taget Elektri-

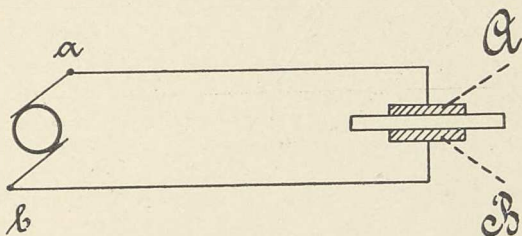


Fig. 26.

citet fra A og sendt Elektricitet til B, det vil sige, der gaar i Strømkredsen en Strøm, der bevirker, at Potentialforskellen mellem A og B vokse, idet B faar et positivt Potential og A et negativt. Da E efterhaanden naar et po-

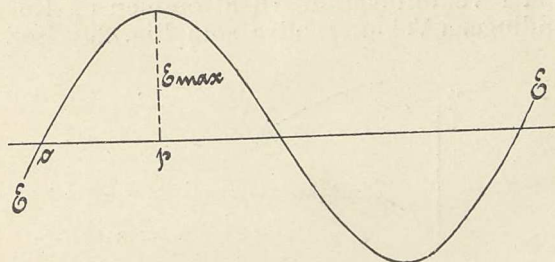


Fig. 27.

sitivt Maximum, Punkt p paa Figuren, og derefter atter tager af, er det klart, at Potentialforskellen mellem A og B ogsaa ved et eller andet Tidspunkt vil naa et Maximum for derefter at falde, og da det desuden er givet, at den vil blive ved at stige saalænge, der gaar Strøm i Retningen fra b til B, og at den kun kan falde, naar der gaar Strøm den anden Vej, saa maa Strømmen blive Nul netop i det Øjeblik, Potentialforskellen mellem A og B naar sit Maximum. I dette Øjeblik søger Kondensatorens Spænding at sende Strøm fra B over Maskinen til A, og den er saaledes negativ.

Dersom vi herefter betragte Fig. 28, i hvilken Kurven i fremstiller Strømmens Forløb, saa vide vi altsaa nu,

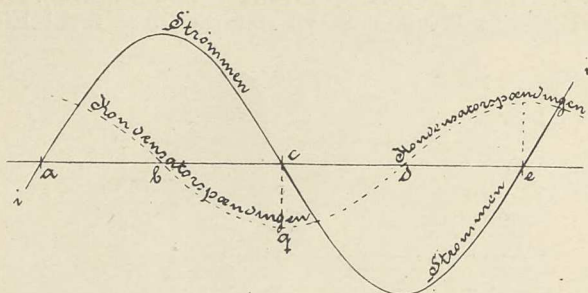


Fig. 28.

at Kondensatorens Spænding har et negativt Maximum i det Øjeblik Strømmen bliver Nul for nedgaaende, altsaa i Punkt c, og dersom vi antage, at Kondensatorens Spænding ogsaa følger en Sinuskurve, hvad den praktisk set vil gøre, naar Strømmen gør det, vil dens Kurve blive den i Fig. 28 punkterede Linie.

Tegnet i Vektordiagram vil Strømmen og Kondensatorspændingens Vektorer blive som Fig. 29 viser.

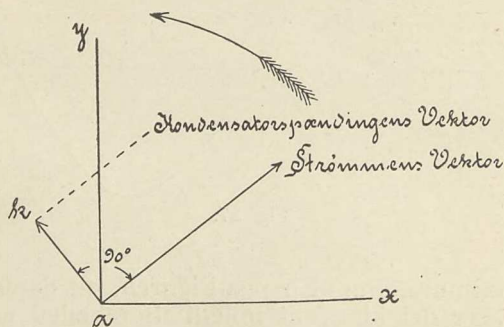


Fig. 29.

Kondensatorspændingen er forskudt $\frac{1}{4}$ Periode eller 90° forud for Strømvektoren.

I Strømkredsen optræder 2 Spændinger, Klemme-spændingen mellem a og b og Kondensatorspændingen, og disses Vektorer ville, naar de adderes geometrisk, give den virksomme Spændings Vektor, der divideret med den ohmske Modstand giver Strømstyrkens Vektor.

Idet vi erindre, at Kondensatorens Vektor iler 90° forud for Strømmens (den virksomme Spændings) Vektor, faa vi det Diagram, der er fremstillet ved Fig. 30. Det ses,

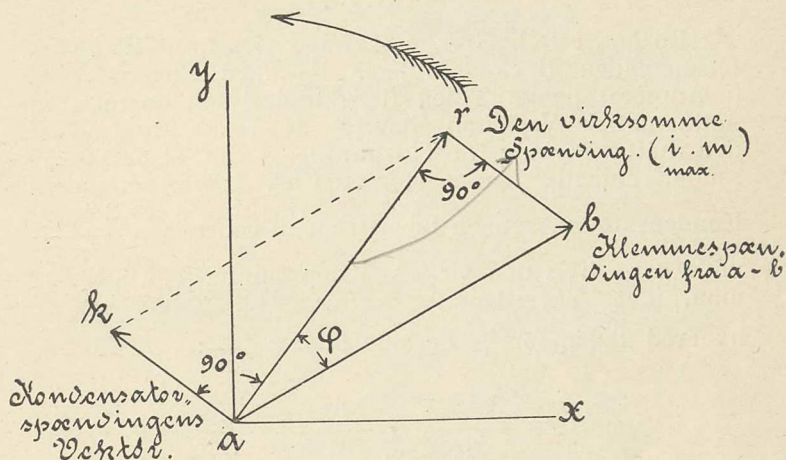


Fig. 30.

at Strømmen er forskudt en bestemt Tid (Vinkel φ) forud for Klemmespændingen og det, at der er Kapacitet i en Vekselstrømkreds, virker altsaa ligesom Selvinduktion faseforskydende, men i modsat Retning. Dersom man kan finde Størrelsen af Kondensatorspændingens Vektor, vil den retvinklede Trekant $a r b$ være bestemt, og den virksomme Spænding saaledes fundet, idet Klemmespændingen forudsættes givet.

Kondensatorspændingens Vektor kan imidlertid bestemmes, saasnart man kender den Elektricitetsmængde, der passerer ind i Kondensatoren i $\frac{1}{2}$ Periode (fra Tidspunktet a til Tidspunktet c i Fig. 28). Dersom denne Elektricitetsmængde er M , vil man, under Anvendelse af Formlen Side 37 og idet man betænker, at Kondensatoren ved Tidspunktet a ikke har Spændingen Nul, men derimod har en maximal positiv Spænding, saaledes at den halve Del af den Elektricitetsmængde, Strømmen i Tidsrummet fra a til c afgiver til Kondensatoren, maa benyttes til dennes Afladning fra det nævnte Maximum til Nul, have:

Kondensatorspændingens Maximum lig med $\frac{M}{2}$
divideret med Kondensatorens Kapacitet, eller hvis Kon-

densatorspændingens Maximum kaldes $k_{\max.}$ og Kondensatorens Kapacitet C :

$$k_{\max.} = \frac{M}{2 \cdot C}$$

I Bogens I Del, Stykke 4 have vi set, at Elektricitetsmængden (i Coulomb) er lig med Strømstyrken (i Ampère) gange Tiden (i Sekunder), og da man ad matematisk Vej kan bevise, at Vekselstrømmen i den halve Periode fra Tidspunktet a til Tidspunktet c sender nøjagtig ligesaa stor en Elektricitetsmængde til Kondensatoren, som en Jævnstrøm af Størrelsen $\frac{2 i_{\max.}}{\pi}$

vilde gøre, hvis den virkede i den samme Tid, saa har man, idet Vekselstrømmens Periodetal kaldes for n , hvorved Tiden for $\frac{1}{2}$ Periode bliver $\frac{1}{2n}$:

$$M = \frac{2 i_{\max.}}{\pi} \cdot \frac{1}{2n} = \frac{i_{\max.}}{\pi n}$$

hvoraf følger at:

$$k_{\max.} = \frac{i_{\max.}}{2 \pi n \cdot C} \text{ eller}$$

hvis man benytter ω (se Side 20 f. n.)

$$k_{\max.} = \frac{i_{\max.}}{\omega C}$$

Vi kunne nu tegne den retvinklede Trekant $a r b$ i Fig. 30, den vil som Fig. 31 viser faa Siderne:

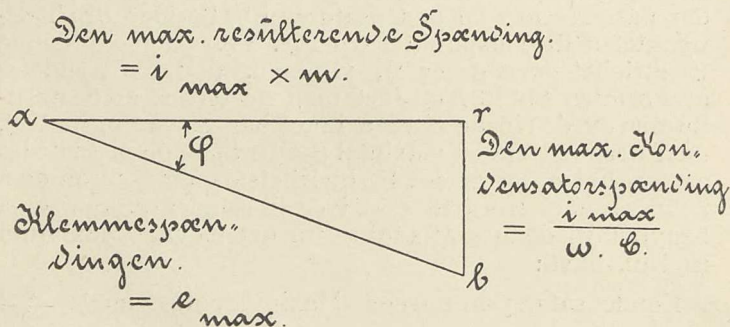


Fig. 31.

$\overline{a-r}$ = Den max. resulterende Spænding = $i_{\max.} \cdot m$

$\overline{r-b}$ = Den max. Kondensatorspænding = $i_{\max.} \cdot \frac{1}{C \omega}$

$\overline{a-b}$ = Den max. Klemmespænding = $e_{\max.}$

Den pythagoræiske Læresætning giver:

$$e_{\max.}^2 = i_{\max.}^2 m^2 + i_{\max.}^2 \cdot \frac{1}{\omega^2 C^2}$$

hvoraf:

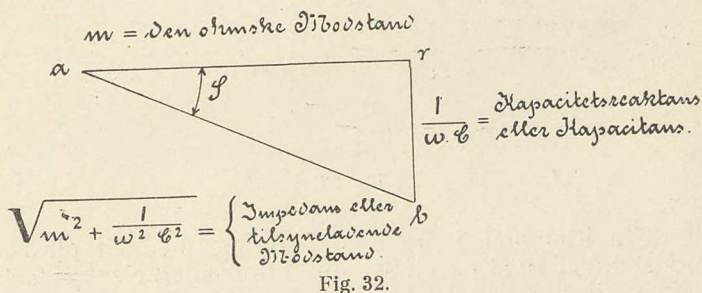
$$i_{\max.} = \frac{e_{\max.}}{\sqrt{m^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$$

Ved Multiplikation med 0,707 gaar Formlen over til at gælde for de effektive Værdier, altsaa:

$$i = \frac{e}{\sqrt{m^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}} \text{ eller}$$

$$i = \frac{e}{\sqrt{m^2 + \frac{1}{(2 \pi n C)^2}}}$$

Ved at dividere Trekant a r b's Sider med $i_{\max.}$ kan man danne en Trekant (se Fig. 32), der har samme



Betydning for det foreliggende Tilfælde som Trekanten i Fig. 11 har for Strømkredse med Selvinduktion. Størrelsen $\frac{1}{\omega C}$ kaldes Kapacitetsreaktans, undertiden ogsaa Kapacitans.

Som ovenfor anført iler Strømmen forud for Klemme-spændingen.

Vinklen φ (Fig. 32) kan bestemmes af:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{m \omega C}$$

$$\cos \varphi = \frac{m}{\sqrt{m^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$$

$$\sin \varphi = \frac{1}{\omega C \sqrt{m^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$$

Strømmens Arbejde er som før:

Spænding $\times$ Strømstyrke $\times \cos \varphi$.

Til Omladningerne af Kondensatoren forbruges der et Arbejde, der dog er meget ringe, og man kan i Praksis saa godt som altid se bort fra det.

Vi ville herefter benytte de hidtil fundne Formler m. m. til at behandle nogle forskellige bestemte Opgaver og Taleexempler.

7. Selvinduktion, ohmsk Modstand og Kapacitet i Serie i en Vekselstrømkreds. Der er givet den i Fig. 33 viste Strømkreds.

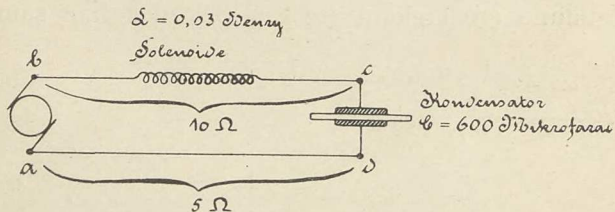
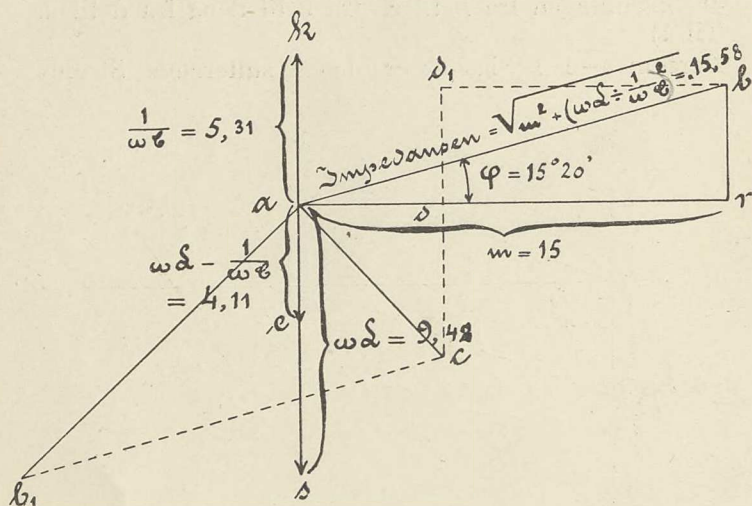


Fig. 33.

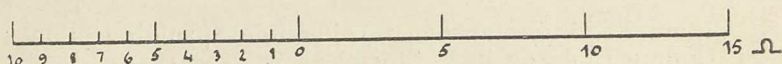
Fra Klemmen b fører en Ledning med en ohmsk Modstand af 10Ω og en Selvindukationskoefficient $= 0,03$ Henry til den ene Klemme c af en Kondensator, hvis Kapacitet er 600 Mikrofarad. Fra Kondensatorens anden Klemme d fører en induktionsfri Ledning med en ohmsk Modstand af 5Ω til Klemmen a. Mellem Klemmerne a og b holdes en Vekselspænding paa 220 Volt og med Periodetallet 50.

Find følgende:

for Modstandene, og idet Trekanten a b r's Sider (Fig. 34) divideres med $i_{\max}$, faas og afsættes:



Modstandsmaalestok.



Spændingsmaalestok.

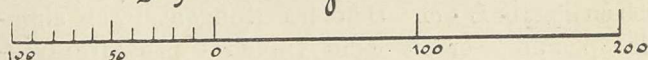


Fig. 35.

$$\overline{a-r} = m = 15 \Omega$$

$$\overline{a-s} = \omega L = 314 \cdot 0,03 = 9,42 \Omega$$

$$\overline{a-k} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{314 \cdot 0,0006} = 5,31 \Omega$$

$$\overline{a-e} = 9,42 \div 5,31 = 4,11 \Omega$$

hvorefter den tilsyneladende Modstand, Impedansen er $\overline{a-b}$, der er $\neq$ og $= \overline{e-r}$.

Denne maales og findes derved lig med ca. 15,6 Ω .

En Beregning af Udtrykket

$$\text{Impedansen} = \sqrt{m^2 + \left(\omega L \div \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

vil give Værdien 15,58.

Til 2)

$$\text{Strømstyrken} = \frac{220}{15,58} = 14,13 \text{ Ampère.}$$

Til 3)

Faseforskydningsvinklen kaldes φ .

$$\text{Man har } \operatorname{tg} \varphi = \frac{4,11}{15} = 0,274$$

$$\text{hvoraf } \varphi = \text{ca. } 15^\circ 20'.$$

Det ses, at Faseforskydningen er afhængig af $\left(\omega L \div \frac{1}{\omega C}\right)$; dersom ωL er større end $\frac{1}{\omega C}$, er Strømmen faseforskuet bagud for Spændingen, er ωL mindre end $\frac{1}{\omega C}$, iler Strømmen forud for Spændingen, og hvis ωL er lig med $\frac{1}{\omega C}$ eller, hvad der er det samme, hvis

$$\omega L \div \frac{1}{\omega C} = \text{Nul, bliver Faseforskydningen Nul. I}$$

dette Tilfælde, hvor Selvinduktionen og Kapaciteten i Serie altsaa hæver hinandens Indflydelse, siger man, at der er Spændingsresonans i Strømkredsen.

I Praksis forekommer dette Tilfælde sjældent eller aldrig, blandt andet fordi det forudsætter, at Strømmene og Spændingerne følge rene Sinoider, hvad aldrig er Tilfældet.

Til 4)

Spændingen mellem de forskellige Klemmeskruer.

Det gælder blot om at finde Vektorerne for de forskellige Klemmers Spændinger, regnede ud fra en bestemt Klemme, f. Ex. fra a, hvorefter man kun behøver at foretage geometriske Subtraktioner, (jfr. Bogens Side 16.)

Vi vide, at de i Fig. 35 afsatte Størrelser m , ωL og $\frac{1}{\omega C}$ multiplicerede med $i_{\max}$, give Vektorerne for Spændingernes Maxima, men dersom man multiplicerer med i_{eff} . i Stedet for med $i_{\max}$, faar man ogsaa Spændingsvektorer, men Vektorerne bliver lig de effektive Spændingsværdier. Dette er en Lettelse, da man sluttelig sparer at multiplicere de maalte Værdier med 0,707.

Da Strømstyrken er funden lig 14,13 Ampère, giver f. Ex. $m = 15$ multipliceret med 14,13 det ohmske Spændingstab i Strømkredsen = 211,95 Volt, og dersom denne Størrelse skulde afsættes i samme Maalestok som den, der gælder for Modstandene, vilde Fig. blive meget stor. Man tegner derfor i dette Tilfælde hellere en anden Maalestok for Spændingerne, og sætter netop 15 af Modstandsmaalestokkens Enheder = $15 \cdot 14,13 = 211,95$ Volt, hvorved vi opnaar at kunne benytte det samme Diagram for Spændingerne, naar man blot maaler disse paa Spændingsmaalestokken. Vektorerne angiver de eff. Værdier. Paa Diagrammet have vi alle de forskellige optrædende Spændinger og elektromotoriske Kræfter, og vi kunne nu finde de forskellige Klemmers Spændinger, regnede ud fra a, idet vi dog maa erindre, at det ohmske Spændingstab bestaar af 2 Stykker, nemlig, $10 \cdot 14,13 = 141,3$ Volt og $5 \cdot 14,13 = 70,65$ Volt, tilsammen 211,95 Volt, der afsættes paa Diagrammet som $r-d$ og $d-a$.

Betragter man Fig. 33 og Fig. 35 vil man se, at Spændingen fra Klemme a til Klemme b er lig $a-b$ i Diagrammet, og for at finde Spændingen fra Klemme a til Klemme c maa man undersøge, hvilke elektromotoriske Kræfter og Spændinger, der virker i Ledningsstykket b til c, og sætte disse sammen (addere dem geometrisk) med Spændingen fra a til b. I $b-c$ virker Selvinduktionen, der er bestemt ved Vektoren $a-s$, og det ohmske Spændingstab, der maa være i Fase med Strømmen og er bestemt i Størrelse og Retning ved $r-d$, disse to Vektorer, hvoraf $r-d$ egentlig bør tænkes udgaaende fra a, sættes sammen med $a-b$. Dette gøres ved at $b-d_1$ afsættes $\neq$ og $= r-d$ og dernæst $d_1-c \neq$ og $= a-s$. Linien $a-c$ giver da Spændingen fra a til c baade i Størrelse og Beliggenhed. For at finde Spændingen fra Klemme a til Klemme d gaar man videre i Kredsløbet og sætter $a-k$, Kapacitetens Vektor, sammen med $a-c$, hvilket giver $a-d$, hvad der ogsaa er ganske rigtigt, thi Spændingen fra a til d maa falde i Fase med Strømmen, da Ledningsstykket $a-d$ er induktionsfrit.

Spændingen fra b til c findes nu ved at subtrahere geometrisk Spændingen $a-b$ fra $a-c$.

Dette gøres ved at afsætte en Linie $c-b_1$ fra c $\neq$ og $= b-a$, og $a-b_1$ er da Spændingen fra b til c. Ved

Maaling af $\overline{a-b}$ paa Spændingmaalestokken, findes Spændingen mellem b og c = 193 Volt.

Spændingen mellem c og d (Kondensatorspændingen) findes paa tilsvarende Maade = $\overline{a-k} = 75$ Volt, og Spændingen mellem d og a bliver 70,65 Volt.

Det ses, at Kondensatorspændingen i det forelliggende Tilfælde er mindre end Klemmespændingen mellem a og b.

Naar Kapacitet og Selvinduktion er i Serie i en Vekselstrømkreds, kan det imidlertid under visse Forhold ske, at Kondensatorspændingen bliver større end den oprindelige Klemmespænding, og uden at give nogen nærmere mathematisk Udvikling af Sagen skulle vi fremføre, at dette sker naar:

$$C \text{ er mindre end } \frac{2L}{m^2 + \omega^2 L^2}$$

og at Kondensatorspændingen bliver størst naar:

$$C = \frac{L}{m^2 + \omega^2 L^2}.$$

For $C = \frac{2L}{m^2 + \omega^2 L^2}$ bliver Kondensatorspændingen lig med, og for C større end $\frac{2L}{m^2 + \omega^2 L^2}$ mindre end Klemmespændingen.

Lad os som Exempel tage en Strømkreds som den i Fig. 33, blot med den Forskel, at der istedetfor Kondensatoren paa 600 Mikrofarad anbringes én, hvis C er lig med $\frac{L}{m^2 + \omega^2 L^2} = \frac{0,03}{15^2 + 314 \cdot 0,03^2} = 95,5$ Mikrofarad, det vil sige, Kondensatorspændingen vil naa sin højest mulige Værdi.

Man har:

$$\begin{aligned} m \text{ (den ohmske Modst.) som før} &= 15 \, \Omega \\ \omega L &= 9,42 \, \Omega \\ \frac{1}{\omega C} &= \frac{1}{314 \cdot 0,0000955} = \frac{1}{0,03} = 33,33 \, \Omega \end{aligned}$$

hvoraf faas:

$$\begin{aligned} \text{Impedansen} &= \sqrt{m^2 + \left(\frac{1}{\omega C} \div \omega L \right)^2} \\ &= \sqrt{15^2 + 23,91^2} = 28,2 \, \Omega \end{aligned}$$

og videre:

$$\text{Strømstyrken} = \frac{220}{28,2} = 7,8 \text{ Ampère.}$$

(Om Strømmen ved man, at den i dette Tilfælde iler forud for Klemmespændingen, idet $\frac{1}{\omega L} = 33,33$ er større end ωL , der kun er lig 9,42.)

Kondensatorspændingen, k , findes af:

$$k = i \cdot \frac{1}{\omega C} = 7,8 \cdot 33,33 = \text{ca. } 260 \text{ Volt,}$$

eller ca. 18,2% højere end Klemmespændingen $\overline{a-b}$.

I Vekselstrømtekniken kalder man denne ejendommelige Fremtoning, at Kondensatoren kan antage en højere Spænding end den oprindelige Klemmespænding, for Resonansvirkning.

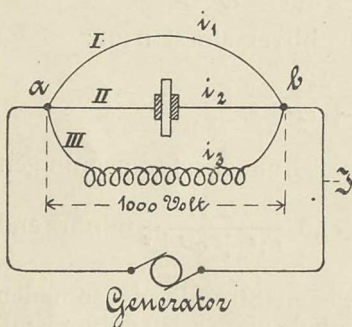


Fig. 36.

8. Selvinduktion, ohmsk Modstand og Kapacitet i Parallelforbindelse i en Vekselstrømkreds.

Der er givet den i Fig. 36 viste Strømkreds. Mellem Klemmerne a og b holdes en Vekselspænding paa 1000 Volt og med Periodetallet 50.

Mellem a og b findes:

I) En induktionsfri Modstand paa 500Ω ,

II) En Kondensator, hvis Klemmer er forbundne med a og b ved tykke

Ledninger, saaledes at Modstanden i Tilledningerne praktisk kan sættes = Nul. Kondensatorens Kapacitet er 10 Mikrofarad,

III) En Solenoide uden Jern. Dens ohmske Modstand er 100Ω og dens Selvinduktion, L , = 1 Henry.

Find følgende:

1) Strømstyrkerne i_1 , i_2 og i_3 i de tre Strømløb I, II og III,

2) De tre Strømmes Faseforskydninger i Forhold til Spændingen mellem a og b , og

3) Størrelsen af den samlede Strøm, J , og dennes Faseforskydning.

Til 1) Da I er induktionsfri gælder Ohms Lov, hvorefter faas:

$$i_1 = \frac{1000}{500} = 2 \text{ Ampère}$$

For II gælder Formlen:

$$i_2 = \frac{e}{\sqrt{m^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$$

der, idet m kan sættes = Nul, giver:

$$i_2 = 1000 \cdot \omega \cdot C = 1000 \cdot 314 \cdot \frac{10}{1000000}$$

$$i_2 = 314 \cdot 0,01 = 3,14 \text{ Ampère}$$

For III gælder Formlen:

$$i_3 = \frac{e}{\sqrt{m^2 + \omega^2 L^2}} = \frac{1000}{\sqrt{100^2 + 314^2 \cdot 1^2}} = \frac{1000}{\sqrt{108500}}$$

$$\frac{1000}{329,5} = 3,03 \text{ Ampère}$$

Til 2)

i_1 's Faseforskydning er = Nul, da I er induktionsfri.
 i_2 's Faseforskydningsvinkel, φ_2 , kan (se Side 44) findes af:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{1}{m \omega C} \text{ der, idet } m = 0,$$

$$\text{giver } \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{1}{0} = \infty \text{ eller}$$

$$\varphi_2 = 90^\circ$$

i_3 's Faseforskydningsvinkel, φ_3 , kan (se Side 24) faas af:

$$\cos \varphi_3 = \frac{m}{\sqrt{m^2 + \omega^2 L^2}} = \frac{100}{329,5} = 0,303$$

hvoraf $\varphi_3 = \text{ca. } 72^{3/8}^\circ$

Til 3) Den samlede Strøm, J, kan ikke findes ved almindelig Addition af de fundne Værdier for i_1 , i_2 og i_3 , da disse Strømme ikke er i Fase med hinanden.

Man maa addere Strømmene geometrisk. Fig. 37 viser, hvorledes dette gøres.

Linien o—p antages at være Retningen for Klemmespændingens Vektor. De tre Strømvektors Retninger kunne da afsættes, idet vi kende deres Faseforskydninger i Forhold til Klemmespændingen. i_1 's Vektor falder ud ad o—p, i_2 's danner Vinklen 90° og i_3 's Vinklen $72^{3/8}^\circ$ med o—p. Vinklerne er afsatte ved Hjælp af en Transportør og under Hensyn til, at i_2 er forskudt forud og i_3 bagud for Klemmespændingen. Det bemærkes, at den Nøjagtighed man opnaar ved at benytte en Transportør i de fleste i Praxis forekommende Tilfælde er

tilstrækkelig. Ønsker man at gaa rent konstruktivt til Værks ved Afsættelsen af i_3 's Retning, kan man kon-

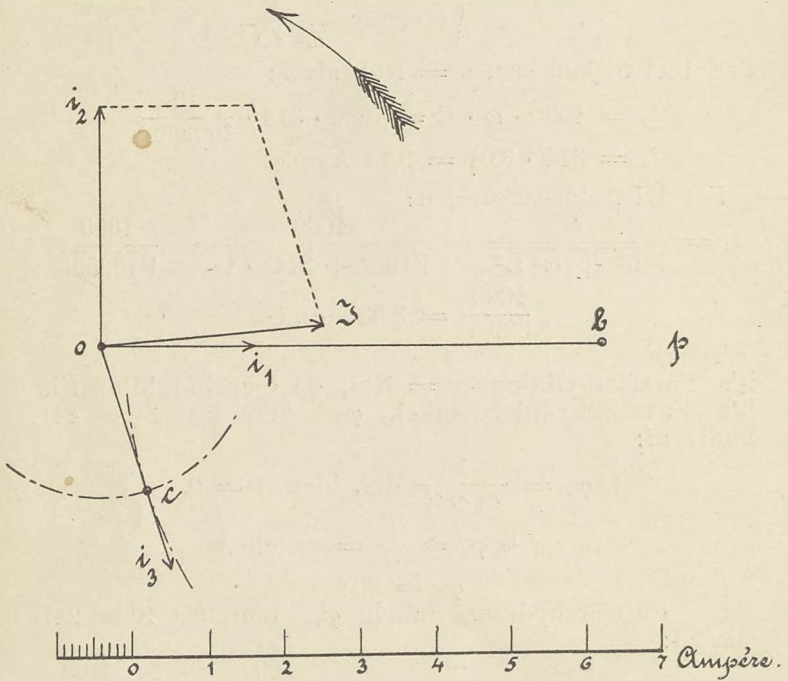


Fig. 37.

struere den i Fig. 38 skitserede retvinklede Trekant $a b c$ af hvilken man ovenikøbet gennem Beregning kender alle de tre Sider (se de paaskrevne Værdier).

Konstruktionen er vist paa Fig. 37 med stippled Linier. Da det kun drejer sig om at finde en Vinkel, kan der vælges en vilkaarlig Maalestok, her er for at faa en nogenlunde tydelig Fig. valgt en Enhed, der er lig $0,2m/m$.

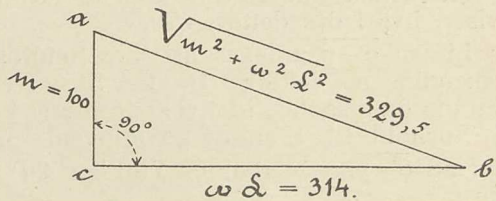


Fig. 38.

$a-b$ afsættes ud fra o henad $o-p$ og lig med

$0,2 \times 329,5 = 65,9^{\text{m}}/\text{m}$, hvorefter der er slaaet Kryds-cirkler om b og o med henholdsvis Radierne $\overline{b-c} = 0,2 \cdot 314^{\text{m}}/\text{m} = 62,8^{\text{m}}/\text{m}$ og $\overline{o-c} = 0,2 \cdot 100 = 20,0^{\text{m}}/\text{m}$. Det ses at Skæringspunktet, c, falder i den med Transportøren afsatte Linie. Ud ad de fundne Strømretninger afsættes nu de tilsvarende Strømvektorer (de effektive) $\overline{o i_1}$, $\overline{o i_2}$ og $\overline{o i_3}$ i en passende Maalestok (her er valgt 1 Cm. = 1 Ampère), hvorefter den geometriske Addition er foretaget paa sædvanlig Maade. Sluttelig findes J's Vektor som $\overline{o-J}$ den maales ved Hjælp af Maalestokken, hvorved findes:

$$J = \text{ca. } 2,95 \text{ Ampère.}$$

Almindelig Addition af Strømmene vilde have givet 8,08 Ampère.

J's Faseforskydningsvinkel kan nu maales ved Hjælp af en Transportør. J er faseforskudt forud for Spændingen ca. 5° og Hovedstrømmens Effekt bliver altsaa:

$$\text{Eff.} = 2,95 \cdot 1000 \cdot \cos 5^\circ$$

$$\text{Eff.} = 2950 \cdot 0,9962 = 2939 \text{ Watt.}$$

Denne Størrelse maa selvfølgelig være lig Summen af de Effekter, der udvikles i de enkelte Grene.

Man har her:

Effekten i	I	=	$2 \cdot 1000$	=	2000 Watt.
— i	II	=	$3,14 \cdot 1000 \cdot \cos 90^\circ =$		
			$3,14 \cdot 1000 \cdot \text{Nul} =$	0	—
— i	III	=	$3,03 \cdot 1000 \cdot \cos 72\frac{3}{8} =$		
			$3,03 \cdot 1000 \cdot 0,303 =$	918	—

$$\text{Ialt: } 2918 \text{ Watt.}$$

Den lille Uoverensstemmelse paa 21 Watt (næppe $\frac{3}{4}\%$), hidrører fra Unøjagtighederne ved Bestemmelse og Tegning af Vinklerne samt fra Maalingerne.

Dersom man havde den samme Strømkreds som i Fig. 36 men istedetfor Spændingen mellem a og b havde givet Hovedstrømmen, f. Ex. $J = 4$ Ampère, og skulde finde Strømmene i de enkelte Grene, saa maatte man begynde med at forudsætte én eller anden Spænding mellem a og b og løse Opgaven under den Forudsætning. Forudsatte man Spændingen = 1000 Volt, vilde man altsaa faa de ovenfor fundne Værdier: i_1 , i_2 og i_3 og svarende til Hovedstrømmen 2,9 Ampère. Da alle Vinkler i Diagrammet bliver de samme enten J er det ene eller det andet, idet Vinklerne kun afhænge af de forskellige Strømgrenes elektriske Konstanter m, L og C samt Periodetallet, behøver man kun for at finde de til $J = 4$ Ampère svarende Værdier af Strømstyrkerne

i Grenene at dividere de fundne Strømstyrker i_1 , i_2 og i_3 hver for sig med 2,9 og multiplicere dem med 4.

9. Selvinduktion og en Vekselstrømbuelampe i Serie.

Ganske paa samme Maade som en Jævnstrøm kan frembringe en Lysbue mellem to Kulspidser, kan ogsaa en Vekselstrøm gøre dette. Vekselstrømbuelampens Indretning og Virkemaade vil senere blive beskrevet. Her vil det være tilstrækkeligt at sige, at Spændingen imellem Kullene er noget mindre end for en Jævnstrømsbuelampe med samme Strømstyrke. For en 10 Ampères Lampe vil den være ca. 30 Volt. Vekselstrømsbuelampen kan i Praksis betragtes som induktionsfri.

Vi ville nu som sidste Opgave, forinden vi gaar over til den egentlige Beskrivelse af Vekselstrømmens Anvendelse, behandle følgende Tilfælde.

En Vekselstrømbuelampe paa 10 Ampère ønskes tilsluttet til et Vekselstrømnet, mellem hvis Poler, der er en Spænding af 127 Volt, $\sim = 50$.

Hvorledes kan dette udføres.

Den Løsning, der ligger lige for, er den at anbringe en induktionsfri ohmsk Modstand af passende Størrelse i Serie med Lampen. Modstanden skal lægge Beslag paa $127 \div 30 = 97$ Volt og kan saaledes, da den er induktionsfri findes af

$$10 = \frac{97}{x} \text{ eller } x = \frac{97}{10} = 9,7 \, \Omega$$

I Modstanden vil der blive et Energital, E , der bestemmes ved

$$E = 10 \cdot 97 = 970 \text{ Watt}$$

Naar man betænker, at Lampen kun udnytter $10 \cdot 30$ eller 300 Watt, vil man forstaa, at Anordningen er meget uøkonomisk, og man kan ogsaa, da man arbejder med Vekselstrøm finde en mere økonomisk Maade.

Man indskyder istedetfor en induktionsfri og ret stor ohmsk Modstand en Modstand med passende Selvinduktion og lille ohmsk Modstand. Selvinduktionen virker som tidligere vist (se Formlen Side 23) svækkende paa Strømme uden at benytte nogen Energi, og tilbage bliver da kun Tabet i den forholdsvis lille ohmske Modstand i den Solenoide, der anvendes, samt Tabet ved Hvirvelstrømme og Hysteresis i den lamellerede Jernkerne, der anbringes i Solenoiden netop for at faa en lille ohmsk Modstand i denne (forholdsvis faa Vindinger). En saadan Solenoide med Jernkerne kaldes en Drøsselspole og kan i det foreliggende Tilfælde bygges saaledes, at Energitabet i den kun beløber sig til omkring 60 Watt.

Fig. 39 viser en saadan Drosselspole. Størrelsen ses af de paaskrevne Maal. Den bestaar af to Solenoider (Traadruller), der er skudt ned over Benene af en hesteskoformet lameleret Jernkerne, hvis Anker ved Hjælp af Skruer kan fjernes og nærmes til Kernen. Herved kan Apparatets Selvinduktionskoefficient ændres, idet det magnetiske Kredsløbs Modstand mod Magnetisering ændres, naar der i Kredsen indskydes et større eller mindre Luftmelletrum. Den ohmske Modstand i Apparatet er ca. 0,4 Ohm.

Drosselspolen anbringes i Serie med Buelampen og

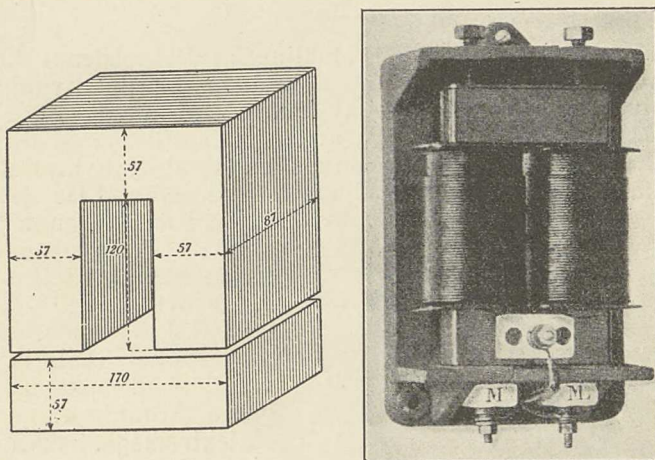


Fig. 39.

tilsluttes Nettet, og ved Hjælp af den omtalte Ankerfor-skydning indreguleres Systemet, saaledes at Strømstyrken er 10 Ampère.

Det samlede Tab i Drosselspolen er ca. 60 Watt (hvoraf i Strømvarme $10^2 \cdot 0,4 = 40$ Watt og Resten 20 Watt i Hvirvelstrømme og Hysteresis) og Besparelsen overfor de 970 Watt, hvis der brugtes en induktionsfri Modstand, er saaledes betydelig.

Dersom det drejede sig om flere Buelamper, kunde man altsaa anbringe dem parallelt paa Ledningen og indskyde en Drosselspole foran hver af dem. Det vil dog ses, at dette dels kræver svære Ledninger og dels belaster Værkets Maskiner stærkere med Strøm, end

hvis man koblede et passende Antal Buelamper (her 4 Stk.) paa Serie sammen med en Forlagsmodstand. Denne Fremgangsmaade benyttes derfor i Reglen.

Det vil senere, under Buelamper, blive vist, at det i Almindelighed er bedre at anvende Transformator til Drift af enkelte Buelamper fremfor Drosselspoler.

Tekniske Maaleapparater og deres Anvendelse.

10. **Ampèremetre.** Til Maaling af Vekselstrøm kan man ikke benytte de til Maaling af Jævnstrøm hyppigst benyttede Deprez d'Arsonval'ske Instrumenter (jfr. I § 17), idet Vekselstrømmen afvekslende vil søge at dreje Ankeret i den ene og i den anden Retning, hvoraf Resultatet er, at Ankeret bliver staaende stille. De fleste

af de i det følgende beskrevne Vekselstrøminstrumenter kan derimod tillige benyttes til Maaling af Jævnstrøm, selv om en enkelt Skala ikke ved dem alle passer for begge Strømarter.

Elektromagnetiske Ampèremetre beror paa Paavirkningen af det ved den elektriske Strøm frembragte magnetiske Felt paa et bevægeligt Anker af tyndt Jærnblik. Fig. 40 viser skematisk et saadant Instrument, der indeholder en fast Traadrulle, som passerer af den Strøm, der skal maales. Lige over Traadrullens Midte hænger der et Anker af tyndt Jærnblik. Ankeret

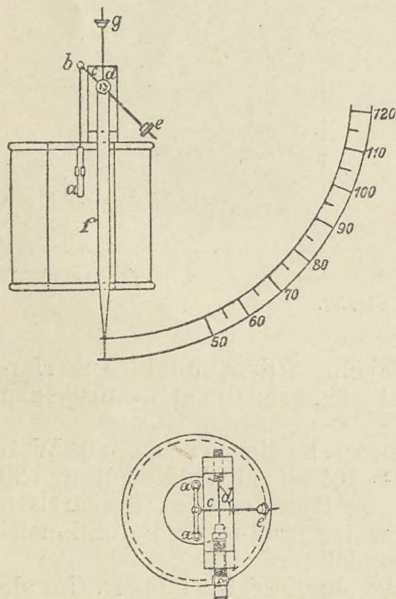


Fig. 40.

hænger i en Traad, der er fastgjort til en fra Viseren f's Aksel udgaaende Arm c. Ved Hjælp af indstillelige

Kontravægte g og e kan det bevægelige System afbalanceres saaledes, at Viseren staar paa Skalaens Nulpunkt, naar der ingen Strøm passerer igennem Traadrullen. Naar der derimod gaar Strøm igennem denne, tiltrækker den sit Anker, der, efterhaanden som Strømmen vokser, trækkes længere og længere ned i Spolen, hvorved Viseren drejes mere og mere bort fra sin Nulstilling. Som Modvægt imod Tiltrækningen paa Ankeret virker Viserens Vægt, der stadig søger at dreje Viseren ned i Nulstillingen. Naar Instrumentet anvendes til Vekselstrøm, ommagnetiseres Jærnblikket a for hver Strømvending. Da Udslaget er mindre for Vekselstrøm end for Jævnstrøm, og da Udslaget ved Vekselstrøm endda er afhængigt af Periodetallet og Kurveformen, maa disse Instrumenter altid justeres med den samme Art af Strøm, som de senere skal benyttes til. I det Hele er de elektromagnetiske Instrumenter ikke særlig nøjagtige, men da de er billige og simple, benyttes de dog en Del som Tavleinstrumenter. De elektromagnetiske Instrumenter skal saavidt muligt holdes udenfor ydre magnetisk Paavirkning, og bør saaledes ikke anbringes for tæt ved stærkt strømførende Ledninger. Iøvrigt fremstilles de elektromagnetiske Instrumenter i talrige og vidt forskellige Udførelser.

Elektrodynametiske Ampèremetre

beror paa den gensidige Paavirkning af en fast og en bevægelig Traadrulle, der begge gennemstrømmes af den Strøm eller en Del af den Strøm, der skal maales. I Fig. 41 ses et saadant Instrument skematisk. Den bevægelige Traadrulle er her anbragt inde i den faste og drejelig om en lodret Aksel, der for oven bærer Viseren. Ligesom ved de Deprez d'Arsonval'ske Instrumenter holdes den drejelige Spole i sin Nulstilling ved Hjælp af to tynde Spiralfjedre, der tillige tjener til at føre Strømmen til og fra den bevægelige Traadrulle. Naar Strømmen, der skal maales, føres igennem begge Traadrullerne, vil disse blive magnetiserede, og den faste Traadrulle vil søge at dreje den bevægelige i Pilens Retning, medens Spiral-

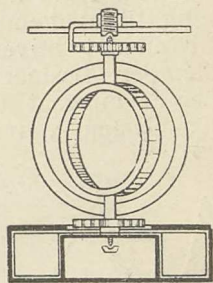


Fig. 41.

fjedrene vil søge at holde den tilbage. Den bevægelige Traadrulle vil da indtage en Stilling, i hvilken der er Ligevægt imellem den drejende Kraft og Fjedrenes Spænding. Hvis det er Vekselstrøm, der føres igennem Instrumentet, vil Spolernes Poler stadig skifte, men da de skifte samtidig i begge Traadruller, vil disses gensidige Paavirkning forblive uafhængig af Strømretningen saaledes, at Instrumentet viser lige godt for Jævnstrøm og for Vekselstrøm. Da Spiralfjedrene kun kan taale en forholdsvis ringe Strømstyrke, maa man i Reglen nøjes med at føre en Del af den Strøm, der skal maales, igennem den bevægelige Traadrulle, der i dette Øjemed som oftest er udført som en af ganske tynd Traad fremstillet Shunt til den af svær Traad udførte faste Rulle. Da Strømmen i begge Traadruller bliver proportional med den Strøm, der skal maales, vil Viserens Udslag vokse med Strømstyrken.

Denne Art af Instrumenter udføres som Præcisions-instrumenter, og Aflæsningerne er ret uafhængige af Periodetal og Kurveform, ligesom af, om der maales Jævnstrøm eller Vekselstrøm.

I Fig. 41 er der under Traadrullerne vist en Anordning til at dæmpe Viserens Bevægelse saaledes, at Instrumentet bliver aperiodisk. Dæmperen er en Luftdæmper, bestaaende af et fast ringformet Rør, hvori der er anbragt et Par i Forbindelse med det bevægelige System værende Vinger.

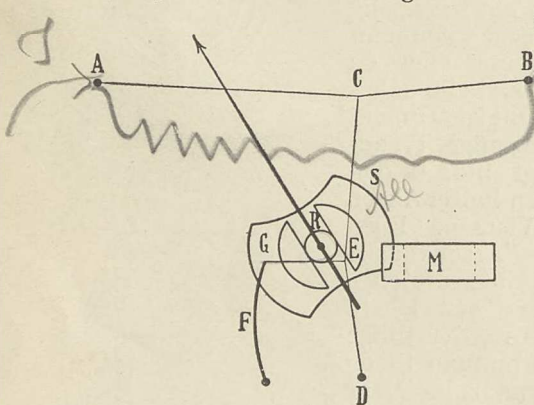


Fig. 42.

Glødetraads Amperemetre

beror paa, at en Traad, der gennemstrømmes af Elektricitet, opvarmes, og derved udvider sig mere og mere jo stærkere Strømmen er. Traadens Længdeudvidelse benyttes til at dreje en Viser. I Fig. 42 ses et saadant Instrument skematisk. Strømmen, der skal maales, føres igen-

nem en ved Enderne fastgjort Traad A-B af en Legering af Platin og Sølv; fra et Punkt C af denne er trukken en Traad

C-D og fra et Punkt E af denne en Traad, der er ført i en Slynge omkring en Rulle R og derfra til en Fjeder F. En Forlængelse af Traaden A-B vil medføre en mange Gange større Bevægelse af den paa samme Aksel som Rullen R anbragte Viser. For at faa Instrumentet aperiodisk er der paa Viserens Aksel fastgjort en Aluminiumskive S, hvis Kant bevæger sig imellem Polerne af en permanent Magnet M. Da den tynde Glødetraad A-B kun kan taale en forholdsvis lille Strømstyrke, føres ved Ampèremetre for større Strømstyrker kun en Brøkdelen af den Strøm, der skal maales, igennem Glødetraaden, idet denne da anordnes som en Shunt til en Hovedstrøm-Modstand paa lignende Maade som ved de Deprez d'Arsonval'ske Ampèremetre (I § 17). Glødetraadsinstrumenterne udmærke sig ved, at Aflæsningen er ens for Jævnstrøm og Vekselsstrøm og uafhængig af Periodetal, Kurveform og magnetisk Paavirkning, hvorfor man ogsaa har kunnet benytte den simple magnetiske Dæmpning. Derimod er Glødetraadsinstrumenterne behæftede med den Mangel, at Traaden A-B's Længde forandrer sig noget med Tiden, saaledes, at Aflæsningerne bliver forkerte, hvis man ikke hyppigt sørger for at rette Fejlen, hvilket udføres ved at man spænder Traaden A-B ved Drejning af en Skrue, indtil Viseren staar paa Nul, naar Ampèremetret er strømløst.

Induktions Ampèremetre beror paa, at en drejelig Metalskive eller Klokke, der paavirkes af et saakaldet Ferraris Drejefelt, vil søge at dreje sig med en Kraft, der vokser med Feltets Styrke. Drejefeltet opstaar ved den gensidige Paavirkning af to ved Vekselsstrøm frembragte vekslende Magnetfelter, der er forskudte i Fase i Forhold til hinanden. I Fig. 43 ses et saadant Ampèremeter skematisk og i Fig. 44 ses Instrumentet uden Kappe. A er en af Jærnblik fremstillet Ring, der er forsynet med fire indadvendende Polben E og F, inden for hvilke der er anbragt en cylindrisk, lamelleret Jærnerne C. I det ringformede Luftrum imellem denne og Polskoene er der ophængt en om en Aksel D drejelig Aluminiumscylinder B, hvis Aksel tillige bærer Viseren Z og en Spiralfjeder, der stadig søger at holde Viseren paa Skalaens Nulpunkt. De to lige over for hinanden liggende Magnetbens Beviklinger passerer af en Del af den Strøm, der skal maales, medens de to andre Traadruller E passerer af en Strøm, der dels er proportional med den ovennævnte og dels er forskudt i Fase i Forhold til den. De to saaledes frembragte Vekselfelter vil

søge at dreje Aluminiumscylindren B rundt, og denne vil da indtage en Stilling, i hvilken der er Ligevægt imellem den drejende Kraft og Fjedrens Spænding. For

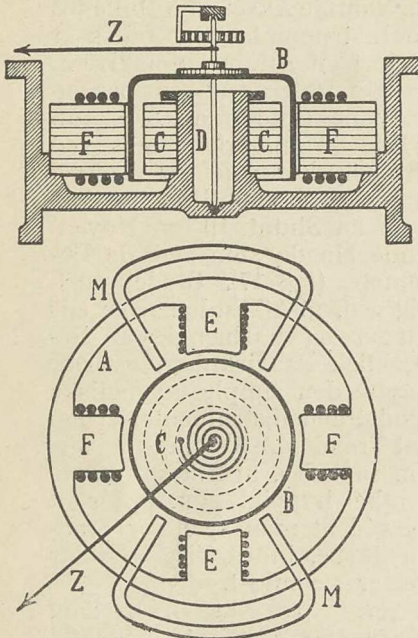


Fig. 43.

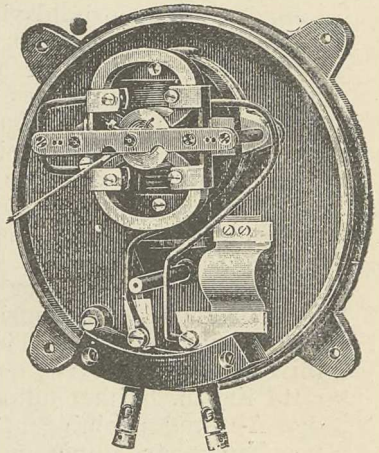


Fig. 44.

at faa Instrumentet aperiodisk, er der anbragt et Par permanente Magneter, der dæmper Bevægelsen ved de under Cylindren B's Drejning frembragte Hvirvelstrømme.

Ved denne Art af Ampèremetre, der i Følge hele deres Virkemaade kun kan benyttes til Maaling af Vekselsstrøm, afhænger Viserens Udslag noget af Strømmens Periodetal og Kurveform, og Instrumenterne maa derfor justeres ved Hjælp af Strøm af saa vidt muligt samme Art som den Strøm, til hvilken Instrumentet senere skal benyttes.

11. **Voltmetre.** Til Maaling af Vekselsspændinger kan i Hovedsagen benyttes Instrumenter af samme Typer som de foran beskrevne Ampèremetre, kun med den Ændring, at Traadrullerne som Regel i Stedet for at være beviklede med faa Vindinger af tyk Traad er beviklede med mange Vindinger af ganske tynd Traad,

saaledes at Instrumentet faar en til Spændingen passende Modstand. Undertiden anbringes der ogsaa Forlagsmodstande foran de egentlige aktive Traadruller paa lignende Maade som ved Jævnstrømsvoltmetre (I § 18). Ved Vekselstrømsvoltmetre bør denne Forlagsmodstand være viklet induktionsfri. Ved Glødetraadsvoltmetrene kan Glødetraadens Tykkelse ikke indskrænkes væsentlig under 0,05 mm, og Følgen heraf er, at der altid maa en vis ret stor Strømstyrke til at ophede Traaden, hvorfor Glødetraadsvoltmetrenes Strømforbrug er forholdsvist stort.

Foruden de forannævnte Instrumenttyper kan man til Maaling af Vekselspændingen benytte statiske Voltmetre af ganske samme Type som de til Jævnstrøm benyttede (I § 18). De statiske Voltmetre egner sig navnlig til Tavleinstrumenter, men benyttes dog ogsaa som transportable Instrumenter til Maaling af høje Spændinger. Fig. 45

viser et saadant Instrument, hvis bevægelige System bestaar af en om en vandret Aksel drejelig Aluminiumskive, der er forsynet med en paa en Skala pegende Viser. Det faste System bestaar af et Par lodrette Kulisser, ind imellem hvilke Aluminiumskiven trækkes, naar der er en Spændingsforskel imellem den og Kulisserne. Som Modkraft imod Tiltrækningen tjener Tyngdekraften, idet Aluminiumskiven er afballanceret saaledes, at den

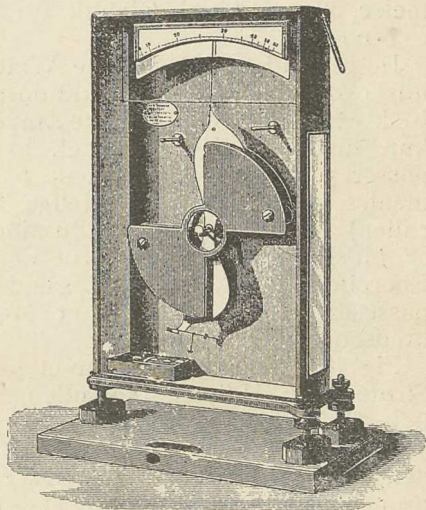


Fig. 45.

søger hen i sin Nulstilling. Ved at hænge forskellige, nøjagtigt justerede Vægte paa Skivens nederste Ende kan man forhøje Instrumentets Maaleomraade, idet der jo skal en større Spænding til at bevæge Skiven, naar dennes Overvægt er større. Dette Instrument kræver en nøjagtig Opstilling.

12. **Wattmetre.** Til Maaling af det øjeblikkelige

Energiforbrug i en Jævnstrømkreds benyttes som oftest et Voltmeter og et Ampèremeter, idet Energiforbruget jo er $A = e \cdot i$ Watt. I en Vekselstrømkreds er det øjeblikkelige Energiforbrug derimod som tidligere vist $A = e \cdot i \cdot \cos \varphi$, hvor φ er Strømmens Faseforskydning i Forhold til Spændingen. Ved nogenlunde induktionsfri Belastning, saasom f. Eks. udelukkende Glødelamper, er Faseforskydningen omtrent Nul ($\cos \varphi$ omtrent 1), og man kan derfor i en saadan Strømkreds tilnærmelsesvis faa det øjeblikkelige Energiforbrug ved at multiplicere den med et Voltmeter maalte Spænding med den med et Ampèremeter samtidig maalte Strømstyrke. Ved Strømkredse med stor Selvinduktion, saasom f. Eks. ved Motoranlæg, er Faseforskydningen derimod saa stor, at Produktet af den maalte Strømstyrke og den maalte Spænding bliver betydelig større end det øjeblikkelige Energiforbrug. Til nøjagtig Maaling af dette har man derfor konstrueret særlige Instrumenter, Wattmetre, der i hvert Øjeblik direkte angiver Produktet $e \cdot i \cdot \cos \varphi$.

De almindeligst anvendte Wattmetre er elektrodynamiske og svarer i Konstruktionsprincippet til de foran beskrevne elektrodynamiske Ampèremetre og Voltmetre, kun med den Hovedforskel, at den faste Strømrulle passerer af Hovedstrømmen, hvis Energiforbrug skal maales, medens den bevægelige Traadrulle (Spændingsrullen) med tilhørende induktionsfri Forlagsmodstand er indskudt imellem Polerne af den Strømkreds, hvis Energiforbrug skal maales, saaledes at Spændingsrullen passerer af en Strøm, der er proportional med Strømkredsens Spænding.

Fig 46 viser et Skema for et saadant Wattmeter. I er Strømrullen, II Spændingsrullen, A—B Nyttmodstanden, hvis Energiforbrug skal maales. Naar den bevægelige Traadrulle staar i en eller anden bestemt Stilling, er den drejende Kraft, der paavirker den i ethvert Øjeblik, proportional med Produktet af de to øjeblikkelige Strømstyrker i de to Traadruller (I § 14), men den øjeblikkelige Strømstyrke i Spændingsrullen er jo — forudsat at Selvinduktionen i Spændingsrulle og Forlagsmodstand tilsammen er meget lille i Forhold til den tilsvarende Modstand — proportional med den øjeblikkelige Forbrugsspænding e imellem A og B. Det øjeblikkelige Drejningsmoment d er saaledes proportionalt med Produktet af den øjeblikkelige Strømstyrke i og den øjeblikkelige Spænding, men dette Produkt er netop lig

Strømkredsens øjeblikkelige Energiforbrug, og Middel-drejningsmomentet er derfor ogsaa lig Middelenergi-forbruget.

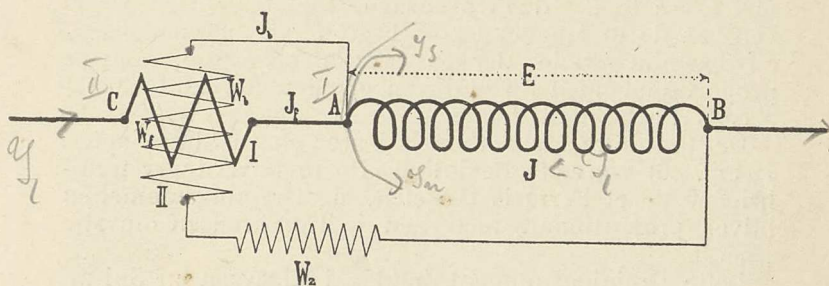


Fig 46

Naar det bevægelige System er frit, vil Drejningsmomentet — og altsaa ogsaa Energiforbruget — til enhver Stilling have en ganske bestemt Værdi, der svarer til Fjederens Spænding i den paagældende Stilling, hvorefter følger, at man kan forsyne Instrumentet med en Skala, paa hvilken Energiforbruget kan aflæses direkte. Viseren vil saaledes f. Eks. staa paa 1000 Watt baade i Tilfælde af 1) $J = 4$ Amp., $E = 250$ Volt, $\cos \varphi = 1$ og 2) $J = 20$ Amp., $E = 100$ Volt, $\cos \varphi = 0,5$, forudsat at Strømrullen og Spændingsrullen er dimensionerede for mindst henholdsvis 20 Amp og 250 Volt.

Wattmetre af denne Type kan anvendes lige godt for Vekselstrøm og Jævnstrøm. Som det ses af Skemaet, Fig. 46, passerer Strømrullen foruden af Forbrugsstrømmen ogsaa af den i Spændingsrullen passerende Strøm. Herved kommer Instrumentet til at vise noget for meget, men Fejlen vil kun faa nogen praktisk Betydning i Strømkredse, hvor Strømstyrken er forholdsvis lille og Spændingen forholdsvis stor. I saadanne Tilfælde kan man formindske Fejlen ved at forbinde Spændingsrullen fra C til B i Stedet for fra A til B. Herved fremkommer ganske vist den Fejl, at Spændingsrullen paavirkes af Spændingen C B, der er noget større end Forbrugsspændingen A B, men denne Fejl er uden praktisk Betydning, naar Forbrugsspændingen er forholdsvis stor og Strømstyrken forholdsvis lille.

Foruden de elektrodynamiske Wattmetre findes der Wattmetre efter andre Systemer, der dog ikke har nogen stor Betydning.

Foruden de elektrodynamiske Wattmetre findes der

Wattmetre af forskellige Systemer, af hvilke de vigtigste er Induktionswattmetrene. Disse beror paa det samme Princip som de i § 10 beskrevne Induktionsampèremetre, fra hvilke de i Hovedsagen kun adskiller sig derved, at de to Magnetben F (Fig. 43) er forsynede med en Spændingsspole, der passerer af en Strøm, som er proportional med Spændingen e , men forskudt 90° i Fase i Forhold til denne.

De to andre Magnetben E bærer en til Strømspolen I (Fig. 46) svarende Bevikling. De to Beviklinger frembringer da et Ferraris Drejefelt, og Drejningsmomentet bliver proportionalt med den i Strømkredsen omsatte Energi.

Dette Drejningsmoment holdes i Ligevægt af Spiral-fjedrens Spænding, der er proportional med Viserens Udslag, hvorefter følger, at dette maa vokse med Effekten $e \cdot i \cdot \cos \varphi$.

Til at frembringe en Faseforskydning paa 90° mellem den i Spændingsspolen passerende Strøm og selve Spændingen e , der frembringer den, anvendes forskellige Midler, der ikke skal beskrives nærmere her. Kun skal det nævnes, at man ved blot at give Spændingsspolens Strømkreds en meget stor Selvinduktion i Forhold til Modstanden kan opnaa en Faseforskydning af omtrent 90° .

Induktionswattmetrene maa justeres med Strøm af samme Art, som den, til hvilken de senere skal benyttes. De anvendes mest som Tavleinstrumenter.

13. Elektricitetsmaalere. Den Opgave, der stilles til Vekselstrømmaalere er, at de skal kunne opsummere Produkterne $e \cdot i \cdot \cos \varphi \cdot t$, hvor e og i er de effektive Værdier af Spænding og Strøm, $\cos \varphi$ Arbejdsfaktoren og t Tiden, i hvilken den paagældende Strøm passerer Maaleren.

Af de i Bogens 1ste Del § 22 beskrevne Maalere for Jævnstrøm kan Wattimemaalere uden væsentlige Forandringer tillige benyttes til Vekselstrøm, saaledes f. Eks. Arons og Thomsens Wattimemaalere, men da der findes en langt enklere og iøvrigt god Type af Vekselstrømmaalere, anvendes de ovenfor nævnte Jævnstrømmaalere kun sjældent til Vekselstrøm.

De typiske Vekselstrømmaalere er af Ferraris System og svare i deres Virkemaade til de ovenfor beskrevne Induktionswattmetre.

En paa en lodret Aksel anbragt vandret Alluminiumskive kan dreje sig imellem et Magnetsystem, der danner et Ferraris Drejefelt, idet der frembringes dels

et Magnetfelt, der er proportionalt med og i Fase med Strømmen og dels et Magnetfelt, der er proportionalt med, men faseforskudt 90° for Spændingen.

Der opstaar derved i Skiven et Drejningsmoment, som er proportionalt med $e \cdot i \cdot \cos \varphi$. Skiven bremses ved Hjælp af en permanent Hestekomagnet, imellem hvis Poler Skiven drejer sig — jfr. I, Motormaalere, 9. Stykke — hvorved de dannede Hvirvelstrømme vil bremse Skiven med en Kraft, der er proportional med Hastigheden.

Naar der passerer en vis Energimængde igennem Maaleren, vil det derved frembragte Drejningsmoment sætte Skiven i Bevægelse med en saadan Hastighed, at den af den permanente Magnet frembragte Bremskraft er lig med den fremdrivende Kraft. Da denne er proportional med Energien, medens Bremskraften er proportional med Hastigheden, maa denne sidstnævnte blive proportional med Energimængden.

Skiven driver paa sædvanlig Maade et Tælleværk, hvis Fremgang angiver Produktet af Energien og den tilsvarende Tid.

I Fig. 47 ses en ssadan Maaler med afftaget Dæksel.

14. Maaling af Periodetal.

Saaftremt Vekselsstrømgeneratoren forefindes paa det Sted, hvor der skal maales, kan man bestemme Periodetallet ved at multiplicere Antallet af Generatorens Polpar med Antallet af dens Omdrejninger pr. Sekund. Antallet af Polpar tælles simpelthen, medens Generatoren staar stille. Omdrejningstallet maales ved Hjælp af en Omdrejningstæller og et Ur eller angives direkte ved Hjælp af et Tachometer. Disse Maaleapparater, der er af ren mekanisk Art, forudsættes bekendte.

Saaftremt man har en passende, jærnfri Traadrulle,

Leth og Rée: Vejledning for elektriske Installatører. II. Del.

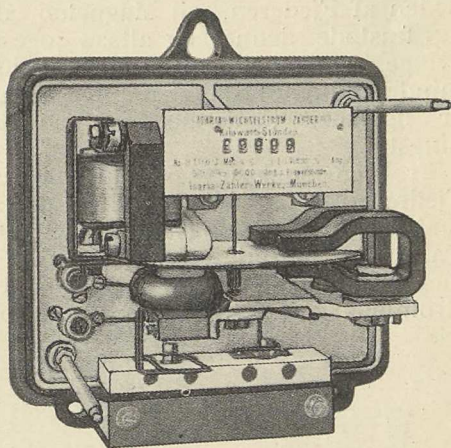


Fig. 47.

hvis ohmske Modstand m og Selvinduktionskoefficient L er givne, kan man finde Periodetallet n af en Strøm ved at lede denne igennem Traadrullen og maale Strømstyrken i og Spændingen e . Man har da

$$i = \frac{e}{\sqrt{m^2 + (2 \pi n L)^2}} \text{ hvoraf}$$

$$n = \frac{\sqrt{\left(\frac{e}{i}\right)^2 - m^2}}{2 \pi L}$$

Den almindeligst benyttede Maade at maale Periodetal er ved Hjælp af en Frekvensmaaler med svingende Fjedre.

Naar en tynd Bladfjeder af Staal fastspændes ved den ene Ende og man giver den anden Ende et Slag, vil Fjederen i nogen Tid svinge frem og tilbage omkring sin Ligevægtsstilling. Antallet af Svingninger pr. Sekund afhænger som bekendt af Fjederens Længde m . Naar man anbringer en Vekselstrømmagnet i Nærheden af Fjederen, vil Magneten afvekslende tiltrække og frastøde denne, og altsaa søge at bringe den til at svinge frem og tilbage. Dette vil dog ikke lykkes, med mindre Svingningstallet for den magnetiske Paavirkning er lig med Fjederens ovennævnte naturlige Svingningstal.

Frekvensmaalerne bestaar af en Række saadanne Fjedre med forskellige Svingningstal, der er afstemte saaledes, at Svingningstallet vokser fra Fjeder til Fjeder fra den ene Ende af Rækken til den anden. Langs med Rækken af Fjedre er anbragt en eller flere Vekselstrømmagneter, hvis Bevikling forbindes med Polerne

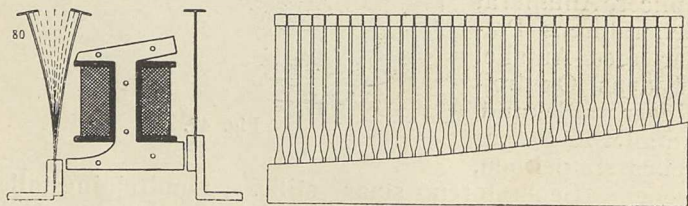


Fig. 48.

af Strømkilden. Medens alle de andre Fjedre forbliver i Ro, vil den ene Fjeder, hvis naturlige Svingningstal er lig med Strømmens — og altsaa ogsaa Magnetens —

Periodetal, give sig til at svinge frem og tilbage, og naar hver Fjederes Svingningstal er angivet paa en langs Rækken af Fjedre anbragt Skala, kan man her straks aflæse det søgte Svingningstal som det Tal, der staar udfør den svingende Fjeder.

I Fig. 48 ses Svingningssystemet. Paa Enden af hver Fjeder er der anbragt en paa tværs af Fjederens Længderetning stillet Fane, saaledes at man, naar man ser ind imod Fjedrene i disses Længderetning, let kan se, hvilken Fjeder der svinger.

I Fig. 49 ses et Tavle-instrument og i Fig. 50 Billedet af Skalaen med en svingende Fjeder, der angiver Periode-tallet 91.

15. Maaling af Selv-induktionskoefficienter.

Til Maaling af Selv-induktionskoefficienter benyttes ofte »Normal-Selvinduktioner«, hvis Selvinduktionskoefficienter kendes ganske nøjagtig. Saadanne »Normal-Selvinduktioner« kan være faste og uforanderlige, eller de kan være indstillelige. De førstnævnte er som Regel nøjagtigere.

I Fig. 51 ses en fast Normal paa 1 Henry og bestaa-

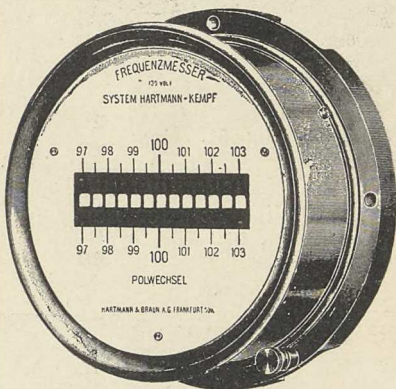


Fig. 49.

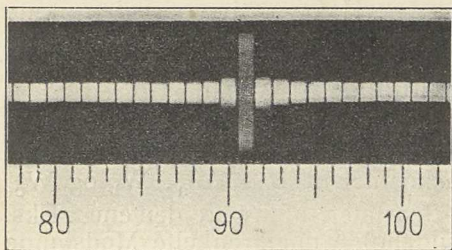


Fig. 50.

ende af en jærnfri Rulle af Marmor, Ebonit el. l. med en Bevikling af et stort Antal Vindinger af isoleret Traad. Beviklingens Enden er forbundne med de oven paa Rullen viste to Klemmer. For at Selvinduktionskoefficienten

skal holde sig uforandret, maa Beviklingens Traade ligge urokkeligt fast. For at der ikke skal opstaa

Hvirvelstrømme, maa Rullen saavidt muligt ikke indeholde Metaldele, og selve Traaden er af samme Grund ikke stiv, men sammensat af ganske tynde Traade, der er isolerede fra hinanden ved Lak el. lign.

Beviklingen er beskyttet ved Hjælp af en Kappe.



Fig. 51.

I Fig. 52 ses en indstillelig Normal-Selvinduktion, bestaaende af en fast indre Traadrulle P samt en ydre Traadrulle S, der ved Hjælp af en Mikrometerskrue med Haandsving K kan skydes mere eller mindre ind over Rullen P, hvorved de to Traadruller, der er forbundne i Serie, tilsammen faar en større eller mindre

Selvinduktionskoefficient. Paa Traadrullen S er der fastgjort en Viser z, der peger paa en paa Fodstykket anbragt Skala T, som angiver Selvinduktionskoefficienten

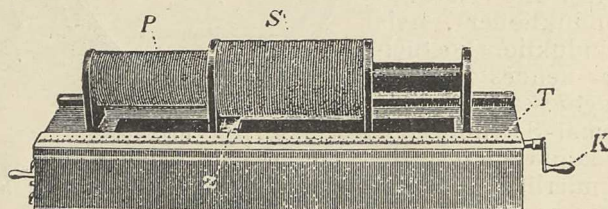


Fig. 52.

for hver Indstilling. Med Hensyn til Hvirvelstrømme etc. gælder det samme som for de faste Selvinduktions-Normaler.

Fig. 53 viser en Opstilling til Maaling af en Selvinduktionskoefficient L_x — i en Leder uden Jærn — ved Hjælp af en Art Wheatstones Bro med en fast Normal-Selvinduktionskoefficient L_n . W_a , W_b og W_c er induktionsfri Prop-Reostater, af hvilke den ene f. Eks. W_a kun behøver at indeholde nogle enkelte Modstande som f. Eks. 1^ω , 10^ω , 100^ω og 1000^ω , medens de andre maa være indstillelige f. Eks. med $0,1$ Ohms Intervaller fra $0,1^\omega$ til 1000^ω — jfr. I (Stykke 20).

Først bringes Broen i Ligevægt paa alm. Maade, idet man dog stadig sørger for at Nøglen I kun sluttet eller

afbrydes, medens Nøglen II er afbrudt. Naar Broen er afbalanceret, ved man, at

$$\frac{W_x}{W_n + W_c} = \frac{W_a}{W_b} \quad \text{alm.}$$

Naar man dernæst sætter Strøm paa Broen ved først at slutte Nøglen II og derefter Nøglen I, vil det i Almindelighed vise sig, at Galvanometret, hvis det ikke er stærkt dæmpet, gør en Svingning til den ene Side og tilbage igen. Dette hidrører fra, at Selvinduktionen i L_x og L_n , idet Strømmen sluttet, frembringer en øjeblikkelig modelektromotorisk Kraft i Broens Grene EC og CF., hvorved der opstaar en Induktionsstrøm.

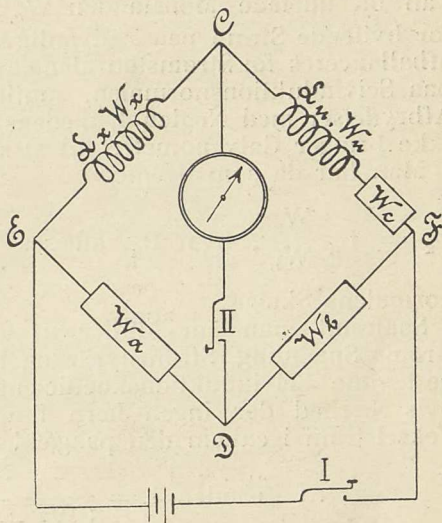


Fig. 53.

Det kan imidlertid bevises, at ingen Del af denne Induktionsstrøm vil passere Galvanometret, saafremt

$$\frac{L_x}{L_n} = \frac{W_a}{W_b}$$

Efter at have observeret Galvanometrets Udsving, indsætter man en anden Modstand i W_c , afbalancerer Broen paa sædvanlig Maade og udfører derpaa et nyt Svingningsforsøg som ovenfor nævnt. Ved at iagttage Udsvingets Størrelse og Retning er man i Stand til at bestemme, om der skal sættes mere eller mindre Modstand ind i W_c .

Forsøgene gentages indtil det er lykkedes at faa Broen afbalanceret baade for vedvarende Strøm og for Strømskud.

Man har da som nævnt

$$L_x = L_n \cdot \frac{W_a}{W_b}$$

hvilke tre Størrelser alle kender.

Saafermt man har en passende, indstillelig Selvinduktionsnormal, bliver Maalingen betydelig simplere. Man kan da udelade Modstanden W_c . Broen afballanceres for hvilende Strøm paa sædvanlig Maade, hvorefter den afballanceres for Strømskød alene ved, at man indstiller paa Selvinduktionsnormalen, indtil Strømslutninger og Afbrydelser med Nøglen I, medens Nøglen II er sluttet, ikke bringer Galvanometret til at svinge.

Man har da som ovenfor

$$L_x = L_n \frac{W_a}{W_b}, \text{ hvor } L_n \text{ aflæses paa Selvinduktions-}$$

normalens Skala.

Saafermt man har Midler til at maale en Vekselstrøms Spænding, Strømstyrke og Periodetal, kan man bestemme Selvinduktionskoefficienten af en Leder, i hvis Nærhed der ingen Jærn findes, ved at lede en Vekselstrøm igennem den paagældende Leder, Spole e. l.

$$\text{Af Formlen } i = \frac{E}{\sqrt{W^2 + (2\pi n L)^2}}$$

$$\text{faas nemlig } L = \frac{\sqrt{\left(\frac{E}{i}\right)^2 - W^2}}{2\pi n}$$

16. Maaling af Kapacitet. Hertil benyttes ofte Normal-Kondensatorer, af hvilke man forlanger, at deres Kapacitet, der er paastemplet dem, skal saavidt muligt holde sig uforandret med Tiden. Kondensatorer, der bibeholder deres Kapacitet ganske uforandret, er imidlertid ret kostbare og uhaandterlige, hvorfor man i Almindelighed ved tekniske Maalinger maa slaa noget af paa den nævnte Fordring. Der benyttes da i Almindelighed Kondensatorer fremstillede ved at lægge Blade af Stanniol og Glimmer afvekslende oven paa hinanden og saaledes, at hver andet Stanniolblad rækker udover Glimmerbladernes Kant ved den ene Side, og hver andet Stanniolblad rækker ud over Glimmerbladernes Kant ved den anden Side.

I Fig. 54 er Bladenes Anbringelse vist skematisk. De ved den ene Side fremspringende Stanniolblade forbindes indbyrdes og med Kondensatorens ene Polklemme. Hele Pakken af Blade fastspændes i en lukket Kasse.

Da saadanne Glimmerkondensatorer for større Kapaciteter er ret bekostelige, anvender man ved Maalinger, hvor der ikke stilles store Fordringer til Nøjagtigheden, Kondensatorer, ved hvilke der i Stedet for Glimmer er anvendt Papir imprægneret med Paraffin e. l.

I Fig. 55 er vist en Broopstilling til Maaling af Kapacitet. W_1 og W_2 er to Reostater, af hvilke den ene maa være indstillelig med smaa Intervaller, medens den anden kun behøver at indeholde nogle faa Modstande, som f. Eks. 1, 10, 100 og 1000 ω .

C_1 er den Kondensator, hvis Kapacitet søges. C_2 er en Normalkondensator.

Naar man trykker Nøglen T ned, lades Kondensatorerne, idet Ladestrømmen passere Modstandene W_1 og W_2 . En Del af Ladestrømmen vil imidlertid passere igennem Galvanometret med mindre Modstandene W er saaledes afpassede, at

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{W_2}{W_1}$$

Idet man slipper Nøglen T, aflades Kondensatorerne igen, og en Del af Afladestrømmen vil passere Galvanometret med mindre Modstandene er afpassede som ovenfor angivet.

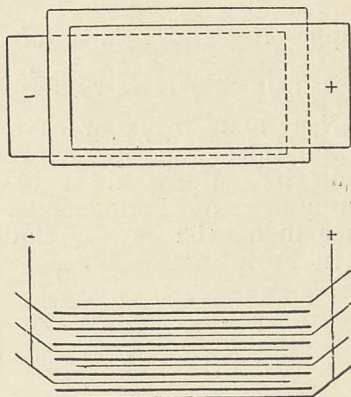


Fig. 54.

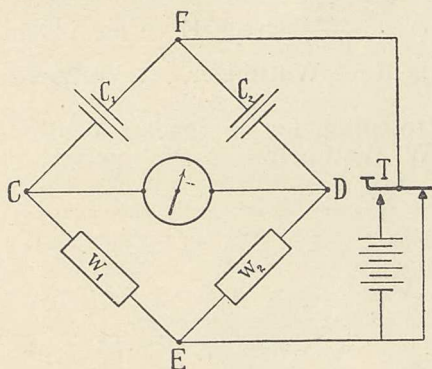


Fig. 55.

Maalingen gaar for sig paa den Maade, at man forsøgsvis indstiller paa en af Modstandene W , indtil Galvanometret intet Udslag gør, naar man slutter eller slipper Nøglen T . Man har da $C_1 = \frac{W_2}{W_1} \cdot C_2$, hvor de tre sidste Størrelser kendes.

Naar man forbinder en Kondensator med en Vekselstrømkilde, kan man beregne Kapaciteten, saafremt man har Midler til at bestemme Spændingen, Ladestrømmen og Periodetallet. Til Spændingsmaalingen maa man helst have et statisk Voltmeter.

Af Formlen

$$i = \frac{E}{\sqrt{W^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

faas, idet man kan sætte W og L lig 0,

$$I = E \cdot \omega \cdot C, \text{ hvoraf}$$

$$C = \frac{I}{E \cdot \omega} \text{ Farad.}$$

17. **Maaling af Faseforskydning.** Af Udtrykket for en Vekselstrøms Effekt $E = e \cdot i \cdot \cos \varphi$ findes Faseforskydningsvinklen $\cos \varphi = \frac{E}{e \cdot i}$, hvor E , e og i kan maales direkte ved Hjælp et Wattmeter, et Voltmeter og et Ampèremeter.

I Fig. 56 er vist en Opstilling for en saadan Maaling. A er Ampèremetret, W Wattmetret, V Voltmetret og M Nyttmodstanden.

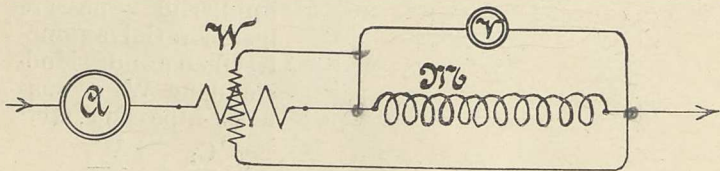


Fig. 56.

Faseforskydningen kan ogsaa maales direkte ved Hjælp af særlige dertil konstruerede Faseforskydningsmaalere. I Fig. 57 er vist en saadan Faseforskydnings-

maaler, der er bygget efter det elektrodynamiske Princip og i sin Opstilling minder en hel Del om et Wattmeter. Det bestaar af en fast Strømrulle, inden i hvilken der er anbragt et bevægeligt System, bestaaende af to paa hinanden vinkelrette Spændingsruller. Disse er forbundne med Nyttetmodstandens Poler, men foran den ene af dem er der indskudt en stor induktionsfri Modstand, medens der foran den anden Rulle er indskudt en stor Selvinduktion saaledes, at Strømmen i den ene Rulle bliver tilnærmelsesvis i Fase med Spændingen, medens Strømmen i den anden Rulle blev faseforskudt c. 90° i Forhold til Spændingen.

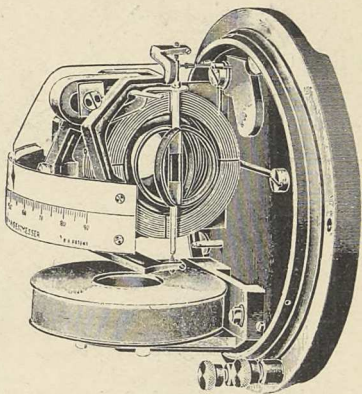


Fig 57.

Det kan bevises, at det bevægelige System, der frit kan dreje sig, vil indstille sig i en Stilling, der afhænger af Faseforskydningen, saaledes at denne kan angives direkte af den paa det bevægelige System fastgjorte Viser, der peger paa en Skala.

Saadanne Faseforskydningsmaalere anvendes mest ved større Vekselstrømcentraler.

18. **Optegning af Strøm- og Spændingskurver.** Det er hidtil forudsat, at Vekselstrømme og Vekselspændinger forløber efter Sinoider; som nævnt, er dette imidlertid ikke ganske Tilfældet i Praksis, og det kan derfor under Tiden have Betydning at faa optegnet de virkelige Strøm- og Spændingskurver.

I Fig. 58 ses den saakaldte Jouberts Skive, ved Hjælp af hvilken man kan bestemme et enkelt Punkt ad Gangen af en Spændings- eller Strømkurve. Apparatet bestaar af to fast forbundne, men fra hinanden isolerede Metalskiver, der kan bringes til at rotere hurtigt omkring deres fælles Akse.

Fra Skiven II passerer der en Metalstrimmel, c, ind i en tilsvarende Slidse i Skiven I, fra hvilken den dog er isoleret. Paa Omkredsen af hver af de to Skiver hviler der en Børste, B_1 & B_2 . Naar de to Skiver sættes i Rotation med et Omdrejningstal, der er nøj-

agtig lig med Antallet af Perioder for den Strøm eller Spænding, hvis Kurve skal maales, vil Børsterne B_1 & B_2 ,

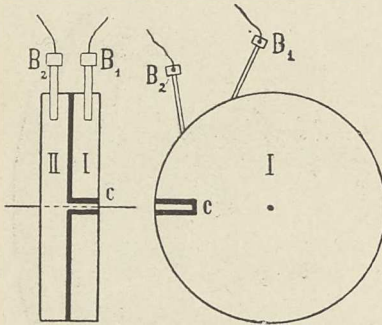


Fig. 58.

der ellers stadig er isolerede fra hinanden, blive indbyrdes forbundne, hver Gang Børsten B_1 berører Metalstrimmelen, c , altsaa én Gang i hver Periode. Naar man vil maale de enkelte Punkter af en Spændingskurve, forbinder man et godt dæmpet Voltmeter med Generatorens to Polklemmer, idet man indskyder Jouberts Strømslutter i den

ene Forbindelsesledning. Voltmetret vil da i et bestemt Øjeblik af hver Periode modtage en Impuls svarende til Størrelsen af Spændingen i det Øjeblik af Perioden, i hvilken Strømslutningen ved Strimlen c finder Sted.

Da Antallet af Strømslutninger ved de almindeligst benyttede Vekselstrømme er saa stort (c. 50 i Sekundet), vil Voltmetret, navnlig hvis det er godt dæmpet, gøre et konstant Udslag, der svarer til Spændingens Værdi i det Øjeblik, Strømslutningen finder Sted.

Naar man flytter Børsten B_1 et vist Stykke langs

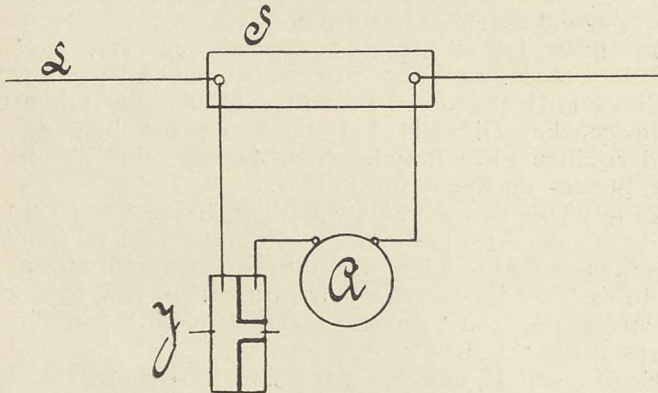


Fig. 59.

med Skiven I 's Omkreds, medens Skiverne stadig roterer i samme Forhold til Spændingskurven som hidtil,

vil Maaleinstrumentet gøre et Udslag, der svarer til et nyt Punkt af Spændingskurven. Man kan saaledes efterhaanden maale sig til saa mange Punkter af Spændingskurven, at man bliver i Stand til at tegne denne op.

Er det en Strømkurve, man skal maale, kan man benytte en Opstilling, som vist i Fig. 59.

I Ledningen L, der passerer af den Strøm, hvis Kurve skal bestemmes, er indskudt et Ampèremeter, bestaaende af en induktionsfri Shunt S og et Millivoltmeter A. I den ene af dettes Tilledninger er Jouberts Skive J indskudt.

Til direkte Optegning af Strøm- eller Spændingskurver benyttes de saakaldte Oscillografer. Den Strøm, der skal undersøges, sendes igennem en Traadsløjfe, som er udspændt imellem Polerne af en Magnet, Fig. 60, og til hvilken der er fastgjort et lille Spejl. Som det ses er Sløjfens Ender for neden fastgjort til Klemmestykker. For oven gaar Sløjfen omkring en Skive og iøvrigt holdes den udspændt ved

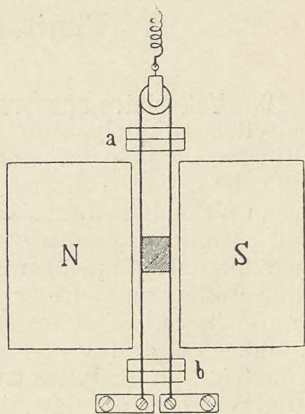


Fig. 60.

Hjælp af den øverst paa Figuren viste Fjeder. Hele det bevægelige System er meget let, og dets naturlige Svingningstid maa være saa lille som f. Eks. c. $\frac{1}{4000}$ Sekund. Den Strøm, eller en Del af den Strøm, der skal maales, føres igennem Traadsløjfen, og paa Grund af Magnetfeltets Paavirkning vil denne da sættes i Svingninger med en Svingningstid, svarende til Periode-tallet for den passerende Vekselstrøm, idet Spejlets øjeblikkelige Stilling vil svare til Strømmens øjeblikkelige Værdi.

Naar man lader Lyset fra en Lyskilde falde paa Spejlet, og herfra kastes tilbage paa en Skærm, vil det paa denne frembragte lysende Punkt bevæge sig hurtigt frem og tilbage følgende Strømmens Svingninger. Paa Grund af Bevægelsens Hurtighed ser man imidlertid kun en smal, lysende Stribe.

Hvis man lader et Stykke fotografisk Papir passere hurtigt men med jævn Hastighed i Retning vinkelret paa Striben, vil man paa Papiret faa frembragt en

Kurve, svarende til den paagældende Strømkurve. Til Oscillograferne hører et særligt Apparat, ved Hjælp af hvilket man direkte kan iagttage Kurverne.

Vekselstrømmaskiner og Transformatorer.

19. **Vekselstrømgeneratorer.** Den Vekselstrøm, der benyttes til Belysning og Kraftoverføring, fremstilles altid ved Hjælp af Maskiner, hvilke vi i denne Bog ville benævne Vekselstrømgeneratorer, de kaldes dog ogsaa Vekselstrømmaskiner eller Alternatorer.

De kunne ligesom Jævnstrømsdynamoerne bestaa af én eller flere faststaaende Magneter, gennem hvis Felt eller Felter man drejer et System af Ledere, eller de kunne bestaa af et faststaaende System af Ledere, forbi hvilke der drejes et System af Magneter. Den første Konstruktion benyttes kun til smaa Generatorer, indtil 10 KW., og med lav Spænding, men da Vekselstrømgeneratorer i Reglen netop anvendes til større Kraftydelser og høje Spændinger, er denne Konstruktion ikke meget anvendt. Almindeligvis benyttes den anden Konstruktion og en moderne Vekselstrømgenerator vil have det Udseende, der ses skitseret i Fig. 61.

Magnetsystemet bestaar her af 8 Poler, der ere fæstede til en Hjulkrans. Hele Systemet kaldes Rotor eller Polhjul. Polerne ere afvekslende Sydpoler og Nordpoler, og Magneterne ere Elektromagneter, hvis Magnetiseringsstrøm leveres af en særlig Jævnstrømskilde og tilføres Rotor gennem to Slæberinge (Kontaktringe) med dertil tilhørende Børster.

Jævnstrømskilden er oftest en Shuntdynamo, der sidder fast paa selve Vekselstrømgeneratorens Aksel, og den forbruger en Energimængde, der har en Størrelse af 2,5—6 % af Vekselstrømgeneratorens normale maksimale Ydelse, den lave Værdi gælder for store Generatortyper, den store for smaa.

Det System af Ledere, i hvilket Vekselstrømmen induceres, er anbragt i Noter paa den indvendige Side af en Jernring, der ligesom Jævnstrømsdynamoernes

Ankerkerne er sammensat af udskaarne og udstantsede Plader af blødt Jernblik. Hele denne faste Del af Generatoren kaldes Stator eller Ankeret.

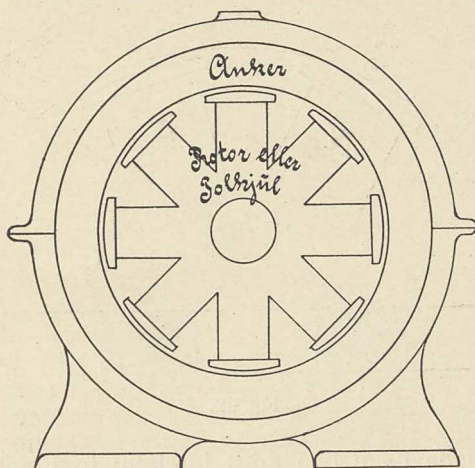


Fig. 61.

Da Ankertraadene ligge stille, behøver Generatoren i Modsætning til Generatorer med roterende Anker ingen Kontaktringe til Aftagelsen af Vekselstrømmen, hvilket ved de høje Spændinger er en stor Fordel. Ankerviklingens Ender føres ganske simpelt til 2 Klemmeskruer, der kunne anbringes, hvorsomhelst man vil paa Generatorens Stel.

Til nærmere Forstaaelse af Vekselstrømgeneratorernes Virkemaade ville vi først behandle:

Den enfasede Vekselstrømgenerator. Fig. 62 fremstiller 2 af en saadan Maskines Magnetpoler samt 2 Ankertraade, der netop hver for sig befinde sig lige ud for Midten af én af de to Poler. Polhjulet antages at dreje sig i den Retning, som Pilen viser. De magnetiske Kraftlinier gaa som bekendt ud fra Nordpolerne og gennem Ankerets Jern til Sydpolerne, og benytter man den almindelige Haandregel, idet man betænker, at Ankertraadene i Forhold til det drejende Polhjul, optræde paa samme Maade som om de bevægede sig mod Figurens Pil, vil man se, at der i Ankertraaden n induceres en elektromotorisk Kraft, der gaar mod Beskueren, og i s en elektromotorisk Kraft, der gaar bort fra Beskueren. Efterhaanden som Rotor drejer sig videre aftager Styr-

ken af de elektromotoriske Kræfter i Traadene n og s, og i det Øjeblik Rotor har drejet sig saa langt, at de

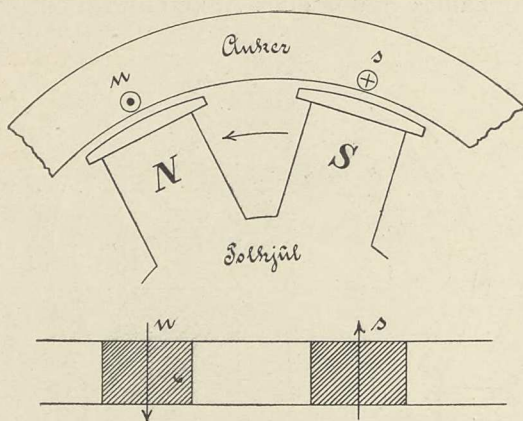


Fig. 62.

2 Ankertraade ligge lige midt imellem to Poler, vil de elektromotoriske Kræfter være lig Nul. Drejes Rotor derefter videre, tager de elektromotoriske Kræfters Styrke atter til, men de have nu modsatte Retninger. Der opstaar saaledes i n og s vekslende elektromotoriske Kræfter, der kunne summeres, hvis man forbinder n med s, saaledes som Fig. 63 viser. I det Øjeblik Midten

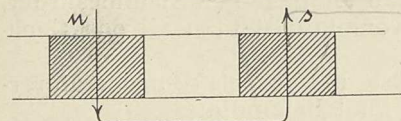


Fig. 63.

af en Nordpol er lige ud for Traaden n har den elektromotoriske Kraft saaledes et Maximum, lad os antage et positivt, og i det Øjeblik Midten af en

Sydpol er lige ud for n saaledes et negativt Maximum. Tiden fra det Øjeblik, n passerer af Midten af en Nordpol, indtil n atter passerer af en Nordpol, er altsaa lig med Tiden for en Periode. Tænker man sig en Ankertraad udfor hver af Rotors Poler, og forbinder man dem fortløbende efter det lige viste Princip, opstaar der da én af en enkelt Traad bestaaende Vikling rundt paa Ankerkernens Inderflade, fra hvilken Viklings Endepunkter, der kan tages en enfaset Vekselstrøm. De vekslende elektromotoriske Kræfter have ganske simpelt adderet sig; er den elektromotoriske Kraft i et givet Øjeblik i en af Traadene p Volt, er den samlede til-

svarende elektromotoriske Kraft p Gange Antallet af Poler paa Rotor.

Istedetfor at anbringe en enkelt Traad kan man anbringe et Bundt Traade og forbinde dem saaledes, at der opstaar Spoler af Traade. I Fig. 64 ses saaledes to

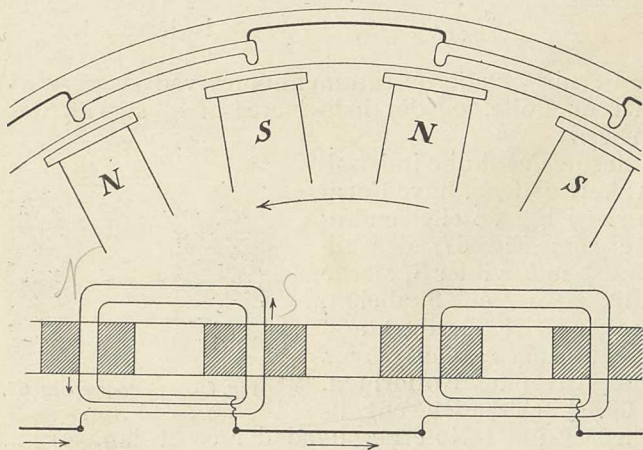


Fig. 64.

Spoler af en Generator. Hver Spole har to Vindinger. Til hver af de enkelte Traade n og s i Fig. 62 svarer her to Traade, der kaldes »Spolens Sider« eller kortere »Spolesider«. Forbindelserne mellem Spolerne ses tydeligt af Figuren. Antallet af Spoler bliver lig med det halve Antal af Polerne paa Rotor. Maskinens elektromotoriske Kraft faar i Henhold til det allerede viste sine Nulpunkter i de Øjeblikke, hvor Midten af en Pol netop bevæger sig forbi Midten af en Spole, og sine Maximumpunkter, naar Spolesiderne befinde sig lige ud for Midten af Polerne.

Til Opnaaelse af den elektromotoriske Kraft, der ønskes, kræves der under Forudsætning af en bestemt Magnetisering i Rotor et ganske bestemt Antal Vindinger pr. Ankerspole, og dersom man ikke faar Plads til disse Vindinger ved den Anordning, som Fig. 64 viser, tager man to, tre eller flere Noter pr. Spoleside og fordeler Vindingerne i disse. Saadanne Viklinger kalder man To- resp. Trenotsviklinger o. s. v. Fig. 65 viser Anordningen ved en Tonotsvikling.

Ankeret sammensættes som tidligere berørt ganske som et Jævnstrøms-anker af udskaarne og udstantsede Stykker af Jernblik, der for at undgaa Hvirvelstrømme isoleres fra hinanden ved Papir eller Fernis. Pladerne sammenholdes ved sværere Sideplader og Bolte, og det hele bæres af et stærkt Stel af Støbejern.

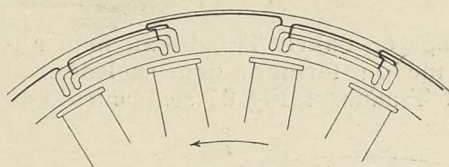


Fig. 65.

Noterne, der skulle indeholde Ankertraadene, have Form som vist i Fig. 66 eller endnu bedre som Fig. 67, der tillader, at man vikler Spolerne færdige over en Skabelon, hvorefter de i færdig Stand kan anbringes paa deres Plads. Anvendes Notformen, Fig. 66, maa Traadene enkeltvis lægges ind i Noterne, hvad der er et langvarigt og dyrt Stykke Arbejde. Naar Spolerne ere anbragte, indsættes Træstykket *t*, hvorved Spolerne fastholdes og forhindres i at forskyde sig.

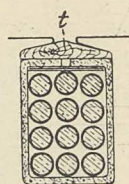


Fig. 66.

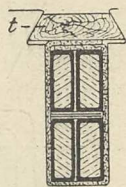


Fig. 67.

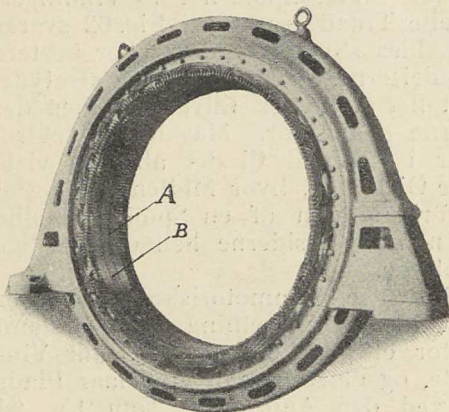


Fig. 68.

Ankertraaden, der for lavere Spændinger fremstilles af Kobberskiner, for højere Spændinger af Kobbertraad, maa være godt isoleret. Ligeledes maa Spolerne være kraftigt isolerede fra Ankerjernet, hvorfor der mellem Spolesiderne og Noternes Sider anbringes et helt Rør af Glimmer eller Mikanit, se

Fig. 67. Spolehovederne, eller de Dele af Spolerne, der ligger udenfor Ankerjernet, gives en saadan Form og

Stilling, at de ikke røre hinanden eller Generatorens Stel.

Den Varme, der tilføres Ankeret gennem Strømvarme ($i^2 m$), Hysteresis og Hvirvelstrømme, maa saa hurtigt og saa sikkert som muligt bortskaffes, og i den Anledning forsynes Ankerkernen ofte med Ventilationskanaler eller Slidser; gennem disse stryger da en Del af den Luft, som Rotor ved sin Omdrejning sætter i udad-søgende Bevægelse, og herved opnaas en god Afkøling. Den tilladelige Opvarmning over Omgivelsernes Temperatur sættes i Reglen til 50°C .

Fig. 68 viser et Anker til en Vekselstrømgenerator. De mørke Striber A og B er Billedet af de ovenfor omtalte Ventilationskanaler eller Slidser, og den Luft, der stryger gennem disse, gaar sluttelig bort gennem de tydeligt synlige Huller i Støbejernstellet.

Magnetsystemet. Rotor eller Polhjulet har i Reglen den ved Fig. 69 viste Konstruktion.

Paa et Støbejernshjul (ved større Maskiner anvendes Svinghjulet, eller rettere Rotor bliver Maskinens Svinghjul) fastskrues de egentlige Polkerner, P (se Fig. 70) og yderst bære disse en Polsko, S, der gives

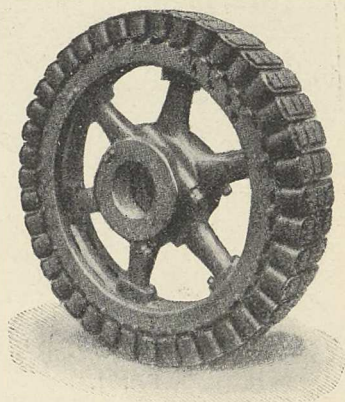


Fig. 69.

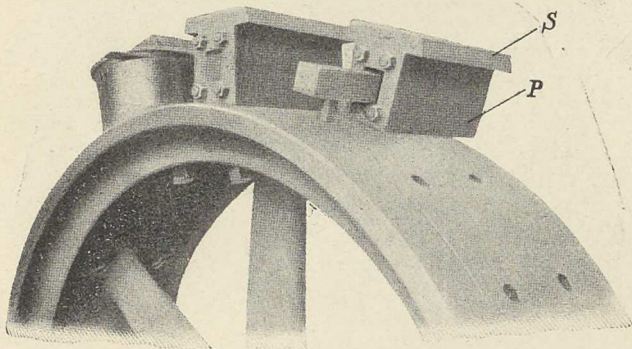


Fig. 70.

en saadan Stilling, Form og Størrelse, at det Antal Kraftlinier, der sendes ind gennem Generatorens Spoler, saavidt muligt veksler efter en Sinoide, thi isaaftald vil

Generatorens elektromotoriske Kraft ogsaa forløbe som en Sinoide (jfr. I. Del Stykke 16), men saaledes, at den elektromotoriske Kraft bliver Nul, hvergang Antallet af Kraftlinier har et positivt eller negativt Maximum, i hvilke Tidspunkter Kraftlinievariationen pr. sec. er mindst (jfr. Bogens Side 20).

Figureerne 71 og 72 viser forskellige Konstruktioner af Polsko. I Fig. 71 ere de stillede skraat, i Fig. 72 ere de tillige aftrappede henimod den ene Ende.

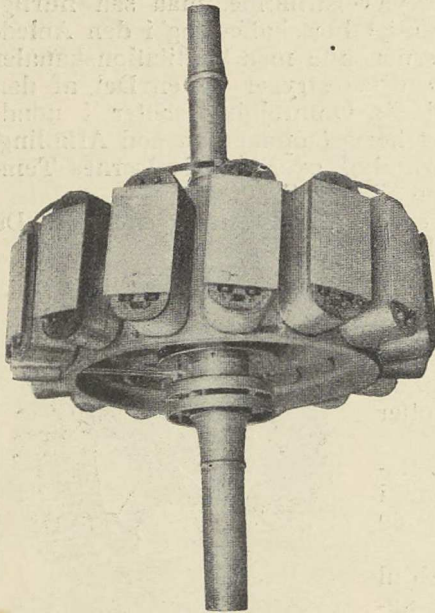


Fig. 71.

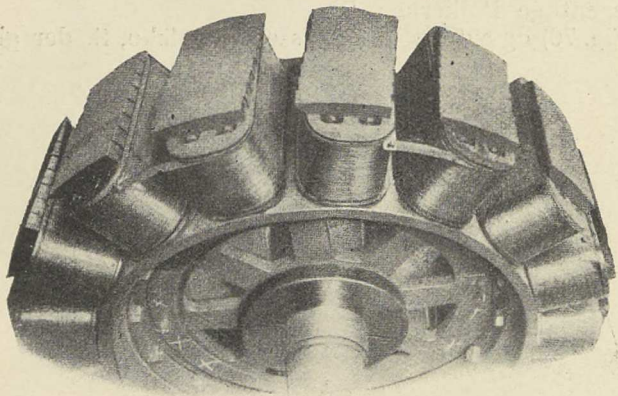


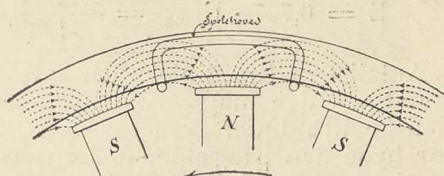
Fig. 72.

Polkerne og Polsko laves undertiden lamellerede og kunne da ogsaa let forsynes med Ventilationsslidser. I Reglen anbringes der en Traadrulle omkring hver Polkerne, se Fig. 71 og 72, undertiden kun paa hveranden Pol. De maa da forbindes saaledes med hinanden, at de paa de Poler, der bære dem, frembringer ene Nordpoler eller ene Sydpoler, i saa Tilfælde ville Polerne veksle Nord—Syd—Nord—Syd o. s. v.

I Aarenes Løb har Magnetsystemerne og deres Magnetiseringsviklinger haft utallige fra den ovenfor beskrevne Anordning afvigende Former, da disse saa godt som ikke bygges mere, skulle vi ikke her komme nærmere ind paa Beskrivelsen af dem.

Til Oplysning om Forholdet mellem Magnetiseringen i Rotor og den elektromotoriske Kraft i Ankerspolerne tjener følgende.

Fig. 73 viser tre Poler og en Del af Ankeret af en Vekselstrømgenerator. Polskoene antages at have en saadan Konstruktion, at Antallet af Kraft-



linier (Magnetfluxen), der passerer igennem Ankerets Spoler, kan fremstilles ved en Sinoide, det vil sige, at Magnetfluxens øjeblikkelige Værdi, Φ_o , kan udtrykkes ved:

$$\Phi_o = \Phi_{\max.} \sin v.$$

Ved at betragte Fig. 73 og tænke sig Spolen forskudt til én eller anden Side, vil man straks se, at den netop er tegnet i én af de Stillinger, i hvilke den passerer af det største Antal magnetiske Kraftlinier, og at dette netop er lig med det Antal magnetiske Kraftlinier, der udgaar fra én af Rotors Poler og til Maskinens Anker. Dette Antal magnetiske Kraftlinier, der er noget mindre end det Antal, der i det hele taget udgaar fra en Magnetpol, idet der ligesom ved Jævnstrømsmaskinerne optræder Spredning, ville vi kalde N, og man har da:

$$\Phi_o = N \cdot \sin v.$$

Den foreliggende Spoles elektromotoriske Kraft maa have sit Maximum i det Øjeblik, hvor Kraftlinieændringen pr. sec. er størst og under Henblik til Side 20, hvor et ganske tilsvarende Tilfælde for et lignende Udtryk

($i_0 = i_{\max.} \sin v$) er behandlet, vide vi, at Fluxændringens Maximum er lig $2\pi n \Phi_{\max.} = 2\pi n N$.

Heraf kan atter Spolens maximale elektromotoriske Kraft findes. Dersom Antallet af Vindinger i Spolen er z , har man (jfr. I. Del Stykke 16):

$$e_{\max.} = \frac{2\pi n \cdot N \cdot z}{100,000,000} \text{ Volt}$$

Dersom Generatoren har $2p$ Poler, altsaa p Spoler, bliver dens samlede maximale elektromotoriske Kraft

$$E_{\max.} = \frac{(2\pi n \cdot p \cdot N \cdot z)}{100,000,000} \text{ Volt}$$

og den effektive elektromotoriske Kraft

$$E = 0,707 \cdot E_{\max.} = \frac{4,44 \cdot n \cdot p \cdot N \cdot z}{1,000,000,000} \text{ Volt.}$$

Antallet af Kraftlinier, der udgaa fra en Pol, er bestemt ved den magnetiske Induktion (Antallet af magnetiske Kraftlinier pr. $\square$ cm. af Polens Tværsnit) man tør byde den paagældende Jernsort. Er dette Dynamo-staal kan man f. Ex. tillade, at B bliver 15000.

Fig. 74 viser Udseendet af en stor Vekselstrømgene-

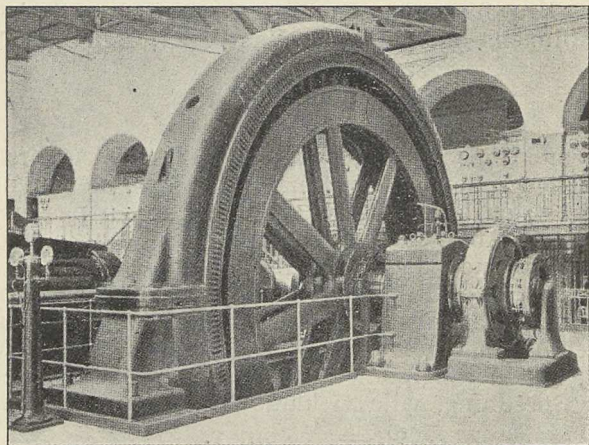


Fig. 74.

rator koblet direkte til en Dampmaskines Aksel. Til højre ses den paa Enden af Akslen anbragte Jævn-

strømsdynamo, der leverer Generatorens Magnetiseringsstrøm.

Fig. 75 viser en Vekselstrømgenerator, drevet ved Tovtræk; ogsaa her ses den paa Maskinens Aksel anbragte Magnetiseringsmaskine.

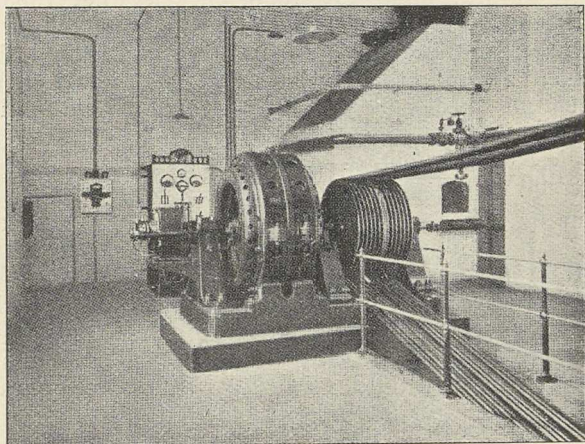


Fig. 75.

Da man ved et bestemt Anlæg altid arbejder med et bestemt Periodetal, vil det af det foregaaende være klart, at Vekselstrømgeneratorers Omløbstal pr. Minut maa være bestemt gennem det valgte Periodetal og Antallet af Rotors Poler. Vi have set, at Tiden for en Periode er lig med den Tid, der hengaar fra det Øjeblik Midten af en Nordpol passerer et vist Punkt af Ankeret, indtil det Øjeblik, hvor det samme Punkt af Ankeret passerer af den næste Nordpols Midte, det vil sige er Antallet af Polpar p (Antallet af Poler $2p$) vil én Omdrejning af Ankeret frembringe p Perioder og dersom Antallet af Perioder pr. Secund skal være n , vil Antallet af Omdrejninger, O , pr. Minut blive bestemt ved

$$\frac{O \cdot p}{60} = n, \text{ eller}$$

$$O = \frac{60 \cdot n}{p}, \text{ hvor}$$

n altsaa er Periodetallet og p det halve Antal Poler eller Antallet af Polpar.

Ved almindelige blandede Belysnings- og Kraftanlæg er Periodetallet ofte 50, og en Generator med 2 Poler maa saaledes gøre:

$$\frac{60 \cdot 50}{1} \text{ eller } 3000 \text{ Omdrejninger pr. Minut. En fire-}$$

polet Generator maa gøre 1500, en sekspolet 1000 Omdrejninger pr. Minut o. s. v. Havde man en Dampmaskine med omkring 100 Omdr. pr. Minut og skulde koble en Vekselstrømgenerator direkte til dens Aksel, maatte man bestemme Antallet af Polpar gennem følgende:

$$100 = \frac{50 \cdot 60}{p}, \text{ hvoraf } p = \frac{50 \cdot 60}{100} = 30$$

og der maatte altsaa anbringes en Generator med 60 Poler. Maskinens Omdrejninger pr. Minut skal være nøjagtig 100 for at faa 50 Perioder pr. sec.

I de senere Aar anvendes som bekendt Dampmaskiner til Drift af Generatorer. Generatorerne kobles som Regel direkte til Turbinens Aksel, og Turbinens forholdsvis store Omdrejningstal kræver derfor Generatorer med faa Poler, to, fire eller seks. Fig. 76 og 77 viser

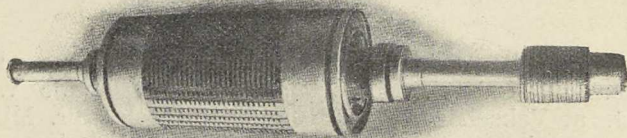


Fig. 76.

Polhjul og Anker til en saadan Generator. Tilvenstre paa Polhjulets Akse ses Ankeret for Magnetiseringsdynamo.

Naar en enkelt Vekselstrømgenerator skal sættes i Gang paa et Anlæg, bringes den først op til at have et nogenlunde normalt Omdrejningstal. Derefter sendes der Magnetiseringsstrøm gennem Rotor, og denne Magnetiseringsstrøm forstærkes indtil et Voltmeter, der er indskudt mellem Generatorens Klemmer, viser den Spænding, der ønskes. Samtidig maa man ved Iagttagelse af Frekvensmaaleren, der begynder at virke, naar Spændingen har naaet en vis Størrelse, og ved Efterregulering af Kraftmaskinen sørge for, at det rette Periodetal fore-

findes. Saalænge Generatoren er ubelastet og saalænge Magnetiseringsstrømmen og Omdrejningstallet holdes konstante, vil Spændingen ogsaa holde sig konstant.

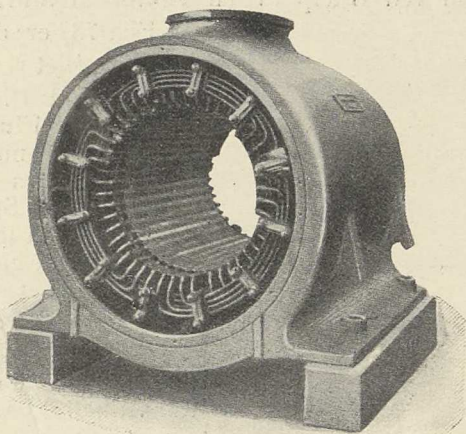


Fig. 77.

Ved Omtalen af de forskellige Jævnstrømsdynamoer, have vi set, at Magnetiseringsstrømmen maatte forstærkes, efterhaanden som Maskinen belastedes, ifald man vilde beholde den samme Spænding ved Dynamoens Poler, og dersom en Vekselstrømgenerator belastes med saadanne Modstande, at den Strøm, der opstaar som Resultat af disse Modstandes Samvirken med Generatorens elektromotoriske Kraft, Ankerets Selvinduktion og dets ohmske Modstand, enten er i Fase med nævnte elektromotoriske Kraft eller er faseforskudt bagud for den, saa maa Magnetiseringsstrømmen ogsaa her forstærkes.

Dersom Belastningsstrømmen derimod er faseforskudt forud for den elektromotoriske Kraft, maa Magnetiseringsstrømmen, indtil Belastningen har naaet en vis Størrelse, formindskes, saafremt Maskinens Klemmespænding skal vedblive at være den samme. Alt dette er en Følge af Ankerstrømmens Tilbagevirkning paa Magnetfeltet i Forbindelse med Ankerets Selvinduktion og det ohmske Spændingstab i Ankertraadene.

Lad os betragte en ubelastet Vekselstrømgenerator, der er bragt op til at have det rette Periodetal og den normale Spænding ved Klemmerne. For ubelastede Maskiner vil Klemmespændingen være lig med Maskinens elektromotoriske Kraft.

Vi vide at den magnetiske Flux, som vi ville betegne ved Φ , der passerer gennem hver af Maskinens Spoler, varierer efter en Sinoide, og den kan derfor fremstilles i et Vektordiagram ved Hjælp af en Vektor af Størrelse $\Phi_{\max.}$

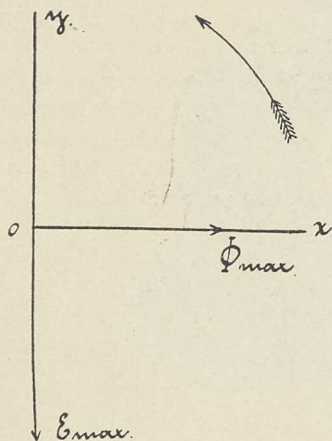


Fig. 78.

I Fig. 78 er denne Vektor fremstillet ved $0-\Phi_{\max.}$ afsat ud ad Diagrammets Grundlinie. Fluxens positive Retning maa vælges, og der vælges Retningen fra Rotor imod Stator. Dersom den til det foreliggende $\Phi_{\max.}$ svarende elektromotoriske Kraft i Maskinen skulde afsættes i Diagrammet, maatte det blive ved Hjælp af en Vektor, der stod vinkelret paa $0-\Phi_{\max.}$, idet vi vide, at den elektromotoriske Kraft har sine Maxima i de Øjeblikke, hvor Fluxen er Nul, men

om Værdien af den elektromotoriske Kraft skal afsættes opad eller nedad fra 0, kan ikke afgøres, før der er valgt en positiv Retning for den. Vi ville nu vælge denne positive Retning, idet vi sige:

Den elektromotoriske Krafts positive Retning skal være den, der under Forudsætning af, at den frembragte en Strøm i Spolen, vilde frembringe et magnetisk Felt, hvis Kraftlinier gik i Retningen fra Rotor mod Stator. Under denne Forudsætning maa den elektromotoriske Krafts Vektor tegnes nedad fra 0, thi vi vide, at de Strømme, der induceres i en Ring, i hvilken der indføres magnetiske Kraftlinier, ville danne et Felt, der modvirker de inducerende Kraftlinier. I Fig. 78 kan den elektromotoriske Krafts Vektor saaledes fremstilles ved en Linie $0-\mathcal{E}_{\max.}$, vinkelret paa $0-\Phi_{\max.}$

Saalænge Maskinen gaar tom, er Forholdet altsaa følgende. (Maskinens Omdrejningshastighed forudsættes stadig konstant). Magnetiseringsstrømmen har en ganske bestemt Størrelse, der i Polhjulet frembringer en ganske bestemt Magnetisme, denne forsyner Ankerspolerne med Kraftlinier, hvis Antal varierer efter en

Sinoide, med den maximale Værdi $\Phi_{\max.}$, og herved induceres der i Spolerne en vekslende elektromotorisk Kraft, hvis maximale Værdi er $E_{\max.}$.

Saasnart der imidlertid tages Strøm fra Generatoren, vil ogsaa Ankerstrømmen frembringe magnetiske Kraftlinier igennem Spolerne, og disse Kraftlinier ville sammen med de Kraftlinier, der hidrøre fra Rotors Poler, udgøre et resulterende vekslende Magnetfelt, der dog, under Forudsætning af at $E_{\max.}$ skal vedblive at være konstant, maa have Størrelsen $\Phi_{\max.}$ som sin maximale Værdi.

De to vekslende Felter, det, der kommer fra Anker-vindingerne, og det, der hidrører fra Polhjulet, kunne sammensættes ved Hjælp af Vektordiagrammet, saasnart man kender deres Vektors Beliggenhed i Forhold til hinanden. Vi ville undersøge Sagen for de tre ovennævnte Tilfældes Vedkommende:

1) Forbrugsstrømmen er i Fase med Generatorens elektromotoriske Kraft.

I Fig. 79 er afsat $o-\Phi_{r\max.}$ (i Størrelse = $\Phi_{\max.}$ for ubelastet Maskine) og $o-E_{\max.}$

og idet man ved, at den magnetiske Flux (Φ_a), der dannes af Forbrugsstrømmen, er i Fase med denne, kan man i Henhold til de valgte positive Retninger for Kraftlinierne (Magnetfluxen) fremstille Φ_a ved en Vektor $o-\Phi_{a\max.}$ afsat fra o udad $o-E_{\max.}$

Saafernt $E_{\max.}$ skal holde sig konstant maa $o-\Phi_r$ forblive uforandret, det vil sige, den fra Polhjulet stammende Flux's maximale Værdi maa være af en saadan Størrelse og Retning, at den adderet geometrisk til $o-\Phi_{a\max.}$ giver $o-\Phi_{r\max.}$. Man konstruerer Parallelogrammer $o, \Phi_{a\max.}, \Phi_{r\max.}, \Phi_{p\max.}$, og $o-\Phi_{p\max.}$ er da den fra Polhjulet stammende Flux's Vektor.

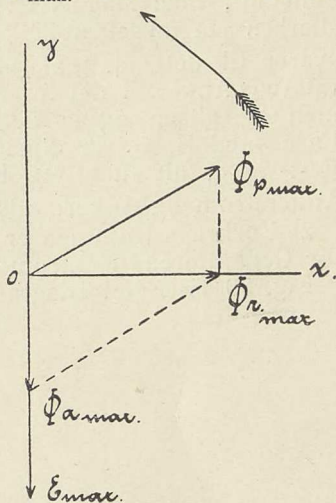


Fig. 79.

Da Vinklen ϕ , $\frac{\Phi_{r_{\max}}}{\Phi_{p_{\max}}}$ for enhver Værdi af $\frac{\Phi_{a_{\max}}}{\Phi_{p_{\max}}}$ bliver 90° , vil $\frac{\Phi_{r_{\max}}}{\Phi_{p_{\max}}}$ for enhver Værdi af $\frac{\Phi_{a_{\max}}}{\Phi_{p_{\max}}}$ blive større end $\frac{\Phi_{r_{\max}}}{\Phi_{p_{\max}}}$, det vil sige, saafremt Generatorens elektromotoriske Kraft skal forblive konstant under stigende induktionsfri Belastning, maa den fra Rotor hidrørende Magnetflux forstærkes, eller Magnetiseringsstrømmen maa forstærkes.

Dersom Generatorens Klemmespænding skal holdes konstant, maa Magnetiseringsstrømmen yderligere forstærkes saa meget, at $E_{\max}$ vokser saameget, som der svarer til det maximale ohmske Spændingstab i Generatorens Anker. I det foreliggende Tilfælde, hvor Strømmen og altsaa ogsaa det ohmske Spændingstab er i Fase med E , bliver Spændingen simpelthen lig med $E \div i_a r_a$ (alt effektivt), hvor i_a og r_a er henholdsvis Ankerstrøm og Ankermodstand.

2) Forbrugsstrømmen er faseforskudt φ Grader bagud for Generatorens elektromotoriske Kraft.

Fig. 80 viser det Diagram, der svarer hertil. Ræson-

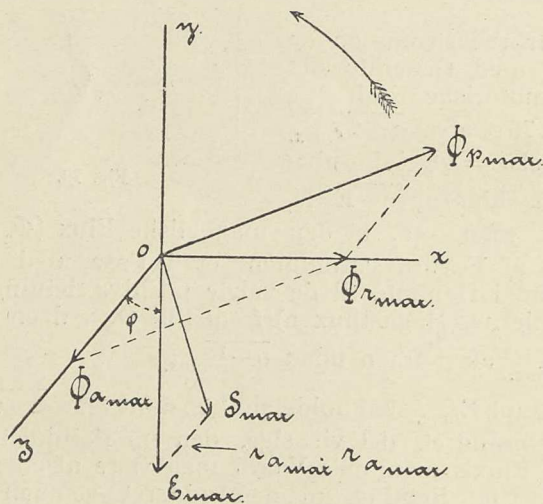


Fig. 80.

nementerne bliver de samme som under Tilfælde 1), kun maa det huskes, at $\Phi_{a_{\max}}$, der altid er i Fase

Nul, maa Magnetiseringsstrømmen, hvis Generatorens elektromotoriske Kraft skal holde sig konstant, gøres svagere, indtil den fra Ankerstrømmen hidrørende magnetiske Flux har naaet den ved $\Phi_{a\max}$ bestemte Værdi, ved hvilken Værdi af $\Phi_{a\max}$ Linien fra $\Phi_{a\max}$ til $\Phi_{r\max}$ er vinkelret paa $O-J$. Bliver Forbrugsstrømmen større, maa Magnetiseringsstrømmen atter forstærkes, hvis den elektromotoriske Kraft skal holdes konstant.

Det ohmske Spændingstab i Ankeret kan heller ikke her direkte trækkes fra den elektromotoriske Kraft, hvis man vil finde Klemmespændingen, der maa foretages en geometrisk Subtrahtion (se Fig. 81). Skal ogsaa Generatorens Spænding holdes konstant mens Ankerstrømmen vokser fra Nul, maa der gives Magnetiseringsstrømmen en vis Tilvækst til Ophævelse af det ohmske Spændingstab, men da det ohmske Spændingstab ved smaa Belastninger er meget ringe (en velkonstrueret Generator vil ved fuld Belastning kun have et ohmsk Spændingstab paa ca. 5 %) vil den nævnte Tilvækst til Magnetiseringsstrømmen blive mindre end den Formindselse, der er en Følge af den her omhandlede Faseforskydning, saaledes at man virkelig for at holde Klemmespændingen konstant til at begynde med maa formindske Magnetiseringsstrømmens Styrke.

For at kunne holde en bestemt Spænding ved Vekselsstrømgeneratorens Klemmer er det altsaa, hvad Faseforskydning der end er mellem elektromotorisk Kraft og Strøm, nødvendigt at kunne regulere Magnetiseringsstrømmen. Dette sker ved enten at holde Magnetiseringskildens (Magnetiseringsdynamoens) Klemmespænding konstant og variere Modstanden i Magnetiseringsstrømkredsløbet eller ved at holde nævnte Modstand konstant og variere Magnetiseringskildens (Magnetiseringsdynamoens) Klemmespænding, eller der kan benyttes et blandet System, baseret paa begge ovennævnte Fremgangsmaader.

Den enfasede Vekselsstrømgenerators ydre Karakteristik kan optages paa tilsvarende Maade som beskrevet i Bogens 1ste Del Stykke 23. Man regulerer for ubelastet Maskine Generatorens Klemmespænding ind til at være den normale og holder derpaa Maskinens Omdrejningstal og Magnetiseringsstrøm konstante, medens man efterhaanden belaster ved at indskyde Nyttmodstande. De sammenhørende Værdier

af Strømstyrke og Spænding maales, og Kurven afsættes i et retvinklet Koordinatsystem (se Fig. 82), hvor $O A$ er Maalestocken for Strømstyrkerne og $O B$ for

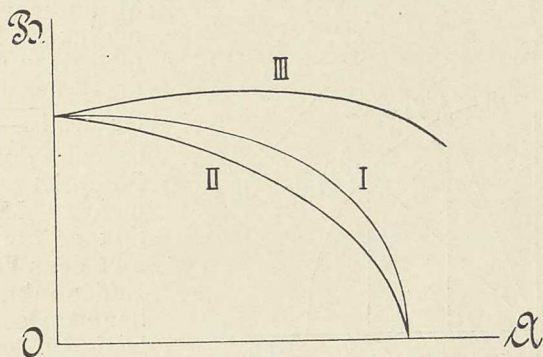


Fig. 82.

Spændingerne. I Henhold til det ovenfor fremførte, maa Karakteristikken ved Strømbelastninger, der ere i Fase med eller faseforskudte bagud for den elektromotoriske Kraft, straks begynde at falde (se Fig. 82 henholdsvis I og II), hvorimod den ved Strømbelastninger, der ere faseforskudte forud for den elektromotoriske Kraft, først vil stige for derefter at falde (se Fig. 82, III). Til Slut vil Karakteristikken skære $O-A$, det vil sige for voksende Strøm (aftagende Modstand i det ydre Strømløb) aftager Generatorens Klemmespænding, og for tilstrækkelig lille Modstand, Kortslutning i ydre Strømkreds, bliver Spændingen lig med Nul, medens der da i Maskinen gaar en Strøm af en bestemt Størrelse. Dersom Generatoren var bygget til at taale denne Strøm, vilde man saaledes ikke af Hensyn til Overbelastning af Maskinen behøve at frygte for Kortslutning i det ydre Kredsløb.

At Karakteristikken virkelig vil skære $O A$ kan ses ved at betragte Diagrammet i Fig. 83, der viser Forholdet under Forudsætning af, at Strømmen stadig er i Fase med den elektromotoriske Kraft. $o-\Phi_{rmax.}$ er den fra Polhjulet stammende Magnetflux for tom Maskine og $o-E_{max.}$ den derved opstaaende elektromotoriske Kraft.

Efterhaanden som Strømmen vokser aftager den resulterende Magnetflux, der stadig tænkes afsat ud ad Linien $o-\Phi_{r_{\max}}$, idet den bliver Resultant af den fra Strømmen og den fra Polhjulet stammende Magnetflux.

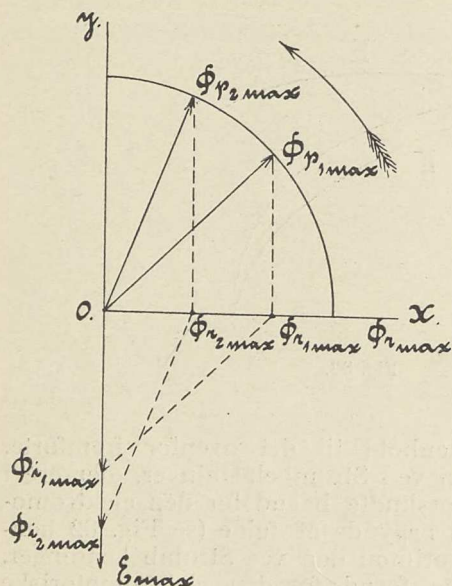


Fig. 83.

Strømmens Magnetflux er i Fase med Strømmen og maa altsaa afsættes ud ad $o-\mathcal{E}_{\max}$, og da den fra Polhjulet stammende Magnetflux er konstant, maa dens Vektors Endepunkt, efterhaanden som Belastingen vokser, bevæge sig paa en Cirkel med o som Centrum og $o-\Phi_{r_{\max}}$ som Radius.

I Figuren er udført to Konstruktioner af de resulterende Felter, $\Phi_{r_1_{\max}}$ og $\Phi_{r_2_{\max}}$, der svare

til de to fra Ankerstrømmene i_1 og i_2 stammende Magnetfluxer $\Phi_{i_1_{\max}}$ og $\Phi_{i_2_{\max}}$, og idet man betænker, at der stadig ved Konstruktionen opstaar Parallelogrammer, ved man, at $\overline{\Phi_{i_1_{\max}}} - \overline{\Phi_{r_1_{\max}}}$ er lig $\overline{\Phi_{i_2_{\max}}} - \overline{\Phi_{r_2_{\max}}}$, lig med $o-\Phi_{r_{\max}}$, det vil sige, man kan faa sammenhørende Værdier af $\Phi_{i_{\max}}$ og $\Phi_{r_{\max}}$ ved at lade Linien $o-\Phi_{r_{\max}}$ glide med sine Endepunkter paa $o-\mathcal{E}_{\max}$ og $o-\Phi_{r_{\max}}$. Det vil derved ses, at $\Phi_{r_{\max}}$ bliver Nul, naar $o-\Phi_{i_{\max}}$ er lig $o-\Phi_{r_{\max}}$, det vil sige, naar den fra Strømmen stammende Magnetflux netop er lig med den for Rotor stammende. Grundet paa det ohmske Spændingstab, vil Klemmespændingen dog blive Nul, noget forinden dette Punkt er naaet.

Dersom man tegnede Diagrammer for faseforskudte Strømme, vilde man se, at Faseforskydning bagud for den elektromotoriske Kraft giver et hurtigere Fald af Spændingen end ved Fig. 83, og at Faseforskydning forud til en Begyndelse giver Stigning af Spændingen.

Dersom en Vekselstrømgenerator er fuldt belastet og magnetiseret saaledes, at Klemmespændingen er normal, og Belastningen derefter gøres mindre og mindre, uden at der reguleres paa Magnetiseringsstrømmen, saa vil Spændingen stige. Tages Belastningen helt bort, vil Spændingsændringen fra fuld Belastning til Nul ved nyere Maskiner være fra 10—25 % af den normale Spænding.

Den enfasede Vekselstrømgenerators Nyttevirkning m. m.

Som tidligere bemærket stammer den Varme, der udvikler sig i Ankeret, væsentligst fra Hysteresis, Hvirvelstrømme og Strømvarme ($i^2 m$), og da Ankerets Temperatur ikke maa stige højere end 50° over Omgivelsernes, vil et Anker med en vis Overflade ikke kunne belastes ud over en ganske bestemt Strømstyrke. Medens man ved Jævnstrømsdynamoer opgiver Maskinernes tilladelige maximale Belastning ved en bestemt Spænding i Kilowatt, maa man ved Vekselstrømsgenerators opgive den maximale Ydelse i Kilo-Volt-Ampère (KVA). Dersom Maskinens Spænding er P og Strømstyrken J , er dens Ydelse nemlig $J \cdot P \cdot \cos \varphi$, hvor $\cos \varphi$ er forskellig efter Belastningens Art, og dersom $\cos \varphi$ er lille, kunde Strømvarmen altsaa blive for stor, selv om Generatoren med Hensyn til Effekt kun var svagt belastet. Opgives den tilladelige Belastning i K. V. A. ved en vis Spænding betyder dette, at Generatoren ikke maa belastes med større Strømstyrke, end det opgivne Antal Watt divideret med den opgivne Spænding, eller hvis Maskinen ved denne Spænding belastes med denne beregnede Strømstyrke vil den praktisk set faa den samme Opvarmning, hvad Effekten saa end er.

Ligesom ved Jævnstrømsdynamoerne er Nyttevirkningen for enfasede Vekselstrømsgenerators størst for de store Maskiner. For smaa Maskiner (indtil 10 KVA) naar den ikke over 85 %, medens den for store Maskiner kan naa helt op til 97 %. Disse Værdier gælde for $\cos \varphi = 1$, det vil sige for induktionsfri Belastning. For $\cos \varphi$ mindre end 1, bliver Nyttevirkningen mindre, blandt andet fordi Tabet i Strømvarme bliver relativt større, medens tillige Magnetiseringsstrømmen maa forstærkes for at opnaa den samme Spænding.

Trefasede Vekselstrømgeneratorer (Drejestrømgeneratorer). Medens den enfasede Vekselstrøm med Lethed lader sig anvende til Glødelampe- og Buelampebelysning, var det indtil for faa Aar siden ikke lykkedes at konstruere en énfaset Vekselstrømmotor, der lod sig anvende i alle Størrelser og under alle Forhold. Vanskeligheden bestod i, at Motorerne ikke gik igang, naar Strømmen sættes til, de maatte først bringes op paa en passende Hastighed. Disse Vanskeligheder førte til Opfindelsen af flerfasede Vekselstrømme, det vil sige, man anvendte samtidig flere énfasede Vekselstrømme, der vare faseforskudte for hinanden. Ved Hjælp af saadanne faseforskudte Strømme kan man, som det nu skal blive vist, bygge Vekselstrømmotorer, der kunne gaa igang uden særlige Hjælpemidler.

Af flerfasede Vekselstrømme anvendes i Teknikken saa godt som udelukkende trefasede Vekselstrømme, som man kortelig kalder »trefaset Vekselstrøm« eller »Drejestrøm«. Navnet Drejestrøm kommer deraf, at den trefasede Vekselstrøm (som forresten alle flerfasede Strømme) anvendt paa passende Maade kan fremkalde et saakaldet Drejefelt, det vil sige et Magnetfelt, der drejer sig. Tænker man sig en permanent Magnet af den Form som Fig. 84 viser drejet omkring en Akse vinkelret paa Papirets Plan og gennem Centret for Magnetens ydre Konturcirkel, vil det mellem N og S værende Magnetfelt dreje sig, det vil sige, der vil omkring Aksen findes et Drejefelt. Her drejer ogsaa Magnetten sig, men de Drejefelter, man fremstiller ved Hjælp af flerfasede Vekselstrømme, har den Fordel, at Magnetens Jernkerne (Ring) staar stille, medens kun de opstaaende Poler drejer sig.

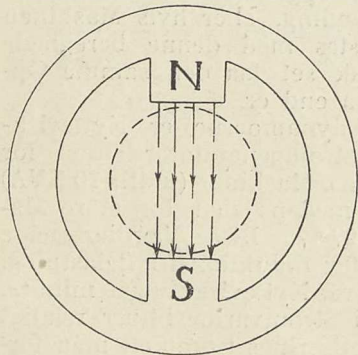


Fig. 84.

Dersom man anbringer en drejelig Kobbercylinder i Feltet mellem N og S i Fig. 84 (Cylindren antydtes ved den punkterede Cirkel), saa vil Cylindren som Følge af de opstaaende Hvirvelstrømme begynde at dreje sig, og paa tilsvarende Maade vil en Kobbercylinder, anbragt indeni en Ring, hvori

en flerfaset Strøm frembringer et Drejefelt, begynde at dreje sig. Herigennem er Princippet for Bygningen af Drejestrømsmotorerne givet. De bestaa af en Stator-Ring, hvori en Drejestrøm frembringer et Drejefelt. I Drejefeltet er anbragt en Rotor af passende Konstruktion, der ved Hjælp af Drejefeltet bringes til at rotere.

Til Belysning af, hvorledes man ved Hjælp af flerfasede Strømme kan frembringe et Drejefelt, ville vi først betragte en tofaset Vekselstrøm.

I Bogens Fig. 13 have vi allerede gjort Anvendelse af 2 faseforskudte Vekselstrømme, idet vi tænkte os to aldeles ens Vekselstrømgenerators, anbragte paa samme

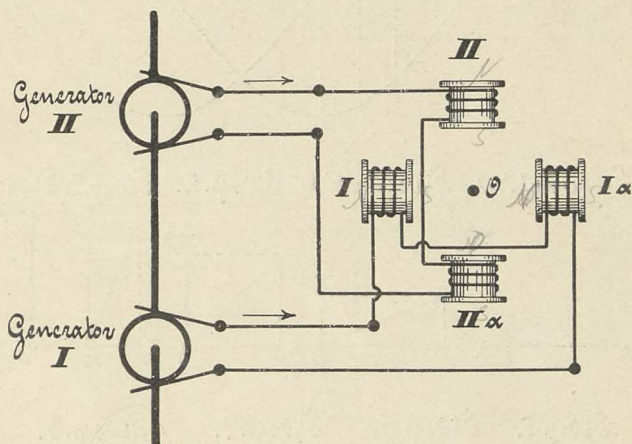


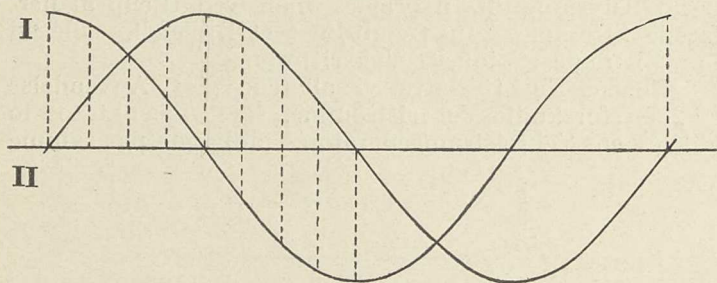
Fig. 85.

Aksel, men drejede saaledes for hinanden, at den ene havde Spændingsmaximum, naar den anden havde Spændingen Nul.

I Fig. 85 se vi en ganske tilsvarende Anordning. De to Generators I og II afgive deres Strøm til henholdsvis Spoleparrene I, I_α og II, II_α , der, som Figuren viser, ere anbragte uden om og lige langt fra en Axe O. Spolerne indeholde ingen Jern og ere saaledes vikled, at de parvis for samme Strømrøtning sende de magnetiske Kraftlinier i samme Retning. Generatorerne tænkes at være ganske ens, ligeledes Tilledningerne til Spolerne og disse selv. Der vil da gaa to aldeles lige store Vekselstrømme, hvis positive Retninger antages at være de ved de to Pile angivne, men disse Strømme ville ikke være i Fase med hinanden, den ene vil være for-

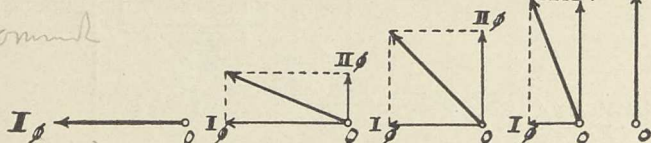
skudt $\frac{1}{4}$ Periode for den anden. Fig. 86 viser de to Strømmes Sinoider, det ses, at II er forskudt $\frac{1}{4}$ Periode bagud for I.

Vi ville nu undersøge, hvilke elektromagnetiske Virkninger disse to Vekselstrømme frembringe i Rummet omkring Axen O (Fig. 85), hvorfor vi dele den første



Tidspunkt 0 Tidspunkt 1 Tidsp. 2. Tidsp. 3. Tidsp. 4.

ellerrummet



Tidsp. 5. Tidsp. 6. Tidsp. 7. Tidsp. 8.

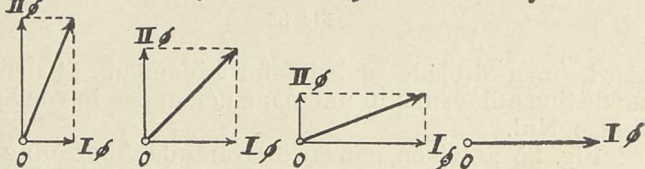


Fig. 86.

Halvdel af f. Ex. II's Periode (Fig. 86) i et bestemt Antal Dele, her er valgt 8, og behandle derefter de 9 Tidspunkter 0—8 hver for sig. Ved Tidspunktet 0 har Strøm I sit positive Maximum, og Strøm II er lig Nul, det vil sige: Spoleparret I, I_a sender sit Maximum af magnetiske Kraftlinier i Retningen fra I_a til I (brug Haandregelen), medens Spoleparret II, II_a slet ingen elektromagnetisk Virkning udøver. Da der ingen Jern

findes i Spolerne, er Magnetfeltets Styrke proportionalt med Ampèrevindingerne og saaledes med Strømstyrken, og vi kunne da repræsentere Feltstyrken ved en Linie lig med det Stykke, der i Sinoidediagrammet angiver Strømmens øjeblikkelige Styrke ved Tidspunktet 0.

I Fig. 86, Tidspunkt 0, er denne Linie afsat ud fra O, der tænkes at forestille Axen O (Fig. 85), i Retningen $I_a - I$, altsaa vandret ud tilvenstre paa Figuren, og viser saaledes det ved O værende magnetiske Felts Styrke og Retning ved Tidspunktet 0.

Ved Tidspunktet 1 er baade Strøm I og II positive. Strøm I sender saaledes de magnetiske Kraftlinier i Retningen fra I_a til I og Strøm II i Retningen fra

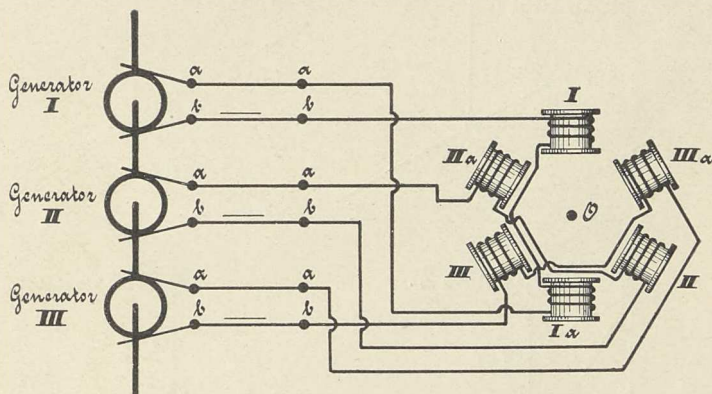


Fig. 87.

II_a til II. Feltstyrkerne, I_o og II_o , maales paa Sinoide-diagrammet og afsættes, saaledes som Fig. 86, Tidspunkt 1, viser, I_o paa en vandret Linie tilvenstre ud fra O og II_o fra O opad ud ad en Linie vinkelret paa $O-I_o$.

Idet vi erindre (jfr. Bogens I Del, Afsnit 15) at Feltstyrken i O udtrykkes ved den Paavirkning, der udøves paa én der anbragt magnetisk Enhedspol, indse vi, at det af de to Feltstyrker resulterende Felts Styrke og Retning findes ved at sammensætte de to Feltstyrker efter den almindelig kendte Regel om Kræfternes Parallelogram. Herved faas den stærkt optrukne Pil. Det ses, at Feltet i Tidsrummet fra 0 til 1 har drejet sig et Stykke i samme Retning som Viseren paa et Uhr.

Fig. 86 viser efterhaanden de tilsvarende Konstruktioner af det resulterende Felts Styrke og Retning i

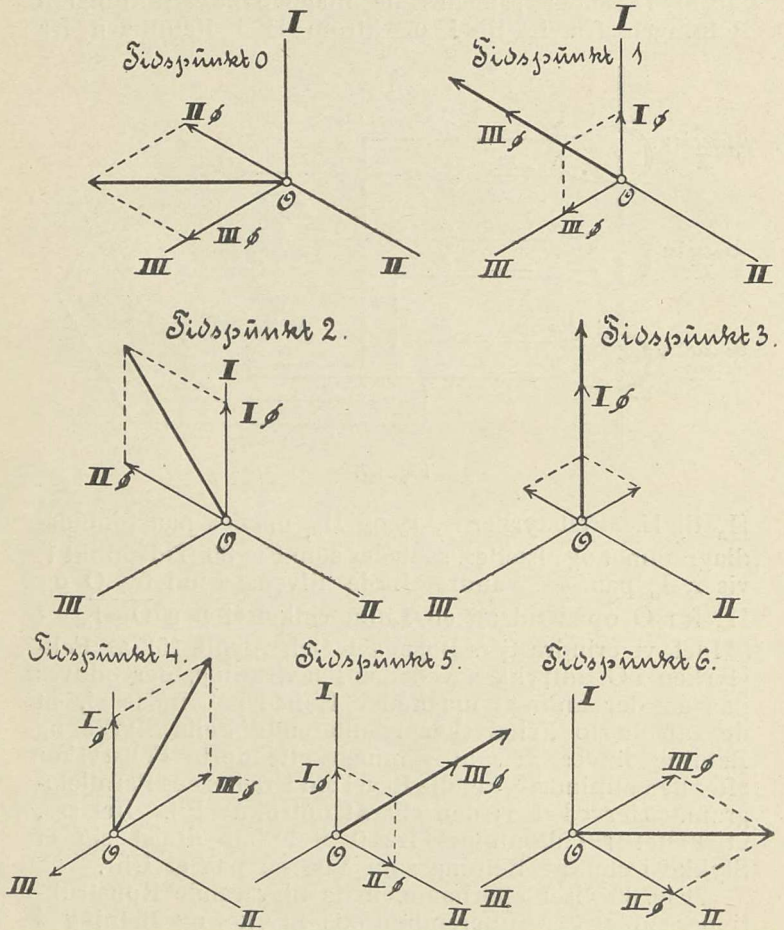
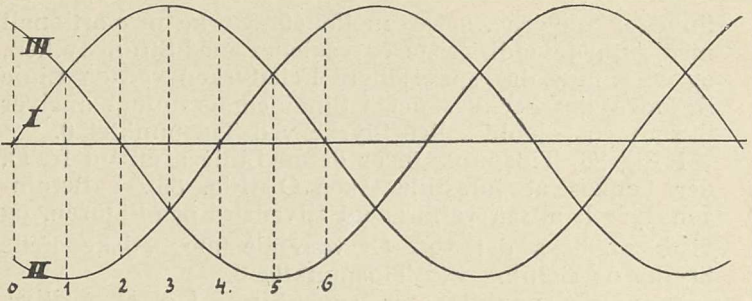


Fig. 88.

Tidspunkterne 0—8, og det ses, at Feltet i Tiden fra 0 til 8, der er lig med Tiden for $\frac{1}{2}$ Periode, har drejet sig $\frac{1}{2}$ Omdrejning eller: i Tiden for en hel Periode drejer Feltet sig en hel Omdrejning.

Uden at levere mathematisk Bevis skulle vi bemærke, at Feltets resulterende Styrke er den samme hele Tiden (maal efter paa Figuren), og der findes da omkring O, eller om man vil, mellem Polerne af Spolerne et virkeligt Drejefelt af konstant Styrke.

Anvendes trefaset Vekselstrøm (Drejestrøm), kan man tænke sig det i Fig. 87 viste Arrangement. De tre Strømme ere faseforskudte saaledes, at II kommer $\frac{1}{3}$ Periode efter I, og III atter $\frac{1}{3}$ Periode efter II o. s. v. Tilsvarende hertil er Spole II drejet en Vinkel paa 120° i Forhold

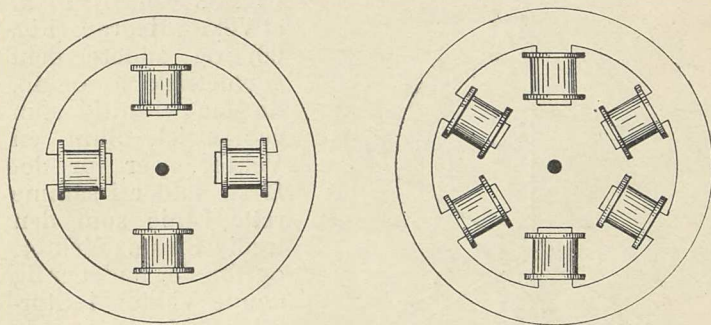


Fig. 89.

til Spole I, og Spole III atter 120° i Forhold til Spole II o. s. v.

Fig. 88 viser Sinoidediagrammet og Konstruktionen af det resulterende Felt i 7 forskellige Tidspunkter. Det maa erindres, at de enkelte Strømmes Feltstyrke her maa afsættes ud ad tre Linier, der angive Retningerne for Spoleparrene I, I_a , II, II_a og III, III_a , og naar der er tre virkelige Felter (hvorved menes at et af dem ikke er Nul), maa først de to sammensættes efter Reglen for Kræfternes Parallelogram og derefter den udkomme Resultant med det tredje Felt. Det ses, at ogsaa her drejer det resulterende Felt sig en hel Omdrejning i Løbet af en hel Periode. Ligeledes er det resulterende Felt stadig af samme Størrelse.

Dersom der anbringes lamellerede Jernkerner i Spolerne, saaledes som Fig. 89 viser, da forstærkes det magnetiske Felt, men bliver naturligvis ved med at være et Drejefelt.

Derimod ophører den resulterende Feltstyrke med at være konstant, som en Følge af, at Magnetiseringen af Jern ikke er proportional med Antallet af Ampèrevindingerne.

I Drejestrømsmotorerne, hvor der altid anvendes Jern, er Feltet derfor foruden at være et Drejefelt tillige varierende i Styrke, det pulserer. Feltet varierer dog ikke saa meget, at det faar nogen praktisk Betydning.

Betragte vi Fig. 87, ville vi se, at der fra de tre Generatorer fører ialt seks Ledninger til Traadrullerne. Dersom man i Praksis maatte føre seks Ledninger frem fra Generatoren til de forskellige Motoranlæg, vilde Drejestrøm vel neppe have faaet nogen større Udbredelse, men man kan ogsaa nøjes med tre Ledninger.

Dersom vi fremstille de tre Strømme I, II og III i

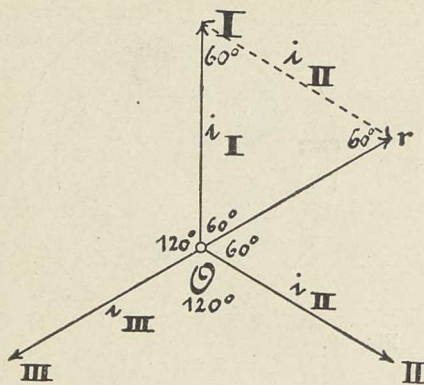


Fig. 90.

Fig. 88 ved Hjælp af et Vektordiagram (Fig. 90) og addere dem geometrisk to og to, da faa vi altid som geometrisk Sum en Vektor, der for det første falder i samme rette Linie som den tredje Strøms Vektor, og for det andet er lig denne Vektor i Størrelse. Men den gaar i modsat Retning. I Fig. 90 giver saaledes I og II Linien $0-r$, der i Størrelse er lig

med $0-III$, idet Trekanten $0, I, r$ er ligesidet, og $0-III$ er lig $0-I$. At den geometriske Sum af de to Strømme altid er lig den tredje med modsat Tegn betyder, at én af de tre Strømkredse i ethvert Øjeblik fører akkurat ligesaa stor en øjeblikkelig Strøm enten frem eller tilbage som de to andre tilsammen fører øjeblikkelig Strøm enten tilbage eller frem. I saa Fald kan man nøjes med tre Ledninger, idet man altid kan lade den ene Ledning føre de to andres samlede Strøm tilbage eller frem.

Fig. 91 viser en saadan Anordning skematisk. Generatorerne have deres tre Klemmer a (Fig. 87) forbundne med hinanden, medens Ledningerne til Spolesystemet føres ud fra Klemmerne b. Paa tilsvarende Maade have Spoleparrene deres Klemmer a forbundne med hinanden

og Ledningstraadene føres til Klemmerne b. Af det ovenfor anførte vil det fremgaa, at Strømmene fordele sig paa rigtig Maade.

Man kalder denne Forbindelse for Stjerneforbindelse. Navnet kommer alene deraf, at Skemaet for den ligner en Stjerne (se Fig. 91, Spolerne). Det Punkt, hvori de tre Viklinger er forbundne, kaldes Stjernepunktet.

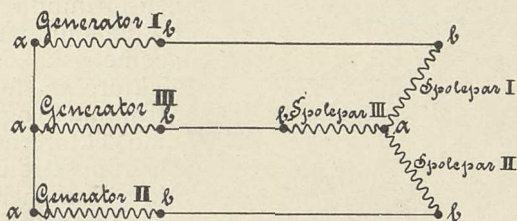


Fig. 91.

En anden Forbindelsesmaade, ved hvilken man ogsaa opnaar at kunne nøjes med tre Ledninger, er den saakaldte Trekantsforbindelse, ligeledes opkaldt efter Skemaets Form. Fig. 92 viser en Trekantsforbindelse. At der bliver den rigtige Strømfordeling ses af Fig. 93. Her er $\vec{oa}$, $\vec{ob}$ og $\vec{oc}$ Vektorerne for Spændingerne fra I til II, fra II til III og fra III til I, og da Strøm-

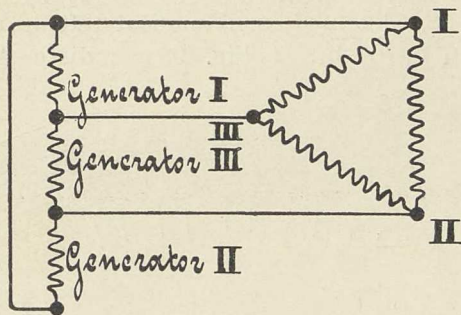


Fig. 92.

styrkerne i de tre ganske ens Spoler findes ved at dividere Spændingerne med en konstant Størrelse ($\sqrt{m^2 + \omega^2 L^2}$), kan Spolestrømmene fra I til II, fra II til III og fra III til I fremstilles ved tre lige lange Vektorer, forskudte i Rækkefølge 120° for hinanden og alle faseforskudt en Vinkel, hvis Tangens er $\frac{\omega L}{m}$, bagud for

de tilsvarende Spændingsvektorer. Lad disse Strømvektorer være $\underline{o-a_1}$, $\underline{o-b_1}$ og $\underline{o-c_1}$.

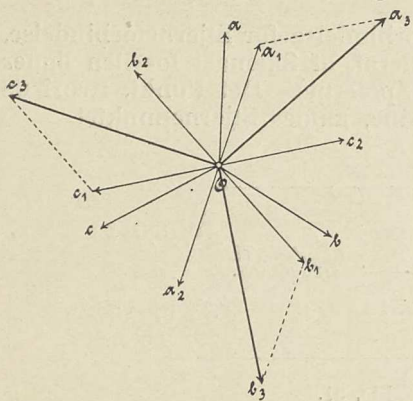


Fig. 93.

Tilledningerne føre hver for sig en Strøm, der er den geometriske Sum af Strømmene i de to med Tilledningen forbundne Spoler, og dersom man derfor geometrisk adderer Vektorerne for disse Strømme to og to, faar man Vektorerne for Tilledningsstrømmene. Man maa her huske paa, at det er følgende Spolestrømme, der skulle adderes to og to, nemlig:

- Spolestrøm I til II og I til III (ikke III til I),
- II til III og II til I (ikke I til II),
- III til I og III til II (ikke II til III).

Spolestrømmene i første Række have Vektorerne $\underline{o-a_1}$, $\underline{o-b_1}$ og $\underline{o-c_1}$, medens Spolestrømmene i anden Række have Vektorerne respektive $\underline{o-c_2}$, $\underline{o-a_2}$ og $\underline{o-b_2}$, der i Størrelse ere lig med men modsat rettede respektive $\underline{o-c_1}$, $\underline{o-a_1}$ og $\underline{o-b_1}$. I Fig. 93 er disse Additioner

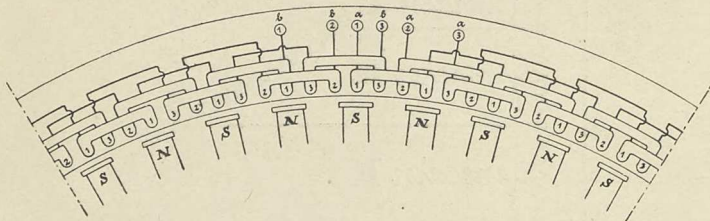


Fig. 94.

udførte, og Tilledningsstrømmenes Vektorer ere de tre lige lange Linier $\underline{o-a_3}$, $\underline{o-b_3}$ og $\underline{o-c_3}$, der ere forskudte i Rækkefølge 120° fra hinanden, og Ræsonnementerne fra Stjerneforbindelsen gælde da ogsaa her.

For de forskellige Spændingers og Strømstyrkers indbyrdes Forhold ved Stjerne- og Trekantsforbindelser vil der senere blive gjort Rede.

Vi have hidtil tænkt os den trefasede Strøm frembragt ved Hjælp af tre fra hinanden adskilte Vekselstrømgeneratorer. I Praksis finder dette ikke Sted, man bygger Generatorer, fra hvilke der direkte kan tages Drejestrøm.

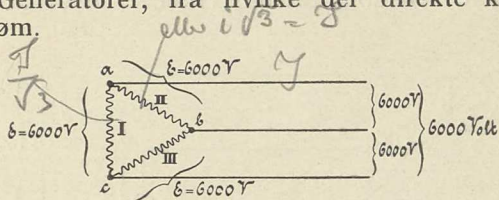


Fig. 95.

En saadan Maskines Ydre er ved en overfladisk Betragtning aldeles det samme som en Vekselstrømgenerator. Den bestaar af et Polhjul og et Anker. Forskellen ligger i Ankerets Konstruktion. Istedetfor at give dette en fortløbende Vikling, giver man det tre fra hinanden adskilte Viklinger, der forskydes for hinanden saameget, at de i Viklingerne opstaaende elektromotoriske Kræfter i Rækkefølge ere faseforskudte $\frac{1}{3}$ Periode for hinanden. Hvorledes dette praktiseres ses tydeligt af Fig. 94, og det vil uden nærmere Forklaring være indlysende, at man paa den antydede Maade faar tre Viklinger, der tilsammen give Drejestrøm.

Hvad der i al Almindelighed er sagt om Vekselstrømgeneratorerne, gælder ogsaa her baade om Konstruktion, Vikling, Omdrejningstal, Periode, Benyttelse, Regulering og Virkningsgrad.

De tre Viklinger kunne forbindes enten i Trekant eller i Stjerne. Anvendes Trekantforbindelsen, bliver (se Fig. 95) den elektromotoriske Kraft i hver Vikling

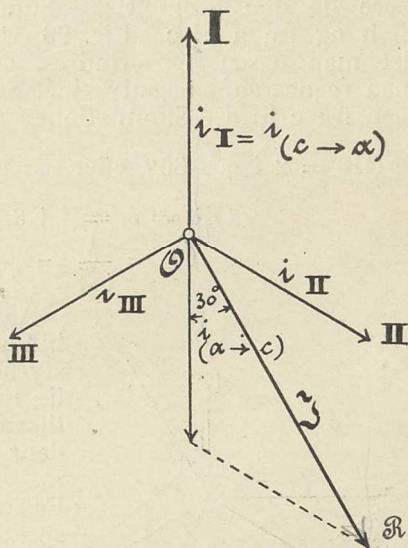


Fig. 96.

(Fasevikling) for ubelastet Maskine lig med Spændingen mellem to og to af Ledningerne. Denne Spænding kaldes ofte Liniespændingen eller Fase-spændingen. Dersom Strømstyrken i hver af Lednin-

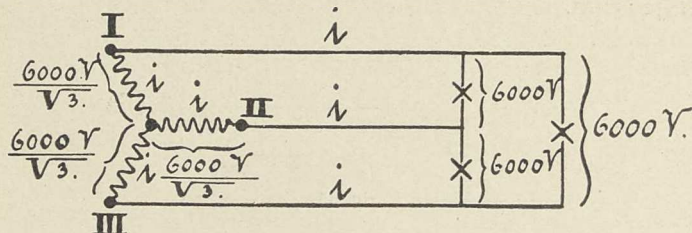


Fig. 97.

gerne er J , bliver Strømstyrken, i , i hver af Faseviklingerne $= \frac{J}{\sqrt{3}}$. Tages f. Ex. Ledningen, der udgaa fra I og II's fælles Klemme a, da maa dens Strømstyrke være lig den geometriske Sum af Strømmene fra a til b og fra a til c. Fig. 96 viser denne Summation; det maa ogsaa her erindres, at Strømmen fra a til c maa regnes som negativ, idet Strømmen i I er Strømmen fra c til a. Summationen giver

$$OR = 2 i \cos 30^\circ, \text{ eller, da } \cos \text{ til } 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2},$$

$$OR = J = i \sqrt{3}, \text{ hvoraf}$$

$$i = \frac{J}{\sqrt{3}} = \frac{I}{1,73}$$

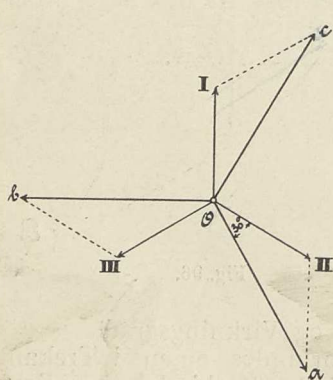


Fig. 98.

Anvendes der Stjerneforbindelse, Fig. 97, bliver Strømstyrken i hver Fasevikling lig med Strømstyrken i den tilsvarende Linieledning, medens Spændingen fra Klemme til Klemme af hver Fasevikling bliver Liniespændingen ved Maskinens Poler divideret med $\sqrt{3}$.

Dette sidste ses af Fig. 98. $0-I$, $0-II$ og $0-III$ er Klemmerne I, II og III's Potentialer i Forhold til Stjernepunktet. Spændin-

gerne fra I til II, fra II til III og fra III til I findes ved geometrisk at subtrahere Vektor I fra Vektor II o. s. v., dette giver de lige lange Vektorer $\overline{o-a}$, $\overline{o-b}$ og $\overline{o-c}$. Af Figuren faas $\overline{o-a} = 2 \cdot \overline{o-II} \cos 30^\circ$ eller:

$\overline{o-II} = \text{Spændingen mellem en Faseviklings Klemmer} = \text{Linespændingen divideret med } \sqrt{3}.$

Oftest forbindes Drejestrømgeneratorernes Faseviklinger i Stjerne, idet man derved under normale Forhold og ved en given Linespænding kommer til at arbejde med lavere Spændinger i Generatoren, end hvis der anvendtes Trekantsforbindelse.

20. Transformatorer. Transformatorer er Apparater, der benyttes til at omsætte Vekselstrøm-Energi af en vis Spænding til Vekselstrøm-Energi af en anden Spænding. Jo større en Strøms Spænding er, desto mindre bliver den Strømstyrke, der svarer til en vis Energimængde. Ved elektriske Kraftoverføringer paa lang Afstand vælger man derfor — jfr. Stykke 1 — en høj Driftsspænding, hvorved man bliver i Stand til at benytte Ledninger af et forholdsvis lille Tværsnit, uden at disses Opvarmning eller det procentvise Spændingstab bliver for stort.

Ved Forbrugsstederne er det imidlertid i de fleste Tilfælde bekvemmest at have lavspændt Strøm; i almindelige Husinstallationer vil det saaledes være praktisk uigennemførlig, og forbunden med Fare, at benytte højspændt Strøm.

Man anbringer derfor i Nærheden af Forbrugsstederne Transformatorer, der modtager den højspændte Strøm fra Generatorstationen og omsætter Strømmen til lavspændt Strøm, der igennem de saakaldte Lavspændingsledninger føres til Forbrugsstederne. Med Hensyn til de forskellige Fordelingssystemer henvises til et senere Afsnit af Bogen.

Det ses af det ovenanførte, hvilken overordentlig stor Betydning Transformatorerne har, og det er af Vigtighed, at Transformatorerne er Apparater af enkel Konstruktion og høj Virkningsgrad samt, at de ikke kræver nogen væsentlig Pasning.

Foruden til at formindske Spændingen kan man benytte Transformatorer til at forhøje Spændingen og i det hele taget til Omsætning i et hvilket som helst Forhold.

I sin simpleste Form bestaar Transformatoren af en Jærnring J (Fig. 99), paa hvilken der er anbragt to vel isolerede Beviklinger, nemlig den primære Bevikling P,

hvis Klemmer forbindes med Polerne af den fra Generatorstationen kommende primære Ledning, og den sekundære Bevikling S, hvis Klemmer forbindes med den til Forbrugsstederne førende sekundære Ledning.

Transformatorens Virkemaade er i store Træk følgende. Fra den primære Ledning passerer der en Vekselstrøm I_p igennem den primære Bevikling, hvorved der i denne opstaar et Vekselfelt F . Dette inducerer i de to Beviklinger elektromotoriske Kræfter, e_p og e_s , der er faseforskudte 90° bagud for Vekselfeltet F , og som i Størrelse er

$$I_p = 4,44 F \cdot \sim \cdot n_p \cdot 10^{-8} \text{ og}$$

$$I_s = 4,44 F \cdot \sim \cdot n_s \cdot 10^{-8}$$

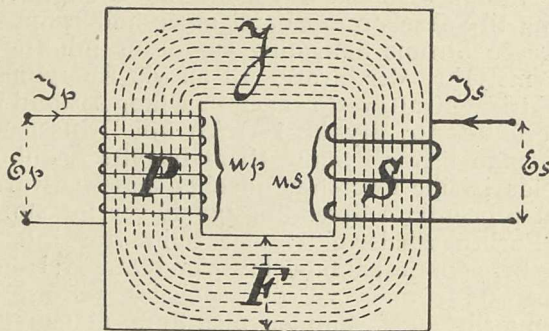


Fig. 99.

hvor F er Vekselfeltets Størrelse, $\sim$ Periodetallet og n_p og n_s den primære og den sekundære Beviklings Vindingsantal. Det er klart, at Vekselfeltets og de af dette inducerede elektromotoriske Kræfter har samme Periodetal som den primære Klemmespænding E_p .

Den i den primære Bevikling inducerede elektromotoriske Kraft e_p svarer ved Tomgang — $\sim$: naar den sekundære Strømkreds er afbrudt — til Selvinduktionens mod-elektromotoriske Kraft og er modsat rettet og omtrent lig med Klemmespændingen E_p saaledes at den omtrent ophæver denne. Omend Resultanten ε_p af E_p og e_p er meget lille i Forhold til Komponenterne, er den dog tilstrækkelig til at frembringe Strømmen $I_p = \frac{\varepsilon_p}{M_p}$, hvor M_p er den primære Beviklings ohmske Modstand. I_p er

ved Tomgang meget lille og faseforskudt c. 90° bagud for Klemmespændingen E_p . Transformatoren virker i dette Tilfælde ganske som en Drosselspole.

Den i den sekundære Bevikling inducerede elektromotoriske Kraft e_s er som nævnt i Fase med e_p og faseforskudt 90° bagud for Vekselfeltet F . Sluttes den sekundære Bevikling igennem en induktionsfri Modstand vil der opstaa en Vekselstrøm I_s , der er i Fase med

e_s . Samtidig vil den primære Strøm I_p nærme sig til at blive i Fase med Klemmespændingen E_p og altsaa i modsat Retning af e_p og e_s . Den sekundære Strøm I_s vil derfor gaa i modsat Retning af den primære Strøm I_p og altsaa virke afmagnetiserende. Af

$e_p = 4,44 F \propto n_p \cdot 10^{-8}$ ses, at den modelktromotoriske Kraft e_p aftager samtidig med Feltet F . Naar den modelktromotoriske Kraft e_p aftager, vil naturligvis Strømmen I_p vokse, hvorved igen en Del af den ved den sekundære Strøm I_s frembragte Afmagnetisering ophæves. Det inducerende Vekselstrømfelt F er saaledes Resultanten af de af den primære

Strøm I_p og den sekundære Strøm I_s frembragte Felter, og det vil ved stigende Belastning aftage ganske lidt. Den derved stedfindende Formindskelse af den modelktromotoriske Kraft e_p vil ikke være større end, at Resultanten ε_p af E_p og e_p , og dermed den pri-

mære Strøm $I_p = \frac{\varepsilon_p}{M_p}$ vokser i tilsvarende Grad som den sekundære Strøm I_s .

Hvis kun Strømmen I_p fandtes, vilde denne frembringe et Felt F_p (Fig. 100) som passerer Beviklingen P og hvis Kraftlinier ogsaa antages alle at passere Beviklingen S .

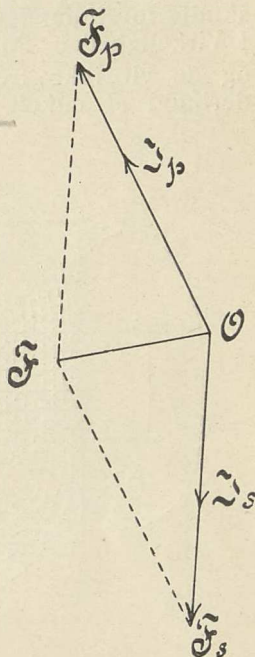


Fig. 100.

Hvis kun Strømmen I_s fandtes, vilde denne paa samme Maade frembringe et Felt F_s , hvis Kraftlinier alle passerer Beviklingen S og foreløbig antages ogsaa alle at passere Beviklingen P. De to Felter F_p og F_s Retninger nærmer sig mere og mere til at være 180° forskudte for hinanden, jo mere Transformatoren belastes. I Virkeligheden forefindes Strømmene I_p og I_s begge, og de vil ikke frembringe hver sit Magnetfelt, men derimod et enkelt resulterende Felt F , der findes i

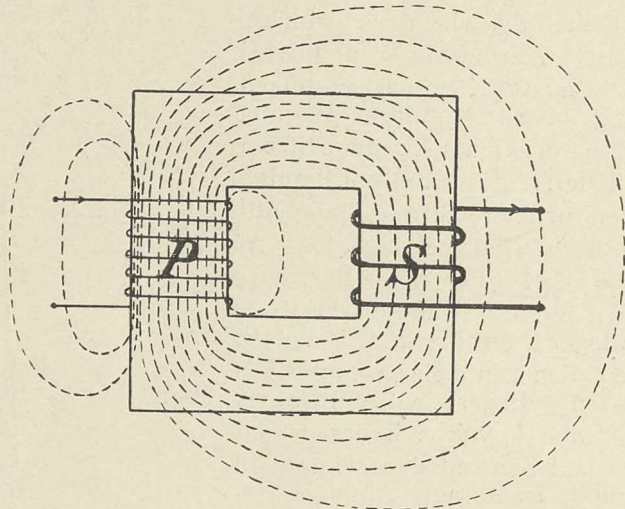


Fig. 101.

Størrelse og Retning ved geometrisk Addition af de to Felter F_p og F_s (Fig. 100).

Imidlertid vil ikke alle Kraftlinierne F_p passere igennem Beviklingen S. En lille Del af Kraftlinierne F vil — se Fig. 101 — passere udenom. Dette kaldes Kraftliniernes Spredning, og den Del af Feltet, der gaar udenfor Jærnkernen, kaldes Spredningsfeltet. Saafernt man betegner den Brøkdel af Feltet F_p , som passerer Beviklingen S, med a_p , vil det virkelige, resulterende Felt F'_s der passerer Beviklingen S, blive Resultanten af F_s og $a_p \cdot F_p$ (Fig. 102). Paa samme Maade vil kun en Brøkdel $a_s \cdot F_s$ af de af den sekundære Bevikling frembragte Kraftlinier passere igennem den primære

Bevikling, og det resulterende Felt F'_p i denne bliver Resultant af F_p og $a_s F_s$ (Fig. 102). Man ser heraf, at de igennem de to Beviklinger passerende Magnetfelter er noget forskellige saavel i Fase som i Størrelse.

Naar Transformatoren gaar tom, er I_s og dermed F_s Nul. Vektordiagrammet for dette Tilfælde ses i Fig. 103.

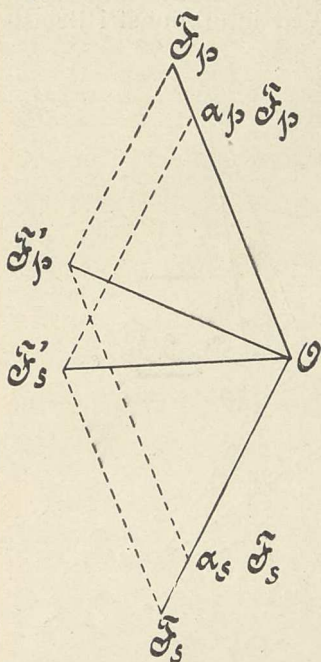


Fig. 102.

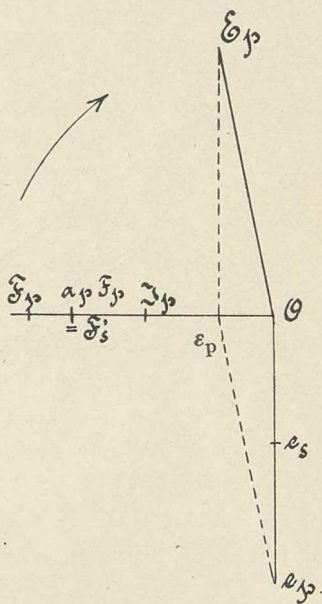


Fig. 103.

Den primære Strøm I_p frembringer i den primære Bevikling Feltet F_p og i den sekundære Bevikling Feltet $F'_s = a_p \cdot F_p$. I dette Tilfælde, hvor der kun findes en enkelt Strøm I_p til at frembringe Felterne, maa disse begge være i Fase med denne Strøm. Feltet F_p frembringer i Beviklingen P en modelektromotorisk Kraft e_p , der er faseforskudt 90° bagud for F_p . I den primære Bevikling findes saaledes dels Klemmespændingen E_p og dels den modelektromotoriske Kraft e_p , der tilsammen danner Resultanten ϵ_p . Det er denne Resul-

tant, der bestemmer Strømmen I_p i Størrelse og Retning. Feltet $F_s^1 = a_p \cdot F_p$ frembringer i Beviklingen S en elektromotorisk Kraft e_s , der ved Tomgang er lig med den sekundære Klemmespænding E_s .

Naar den sekundære Strømkreds sluttes, vil Spændingen e_s frembringe en sekundær Strøm I_s , hvis Størrelse og Faseforskydning afhænger af Strømkredsens Modstand, Selvinduktion etc. Ved induktionsfri Belast-

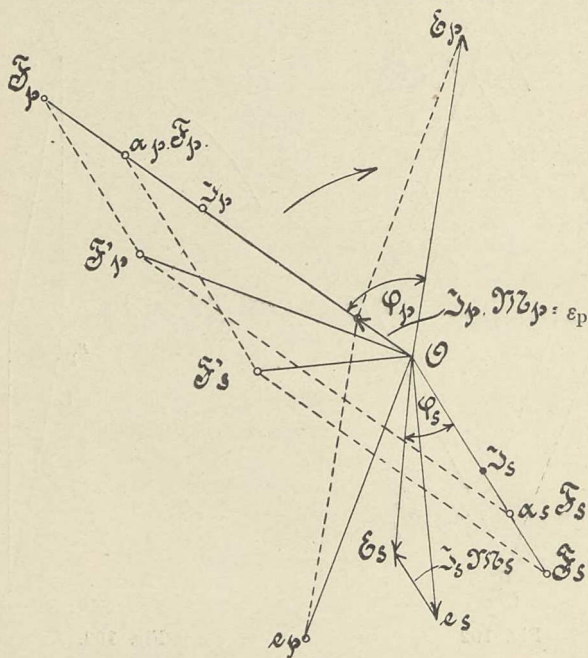


Fig. 104.

ning vil Strømmen I_s tilnærmelsesvis være i Fase med den elektromotoriske Kraft e_s .

I Fig. 104 ses Vektordiagrammet for en belastet Transformator.

Den sekundære elektromotoriske Kraft er fremstillet ved e_s , den sekundære Strømstyrke ved I_s , der er forskudt en Vinkel bagud for Spændingen, og som i den sekundære Bevikling frembringer et Felt F_s .

Til at inducere Spændingen e_s udkræves der i den

sekundære Bevikling et resulterende Felt F_s^1 , som er forskudt 90° forud for e_s , og som i Størrelse er

$$F_s^1 = \frac{e_s}{4,44 \cdot \omega \cdot n_s \cdot 10^{-8}}.$$

Dette Felt, hvis Størrelse og Retning saaledes kendes, skal være Resultant af det forud givne Felt F_s og det af den primære Strøm frembragte Felt $a_p \cdot F_p$, der derfor kan findes ved at tegne Parallelogrammet $O F_s F_s^1 a_p \cdot F_p$. Forudsat at Spredningsfaktoren a_p kendes, kan man af den nu kendte Størrelse $a_p \cdot F_p$ finde F_p , der afsættes som OF_p . Det paa den primære Bevikling virkende, resulterende Felt F_p^1 findes ved geometrisk Addition af F_p og $a_s \cdot F_s$. Den af Feltet F_p^1 inducerede modelektromotoriske Kraft e_p findes som $O-e_p$, der er forskudt 90° bagud for Feltet F_p^1 , og som i Størrelse er

$$e_p = 4,44 \cdot \omega \cdot n_p \cdot F_p^1 \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Klemmespændingen E_p og den modelektromotoriske Kraft e_p sammensættes til Resultanten ε_p , der bestemmer den primære Strøm $I_p = \frac{\varepsilon_p}{M_p}$.

Retningen af ε_p og I_p maa falde sammen med F_p^1 s Retning, idet F_p er det af Strømmen I_p frembragte Felt.

Strømmen I_s vil i Beviklingen S frembringe et Spændingstab, der er i Fase med I_s , og som i Størrelse er lig med $I_s \cdot M_s$. Den sekundære Klemmespænding E_s findes ved geometrisk Subtraktion af Spændingstabet $I_s M_s$ fra den elektromotoriske Kraft e_s .

Paa Tegningen er den primære Strøms Faseforskydning i Forhold til Klemmespændingen betegnet ved φ_p og den sekundære Strøms Faseforskydning ved φ_s .

De i de to Beviklinger inducerede Spændinger er jo $e_p = 4,44 F_p^1 \cdot \omega \cdot n_p \cdot 10^{-8}$ og $e_s = 4,44 F_s^1 \cdot \omega \cdot n_s \cdot 10^{-8}$, hvoraffaas $\frac{e_p}{e_s} = \frac{F_p^1}{F_s^1} \cdot \frac{n_p}{n_s}$. Da F_p^1 kun afviger meget lidt fra F_s^1 , kan man tilnærmelsesvis sætte $\frac{e_p}{e_s} = \frac{n_p}{n_s}$, det vil sige de inducerede elektromotoriske

Kræfter i de to Beviklinger er proportionale med Vindingsantallene. Da Spændingstabene $I_p \cdot M_p$ og $I_s \cdot M_s$ i de to Beviklinger ved gode Transformatorer er meget smaa i Forhold til Hovedspændingerne e_p og e_s , vil ogsaa Klemmespændingerne E_p og E_s være tilnærmelsesvis proportionale med Vindingsantallene.

Tabene i en Transformator bestaar af Tabene T_k i Beviklingerne, eller det saakaldte Kobbertab, og Tabene T_j i Jærnkærnen, eller det saakaldte Jærntab.

Kobbertabet T_k bestaar ligefrem af den af Strømmen udviklede Varme i Beviklingerne og er

$$T_k = I_p^2 \cdot M_p + I_s^2 \cdot M_s.$$

Da I_p vokser tilnærmelsesvis proportionalt med I_s , ses Kobbertabet at vokse proportionalt med Kvadratet paa den aftagne Strømstyrke. Da T_k vokser sammen med Modstandene M_p og M_s , giver man Beviklingerne en lille Modstand, hvorved man ogsaa opnaar, at Spændingstabene $I_p \cdot M_p$ og $I_s \cdot M_s$ i de to Beviklinger bliver smaa, hvad der igen medfører, at Transformatorens sekundære Klemmespænding E_s kun aftager forholdsvis lidt ved voksende Belastning. Saafremt Transformatoren skal levere Strøm til Glødelamper og skal virke fuldstændig automatisk, uden at man behøver at variere den primære Spænding efter Belastningen, maa Spændingstabet fra Tomgang til fuld Belastning, og altsaa Beviklingernes ohmske Modstand være meget lille.

Jærntabet bestaar dels af den Energimængde T_h , som medgaar paa Grund af Jærnets Hysteresis, og dels af den Energimængde, som medgaar til de under Magnetiseringen uundgaeligt opstaaende Hvirvelstrømme. Disse Tab er afhængige af Vekselfeltets Størrelse og Periodetal, og da disse Størrelser er saa at sige uafhængige af Belastningen, vil Jærntabene blive omtrent konstante lige fra Tomgang til fuld Belastning. Da Transformatorerne oftest ere i Virksomhed hele Aaret igennem, selv om de kun i nogle faa Hundrede Timer er i væsentlig Grad belastede, og da Jærntabene forefindes i fuld Størrelse uafhængig af Belastningen, er det af Vigtighed at reducere Jærntabene til det mindst mulige. Det opnaas dels ved, at man sørger for et godt, sluttet magnetisk Kredsløb og dels ved, at man sammensætter Jærnkærnen af ganske tyndt — 0,25 à 0,5 mm — Jærnblik, der lægges saaledes, at de overalt følger Kraftliniernes Retning og

som isoleres fra hinanden ved paaklæbet Silkepapir, Lak e. l.

I nedenstaaende Tabel er angivet Tabene i og Nyttevirkningen af almindelige, gode Transformatorer.

K. V. A.	Jærntab	Kobbertab ved fuld Belastn.	Virkningsgrad ved		Spændings- tab ved fuld Belast- ning i pCt.
	Watt	Watt	fuld	halv Belastning	
1	40	29	0,986	0,98	0,082
5	92	141	0,955	0,95	0,023
15	226	216	0,971	0,97	0,012
30	405	358	0,976	0,974	0,011
50	590	600	0,978	0,977	0,011

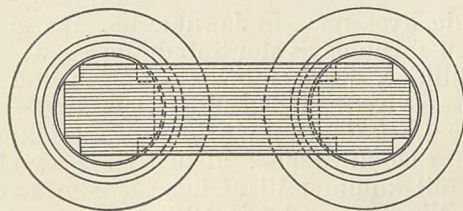
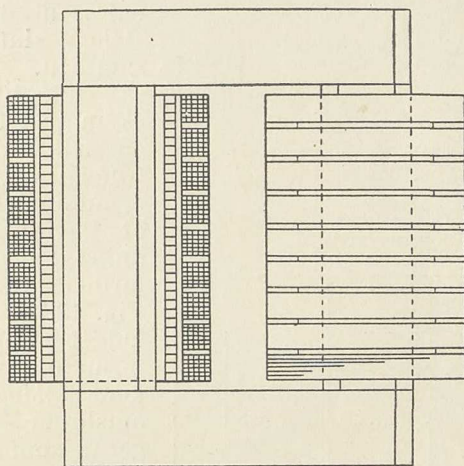


Fig. 105.

Forholdet imellem den Energimængde, som tages fra Transformatoren og den Energimængde, som tilføres

den i Aarets Løb, kaldes dens Aars-Virkningsgrad. Alt efter Tilslutningens Art varierer Aars-Virkningsgraden sædvanligvis imellem ca. 0,6 og 0,8.

Transformatorernes Udførelse. Som allerede nævnt opbygges Magnetstellet af tynde Jærnplader, der isoleres fra hverandre ved Hjælp af Silkepapir, Lak e. l. For at man skal kunne anbringe Beviklingerne, efter at de er færdig vikledede og isolerede, maa Magnetstellet være delt.

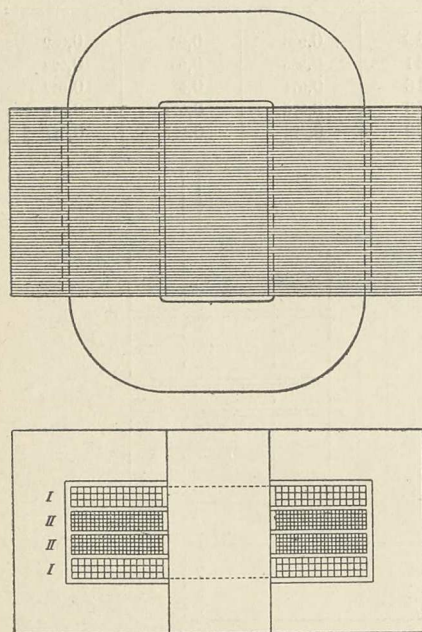


Fig. 106.

Da de derved dannede Samlefuger virker som Luft-mellemrum, der forøger Magnetstallets magnetiske Modstand, er det af Vigtighed, at Samlingerne udføres saaledes, at de enkelte Dele slutter tæt sammen.

I Fig. 105 ses et skematisk Billede af en saakaldet Kærnetransformator, der er ejendommelig ved, at Beviklingerne er anbragt paa en ringformet Kærne. I Fig. 106 ses en saakaldet Kappetransformator, ved hvilken Magnetstellet omslutter Beviklingerne som en Slags Kappe.

I Fig. 99 er de to Beviklinger P og S vist liggende hver paa sin Jærnkærne. Da man herved vilde faa en forholdsvis stor Spredning — ω : en stor Del af de Kraftlinier, der frembringes af den ene Bevikling, vil ikke passere igennem den anden Bevikling — anbringer man begge Beviklinger omkring en og samme Kærne og paa en saadan Maade, at den ene Beviklings Vindinger overalt kommer til at ligge tæt op ad den anden Beviklings Vindinger. I Fig. 105 ses en saakaldet Cylinderbevikling, ved hvilken de to Beviklinger ligger som to hinanden omgivende Rør. Disse maa naturligvis være vel isolerede fra hinanden og fra Jærnstellet.

I Fig. 106 ses en saakaldet Skivevikling, ved hvilken de to Beviklinger er delt i Spoler af Form som Skiver, der er anbragt oven paa hverandre saaledes, at der afvekslende kommer en primær Spole og en sekundær Spole. Imellem de enkelte Spoler er der sædvanligvis

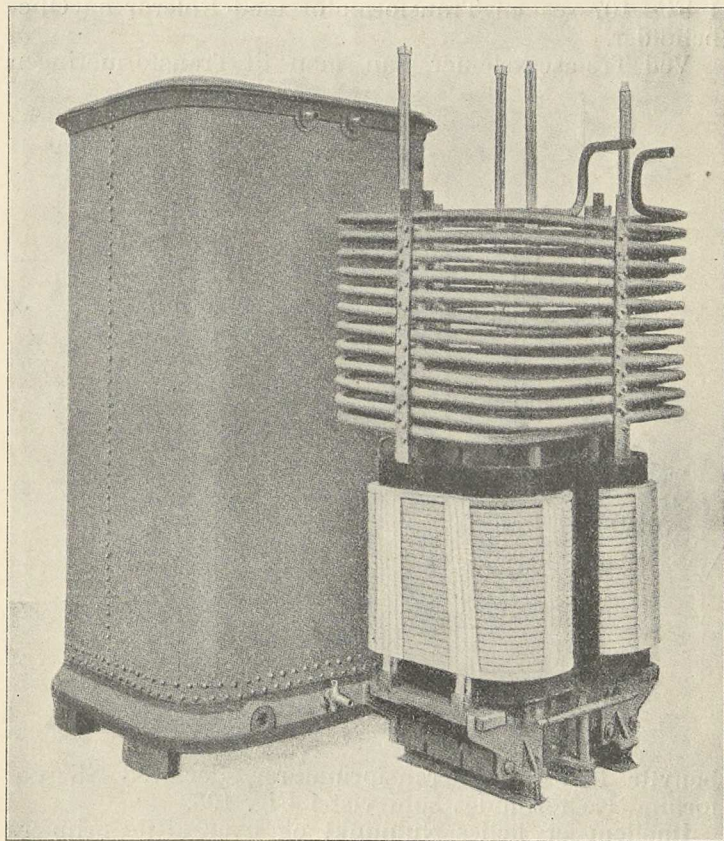


Fig. 107.

Mellemrum, der tjener til Cirkulation af et Kølemiddel saasom Luft eller — mere almindeligt — Olie.

Transformatoren anbringes i en lukket Beholder, der er fyldt med Olie. Denne opvarmes af Beviklingerne og bringes derved i stadig Cirkulation igennem de i

Beviklingerne og eventuelt i Jærnkærnen udsparede Kanaler.

Ved meget store Transformatorer er denne naturlige Afkøling ikke tilstrækkelig, hvorfor man i saadanne Transformatorer anbringer et System af Kølerør, i hvilke der cirkulerer Vand og som tjener til at afkøle Olien. I Fig. 107 ses en Transformator med Kølerør og Oliebeholder.

Ved Trefasesystemer kan man til Transformerings

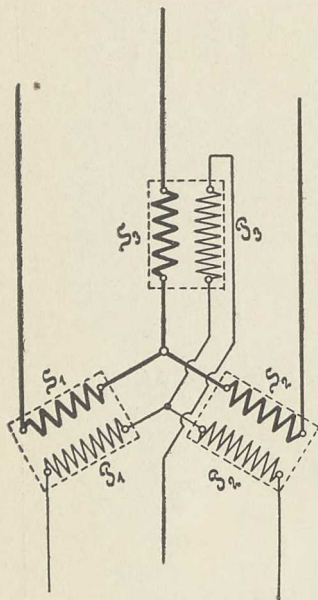


Fig. 108.

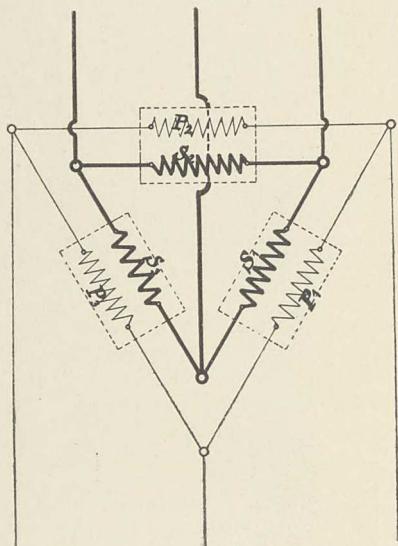


Fig. 109.

benytte tre Enfase-Transformatorer, der ved Stjerneforbindelse forbindes som vist i Fig. 108.

Imellem et fælles Nulpunkt og hver af de primære Faseledninger indskydes den primære Bevikling af en Enfase-Transformator, og de tre sekundære Beviklinger forbindes ligeledes i Stjerne imellem det sekundære Systems Faseledninger. Hver Transformator transformerer saaledes en enkelt primær Fasespænding til en tilsvarende sekundær Fasespænding.

I Fig. 109 ses et Skema for tre i Trekantsforbindelse forbundne Transformatorer. Her er Beviklingerne indskudt imellem to og to Faseledninger saaledes, at hver

Transformator transformerer en af de primære Liniesspændinger til en tilsvarende sekundær Liniesspænding.

En meget almindelig Forbindelsesmaade er den i Fig. 110 viste, saakaldte Trekant-Stjerne-Forbindelse.

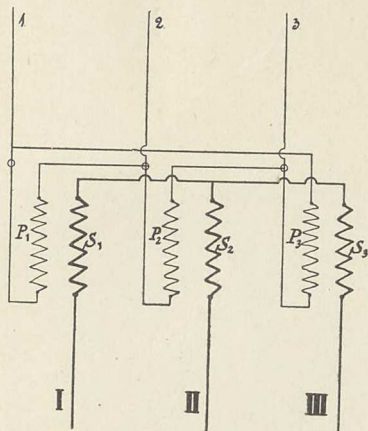


Fig. 110.

Her er de primære Beviklinger indskudte imellem to og to af det primære Systems Faseledninger, medens de sekundære Beviklinger er forbundne i Stjerne. Den sekundære Fasespænding I vil saaledes komme til at svare til den primære Liniesspænding 1—2 o. s. v.

I Stedet for at benytte tre Enfase-Transformatorer, anvender man oftest en enkelt Trefase-Transformator,

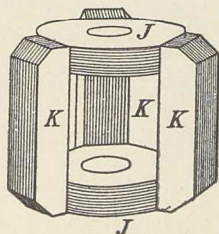


Fig. 111.

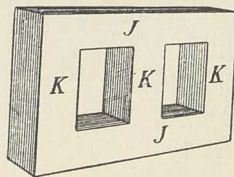


Fig. 112.

ved hvilken de tre Magnetstel er kombinerede sammen til et enkelt Stel, bestaaende af tre Jærnkærner — en for hver Fase —, der ved begge Ender er forbundne ved Hjælp af et for alle Kærnerne fælles Aag. Kærnerne anbringes i Reglen enten i en Kreds eller i en

lige Række og forbindes ved Hjælp af to henholdsvis ringformede eller lige Aag J (Fig. 111 og 112). I Fig. 113 ses en Trefase-Transformator med tilhørende Kappe.

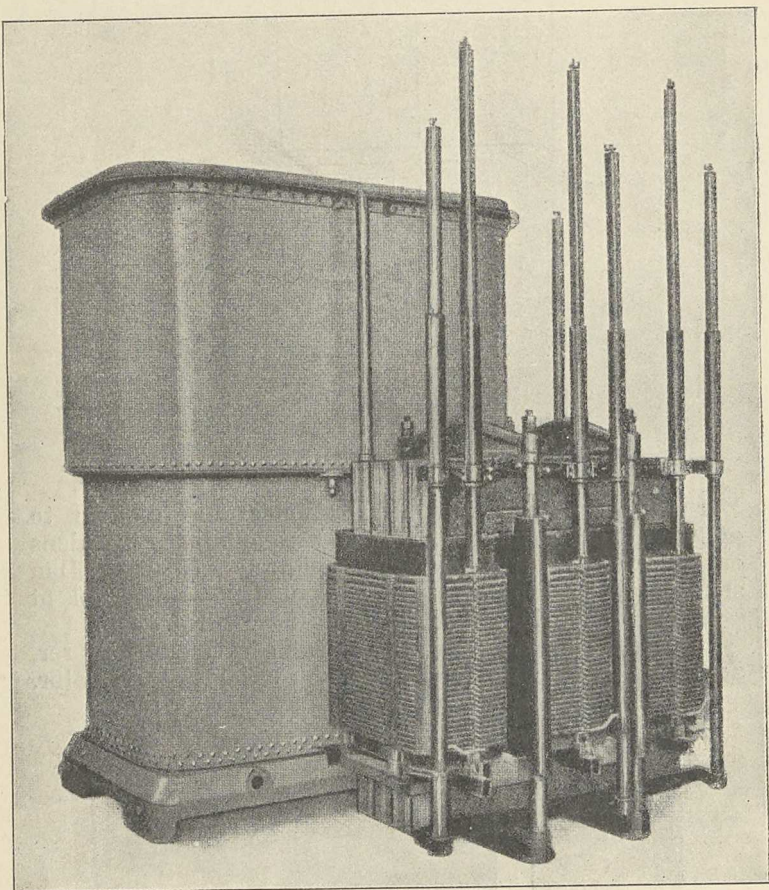


Fig. 113.

21. **Vekselstrømmotorer** bestaa ligesom Vekselstrømgeneratorer af en Stator og en Rotor. Igennem Stators Vindinger sendes enfaset eller flerfaset Vekselstrøm, og de derved opstaaende magnetiske Felter paavirke derpaa de gennem Rotors Vindinger flydende Strømme paa en saadan Maade, at der opstaar et drejende Moment.

Ved nogle Vekselstrømmotorer forsynes Rotors Vindinger med Jævnstrøm fra en særlig Strømkilde. Disse Motorer løbe alle synkront, det vil sige, de kunne kun løbe med én ganske bestemt Omdrejningshastighed, svarende til den foreliggende Vekselstrøms Periodetal. Alle disse Motorer kaldes derfor Synkronmotorer.

Ved de saakaldte Asynkronmotorer, der som Navnet antyder kunne løbe med vilkaarlige Omdrejningshastigheder, forsynes Rotor overhovedet ikke med Strøm udefra. Strømmene i Rotor induceres af de magnetiske Felter fra Stator. Disse Motorer kaldes derfor ogsaa Induktionsmotorer.

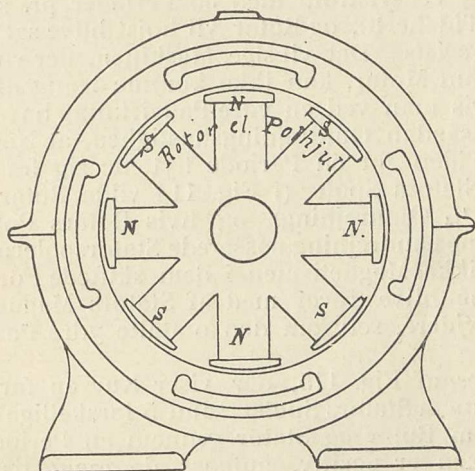


Fig. 114.

Endelig findes der de saakaldte enfasede Kommutatormotorer, ved hvilke baade Rotor og Stator forsynes med Vekselstrøm.

Vi ville i det følgende kun behandle de enfasede Vekselstrømmotorer og Drejestrømmotorerne, der hver for sig kunne optræde baade som Synkronmotorer og som Asynkronmotorer.

De enfasede Vekselstrømmotorer, Enfasemotorerne, konstrueres som enfasede Synkronmotorer, Asynkronmotorer og Kommutatormotorer.

Den enfasede Synkronmotor er i sin Konstruktion slet ikke andet end en almindelig enfaset Vekselstrømgenerator.

Lad os tænke os en saadan, at vi forsyne Stators

Vikling med en enfaset Vekselstrøm, Rotors Vikling med Jævnstrøm, og at Rotor staar stille, saadan at alle Nordpoler netop er udfor Midten af Stators Spoler, se Fig. 114.

I den Tid af Perioden, i hvilken Vekselstrømmens Retning er en saadan, at den frembragte Magnetisme tiltrækker Rotors Nordpoler, vil Rotor være fastholdt, og i den Tid Strømmen gaar den modsatte Vej, frastødes Rotors Poler, og Rotor vilde, hvis Vekselstrømmen vekslede meget langsomt, maaske dreje sig en Podeling til den ene eller anden Side (afhængig af tilfældige Unøjagtigheder i Konstruktionen), men tænke vi os en almindelig Vekselstrøm med 50 Perioder pr. sec, bliver der ikke Tid hertil, og Rotor vil højst blive sat i en skælvende Bevægelse. Det vil sige, Maskinen, der virkelig kan fungere som Motor, kan ikke komme igang af sig selv.

Men hvis man ved en ydre Paavirkning havde bibragt Rotor en saadan Omdrejningshastighed, at Nordpolerne netop i Tiden for én Periode flyttede sig fra Midte til Midte af Stators Spoler (i Fig. 114 vilde Rotor saaledes dreje sig $\frac{1}{4}$ Omdrejning), og hvis Rotors Poler netop under denne Omdrejning passerede Statorspolernes Midter i de Øjeblikke, Magnetismen i dem skiftede For tegn, saa vilde Rotor blive revet med af Stators Magnetisme og dreje sig videre, selv om den omtalte ydre Paavirkning ophørte.

Dette ses af Fig. 115, der viser Kurven for Magnetfluxen gennem Stators Spoler samt 5 forskellige Stillinger af en Del af Rotor og Stator gennem en Periode. Naar Magnetfluxen er positiv, antages de magnetiske Kraftlinier at gaa i Retningen fra Rotor til Stator, det vil sige Spolens mod Rotor vendte Del optræder som en Sydpol.

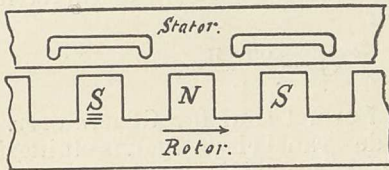
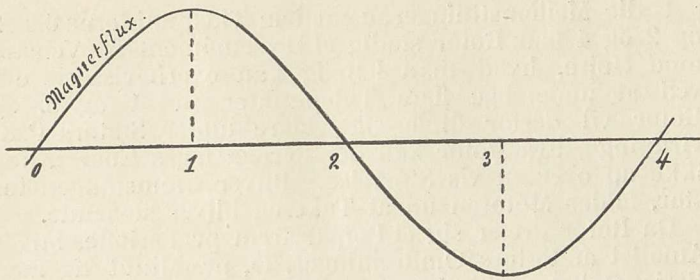
Ved Tidspunkt 0. Magnetfluxen = 0. Stator paa virker ikke Rotor til Drejning.

Ved Tidspunkt 1. Magnetfluxen har positivt Maximum. Stators Spoler ere stærke Sydpoler, der tiltrække Rotors Nordpoler og frastøde Sydpolerne, og Rotor faar saaledes et Drejemoment fra Venstre mod Højre.

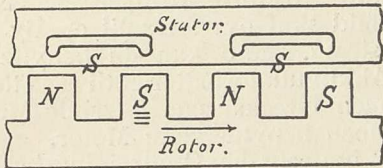
Ved Tidspunkt 2. Magnetfluxen = 0. Stator paavirker ikke Rotor til Drejning.

Ved Tidspunkt 3. Magnetfluxen har negativt Maximum. Stators Poler ere stærke Nordpoler, der tiltrække Rotors Sydpoler og frastøde Nordpolerne, det vil sige, Rotor faar et Drejemoment fra Venstre mod Højre.

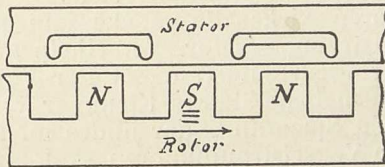
Ved Tidspunkt 4 er Stillingen i Virkeligheden som ved Tidspunkt 0.



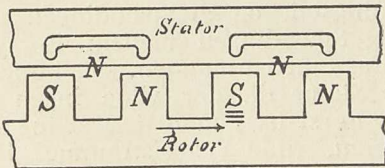
Stidopunkt 0



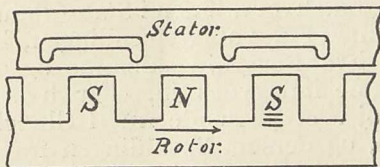
Stidopunkt 1



Stidopunkt 2.



Stidopunkt 3.



Stidopunkt 4.

Fig. 115.

I alle Mellemstillingerne mellem Tidspunkterne 0 og 2 og 2 og 4 faar Rotor stadig et Drejemoment fra Venstre mod Højre, hvad man lettelig kan overbevise sig om ved at undersøge flere Tidspunkter end 1 og 3, og Rotor vil derfor dreje sig videre under Stators Paa-virkning. Fra Rotor kan der derpaa tages Energi, dog ikke ud over en vis Størrelse. Bliver Bremsningen for stor, falder Motoren ud af Takt og bliver staaende.

Da Rotor drejer sig et Polpar frem pr. Periode, bliver Antallet af Rotors Omdrejninger, O , pr. Minut lig med Periodetallet multipliceret med 60 og divideret med Antallet af Polpar eller

$$O = \frac{60 \cdot n}{p},$$

der er den samme Formel som for Generatorer.

Begrundet paa de vanskelige Igangsætningsforhold finde de synkrone enfasede Vekselstrømmotorer kun Anvendelse ved store Krafteroverføringer, f. Ex. hvis Kraften fra et Vandfald skal overføres til en By og dér omformes til Jævnstrøm. Man kan da benytte Jævnstrømdynamoen og Akkumulatorbatteriet til at sætte Rotor igang. Igangsætningen foregaar paa følgende Maade.

Jævnstrømsdynamoen benyttes som Motor, og Rotor bringes op til at have omtrent den Omdrejningshastighed, den skal have. Magnetiseringsstrømmen sættes derpaa til, og Vekselstrømmotoren virker da ganske som en ubelastet enfaset Vekselstrømgenerator. Ved Hjælp af Regulering af Magnetiseringsstrømmen og et Par Voltmetre bringes Spændingen mellem Stators Klemmer op til at være nøjagtig lig den Spænding, der findes mellem de Klemmer, fra hvilke Vekselstrømmotoren skal forsynes, og hvis man nu var vis paa, at Maskinen netop havde det rigtige Omdrejningstal, og at Spændingen mellem Stators Klemmer og Spændingen mellem Forsyningsklemmerne vare i Fase med hinanden, saa kunde man ganske rolig slutte Stator til, der vilde ingen Strøm trænge ind i Stator. Først hvis man derpaa tog Kraften fra Jævnstrømsmotoren, vilde Vekselstrømmen i Stator komme i Gang, og Maskinen virke som Motor.

For at forvisse sig om, hvorvidt den i Stator inducerede Spænding er i Fase med Forsyningsspændingen, kan der (se Fig. 116) mellem hver Forsyningsklemme og den tilsvarende Statorklemme indskydes én, eller hvis Spændingerne ere for høje, et passende Antal Glødelamper (Faselamper) i Serie, og dersom Spændingen fra a til b

paa Motorsiden er i Fase med Spændingen fra a til b paa Forsyningssiden, og Spændingerne tillige ere lige store, ville Spændingerne mellem b og b og mellem a og a altid være Nul, og der vil da ikke passere Strøm gennem Lamperne, det vil sige, de lyse ikke.

Da man imidlertid ikke, selv ved Hjælp af en Frekvensmaaler, kan kontrollere Rotors Omdrejningstal tilstrækkelig nøjagtigt og slet ikke kan se, om der er opnaaet, at de to Spændinger ere i Fase, vil Forholdet altid blive det, at Lamperne til en Begyndelse afvekslende lyse op og igen slukkes, faldende sammen med de Tidspunkter, ved hvilke Summen af de øjeblikkelige Spændingsværdier er Maximum eller Nul. Ved at regulere paa Jævnstrømsmotorens Reguleringsmodstand og

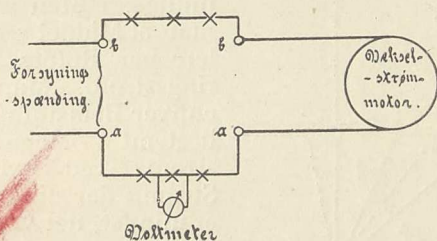


Fig. 116.

derigennem paa Rotors Omdrejningshastighed samtidig med at Stators Klemmespænding holdes konstant lig Forsyningsspændingen, søger man nu at opnaa, at Lamperne forblive mørke længere og længere Tid ad Gangen. Den sidste fine Indstilling af Omdrejningshastigheden og Faseoverensstemmelsen foretages under lagttagelse af et Voltmeter, der er anbragt over én eller flere af Fase-lamperne, se Fig. 116, naar Voltmetret falder til Nul og bliver i Ro der, kan Forbindelsen mellem b og b og mellem a og a sluttes.

Naar derefter Jævnstrømsmaskinens Magnetiseringsstrøm forstærkes, vil den efterhaanden fungere som en Generator, der nu trækkes af en enfaset synkron Vekselstrømmotor.

Idet Driftsspændingen p forudsættes konstant, kan den elektriske Energi, der maa tilføres Motoren, udtrykkes ved

$$E = p \cdot i \cos \alpha,$$

hvor i er den Strøm, Motoren bruger, og $\cos \alpha$ Arbejdsfaktoren. Størrelsen $i \cdot \cos \alpha$ maa altsaa variere med Belastningen. En ganske bestemt Belastning kræver

saaledes, da p er konstant, en ganske bestemt Værdi af $i \cos \varphi$, nemlig:

$$i \cos \varphi = E \text{ eller}$$

$$i = \frac{E}{\cos \varphi}$$

Da det imidlertid vilde være mest økonomisk at arbejde med saa lille en Strømstyrke som muligt, idet

dette vilde kræve de mindste og derved billigste Lednings- og Maskinanlæg, var det ønskeligt, om man kunde give $\cos \varphi$ Værdien 1, hvorved Værdien af i vilde blive den mindst mulige. Men hertil har man et Middel ved at regulere paa Rotors Magnetiseringsstrøm. Man kan for enhver Belastning finde en bestemt Magnetiseringsstrøm, ved hvilken den Strøm, der tilføres Stator, er mindst, det vil sige, man kan ved at regulere paa Magnetiseringsstrømmen regulere paa Faseforskydningen.

Lad os til nærmere Belysning af denne Sag betragte én af Stators Spoler i en enfaset Synkronmotor, der er sat i Gang som ovenfor beskrevet og belastet, uden at der er forandret paa Rotors Magnetisering, og se hvilke elektromotoriske Kræfter, der virker paa Spolens Vindinger. Der virker tre elektromotoriske Kræfter eller Spændinger:

- 1) den fra Forsyningsklemmerne kommende Spænding, E_1 ,
- 2) den af Rotor inducerede elektromotoriske Kraft, E_2 og
- 3) den fra Spolens Selvinduktion stammende elektromotoriske Kraft, E_s .

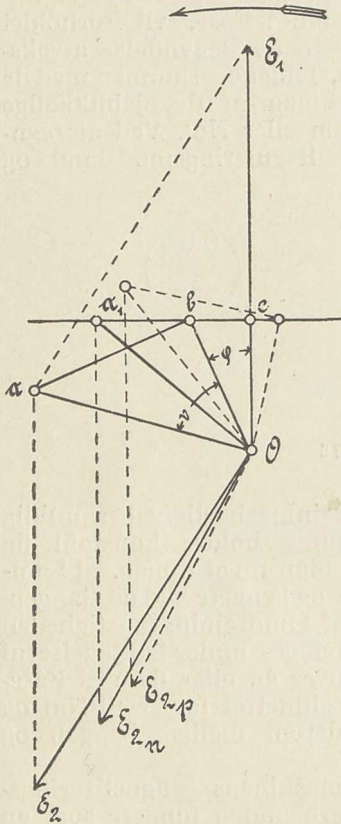


Fig. 117.

Om E_1 og E_2 vide vi, at deres Vektorer ere lige lange, men vi vide intet om deres Beliggenhed i Vektordiagrammet.

Om E_s vide vi, at den er $= i \omega L = i \cdot 2 \pi n \cdot L$.

Strømstyrken, i , kendes, og hvad L , Motorens Selvinduktionskoefficient angaar, da kan den praktisk set regnes for at være en Konstant.

Dersom man adderer geometrisk E_1 , E_2 og E_s , vil man faa den Spændingsvektor, der divideret med den Ohmske Modstand, m , i Strømløbet fra den ene Forsyningsklemme gennem Stator til den anden giver Strømmens Vektor. Fig. 117 viser denne Addition under den Antagelse, at Rotor ved Belastningen er kommet et Stykke tilbage i Forhold til den Stilling, den vilde have, hvis Motoren var ubelastet. $O-E_1$ og $O-E_2$ give tilsammen $o-a$, og denne skal sammen sættes med E_s . Herved opstaar den fra Side 23 bekendte karakteristiske Trekant, paa Fig. 117 Trekanten $o a b$, i hvilken

$$\begin{aligned} \overline{a-b} &= i \omega L \text{ og} \\ o-b &= im \text{ eller} \end{aligned}$$

$$\operatorname{tg} v = \frac{i \cdot \omega L}{im} = \frac{\omega L}{m} = \text{Konstant},$$

det vil sige, hvad Strømstyrken end er, vil den være faseforskudt den samme Vinkel i Forhold til den geometriske Sum af E_1 og E_2 .

Vinklen, φ , mellem $o-b$ og $\overline{o-E_1}$ er Faseforskydningsvinklen mellem Strømmen og Forbrugsspændingen (det ses at Strømmen iler forud for Forbrugsspændingen) og da $i \cos \varphi$ skal være konstant for enhver Strømstyrke, maa Punktet b for enhver Strømstyrke komme til at ligge paa Linien $b-c$ vinkelret paa $\overline{O E_1}$. Dersom Strømstyrken i Stator skal ændres (der forudsættes stadig samme Belastning), maa $\overline{o-b}$ ændres, og derigennem $o-a$, idet Trekanten $o a b$ maa beholde sin Form. Men da E_1 er givet at være konstant, kan $\overline{o-b}$ kun ændres derved, at $\overline{o-E_2}$ ændres enten i Størrelse eller i Retning eller begge Dele. Lad os antage den mindste Værdi for i . Hertil vil svare $i \times m = o-c$ (Statorstrømmen falder i Fase med Forsyningsspændingen). Trekanten $o a b$ bliver til $o a_1 c$ (af samme Form som $o a b$), Resultanten af E_1 og det nye E_2 skal altsaa være $o-a_1$, og da $\overline{O-E_1}$ ligger fast, maa det nye E_2 konstrueres ved at

subtrahere geometrisk $\overline{OE_1}$ fra $\overline{oa_1}$, hvilket giver $\overline{OE_{2n}}$. Giver Magnetiseringsstrømmen den til $\overline{OE_{2n}}$ svarende Størrelse, da bliver i for den foreliggende Belastning mindst og lig med $\frac{\overline{oc}}{m}$. Mindre Værdier af Magne-

tiseringsstrømmen giver Statorstrømmen Faseforskydning bagud for Forsyningsspændingen, se den paa Fig. 117 udførte Konstruktion for Værdien E_{2p} , og større Værdier give Faseforskydning forud for Forsyningsspændingen.

Dersom den enfasede Synkronmotors Rotor magnetiseres saa stærkt, at Statorstrømmen bliver faseforskudt forud for Forsyningsspændingen, siger man, at den er overmagnetiseret. Under Driften søger man stadig at holde Strømmen saa lav som mulig, hvorved man opnaar mindst Tab i Strømvarme, og derved den største økonomiske Virkningsgrad af hele Anlægget.

Den enfasede Asynkronmotors Stator er en almindelig Stator for enfaset Strøm, medens Rotor er et saakaldet Kortslutningsanker. Et saadant Anker bestaar (se Fig. 118) af en lamelleret Jernkerne med Noter, i hvilke der paa sædvanlig Maade er indlagt Kobberstave, men i Modsætning til f. Ex. Tromleankeret, hvor Stavene sammenføjes, saaledes at der dannes en Vikling, ere Stavene her ved hver Ende af Ankeret kortsluttede ved Hjælp af en Kobberring.

Fig. 119 viser skematisk en topolet enfaset Asynkronmotor. Ankeret tænkes foreløbig stillestaaende. Den enfasede Vekselstrøm, der sendes gennem Stators Vindinger, vil fremkalde et magnetisk Vekselfelt gennem Stator og Rotor, se de punkterede Kraftlinieveje paa Fig. 119, og dette Vekselfelt vil i Rotor frembringe en vekslende elektromotorisk Kraft, og da Ankeret er kortslettet en Vekselstrøm, der vil forløbe som antydnet paa Figuren, og altsaa ikke frembringe noget drejende Moment.

Men dersom man ved en ydre Paavirkning sætter Rotor i en omdrejende Bevægelse, saa vil der i Maskinen opstaa et drejende Moment (hvorom senere), og Rotor vil efterhaanden arbejde sig op til en Omdrejningshastighed, der nærmer sig til Synkronisme.

Den enfasede Asynkronmotor har altsaa samme uheldige Egenskab som den enfasede Synkronmotor, at den ikke kan gaa igang af sig selv. For at kunne sætte

den igang uden ydre mekanisk Hjælp, forsyner man Stator med en Hjælpevikling, der er drejet $\frac{1}{2}$ Periode i Forhold til Hovedviklingen, det vil sige, Stator indrettes

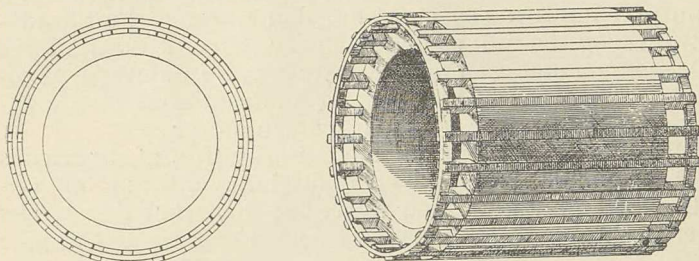


Fig. 118.

som Stator til en 2-faset Asynkronmotor (jfr. Side 97 o. f.). Gennem Stators Hovedvikling sender man Forbrugsstrømmen (Hovedstrømmen) og gennem Hjælpeviklingen en Vekselstrøm, som man ad kunstig Vej har faseforskudt i Forhold til Hovedstrømmen. De to Strømme frembringer da et Drejefelt, og da Rotor er et Kortslutningsanker, vil Motoren komme igang. Naar der er opnaaet et passende Omdrejningstal, afbrydes Hjælpestrømmen, og Motoren løber videre som almindelig enfaset Asynkronmotor.

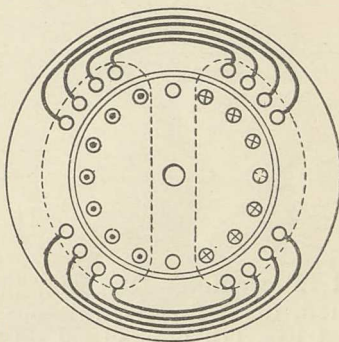


Fig. 119.

Da Hjælpeviklingen kun skal benyttes den korte Tid Igangsætningen varer, kan den gøres forholdsvis svag, der spares dog ikke synderligt herved, og man forsyner derfor i Almindelighed Stator med en ensartet kontinuerlig Vikling, der deles i to lige store Afdelinger, hvoraf den ene bliver Hovedvikling den anden Hjælpevikling.

Den omtalte Faseforskydning mellem Hovedstrømmen og Hjælpestrømmen fremskaffes enten ved at indskyde en Selvinduktion (Drosselspole) i Hjælpestrømkredsen eller ved at indskyde en Kapacitet (Kondensator) i Ho-

vedstrømkredsen eller ved samtidig Anvendelse af begge Dele. Naar Motoren er gaaet igang, kortsluttes Hjælpeapparaterne.

Igangsætningsstrømmen bliver under normale Forhold omtrent dobbelt saa stor som den normale Fuldkraftsstrøm, og Drejningsmomentet er herved omtrent lig Drejemomentet ved fuld Belastning. De enfasede Asynkronmotorers Nyttevirkning er omtrent som for de tilsvarende Størrelser af Jævnstrømsmotorer.

Vi ville herefter til nærmere Forklaring af, hvorledes det drejende Moment i en enfaset Asynkronmotor opstaar, fremkomme med følgende; her skal dog straks bemærkes, at Udviklingen ikke gør Fordring paa at give

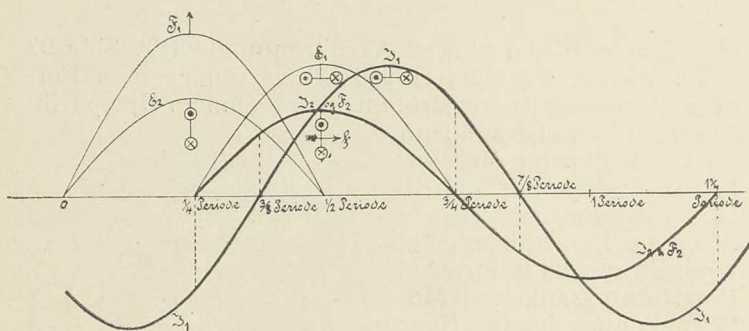


Fig. 120.

et fuldstændigt Diagram, idet der kun tages de Forhold med, der i første Linie ere af Vigtighed.

I Fig. 119 have vi set, at Hovedstrømmen frembringer et Vekselfelt, og at dette i Rotors Stave (Rotor tænkes i Hvile) inducerer en Vekselstrøm. Lad os antage, at det fra Hovedstrømmen og Rotors Strøm stammende resulterende Felt er fremstillet ved Sinoiden F_1 i Fig. 120. Pilen, der er anbragt i F_1 's positive Maximumspunkt, betegner, at Magnetfluxen under F_1 's positive Forløb har Retning fra neden og opad paa Fig. 119.

Vi vide da, idet hele Sammenstillingen virker aldeles som en Transformator, at den i Rotor inducerede elektromotoriske Kraft, E_1 , er faseforskudt $1/4$ Periode bagud for F_1 , se Fig. 120. Den Rotorstrøm, I_1 , som E_1 frembringer maa paa Grund af Selvinduktionen i Rotor være faseforskudt bagud for E_1 , lad os antage, at den i Dia-

grammet fremstilles ved Sinoiden I_1 . Strømmen I_1 opstaar i de Rotorvindinger, der omfatter Kraftliniefluxen F_1 , og dens Retning under Sinoiden I_1 's positive Forløb er betegnet ved de to smaa Cirkler under I_1 's Maximumspunkt, idet et Punkt i Cirklen betyder, at Strømmen løber i Retningen mod Beskueren og et Kryds, at den løber i Retningen fra Beskueren. Paa tilsvarende Maade er E_1 's Retning betegnet.

Dersom man drejer Rotor rundt f. Ex. i den Retning, som Pilen i Fig. 121 viser, vil der i de med Punkter og Kryds mærkede Rotorvindinger opstaa en elektromotorisk Kraft, E_2 , (jfr. Jævnstrømsdynamoernes Princip) og da Drejningen foregaar i det vekslende Felt F_1 , vil E_2 være en vekslende elektromotorisk Kraft, der med Hensyn til Tidsbeliggenhed falder sammen med F_1 . I Diagrammet i Fig. 120 er den fremstillet ved Sinoiden E_2 , og de smaa Cirkler under E_2 's positive Maximumspunkt angiver dens Retning efter samme Princip som ovenfor anvendt for I_1 . De smaa Cirkler er her anbragte over hinanden for at antyde, at de Rotorstave, i hvilke E_2 opstaar, er Stavene paa den øverste og nederste Del af Rotor.

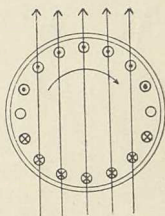


Fig. 121.

E_2 vil søge at frembringe en Strøm, I_2 , i de paagældende Stave, og ligesom I_1 er faseforskuet bagud for E_1 , vil I_2 grundet paa Ankervindingernes Selvinduktion være faseforskuet bagud for E_2 , men Forskydningen vil være større end I_1 's Forskydning i Forhold til E_1 ; Selvinduktionen for I_2 's Vindinger vil nemlig være større end Selvinduktionen for I_1 's Vindinger, thi den af I_2 fremkaldte Magnetflux bliver relativt større end den af I_1 fremkaldte, idet den paa sin Vej gennem Maskinen møder mindre magnetomotoriske Modkræfter, end den af I_1 fremkaldte Magnetflux møder paa sin Vej.

I_2 's Faseforskydning vil nærme sig til 90° eller $\frac{1}{4}$ Periode og I_2 kan derfor med Tilnærmelse fremstilles ved Sinoiden I_2 , der er faseforskuet $\frac{1}{4}$ Periode bagud for E_2 ; Retningen af Strømmen er betegnet ved to smaa Cirkler under I_2 's positive Maximumspunkt. Det af I_2 frembragte Vekselfelt, F_2 , er i Fase med I_2 , og kan saaledes, hvad Tidsbeliggenhed angaar, repræsenteres af samme Sinoide som I_2 , medens dets Retning i Stator under I_2 eller F_2 's positive Forløb er antydnet ved Pilen f (benyt Haandreglen) vinkelret paa de to smaa Cirklers

Centerlinie. Vi ville nu betragte de forskellige Strømme I_1 og I_2 og Felterne F_1 og F_2 og se, hvorledes de paavirke hinanden.

Vi have allerede set, at I_1 og F_1 ikke kan virke drejende paa hinanden, og paa tilsvarende Maade vil det ses at F_2 og I_2 heller ikke paavirker hinanden til Drejning.

I_2 og F_1 vil ganske vist paavirke hinanden til Drejning, men denne vil skifte Retning 4 Gange i hver Periode, hvorved Virkningen ophæves. I Tidsrummet fra $\frac{1}{4}$ Periode til $\frac{1}{2}$ Periode, Fig. 120, løber Feltet og Strømmen som vist i Fig. 122, og Drejningen bliver

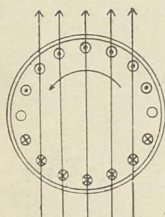


Fig. 122.

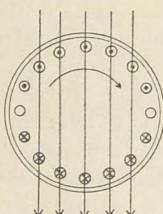


Fig. 123.

altsaa mod Viseren paa et Uhr, i Tidsrummet fra $\frac{1}{2}$ Periode til $\frac{3}{4}$ Periode viser Fig. 123 Forholdet, og Drejningen gaar da i modsat Retning, og saaledes videre.

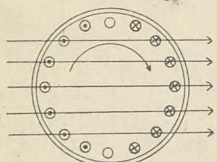


Fig. 124.

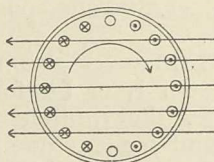


Fig. 125.

Tilbage er nu kun I_1 og F_2 . Fig. 124 og 125 viser Forholdet for henholdsvis Tidsrummene fra $\frac{3}{8}$ til $\frac{3}{4}$ Periode og fra $\frac{7}{8}$ til $1\frac{1}{4}$ Periode.

Haandreglen viser, at Drejningsmomentet i begge

Tilfælde gaar i samme Retning som Viseren paa et Uhr eller i samme Retning som den Omdrejning, med hvilken man indledede Igangsættelsen. I Tidsrummene fra $\frac{1}{4}$ til $\frac{3}{8}$ og fra $\frac{3}{4}$ til $\frac{7}{8}$ Periode gaar Drejningsmomentet i modsat Retning, men disse Drejningsmomenter ville, da I_1 og F_2 's indbyrdes Faseforskydning er mindre end $\frac{1}{4}$ Periode, blive overvundne af Drejningsmomenterne i de førstnævnte Tidsperioder, det vil sige den indledende Bevægelse fortsættes.

De enfasede Kommutatormotorer bestaar af en Stator, hvori der er anbragt et almindeligt Jævnstrømsanker. De optræder under to Hovedformer, nemlig som enfasede Seriemotorer og enfasede Repulsionsmotorer.

Den enfasede Seriemotor kaldes Seriemotor, fordi Vekselsstrømmen passerer Stator og Ankeret i Serie. Det vil være indlysende, at en ganske almindelig Jævnstrømsseriemotor med lamelleret Magnetstel kan benyttes som enfaset Seriemotor, thi som vi have set i Bogens 1. Del, forandrer det drejende Moment ikke sin Retning, naar baade Stators og Rotors Strømretninger forandres. Anvendes en saadan Jævnstrømsseriemotor, vil det dog vise sig, at Gnisdannelsen ved Kostene bliver betydelig, og man maa for at undgaa denne forsyne Stator med Vendepoler, der anbringes imellem Hovedpolerne. Vendepolernes Magnetiseringsvindinger gennemløbes ikke af Motorens Strøm, men ere kortsluttede.

Den enfasede Seriemotor har ganske lignende Egenskaber som en Jævnstrømsseriemotor.

Den har saaledes stor Trækkekraft idet den sættes igang, dens Omdrejningstal, der forøvrigt er uafhængigt af Periodetallet, retter sig efter Belastningen, ubelastet løber den løbsk o. s. v. Motorens Nyttevirkning er ikke særlig god og naar for Motorer paa 1—2 HK. næppe mere end 60 % for større Motorer højst 80 %.

Kostene anbringes i den neutrale Linie, og Motorens Omdrejningsretning forandres derfor nemt ved blot at vende Strømmen i Stator.

I København, hvor de kommunale Elektrieitetsværker anvende Stjerneforbindelse med Neutralleder (hvorom senere), kan der kun anvendes smaa enfasede Motorer. Smaa enfasede Seriemotorer vil kunne tilsluttes, uden at der anvendes Igangsætningsmodstande, idet Motorernes Selvinduktion vil forhindre Kortslutning.

Repulsionsmotorerne ere af ganske lignende Bygning som Seriemotorerne, dog sendes Forbrugsstrømmen ikke gennem Ankeret, men kun gennem Stators Hovedvindinger.

Kostene kortsluttes og drejes et Stykke ud af den neutrale Linie, hvorefter de i Ankeret opstaaende inducerede Strømme i Forbindelse med Motorens Hovedfelt frembringe et Drejemoment.

Til nærmere Undersøgelse heraf ville vi betragte Fig. 126, der skematisk viser et Ringanker med til-

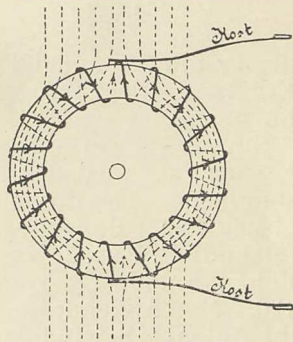


Fig. 126.

hørende Koste anbragt i Motorens Hovedfelt. Da Hovedfeltet er et Vekselfelt, opstaar der i Ankertraadene vekslende elektromotoriske Kræfter, der ere faseforskudte $\frac{1}{4}$ Periode bagud for Feltet, men ikke give Anledning til Strøm i Ankeret, da der ingen Forbindelse er mellem Kostene. Først naar disse forbindes, opstaar der en Ankerstrøm, men denne kan ifølge sin Stilling i Forhold til Hovedfeltet aldrig give Anledning til nogen Drejning.

Drejes Kostene hen i Stillingen CD (Fig. 127, der kun viser Ringankerets ydre Bevikling i Gennemsnit), vil der ogsaa gaa en Vekselstrøm i Ankeret, men en Strøm

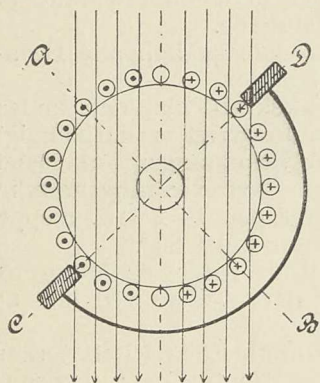


Fig. 127.

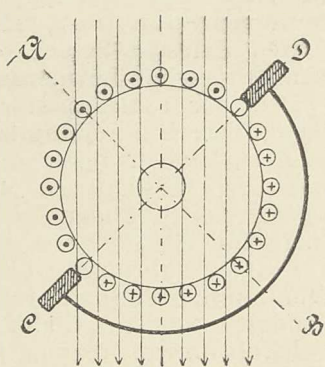


Fig. 128.

der er mindre end i Fig. 126, idet de elektromotoriske Kræfter mellem A og D og mellem C og B ville hæve hinanden.

Strømløbet ses af Fig. 128, og dersom Ankerstrømmen, I, var i Fase med den fra det resulterende Hovedfelt, F, stammende elektromotoriske Kraft, E, vilde der ikke opstaa noget drejende Moment, thi I vilde da være faseforskudt $\frac{1}{4}$ Periode bagud for F, og I og F vilde i saa Fald forholde sig overfor hinanden som I_2 og F_1 i Fig. 120. Men Ankerstrømmen vil ikke være i Fase med E, thi Ankerets Selvinduktion giver Anledning til, at Ankerstrømmen faseforskydes bagud for den elektromotoriske Kraft E. Dersom Strømmen blev faseforskudt $\frac{1}{4}$ Periode bagud for E, vilde den være i Fase med Hovedfeltet, og Ankertraadene mellem A og D og mellem C og B vilde da i Forbindelse med Hovedfeltet give Maksimum af Drejningsmoment. Nu bliver Faseforskydningen vel ikke forskudt fuldt ud $\frac{1}{4}$ Periode, men enhver Mellem-

stilling mellem de to nævnte Grænsetilfælde giver et Drejemoment, og Motoren sætter sig altsaa i Bevægelse.

Repulsionsmotorernes Omdrejningshastighed retter sig efter Belastningen og er uafhængig af Periodetallet. For ubelastet Motor stiger Omdrejningstallet stærkt uden at Motoren dog løber løbsk. Omdrejningstallet kan reguleres ved at dreje Kostene.

Motorens Omdrejningsretning kan ændres ved at dreje Kostene hen paa den anden Side af den neutrale Linie, eller man kan indrette Stator, saaledes at den kan drejes.

Nyttevirkningen er mindre end Seriemotorens, den naar for smaa Repulsionsmotorer (2—3 HK.) næppe 60 %.

Repulsionsmotoren anvendes i den nyere Tid meget som Banemotor, dels er dens Drejningsmoment under Igangsætningen stort og dels gør den Omstændighed, at dens Rotor kan bygges for lavere Spændinger end Stator den særdeles skikket hertil.

Vi ville herefter gaa over til Beskrivelsen af de trefasede Motorer, der, som allerede nævnt, ligesom de enfasede Vekselstrømmotorer optræde baade som Synkronmotor og som Asynkronmotor.

Den trefasede Synkronmotor er i sin Konstruktion nøjagtig lig en Drejestrømgenerator.

Fig. 129 viser skematisk en saadan Maskine med 4 Polpar paa Rotor og de dertil svarende 4 Spolegrupper paa Stator. En Spolegruppe bestaar nemlig af 3 Spoler, én af hver Fase.

Lad os foreløbig se bort fra Rotor og undersøge, hvorledes Stator vil forholde sig, hvis der ledes Drejestrøm ind i dens tre Viklinger.

Lad Drejestrømmen være fremstillet ved de tre Sinoider i Fig. 130 og lad os antage, at Strømmene, naar de ere positive gaa ind gennem de respektive Klemmer

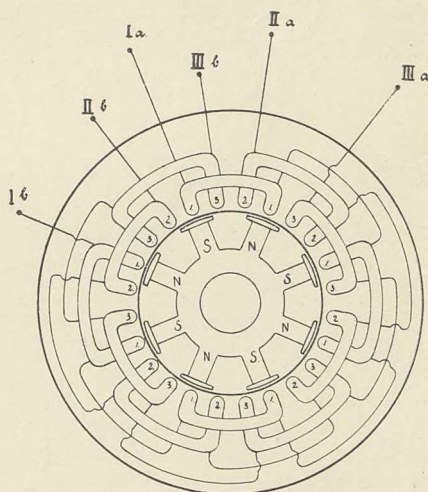


Fig. 129.

Ia, IIa og IIIa (Fig. 129), og at vi betragte Tidspunkterne 0, 1, 2, 3, 4, 5 og 6 (Fig. 130).

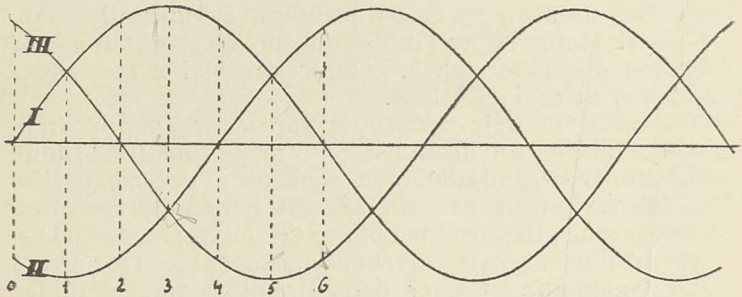


Fig. 130.

Tidspunkt 0. Forholdet bliver som Fig. 131's øverste Afdeling viser. Strømmen I har Værdien Nul. Strømmen II er negativ, det vil sige, den løber ud af Klemmen IIa, hvilket er betegnet ved en Prik (Strømmen løber mod Beskueren) i den lille Cirkel, der paa Fig. 131 betegner den med IIa i Forbindelse staaende Spole-side.

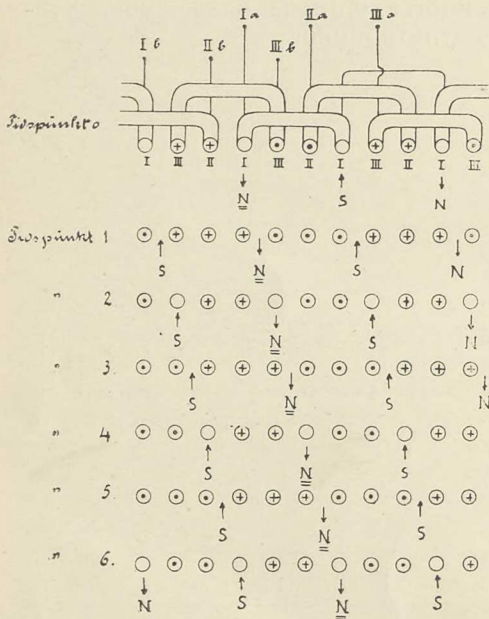


Fig. 131.

tegnede efter samme Princip, og ved Anvendelse af Haandreglen vil man se, at der kommer en Nordpol i Stator

Strømmen II er negativ, det vil sige, den løber ud af Klemmen IIa, hvilket er betegnet ved en Prik (Strømmen løber mod Beskueren) i den lille Cirkel, der paa Fig. 131 betegner den med IIa i Forbindelse staaende Spole-side. Strømmen III er positiv og den med Klemmen IIIa i Forbindelse staaende Spole-side er derfor mærket med et Kryds (Strømmen løber fra Beskueren). De deraf følgende Strømfordelinger ere derefter ind-

paa det Sted, Pilen med det understregede N viser, altsaa udfor den i Forbindelse med Klemmen Ia værende Spoleside, medens der danner sig en Sydpol ved den anden til denne Spole hørende Side og saaledes videre for hver tredie Spoleside. Den foreliggende Stator faar altsaa 8 Poler eller 4 Polpar ligesom Rotor.

Paa ganske tilsvarende Maade er der herefter i Fig. 131 dannet de til Tidspunkterne 1—6 hørende Strømfordelinger, og Anvendelsen af Haandreglen viser nu, at den understregede Nordpol efter den halve Periodes Forløb er rykket hen til den anden Spoleside af den Spole, der er i Forbindelse med Klemmen Ia, det vil sige, i en hel Periode drejer Stators Poler sig et Stykke lig med Afstanden fra Midte til Midte af to Nabospoler hørende til samme Strømkreds (Fasevikling). En hel Omdrejning af Stators Poler vil derfor blive fuldført i en Tid, t , der kan findes af Formlen

$$t = p \cdot \frac{1}{n} \text{ sec,}$$

hvor p er Antallet af Spolegrupper (eller Polpar) og n er Strømmens Periodetal.

Man ser heraf, at Omdrejningstallet O pr. Minut kan bestemmes af:

$$O = \frac{60}{t} = \frac{60 \cdot n}{p},$$

hvilket er den samme Formel som for den enfasede Synkronmotor.

Dersom Stator i det foreliggende Tilfælde forsynes med Drejestrøm paa 50 Perioder vil O blive lig $\frac{60 \cdot 50}{4} = 750$ pr. Minut. Sættes der derefter Jævnstrøm til Rotors Magnetvikling og bringes den op til at gøre op imod 750 Omdrejninger pr. Minut, vil den blive revet med af Drejefeltet, og Motoren er igang. Den kan herefter belastes, men ligesom den enfasede Synkronmotor kun til en vis Grad. Bremses den for stærkt falder den ud af Takt og bliver staaende. Dens Forhold overfor Magnetiseringsstrømmen, Forbrugsstrømmens Faseforskydning o. s. v. falder ganske sammen med den enfasede Synkronmotors og skal derfor ikke nærmere behandles her. Dens Igangsætning foregaar nøjagtig paa tilsvarende Maade som omtalt Side 124 og 125; dersom Forbindelserne ellers ere rigtige er det nok at undersøge

Faseoverensstemmelsen mellem én af Forbrugsstrømmens Faser og den tilsvarende paa Motoren.

Motorens Nyttetvirkning er god og kan ligesom for den enfasede Synkronmotor for store Maskiner være op til omkring 95 %.

Den trefasede Asynkronmotor er den mest udbredte af alle Vekselstrømmotorer, den benævnes ogsaa asynkron Drejestrømmotor eller i Reglen blot Drejestrømmotor. Allerede Side 96 og f. have vi lært dens Princip at kende. Man anbringer imidlertid ikke en Kobbercylinder i Maskinens Stator, men en af Jernblik bygget Rotor, hvis Overflade er forsynet med Kobberstave eller med en Bevikling. En saadan Rotor kan f. Eks. være bygget som det Side 128 under den enfasede Asynkronmotor beskrevne Kortslutningsanker, saaledes at de elektromotoriske Kræfter, der induceres af Stators omdrejende Felt eller Felter, umiddelbart frembringer elektriske Strømme i Ankerstavene.

Lad os antage, at vi have et fra en Stator stammende 2-polet Drejefelt (Fig. 132), der drejer sig i den af Pilen angivne Retning, og at der i Feltet findes et Kortslutningsanker, der staar stille.

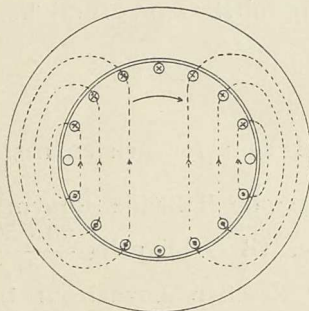


Fig. 132.

I Ankerstaven opstaar der da elektromotoriske Kræfter og deraf følgende Strømme i de ved Kryds og Prikker angivne Retninger. Men ved Haandreglens Hjælp ses det tillige, at disse Strømme af Drejefeltet ville paavirkes til Drejning i samme Retning som Pilen angiver. Rotor vil derfor gaa igang. Tænk

man sig, at Rotor løber hurtigere og hurtigere, og efterhaanden nærmer sig til at løbe synkront med Feltet, vil Rotorstrømmen aftage, idet Drejefeltets relative Bevægelse i Forhold til Rotors derved nærmer sig til Nul. Løber Rotor synkront med Drejefeltet, bliver Rotorstrømmen Nul, det vil sige, Rotor er ikke mere udsat for noget drejende Moment. Dersom Rotors Omdrejning skal holdes igang er det derfor nødvendigt, at Rotor løber langsommere rundt end Drejefeltet, det vil sige, Rotor maa altid have et vist Slip. Dette Slip er dog

ikke stort, for normal maksimal Belastning, ikke over 5 %.

Drejestrømmotorernes Omdrejningstal pr. ^{Minut} sec. kan derfor med stor Tilnærmelse beregnes af Stators Antal af Polpar efter Formlen Side 122.

$$O = \frac{60 \cdot n}{p}$$

For $n = 50$ pr. sec. giver en topolet Stator (1 Polpar) $O = 60 \cdot 50 = 3000$, hvad i Almindelighed er en upraktisk Fart, og man giver derfor i Reglen Stator flere Poler.

Saaledes giver 4 Poler $O = 1500$

6 » $O = 1000$

8 » $O = 750$ o. s. v.

Et Kortslutningsanker kan ogsaa fremstilles paa andre Maader end saaledes som paa Side 128 beskrevet. Man kan f. Eks. paa begge Sider af Ankeret forbinde de Stave, der ere udsatte for samme eller omtrent samme Styrkegrad og Retning af Induktion. Fig. 133 viser skematisk en saadan Rotor til en 4-polet Stator.

Endelig kan man forbinde alle de Stave, der ere ud-

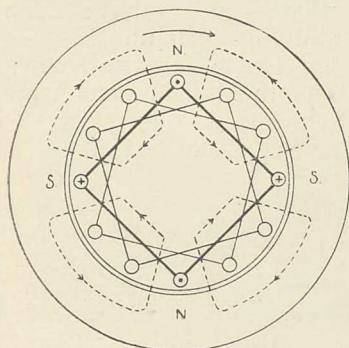


Fig. 133.

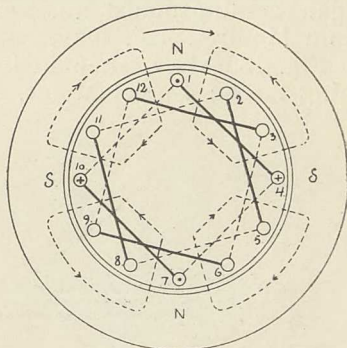


Fig. 134.

satte for samme eller omtrent samme Styrkegrad og Retning af Induktion, i Serie og derefter kortslutte dem.

Fig. 134 viser skematisk den samme Rotor som i Fig. 133, men forbundet paa sidstnævnte Maade. Fra 1 føres Traaden paa Forsiden af Ankeret til 4, derfra bag om Ankeret til 7, herfra paa Forsiden til 10 og paa Bagsiden til 1. Paa tilsvarende Maade vikles og forbindes de 2 andre Strømløb.

Kortslutningsankere kunne kun anvendes til forholdsvis smaa Motorer, idet Igangsætningen for større Motorer ville give Anledning til store Strømstyrker saavel i Rotor som i Stator, hvis Bevikling for stillestaaende Rotor jo maa optræde ganske som den primære Vikling i en Transformator med kortsluttet secundær Strømkreds. De store Strømskød i Stator maa undgaaes dels af Hensyn til Stator selv, dels af Hensyn til Netspændingen, der ellers vil blive udsat for Skød med tilsvarende Blink i Lyset.

For at undgaa de større Strømstyrker i Stator kan man indskyde ohmske Modstande i Stators Strømløb, men det er indlysende, at man herigennem forringer Motorens Trækkekraft under Igangsætningen, og denne Fremgangsmaade benyttes derfor kun, naar man altid kan regne med, at Motoren sættes igang ubelastet.

Man følger oftest den Fremgangsmaade, at Rotor gives tre fra hinanden adskilte Viklinger, svarende hver til sin Fase. En saadan viklet Rotor holde en Faserotor eller et Faseanker. Viklingerne forbindes i Stjerne, og de frie Ender føres hver til een af tre paa Akslen anbragte og fra hinanden isolerede Slæberinge. Fra Slæberingene føres Strømmene ved Hjælp af Koste til en tredelt Igangsætningsmodstand, der skydes ud, efterhaanden som Motoren gaar igang, og sluttelig kortsluttes.

Fig. 135 viser skematisk den lige beskrevne Anordning for en 4-polet Motor. Dersom Modstandens Arme

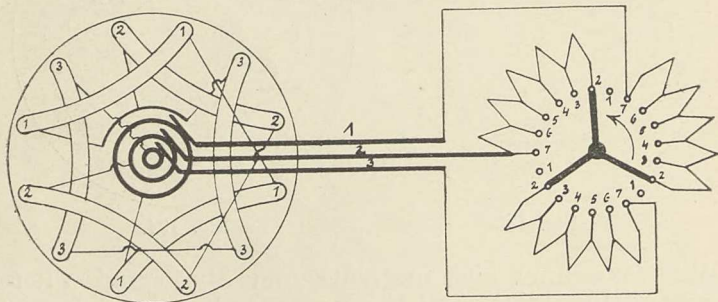


Fig. 135.

staar paa Knapperne 1 er Rotors Strømkredse brudte, og Motoren gaar ikke igang. Rotor er viklet efter ganske samme Princip som Stator og har saaledes det samme Antal Spolegrupper og Poler, i foreliggende Til-

fælde altsaa 4. Fig. 136 viser en Drejestrømsmotor med Faseanker. Fig. 137 viser Motorens enkelte Dele. Kostene

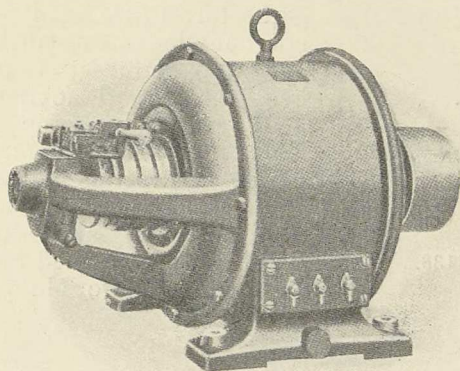


Fig. 136.

ere i Reglen af Kobbergase og for ikke at slide paa Koste og Ringe, naar Maskinen er i normal Gang, kan man forsyne Motoren med en Kortslutningsmekanisme for Slæberingene, hvorefter Kostene kan løftes bort fra Ringene.

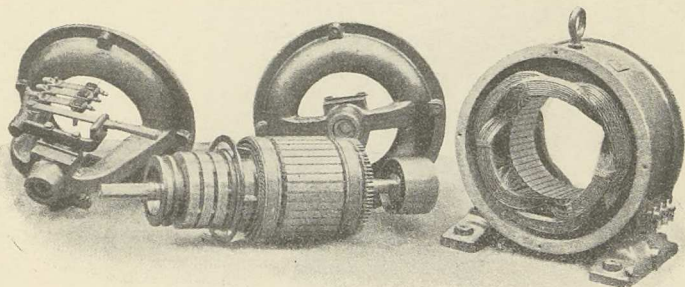


Fig. 137.

I Stators Strømkreds anbringes en trepolet Afbryder, og Skemaet bliver altsaa som Fig. 138 viser. Skal Motoren sættes igang, sættes Modstandens Arm paa Knapperne 1, og først naar dette er sket, maa Afbryderen i Stator-kredsen sluttet. Derefter drejes Modstandens Arme langsomt (efterhaanden som Motoren tager Fart) op til

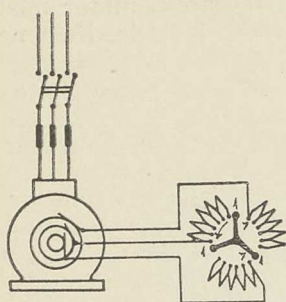


Fig. 138.

Knapperne 7. Igangsætningsmodstanden er ofte en Vædske-modstand, se Fig. 139. Ledningerne føre til tre Sæt Plader, der efterhaanden føres ned i en Sodaopløsning anbragt i en Jernbeholder. Naar Pladerne ere helt nede, ere Ledningerne kortsluttede gennem Beholderen.

Den beskrevne Igangsætningsmaade med Igangsætningsmodstand giver ogsaa i en anden Retning Motoren med Faseanker et Fortrin fremfor Motoren med

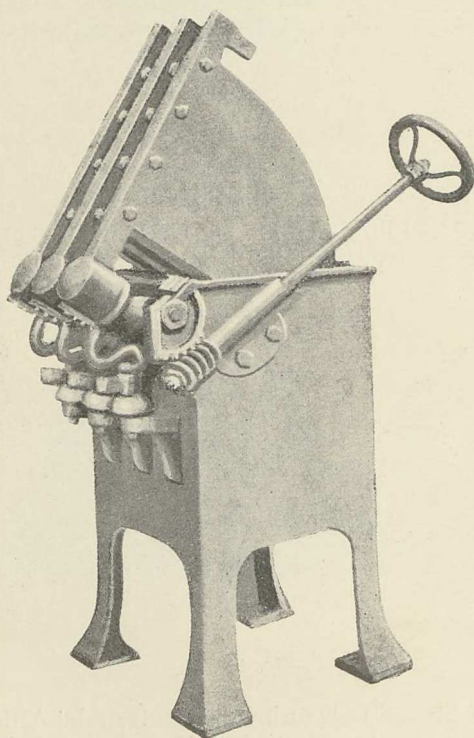


Fig. 139.

Kortslutningsanker, idet Trækkekraften under Igangsætningen bliver større. Det viser sig nemlig, at de

store Ankerstrømme, der under Igangsætningen opstaar i Motorer med Kortslutningsankere, svække det resulterende Magnetfelt saa stærkt, at Trækkekraften bliver lille, trods de stærke Strømme, der ere igang saavel i Stator som i Rotor.

En anden Igangsætningsmaade, hvorved de stærke Igangsætningsstrømme ligeledes undgaas, er den, at sætte igang ved lavere Spænding end den normale Driftsspænding. Man anvender hertil en Igangsætningstransformator, og først naar Motoren er kommen igang, sættes den over paa Driftsspændingen. Denne Maade anvendes kun, naar Motoren kan sættes ubelastet igang.

Drejestrømmotorernes Nytevirkning er god, for Motorer fra 1 til 10 HK er den fra 80 til 87 %, for større Maskiner, 100 HK og derover, kan den stige til 92 %.

Faseforskydningen er afhængig af Belastningen. Ved $\frac{1}{4}$ Belastning er $\cos. \varphi = \text{ca. } 0,2$ ved $\frac{1}{2}$ Belastning ca. 0,7 og for fuld belastet Motor 0,8 à 0,85.

Dersom en Drejestrømmotor skal bringes til at gaa rundt i modsat Retning, ombyttes to af de tilførende Ledninger.

Regulering af en bestemt Drejestrømmotors Omdrejningshastighed er altid forbundet med Energitab. Man kan skyde Modstand ind i Stators Strømløb, hvorved Drejefeltet svækkes, og skal Motoren afgive det samme Arbejde som før, maa Ankerstrømmen stige, hvilket kun kan ske ved at Slippet bliver større, det vil sige Motoren maa gaa langsommere. Men stort Slip giver altid daarlig Nytevirkning.

Man kan ved Motorer med Faseankere og Igangsætningsmodstand skyde noget af denne ind. For at bevare den samme Strømstyrke i Ankeret maa der større Induktion til, det vil igen sige, Slippet maa vokse. Dersom det drejer sig om at faa en Motor, der kan løbe med 2 Hastigheder i Forholdet 1 til 2, f. Eks. 500 Omdr. og 1000 Omdr., giver man Stator 2 Viklinger, saaledes at den kan optræde med 6 Polpar og med 3 Polpar, eftersom man indskyder de forskellige Viklinger.

Dersom en Drejestrømmotors ene Tilledning afbrydes, løber Motoren ifølge sin Konstruktion videre som enfaset Asynkronmotor.

22. Roterende Omformere. Dersom en By skal forsynes med Jævnstrøm, men faar den Energi, der skal bruges, tilført som højspændt Vekselstrøm, maa denne omformes. Medens en højspændt Vekselstrøm ved Hjælp

af Transformatorer uden bevægelige Dele lader sig omforme til lavspændt Vekselstrøm med samme Periodetal, er det ugørligt uden roterende Maskindele at omforme Vekselstrøm til Vekselstrøm med et andet Periodetal eller at omforme Vekselstrøm til Jævnstrøm eller omvendt. De Maskiner, der benyttes til denne Omformning, kaldes Omformere eller roterende Omformere.

Omformerne kunne, som tidligere berørt, bestaa af en Motor og en Generator, og kaldes da Motorgeneratorer, men Omformningen kan ogsaa foregaa i en enkelt Maskine, der kaldes en Etankeromformer eller en Konverter.

Beskrivelsen af en Motorgenerator maa anses for overflødig, da dens Indretning fremgaar af det foregaaende, derimod skulle vi give en ganske kort Beskrivelse af Konverteren og dens Virkemaade uden dog at komme ind paa nogen teoretisk Udvikling.

Konverteren er bygget omtrent som en Jævnstrømsmaskine. Men foruden den almindelige Kommutator har Ankeret til den anden Side 2 eller 3 fra hinanden isolerede Slæberinge, alt eftersom man har at gøre med enfaset eller trefaset Vekselstrøm.

Lad os tænke os, at en almindelig 2-polet Jævnstrømsdynamo med Ringanker skal omdannes til en Konverter.

Dersom man skulde omforme fra enfaset Vekselstrøm, behøvede man kun at forbinde de to Slæberinge med to diametralt liggende Punkter af Ringens Bevikling, se Fig. 140, og Konverteren var færdig.

Tænker man sig Dynamoens, altsaa nu Konverterens, Magnetstel (Stator) magnetiseret ved Hjælp af Jævnstrøm og Ankeret drejet rundt af en ydre Kraft, vil der paa sædvanlig Maade opstaa en Jævnstrømsspænding mellem Kommutatorkostene, og lad os antage, at den er p Volt.

Mellem Slæberingene vil der opstaa en Vekselsspænding, dersom øjeblikkeligt Maximum nødvendigvis maa have Værdien p Volt (se Fig. 140), og

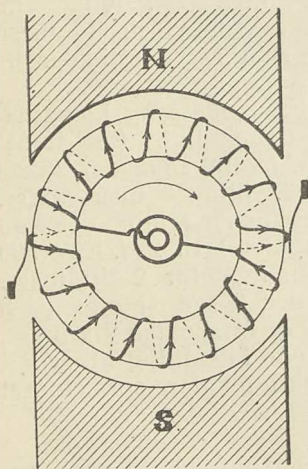


Fig. 140.

dens effektive Værdi vil altsaa være $\frac{P}{\sqrt{2}} = p \cdot 0,707$.

Det vil sige, der vil altid være et bestemt Forhold mellem Slæberingenes Vekselspænding og Kommutatorkostenes Spænding.

Dersom man ved Hjælp af den ydre Kraft bringer Konverteren op til at gaa synkront og derpaa gennem Slæberingenes Koste slutter den til et enfaset Vekselsstrømnet med en Spænding paa ca. 155 Volt, vil man kunne tage den ydre Kraftkilde bort, uden at Konverteren gaar istaa, den løber videre som enfaset Synkronmotor, og ved Kommutatorkostene vil der være en Jævnstrømsspænding, p , der findes af:

$$155 = p \cdot 0,707, \text{ hvoraf} \\ p = \text{ca. } 220 \text{ Volt,}$$

og ved at forbinde Kostene kan man tage Jævnstrøm fra Konverteren.

Skal man bruge 220 Volt Jævnstrøm, kan man altsaa kun benytte enfaset Vekselsstrøm med Spændingen ca. 155 Volt; tilføres Vekselsstrømmen ved en højere Spænding (hvad altid vil være Tilfældet ved Kraftoverføringer), maa den først omtransformeres.

Harde man trefaset Vekselsstrøm og skulde omforme den topoledede Dynamo til Konverter, maatte man anbringe 3 Slæberinge og sætte dem i Forbindelse med 3 Punkter af Ringens Vikling. De tre Punkter maatte ligge i Rækkefølge 120° af hele Ringens Omkreds fra hinanden, og uden at give noget Bevis skulde vi oplyse, at Jævnstrømsspændingen p her vil være lig med Fasespændingen divideret med 0,613, det vil sige, hvis man skal have Jævnstrøm paa 220 Volt, maa Fasespændingen, f , være f , fundet af:

$$220 = \frac{f}{0,613}, \text{ hvoraf} \\ f = 220 \cdot 0,613 = 135 \text{ Volt.}$$

Dersom en Konverter har mere end et Polpar, gælder det, der nylig er udviklet med Hensyn til hele Ringen, for det Stykke af Ringen, der ligger mellem to Poler af samme Art, og de Punkter, der hele Ringen rundt svarer til hinanden, forbindes alle til samme Slæbering. Fig. 141 viser det ydre af en Konverter.

Dersom man under Driften forandrer Magnetiseringsstrømmens Styrke, da har dette ingen Indflydelse paa

Omdrejningstallet (Konverteren løber jo synkront), men det har heller ingen Indflydelse paa Jævnstrømspændingen, da denne staar i et bestemt Forhold til Vekselspændingen, og den eneste Virkning der indtræder er den, at Faseforskydningen mellem Vekselstrømmen og Vekselspændingen forandres (jfr. Side 126 o. f.). Naar

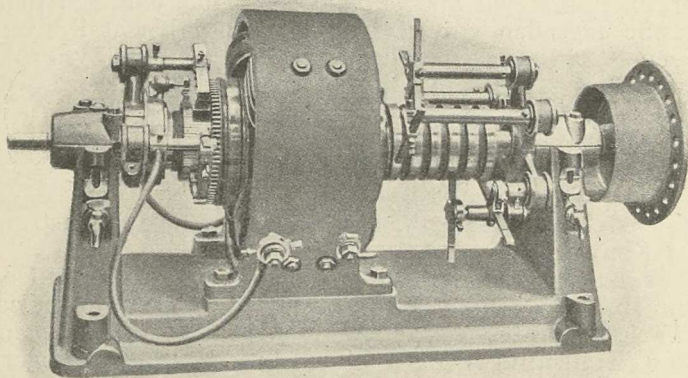


Fig. 141.

Konverteren benyttes som Omformer fra Vekselstrøm til Jævnstrøm, sættes den igang ved Hjælp af Jævnstrøm, enten ved Strøm fra et Batteri eller fra de paa Jævnstrømsiden arbejdende Maskiner.

Dersom man benytter Konverteren som Omformer fra Jævnstrøm til Vekselstrøm, vil en Ændring af Magnetiseringsstrømmen heller ikke her have nogen Indflydelse paa Vekselspændingen, derimod vil Omdrejningstallet ændre sig, og hvis Konverteren arbejder alene paa et Vekselstrømnet, vil saaledes Periodetallet ændre sig.

Konverternes Nyttetvirkning er god, 90—95 % efter Størrelsen. Man maa dog ikke glemme, at der i Reglen maa anvendes en Transformator for at faa den passende Spænding, hvorved den samlede Nyttetvirkning ned-sættes noget.

Elektriske Brugsgenstande.

23. **Buelamper.** Ligesom ved en Jævnstrømkreds kan man ved en Vekselstrømkreds danne en Lysbue mellem to Kulspidser, der bringes i Berøring og derpaa trækkes nogle faa Millimeter fra hinanden.

Strømmen i en saadan Vekselstrømlysbue varierer paa lignende Maade som Spændingen imellem Kulspidserne, og skifter stadig Retning omtrent samtidig med Spændingen. Paa Forhaand kunde man antage, at Buen, der gaar ud, idet Strømmen naaer sin Nulværdi, ikke vilde dannes igen, førend Kullene atter blev bragt i indbyrdes Berøring. At Buen stadig dannes paany ved hver Spændingsveksel, uden at Kullene hver Gang bringes i Berøring med hinanden, kan forklares ved, at den imellem Kulspidserne værende Luft ophedes saa stærkt af Lysbuen, at den bliver ledende, samt at der ikke er tilstrækkelig Tid imellem Strømperioderne, til at den ophedede Luft kan afkøles eller trække bort fra Kulspidserne.

I store Træk virker Vekselstrømbuen og Vekselstrømbuelampen paa samme Maade som Jævnstrøm-Buen og Jævnstrøm-Buelampen, medens der dog i Enkelthederne er en Del Forskelligheder, som herefter skal omtales nærmere.

Da Strømmen i en Vekselstrømlysbue stadig skifter Retning, faar man ikke den ved Jævnstrømlysbuer almindelige Forskel paa de to Kulspidser. I Figur 142 ses Kulspidserne ved en Jævnstrømlysbue og en Vekselstrømlysbue. Denne sidstes Kulspidser mangler, saavel den tydelige Kraterdannelse, der kendes fra Jævnstrømbuens positive Kul, som den tydelige Spids fra Jævnstrømbuens negative Kul. At Vekselstrømbuens øverste Kulspids er noget mere afrundet end den negative, hidrører fra den af Lysbuen ophedede Luft, der stadig stiger op langs det øverste Kul.

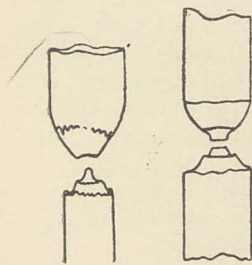


Fig. 142.

For at fremhjelpe en Slags Kraterdannelse i Kulspidserne samt for at faa Lysbuen roligere, benytter man Vægekul baade som Overkul og som Underkul. Da Over- og Underkullene i Modsætning til, hvad der finder Sted ved Jævnstrømlysbuer, brænder bort omtrent i lige stor Mængde, gør man dem omtrent lige tykke.

Medens man ved Jævnstrøm-Lamper saa at sige kun faar udkastet Lys fra den positive Kulspids — jfr. I, Fig. 70 — vil Lyset fra en Vekselstrøm-Lysbue fordele

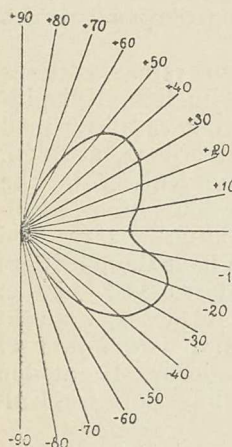


Fig. 143.

sig omtrent ens til begge Sider. Af Fig. 143, der viser Lysstyrken i forskellige Retninger, ses, at Vekselstrøm-Lysbuen udkaster mest Lys i Retninger, der ligger ca. 30° over og under det vandrette Plan. Da man i Reglen ikke har Brug for Belysning opad over Lampen, anbringes oftest en Reflektor af ildfast Materiale umiddelbart over Lysbuen. Derved kan man opnaa at faa ca. 50 % af det opad kastede Lys kastet tilbage. Det opad kastede Lys udsendes hovedsagelig fra den nederste Kulspids og det nedad kastede Lys fra den øverste Kulspids. Da hvert af Kullene udsender det stærkeste Lys i de Tidsperioder, hvor det er positivt, vil man afvekslende faa

det stærkeste Lys kastet opad og nedad, og en Genstand, der er anbragt under en Lampe uden Reflektor, vil faa sin stærkeste Belysning, hver Gang Overkullet er positivt, det vil sige en Gang i hver Periode. Naar Periodetallet er lavt — f. Eks. under 35 — kan Øjet opfange denne Variation i Belysningen. Genstande, der bevæges hurtigt, saasom Hjuleger, ser man da flerdobbelt, idet der i Øjet dannes et selvstændigt Billede for hver Lysperiode. Anbringes der en Reflektor over Lysbuen, vil man foruden det fra Overkullet udkastede Lys tillige faa en Del af det af Underkullet udsendte Lys kastes nedad, og dette Lys er stærkest netop i de Tidsperioder, hvor det fra Overkullet udsendte Lys er svagest. Ved Anvendelsen af en Reflektor opnaar man derfor ikke alene at faa c. 50 % mere Lys kasted nedad, men ogsaa en mere jævn Belysning.

Yderligere bevirker en Reflektor, at den hede Luftstrøm omkring Overkullets Spids formindskes, saaledes at Kullet brænder langsommere bort. Ved de fleste Buelamper benyttes derfor lidt tyndere Overkul end Underkul.

Vekselstrøm-Lysbuen brænder mest økonomisk ved en væsentlig lavere Spænding — d. v. s. mindre Buelængde — end Jævnstrøm-Lysbuen. I nedenstaaende

Tabel er angivet Lysstyrken, Buespændingen, Kullenes Diameter samt Forbrændingens Størrelse ved forskellig Strømstyrke.

Strømstyrke Ampère.	6	8	10	12	15	18	20
Diameter af Overkul m/m	9	10	11	12	13	14	15
Diameter af Underkul m/m	10	11	13	14	15	16	17
Forbrænding pr. Time m/m	22	19	17	16	15	14	13
Buens Spænding, Volt	27	28	29	30	31	31,5	32
Hemisphærisk Lysstyrke	110	200	300	400	540	650	720

Lysstyrken afhænger i høj Grad af Kullenes Kvalitet samt af Vekselspændingens Kurveform. Har Kurven en mere spids Form end Sinoiden, faas mindre Lysstyrke, og er Kurven fladere end Sinoiden, faas en større Lysstyrke end angivet i Tabellen. I Almindelighed kan det

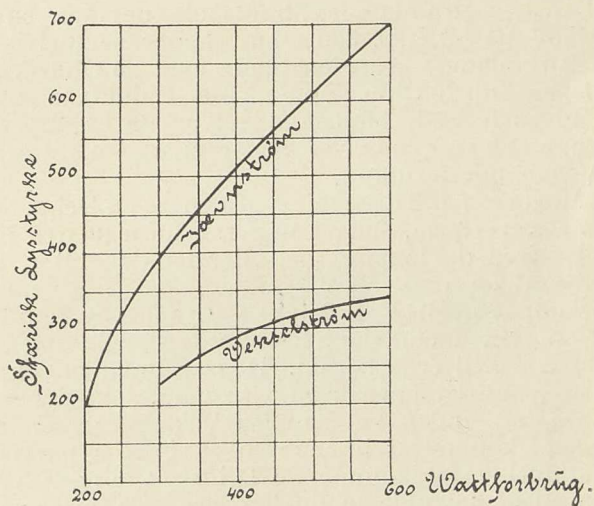


Fig. 144.

dog siges, at Lysstyrken er væsentlig mindre for Vekselslamlper end for Jævnstrømlamper med samme Energiforbrug.

I Fig. 144 ses den sphæriske Lysstyrkes Afhængighed af Wattforbruget, dels ved Jævnstrømlamper og dels ved Vekselslamlper.

Den omkring en Vekselstrøm-Lysbue værende Luft vil afvekslende opvarmes og afkøles, saaledes at den udvider sig og atter trækker sig sammen. Herved opstaar en summende Lyd, der, naar Vekselstrømkurven er uregelmæssig, kan blive ubehagelig snerrende, men som ved en nogenlunde sinoideformet Kurve bliver til en Brummen. Den Lampen omgivende Kuppel dæmper dog Lyden en Del.

Vekselstrømlampernes Regulering kan udføres paa samme Maade som Jævnstrømlampernes. Dog anvendes til Vekselstrøm hovedsagelig Differentiallampen.

Ogsaa selve Reguleringsværket kan udføres efter samme Princip som for Jævnstrømbuelamper. For at undgaa Hvirvelstrømme, maa man dog lamellere alle Magneter og Metalrør eller Hylstre, der er anbragte inde i eller omkring Spolerne, maa være opslidsede.

Ved Beregningen af Magnetspolerne maa man regne med den tilsyneladende Modstand, og da Induktansen bliver betydelig, bliver den ohmske Modstand kun lille.

Til en Jævnstrømlampes Shuntspole, der kan have en Modstand paa f. Eks. 300 Ohm, kan eksempelvis i en Vekselstrømlampe svare en Spole med en Ohmsk Modstand paa kun 20 Ohm, men med en Induktans paa 225. Den tilsyneladende Modstand bliver da ca. 226 Ohm. At denne er lavere end ved Jævnstrømlampen hidrører fra den lavere Buespænding.

Da Magneternes Tiltrækning afhænger en Del af Spændingens Kurveform, maa Lamperne indreguleres i Forbindelse med det Ledningsnet eller den Generator, hvorfra de skal forsynes.

Buelamper med tæt indelukket Lysbue og som Følge heraf lang Brændetid, lang Lysbue og stor Buespænding, kan anvendes til Vekselstrøm. Dog er Brændetiden ikke saa lang som ved Jævnstrøm. Da man, som det senere skal ses, ad anden Vej kan faa Vekselstrømlamper til med god Økonomi at brænde enkeltvis eller parvis ved de almindeligt forekommende Driftsspændinger, er Betydningen af de lukkede Buelampers høje Buespænding ikke stor, og da deres Økonomi er daarlig, finder de kun ringe Anvendelse ved Vekselstrøm.

Stor Betydning har derimod Flammebuelamperne. Ved disse benyttes Kul, i hvilke der er blandet ca. 7 % Metalsalte. Alt efter som der benyttes Kalk-, Strontium- eller Barium-Salte faas gult, rødt eller hvidt Lys. Flammebuelamperne brænder med noget højere Buespænding end almindelige Lamper, og som Følge heraf er Buen

mere urolig. Flammebuelamperne egner dem derfor ikke saa godt til Belysning af Rum, som til Belysning af Pladser samt til Reklamebelysning.

Ved Flammebuelamperne er det ikke alene selve Kulspidserne, der udsender Lys, men navnlig de glødende Metaldampe, der findes i Lysbuen. Lysfordelingen er

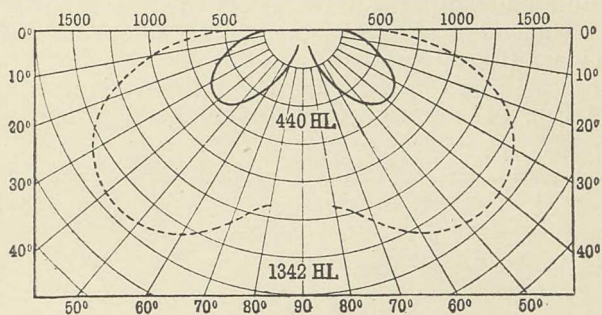


Fig. 145.

derfor i væsentlig Grad mere ens i de forskellige Retninger end ved almindelige Buelamper. I Fig. 145 ses Lysfordelingen af en 12 Amp. almindelig Vekselstrømlampe og af en Flammebuelampe.

Det største Udbytte opnaas ved Tilsætning af Kalksalte, og Økonomien af Vekselstrømlamper bliver herved lige saa god som af Jævnstrømlamper.

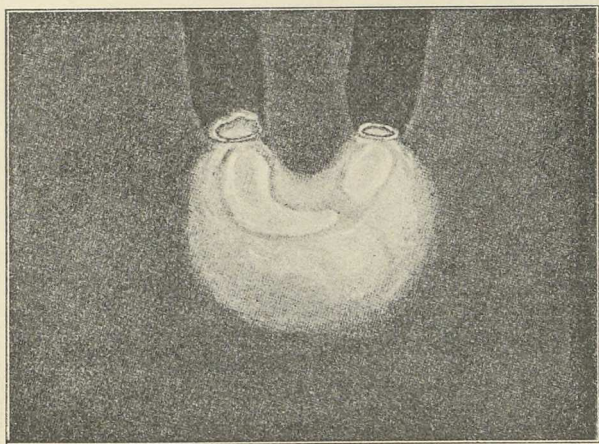


Fig. 146.

Ved Forbrændingen af Flammebuelampernes Kul dannes der store Mængder Aske, hvorfor det er nødvendigt, at Reguleringsværket er saa tæt indelukket som muligt. Endvidere kræver Flammelamperne en Del mere Rensning og Vedligeholdelse. Af Betydning er det ogsaa, at Kullene er væsentlig dyrere end almindelige Buelampekul.

Flammebuelamperne udføres dels med lodret over hinanden staaende Kul og dels med to skraat nedad rettede Kulspidser (Bremerlampen).

I Fig. 146 ses et Billede af en Bremerlampes Lysbue, i Fig. 147 Lysstyrken i forskellige Retninger.

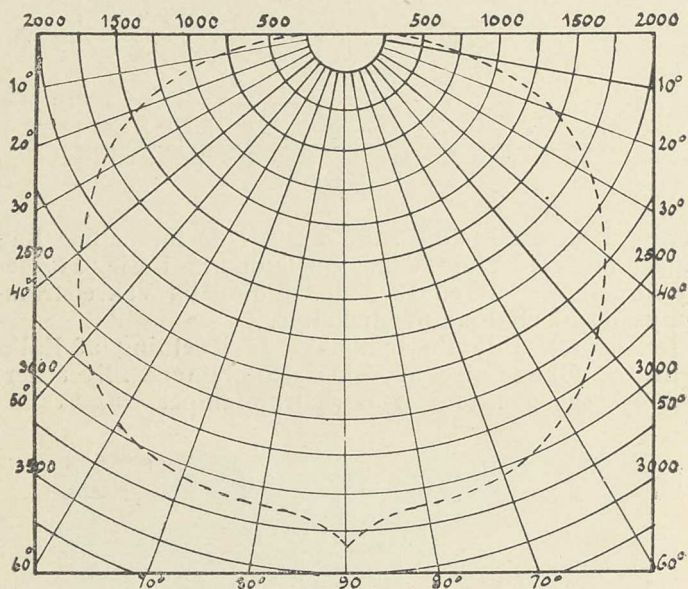


Fig. 147.

I nedenstaaende Tabel er angivet den hemisfæriske Lysstyrke m. v. for Vekselstrøm-Flammelamper af forskellig Strømstyrke.

Strømstyrke Ampère.	8	10	12	15
Lysbuespænding, Volt	38	40	40	40
Overkullets Diameter, $\frac{m}{m}$	12	13	14	16
Underkullets do.	12	13	15	17
Hemisfærisk Lysstyrke, H. L.	1650	2200	3000	4200

De i Tabellerne angivne Lysstyrker gælder for Lamper uden Kuppel. En klar Kuppel kan regnes at tage 10 % af Lyset, og en Opalglas-Kuppel 15 à 35 %.

Vekselstrøm-Buelamper kan brænde 3 à 4 i Serie ved 127 Volt og indtil 7 i Serie ved 220 Volt Driftsspænding. I Serie med Lamperne maa ligesom ved Jævnstrøm-Lamper indskydes en Beroligelsesmodstand.

Som nævnt Side 55 kan man faa en enkelt Lampe til at brænde økonomisk ved f. Eks. 127 Volt ved at indskyde en Drosselspole i Serie med Lampen. Da der herved forårsages en forholdsvis stor Faseforskydning med tilsvarende wattløse Strømme, der opvarmer Generatorer og Ledninger, tillader de fleste Elektricitetsværker ikke Anvendelse af Drosselspoler i Forbindelse med Buelamper.

Hvor man ikke har Brug for en til Driftsspændingen svarende Serie Buelampe, benytter man i Almindelighed smaa Transformatorer til Nedsættelse af Driftsspændin-

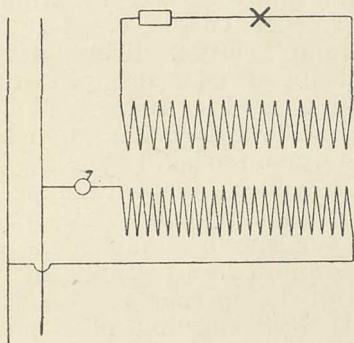


Fig. 148.

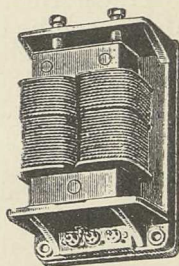


Fig. 149.

gen til den for Buelamperne bedst egnede. Naar man har en særlig Transformator for hver Buelampe, og anbringer dennes Afbryder paa Transformatorens primære Ledning, opnaar man, at Transformatoren kun er i Virksomhed ved fuld Belastning. Transformatorens Virkningsgrad bliver derved særdeles god, og den af Transformatoren frembragte Faseforskydning kun ringe.

I Fig. 148 ses et Skema for en Buelampe med Transformator og i Fig 149 et Billede af en Buelampe-Transformator.

24. Glødelamper. Hverken i Konstruktionen eller i Økonomien er der nogen Forskel paa Glødelamper for Vekselstrøm og for Jævnstrøm. Ved Periodetal paa under 25 kan man iagttage, at Lysstyrken varierer med den vekslende Strøm. Disse Bemærkninger gælder saavel for almindelige Kultraadslamper som for Metaltraadslamper, der nu er i Handelen for Spændinger op til 250 Volt for Lysstyrker fra 16 Lys til 1000 Lys.

Da Metaltraadsglødelamper for høje Driftsspændinger saasom 220 Volt og derover, er betydelig skørere, dyrere og noget mindre økonomiske end Lamper for lavere Spændinger, og da Lamperne for den højere Spænding ikke fremstilles for saa smaa Lysstyrker som Lamper for lavere Spænding, er der fremkommen ganske smaa Transformatorer til Forsyning af en enkelt eller nogle faa Lamper. Disse Transformatorer, der gaar i Handelen under Navn af Reduktorer, reducerer Spændingen f. Eks. fra 220 Volt til 16 Volt. Reduktorerne kan anbringes i en Lampefatning, i en Krone eller som Vægt for en Hejselampe etc. Afbryderen anbringes paa den primære Side af Transformatoren, saaledes at denne enten er helt ude af Virksomhed eller fuldt belastet. Reduktorens Nyttevirkning er dels af denne Grund og dels paa Grund af deres særlige Konstruktion særdeles høj.

Anbringer man derimod en Transformator foran hele Installationen, maa Transformatoren altid være i Virksomhed selv om der kun brænder en enkelt Lampe, og da Transformatoren maa være dimensioneret for samtlige Lamper, medens der som oftest kun brænder en lille Brøkdal af Lamperne, vil Transformatorens Nyttevirkning blive meget lille, og der vil ved ringe Belastning fremkomme en stor Faseforskydning med tilsvarende wattløse Strømme. Da disse opvarmer Generatorer og Ledninger uden at give nogen Indtægt, har flere Elektricitetsværker forbudt Anvendelsen af Transformatorer for hele Installationer eller i det hele taget Transformatorer med Afbrydere paa den sekundære Side.

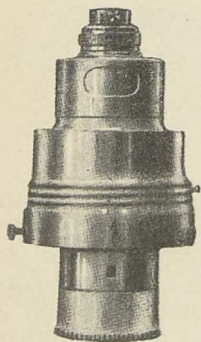


Fig. 150.

I Fig. 150 ses en Lampefatning med indbygget Reduktor.

Forskellige Systemer for Fordeling af elektrisk Energi.

25. **Enfase-, Tofase-, Trefase-System.** Det enkleste System til Fordeling af Vekselstrøm er Enfasesystemet, ved hvilket den af Generatoren frembragte Vekselsspænding føres igennem to Ledninger til Forbrugsstederne. I Fig. 151 er G Generatoren, L Glødelamper og M en Motor.

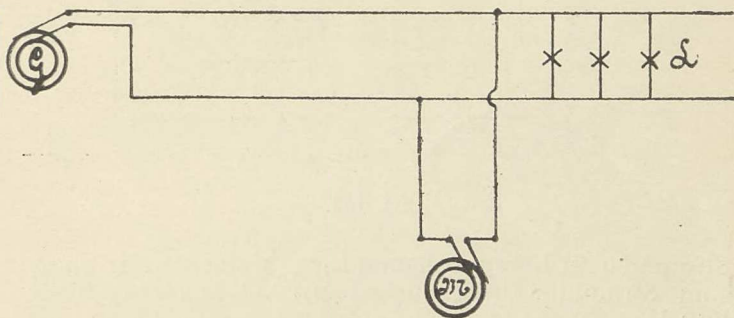


Fig. 151.

Enfasesystemet anvendes mest til elektriske Baner, hvorimod det ikke egner sig i særlig Grad til Forsyning af Byer. Enfasesystemet kan udføres som et Treleder-system, svarende ganske til det ved Jævnstrøm benyttede — I, Stykke 33. — Treledersystemet kan udføres ved, at man forbinder Midtpunktet af en almindelig Enfase-Generators Statorbevikling med en Nulledning og Endepunkterne med de to Yderledninger. Man har da i ethvert Øjeblik halv saa stor Spænding imellem Nulledningen og hver af Yderlederne som imellem disse indbyrdes. De tre Spændinger er i Fase med hinanden. Heller ikke Treledersystemet har funden nogen Udbredelse til Vekselstrømforsyning.

Ved Tofase-Systemet, der er omtalt i Stykke 19, bliver man i Stand til at frembringe et Drejefelt og dermed at benytte de enkle Drejefeltsmotorer.

Som angivet i Fig. 85 kræves der fire Ledninger imellem Generatorerne og Forbrugsstedet. Motorerne har to Statorbeviklinger, hvis Ender forbindes hver til sin af de fire Ledninger. Lamperne indskydes imellem to til samme System hørende Ledninger. De to af

Tofase-Systemets Ledninger kan forenes til en enkelt Ledning, saaledes at man kun har tre Ledninger i Ledningsnettet.

I Fællesledningen O — Fig. 152 — passerer da saavel

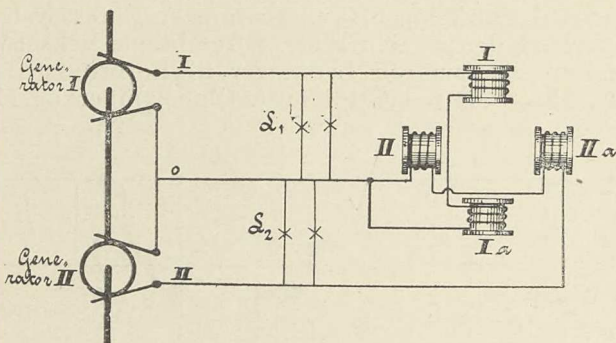


Fig. 152.

Strømmen til Lampesystemet L_1 og Motorens Bevikling I som Strømmen til Lamperne L_2 og Motorens Bevikling II.

Under Forudsætning af, at Strømmene I og II, der er faseforskudt 90° for hinanden, er lige store, bliver Fællesledningens Strøm, der er den geometriske Sum af de to Strømme I og II, $\sqrt{2} = 1,41$ Gange saa stor som hver af disse. Fællesledningen bør derfor have større Tværsnit end Yderlederne. Spændingsforskellen imellem de to Yderledere findes ved geometrisk Subtraktion at være $\sqrt{2} = 1,41$ Gange hver af de to Fase-spændinger og forskudt 45° for disse.

Tofase-Systemet benyttes kun meget lidt, hvorimod der næsten overalt til Forsyning af Byer benyttes Trefase-Systemet, der er nærmere beskrevet i Stykke 19.

Ved Trefase-Systemet uden Nulleder maa Lamperne indskydes imellem to og to Faseledninger, medens det ved Trefase-Systemer med Nulleder er almindeligt at indskyde Lamperne imellem Nulledningen og en af Faseledningerne (Fig. 153). Lampespændingen bliver da som vist i Stykke 19 lig med $1/\sqrt{3}$ Gange Spændingen imellem to Faseledninger (Liniespændingen).

Ved alle de forskellige Systemer kan man, ligesom ved Jævnstrøm, forbinde flere Lamper i Parallel, eller i Serie, eller i blandede Parallel- og Serieforbindelser —

jfr. I, Stk. 30—32. Paa Grund af den Lethed og gode Økonomi, hvormed Vekselstrøm kan transformeres ned til lavere Spænding, finder Serieforbindelsen og de blandede Forbindelser ikke megen Anvendelse.

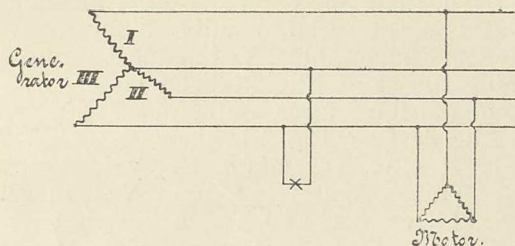


Fig. 153.

26. Omformerstationer, Transformatorstationer.

Hvor man ønsker at forsyne en større By eller et Kvarter fra en fjærntliggende Centralstation, og hvor Forsyningen til Konsumenterne skal ske med Jævnstrøm, indretter man oftest Centralstationen til Fremstilling af højspændt, trefaset Vekselstrøm, der igennem trekorede Højspændingskabler føres til Omformerstationer, som fordeles over Byen med passende Afstand og saaledes, at hver Omformerstation faar et passende Forsyningsomraade.

I Omformerstationerne findes en eller flere Maskiner, der omformer den højspændte Vekselstrøm til lavspændt Jævnstrøm, som igennem Fødeledninger føres til de saakaldte Fødepunkter, der er fordelt over hele Nettet af Forsyningsledninger.

Naar man fra en i større Afstand liggende Centralstation skal forsyne en By eller Bydel med Vekselstrøm, iværksættes det oftest ved, at man fra Højspændingsværket fører en eller flere Højspændingsledninger til den paagældende Bydel, hvor der paa forskellige Steder opstilles Transformatorer, hvis Lavspændingsside sluttes direkte til Forsyningsnettet. Højspændingsledningen føres rundt til alle Transformatorerne og forbindes med disses Højspændingsside. Transformatorerne med tilhørende Afbrydere etc. anbringes ofte i en f. Eks. paa Gaden eller en Plads opstillet Søjle eller et lille Hus og kaldes Transformatorstationer.

Da Omformerstationernes roterende Maskiner kræver stadig Tilsyn og Pasning, er det mest økonomisk at samle Omformerne i forholdsvis faa Omformerstationer,

hvorfra der da udgaar et Antal Fødeledninger til de i Omformerstationens Forsyningsomraade beliggende Fødepunkter.

Da Transformatorstationerne derimod ikke kræver dagligt Tilsyn, kan man med Fordel anbringe dem i et forholdsvis stort Antal, nemlig en for hvert af Forsyningsnettets Fødepunkter. Ved denne Anordning spares Fødeledningerne samt Energitabet i disse.

Ved Landdistrikter fører man Højspændingsledningen rundt til alle de Byer og Flækker, der skal forsynes, og opstiller i ethvert saadant Forsyningsomraade en eller flere Transformatorstationer. Ved meget spredt Bebyggelse bliver det ofte for bekosteligt at føre et Lavspændings-Forsyningsnet rundt til de forskellige Gaarde etc., i hvilket Tilfælde man kan indrette en lille Transformatorstation for hver af disse. Ved de saakaldte Oplandscentraler, der forsyner store Landsdele, maa man i Reglen benytte forholdsvis høje Spændinger saasom 40,000 à 80,000 Volt. Da disse Spændinger kan være ret farlige at have i selve Byerne, fører man Højspændingsledningerne udenom disse og indretter i Nærheden af Byen en Transformatorstation, i hvilken den høje Spænding transformeres ned til en noget lavere, f. Eks. 3000 à 8000 Volt, og Strømmen af denne Spænding føres til Byens forskellige Transformatorstationer, hvor den transformeres til lavspændt Strøm.

27. **Københavns kommunale Elektricitetsværker.** Da Elektricitetsforsyningen til Københavns ydre Distrikter skulde overtages, maatte det naturligt, paa Grund af disse Distrikters mindre tætte Bebyggelse og forholdsvis store indbyrdes Afstande blive med Vekselstrøm. Systemet for Forsyningen er følgende. Strømmen fremstilles paa Østre Elektricitetsværk som Trefasestrøm med 6000 Volt Liniespænding og 50 Perioder. Denne Strøm føres igennem underjordiske, snoede Treleder-Kabler — se Fig. 25 — til de i de forskellige Kvarterer opstillede Transformatorstationer, hvor den transformeres ned. Transformatorernes primære Side er forbunden i Trekant, saaledes at Spændingen i hver Bevikling er 6000 Volt. Den sekundære Side er derimod forbunden i Stjerne, og Spændingen, der induceres i hver af Lavspændingssidens Beviklinger er 127 Volt. Spændingen imellem Yderlederne indbyrdes bliver da, som vist Side 106, $127 \sqrt{3} = 220$ Volt.

Fra Transformatorerne er ført fire Lavspændingsled-

ninger, nemlig tre Faseledninger og en Nulledning fra Stjernens Nulpunkt. Alle Lamper o. l. indskydes imellem Nulledningen og en af Faseledningerne og brænder altsaa ved 127 Volt. Motorerne er Trefase-Motorer med Trekant-Forbindelse, og indskydes imellem de tre Faseledninger.

Ved dette System opnaas, at man kan benytte de almindelige i Handelen gaaende 220 Volts Trefase-Motorer samtidig med, at Lamperne bliver for den forholdsvis lave Spænding 127 Volt, til hvilken Spænding der kan leveres bedre og billige Lamper end til 220 Volt. Medens Metaltraadslamper for 220 Volt for Tiden ikke fremstilles for lavere Lysstyrker end 25 Lys, fremstilles der 16 Lys Lamper for 127 Volt.

I Aaret 1907 etableredes den første Vekselstrømforsyning fra Københavns kommunale Elektricitetsværker. Paa Østre Elektricitetsværk opstilledes to 250 K. W. Omformere, der tog 440 Volts Jævnstrøm fra Værkets Samleskiner og omdannede den til 6000 Volts Drejestrøm, der sendtes til Sundby og Valby, hvor der var opstillet henholdsvis fire og to Transformatorsøjler med Transformatorer paa tilsammen 220 K. W.

I Efteraaret 1909 udvidedes Forsyningen til at omfatte de yderste Dele af Valby, Vanløse, Husum, Brøndshøj, Bispebjerg, Emdrup og Utterslev, og i Sommeren 1910 etableredes der Forsyning af Taarnby fra Københavns Elektricitetsværker. Der findes i 1910 ialt 25 Transformatorer paa tilsammen c. 1000 K. W.

Siden 1908 har der paa Østre Elektricitetsværk været installeret to 2500 à 3000 K. W. Turbo-Generatorer for 6000 Volts Drejestrøm, som føres til Vestre Elektricitetsværk, hvor den omformes til Jævnstrøm til Forsyning af Vesterbro. Paa de Tider af Døgnet, hvor Turbo-Generatorerne er i Gang, tages ogsaa Forsyningen til Byens ydre Distrikter fra dem, medens de ovennævnte 250 K. W. Omformere benyttes paa Tider, hvor Generatorerne staar stille.

I Vekselstrøm-Forsyningsomraadet er der i Slutningen af 1910 installeret ialt c. 23000 Glødelamper og Motorer paa tilsammen paa tilsammen 250 H. K.

I Valby, Sundby og den inderste Del af Utterslev (Nørrebro), bestaar Forsyningsledningerne af jærnbands-armerede, snoede Fireleder-Kabler, der er nedlagte i Fortovene paa lignende Maade som Jævnstrømkablerne i den egentlige By. Et Tværsnit af Kablerne ses i Fig. 154. De fire Ledere har samme Tværsnit og er hver for sig

beviklede med et Isoleringslag af imprægneret Jute eller Papir og derefter snoede sammen, idet Hulrummene imellem de fire Ledere er udfyldt med Jute e. l. Omkring den saaledes dannede Kærne er lagt et fælles Isoleringslag og derom den sædvanlige Blykappe, komponderet Papir, Jute, Jærnbaand o s. v. ganske som ved Jævnstrømkabler. Som det ses, er hver Kobberleder adskilt fra hver af de andre samt fra Blykappen ved to Isoleringslag.

Samlemufferne er af samme Type som de til Jævnstrøm-

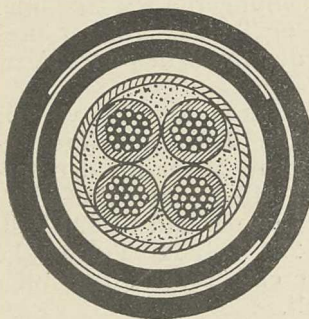


Fig. 154.

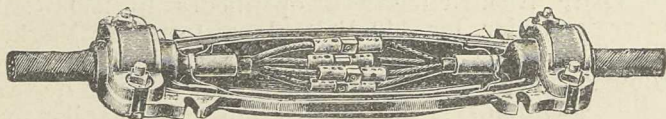


Fig. 155.

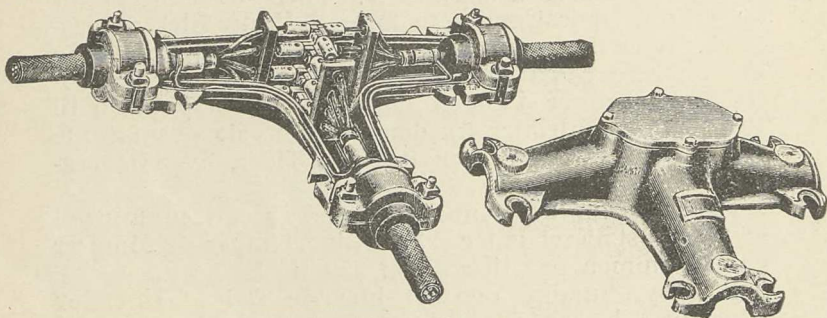


Fig. 156.

kabler anvendte. I Mufferne er hver Leder i det ene Kabel forbunden med den tilsvarende Leder i det andet Kabel — se Fig. 155. De fire Samleklemmer i

hver Muffe holdes i nøjagtig Afstand fra hinanden ved Hjælp af korsformede Ebonitstykker.

Ved Afgreninger fra Kablerne — f. Eks. ved Stikledningerne — benyttes Støbejerns T-Muffer af lignende Konstruktion som Samlemufferne — se Fig. 156.

Hvor flere Ledninger skal forbindes, benyttes Kabelkasser med Sikringer. Kabelkasserne er ikke, saaledes som de tilsvarende Jævnstrømkasser, Etagekasser. Alle

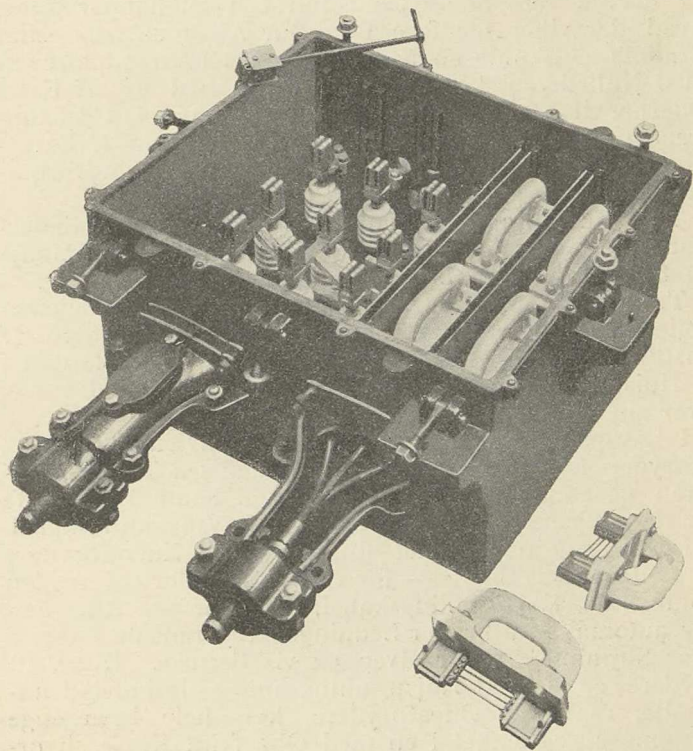


Fig. 157.

Kablerne er ført ind i samme Højde, og Sikringerne, der ligeledes ligger i samme Højde, er anbragt paa Porcelænshaandtag og kan skydes ned i de i Kassen fastsiddende Fjederklemmer, saaledes at det er let at indsætte eller udtage Sikringer selv under stærk Strøm. I Nulledningerne er der ingen Sikringer. Sikringer af forskellig Fase er adskilte ved isolerende Mellemvægge. En saadan Kabelkasse ses i Fig. 157.

I de ydre Distrikter udenfor Sundby, Valby og Nørrebro er Forsyningsledningerne lagt som Luftledninger paa Master af Jærnbeton. Ledningen er af blank, haardttrukken Koppertraad. Ledningerne ligger lodret over hinanden i Ordenen 0, Fase 3, Fase 2, Fase 1. Nullederen ligger øverst saaledes at den kan tjene som Beskyttelse for eventuelt nedfaldende Telefontraade saaledes, at disse ikke kan komme i Berøring med en af Faseledningerne og derved føre Stærkstrøm ind i Telefonapparaterne, hvad der vilde medføre Fare for Abonnenterne samt Brandfare. Skulde en nedfaldende Telefontraad foruden med Nullederen komme i Berøring med en af Faselederne, vil den bevirke en Kortslutning, hvorved Telefontraaden øjeblikkelig vil smelte over, eller en af Forsyningsnettets Sikringer eller Automater vil afbryde Strømmen saaledes, at Faren i alle Tilfælde afværges.

Til Stikledningerne benyttes saakaldet Hackethalertraad, der er isoleret med Jute imprægneret med Mønje og Linolie, hvilken Isolering er meget vejrbestandig.

Transformatorstationerne er anbragt i Pladejærns Søjler, i hvis øverste Rum selve Transformatoren er opstillet. Søjlers nederste Del er ved en Tavle delt i et Højspændingsrum og et Lavspændingsrum, der har hver sin Dør.

I Lavspændingsrummet findes paa Tavlen Sikring og Afbryder for hver Faseledning af den fra Transformatoren gaaende Lavspændingsledning, samt Endemuffe for det til Forsyningsnettet gaaende Lavspændingskabel.

I Højspændingsrummet findes nederst Knivafbrydere — Ledningsadskillere — for det til Transformatorsøjlen kommende Højspændingskabel, herover en Afbryder, der automatisk afbryder Ledningen til Transformatoren, naar Strømmen stiger over en vis Grænse. Disse Afbrydere er de ved Højspændingsanlæg almindeligt anvendte, saakaldte Olieafbrydere, hvis hele bevægelige System er nedsænket i en med Olie fyldt Kasse, hvorved opnaas, at der ikke fremkommer den store Afbrydningssknist, som ellers følger Afbrydningen af højspændt Strøm. Olieafbryderne kan slutes eller afbrydes ved Hjælp af en uden paa Oliekassen anbragt Vægtstang.

Den automatiske Afbrydning iværksættes ved, at Strømmen, efter at have passeret Olieafbryderen, gaar igenem en ved begge Ender fastspændt tynd Modstands-traad, mod hvis Midtpunkt en lille Rulle trykker. Denne Rulle staar i Forbindelse med en Pal, som fastholder Afbryderen i sluttet Stilling.

Efterhaanden som Strømmen stiger, udvider Modstandstraaden sig, hvorved den imod denne hvilende Rulle bevæger sig paa tværs af Traadens Retning, og naar Strømmen naaer en vis Størrelse, udløses Palen, hvorved en stærk Fjeder trækker Afbryderens Kontakter fra hinanden med stor Kraft og momentant. I Fig. 158 ses en trepolet Olieafbryder med aftaget Oliekasse.

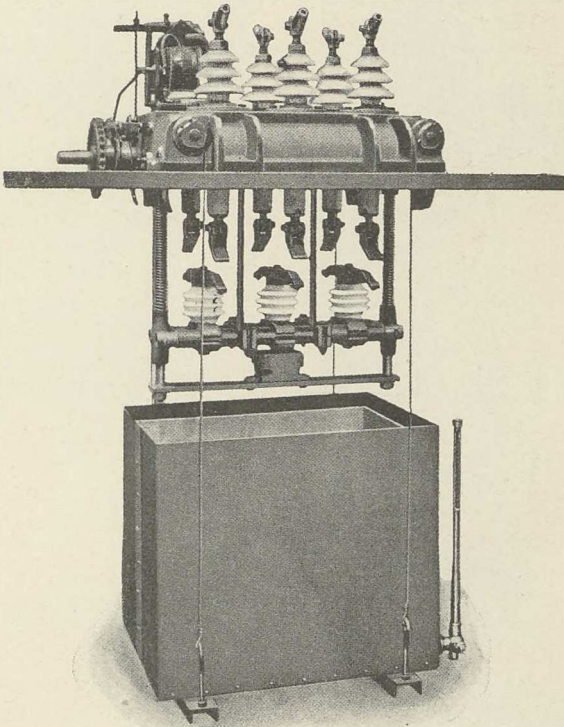


Fig. 158.

I Forbindelse med Afbryderen findes en Fjeder, som slutter en Kontakt, saalænge Afbryderen er afbrudt. Igennem de i et særligt Signal- og Prøvetraadskabel indeholdte Traade bringes derved en paa Østre Værk anbragt Klokke til at ringe og en Klap, der falder, angiver, hvilken Transformator, der er afbrudt.

Fig. 159 viser en Transformatorsøjle set dels fra Højspændingssiden og dels fra Lavspændingssiden.

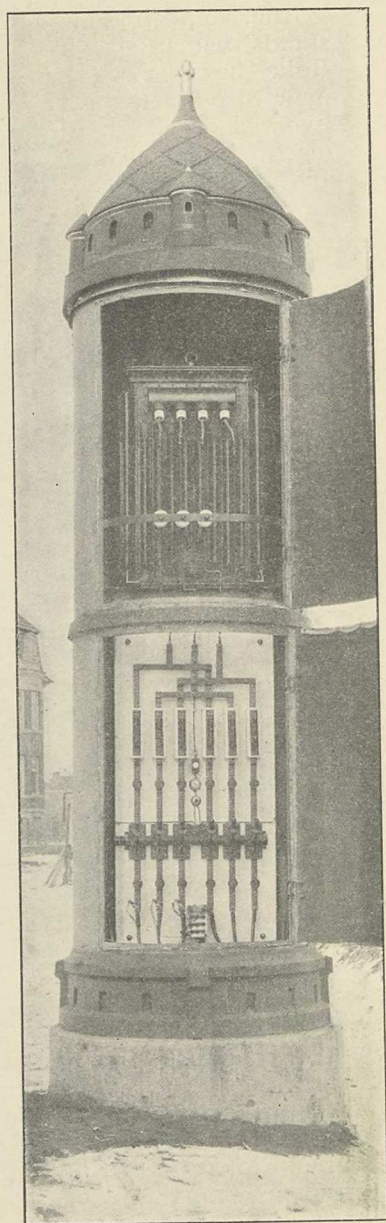
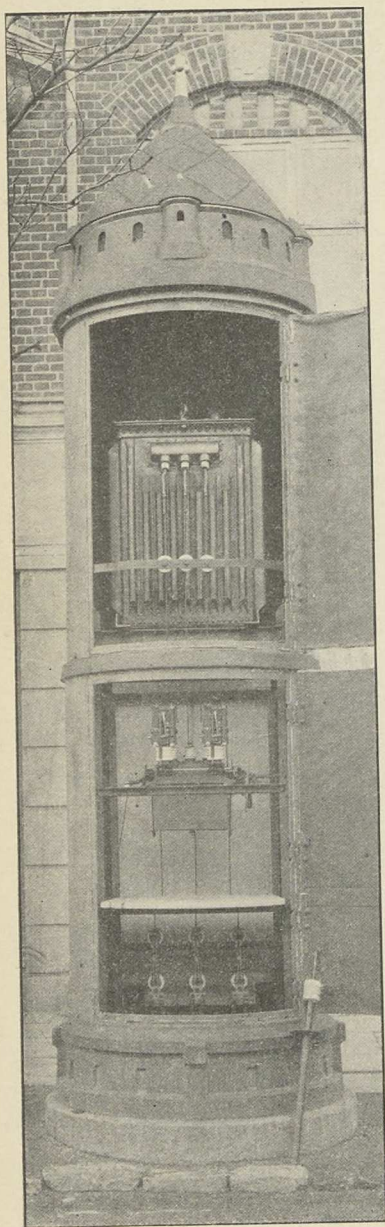


Fig. 159.

Højspændingsledningerne [er snoede Treleder-Kabler af lignende Konstruktion som Lavspændingskablerne, kun at Isoleringsslagene er betydelig tykkere. Kablerne er nedlagt i en Dybde af c. 0,8^m under Gadernes Overflade. Da det vilde være forbunden med Livsfare at hugge Hakker e. l. igennem Højspændingskabler, er der støbt et c. 100

m/m tykt Lag Beton over Kablerne, Fig. 160, eller disse er lagte i lukkede Betonrender,

Fig. 161. Yderligere er der lige under Gadebelægningen lagt et galvaniseret Jærntradsnet, saaledes, at Jordarbejdernes Opmærksomhed

henledes paa Kablernes Tilstedeværelse, forinden Graveværktøjet er naaet ned til dem.

De fleste Arbejder paa Lavspændingskablerne foregaar, medens disse er under Spænding, medens

Højspændingskablerne naturligvis maa gøres spændingsløse, forinden de aabnes. Samlemufferne er af en lignende Konstruktion som den i Fig. 155 viste,

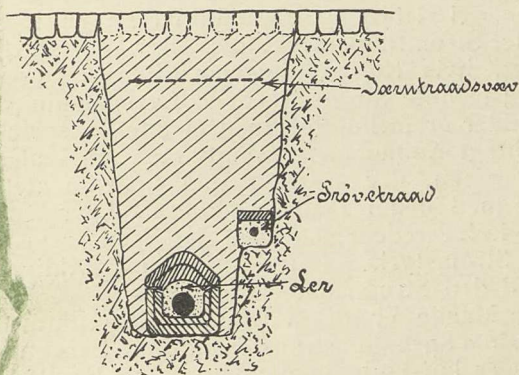


Fig. 161.

kun at de er forholdsvis større samt at der anvendes en særlig Fyldemasse, som er bedre isolerende end den almindelig anvendte.

Alle Afgreninger fra Højspændingskablerne er tagne enten i Transformatorsøjlerne eller i Kabelkasser. Disse er fyldte med Olie og indeholder fire trepoledede Knivafbrydere, der hver især kan manøvreres udefra ved Hjælp af en Vægtstang. Der kan saaledes føres fire Kabler til Kassen, og hvert Kabel kan ved Hjælp af en trepolet Knivafbryder forbindes med Kassens Samleskinner.

Paa Østre Elektricitetværk gaar Højspændingskablerne op til en Tavle, hvor der for hvert Kabel er anbragt en Endemuffe, en automatisk Olieafbryder, Amperemetre og Maalere. For at undgaa Fare, er samtlige Højspændingsapparater indelukkede i aflåsede Rum, medens samtlige Manøvrer og Aflæsninger foretages ved en Manøvretavle, hvor der kun findes Lavspænding. Manøvreringen af de i Højspændingsrummet værende Afbrydere sker enten ved mekanisk Transmission — Akselledninger, Kædetræk, Vægtstangsforbindelser — eller ved Elektromagneter eller Elektromotorer, hvis Strømkreds sluttes ved Hjælp af Kontakter paa Lavspændingstavlen. For at man fra denne skal kunne se, om Afbryderen er sluttet eller afbrudt, er der anbragt Signallamper, hvis Strømkreds sluttes eller afbrydes ved Hjælp af nogle paa Olieafbryderens bevægelige System fastgjorte Kontakter. Manøvre- og Signalstrømmen er lavspændt Jævnstrøm.

Maaleinstrumenterne er som nævnt anbragt paa Lavspændingstavlen. I Højspændingsledningerne er indskudt saakaldte Strømtransformatorer, der er smaa Transformatorer, hvis Højspændingsbevikling passerer af hele den højspændte Strøm, medens Lavspændingsbeviklingens Ender er forbundne med et paa Lavspændingstavlen anbragt Amperemeter, Wattmeter, en Maaler eller lign. Strømmen, der passerer Maaleinstrumentet, er proportional med den i Transformatorens Lavspændingsbevikling inducerede Spænding, der igen er proportional med Strømstyrken i den primære Bevikling, det vil sige med den Strøm, der skal maales.

Paa lignende Maade er der i Højspændingsrummet indbygget saakaldte Spændingstransformatorer, hvis primære Bevikling er indskudt imellem to og to Faseledninger, medens den sekundære Bevikling (Lavspændingsrullen) er forbundet med et paa Manøvretavlen anbragt Voltmeter, Wattmeter, en Maaler eller lign.

I Fig. 162 ses en Strømtransformator og i Fig. 163 en Spændingstransformator.

Som vist S. 49, kan der i en Vekselstrømkreds med Selvinduktion og Kapacitet opstaa falske Spændinger — Overspændinger — der er betydelig højere end Generatorens Spænding. Det samme kan ske ved de Svingninger, der finder Sted, idet en Vekselstrømkreds sluttet

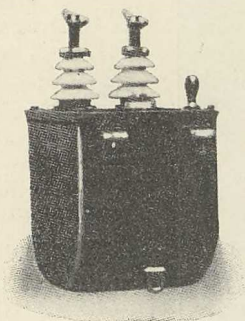


Fig. 162.

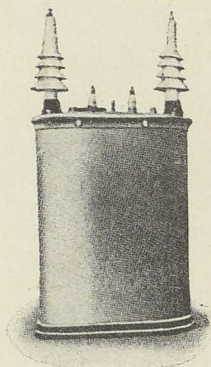


Fig. 163.

eller afbrydes, og endelig kan der i Ledningerne opstaa Overspændinger ved atmosfæriske Udladninger.

For at beskytte Ledninger og Maskiner imod Genemsag hidrørende fra disse Overspændinger, benytter man de saakaldte Overspændingssikringer, der kan bestaa af to i ganske ringe indbyrdes Afstand anbragte Metalstykker, der hver er forbunden med en af de Dele, hvis Spændingsforskel ønskes holdt indenfor visse Grænser. Afstanden imellem de to Metalstykker er afpasset saaledes, at Modstanden imod Overslag her er mindre end noget Sted i Kablerne, Maskinerne etc.

Nærmer Spændingsforskellen sig en for disse farlig Grænse, slaar der en Gnist over imellem Metalstykkerne, hvorved den farlige Spændingsforskel udlignes.

I Fig. 164 ses en almindelig anvendt Form for en Overspændingssikring, nemlig den saakaldte Hornlynafløder, der bestaar af to, hver paa sin Isolator anbragte, Kobbertraade, der er bøjede saaledes, at de forneden kun har en ganske ringe Afstand, medens de foroven løber mere og mere fra hinanden. De to Horn forbindes hver med sin af de Dele, hvis Spændingsforskel skal holdes nede. Stiger Spændingsforskellen over en vis Grænse, slaar der en Gnist over paa det Sted, hvor Hornene er nærmest sammen. Gnisten vil indlede en stærk Lysbue,

der virker som en Kortslutning imellem de to Ledninger. Ved Luftens Ophedning og ved det af den stærke Strøm

dannede magnetiske Felt, drives

Lysbuen opad, hvorved den bliver længere og længere indtil den slukkes.

For at Strømstyrken i Lysbuen ikke skal blive altfor stor, indskyder man ofte en Modstand i Ledningen til det ene Horn. Denne Modstand maa være induktionsfri, da den ellers yder Modstand imod det pludselige

Strømgennemslag.

Ved Københavns Elektricitetsværker er der saavel paa Østre Elektricitetsværk som paa passende Steder af Ledningsnettet anbragt

Overspændingsanlæg, der hver især bestaar af

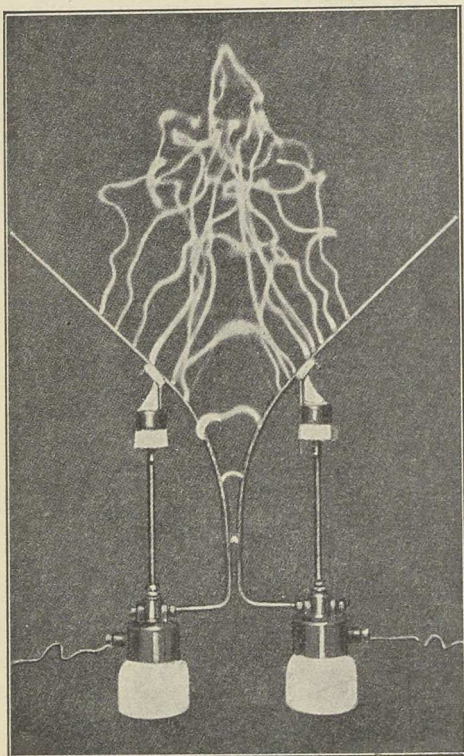


Fig. 164.

seks Hornlynafledere, nemlig en imellem hver to og to Faseledninger og en imellem hver Faseledning og Jorden.

Reguleringen af Spændingen i Ledningsnettet sker udelukkende fra Elektricitetsværkets Manøretavle.

Da Spændingstabet i Højspændingsledningerne er yderst ringe — for Tiden under 1% — haves der praktisk talt samme Spænding ved samtlige Transformatorer som ved Værkets Samleskinner. Da Spændingstabet i Transformatorerne stiger med Forbruget — c. 2% ved fuld Belastning — er det dog nødvendigt at holde noget højere Spænding under det store Forbrug end ellers. I det tidligere nævnte Prøvetraadskabel findes Maaletraade,

der staar i Forbindelse med de forskellige Distrikters Lavspændingsledninger saaledes, at man paa Værket kan aflæse Spændingen i ethvert Distrikt.

28. Installationerne. I de Distrikter, hvor Forsyningsledningerne ligger i Jorden, er Stikledningerne lagt paa samme Maade, og de fleste Stikledninger er lagt som Fireledere. Kun til meget smaa Huse, hvor det er usandsynligt, at der kan blive installeret over 30 Lamper, er Stikledningen lagt som Toleder.

I de Distrikter, hvor Forsyningsledningerne er Luftledninger, er ogsaa Stikledningerne trukne som Luftledninger. Ved Ejendomme, hvor der foreløbig ikke er installeret mere end 30 Glødelamper, er Stikledningen lagt som Toleder; hvor der er installeret over 30 Lamper eller disses Ækvivalent er Stikledningerne lagt som Fireledere. Ved Hovedsikringen ligger Ledningerne i Ordenen Fase 1, Fase 2, Fase 3, Nul, regnet fra Venstre til Højre. Ved Tolederanlæg ligger Nulledningen ligesom ved Jævnstrømanlæg altid til Højre. Da man ikke saaledes som ved Jævnstrømledninger kan bestemme de enkelte Ledningers Fase ved Hjælp af Polreagenspapir eller lignende, benyttes til Betegnelse af Ledningernes Fase Farver, nemlig Rødt for Fase 1, Blaåt for Fase 2 og Grønt for Fase 3, medens Nulledningen er ufarvet. I Hovedsikringerne er Kabelskoene malede med Lakfarve og i Maalerledningernes Omfletning er der indlagt farvede Traade.

Maalerledningerne oplægges iøvrigt paa samme Maade som ved Jævnstrømanlæg. Dog er det ikke tilladt at lægge Maalerledninger i Staalrør eller Jærnrør. I det hele taget maa Vekselstrømledning ikke lægges i Staalrør, med mindre Frem- og Tilbageledningen ligger i samme Rør. I modsat Fald vilde Rørene opvarmes stærkt ved det af Strømmen frembragte Vekselfelt, og Rørene vilde bibringe Ledningen en stor Selvinduktion.

Selve Husinstallationerne udføres i Hovedsagen paa samme Maade som ved Jævnstrøm. Hvor der anvendes Staalrør, skal Frem- og Tilbageledningen dog overalt ligge i samme Rør.

Kun i særlige Tilfælde tillades det at installere Enfase-Motorer. Trefase-Motorer med Kortslutningsanker maa kun benyttes for Størrelser op til 1,5 HK. Naar Ledninger til Motorer lægges i Staalrør, skal alle tre Faseledninger ligge i ét og samme Rør.

I Badeværelser og lignende meget fugtige Rum maa der ikke anbringes Stikkontakter, Afbrydere eller lignende.

De trigonometriske Forhold.

Gr.	Sinus	Cosin.	Tangens	Cotang.	
0	0.0000	1.0000	0.0000	uendelig	90
1	0.0175	0.9998	0.0175	57.2900	89
2	0.0349	0.9994	0.0349	28.6363	88
3	0.0523	0.9986	0.0524	19.0811	87
4	0.0698	0.9976	0.0699	14.3007	86
5	0.0872	0.9962	0.0875	11.4301	85
6	0.1045	0.9945	0.1051	9.5144	84
7	0.1219	0.9925	0.1228	8.1443	83
8	0.1392	0.9903	0.1405	7.1154	82
9	0.1564	0.9877	0.1584	6.3138	81
10	0.1736	0.9848	0.1763	5.6713	80
11	0.1908	0.9816	0.1944	5.1446	79
12	0.2079	0.9781	0.2126	4.7046	78
13	0.2250	0.9744	0.2309	4.3315	77
14	0.2419	0.9703	0.2493	4.0108	76
15	0.2588	0.9659	0.2679	3.7321	75
16	0.2756	0.9613	0.2867	3.4874	74
17	0.2924	0.9563	0.3057	3.2709	73
18	0.3090	0.9511	0.3249	3.0777	72
19	0.3256	0.9455	0.3443	2.9042	71
20	0.3420	0.9397	0.3640	2.7475	70
21	0.3584	0.9336	0.3839	2.6051	69
22	0.3746	0.9272	0.4040	2.4751	68
23	0.3907	0.9205	0.4245	2.3559	67
24	0.4067	0.9136	0.4452	2.2460	66
25	0.4226	0.9063	0.4663	2.1445	65
26	0.4384	0.8988	0.4877	2.0503	64
27	0.4540	0.8910	0.5095	1.9626	63
28	0.4695	0.8829	0.5317	1.8807	62
29	0.4848	0.8746	0.5543	1.8040	61
30	0.5000	0.8660	0.5774	1.7321	60
31	0.5150	0.8572	0.6009	1.6643	59
32	0.5299	0.8480	0.6249	1.6003	58
33	0.5446	0.8387	0.6494	1.5399	57
34	0.5592	0.8290	0.6745	1.4826	56
35	0.5736	0.8192	0.7002	1.4281	55
36	0.5878	0.8090	0.7265	1.3764	54
37	0.6018	0.7986	0.7536	1.3270	53
38	0.6157	0.7880	0.7813	1.2799	52
39	0.6293	0.7771	0.8098	1.2349	51
40	0.6428	0.7660	0.8391	1.1918	50
41	0.6561	0.7547	0.8693	1.1504	49
42	0.6691	0.7431	0.9004	1.1106	48
43	0.6820	0.7314	0.9325	1.0724	47
44	0.6947	0.7193	0.9657	1.0355	46
45	0.7071	0.7071	1.0000	1.0000	45
	Cosin.	Sinus	Cotang.	Tangens	Gr.

Regler og Strømskemaer

vedrørende Udførelsen af Maalerledninger i København.

Almindelige Bestemmelser.

Maalerledningsarbejdet udføres efter Anvisning af Elektricitetsværkernes Ingeniørkontor.

Viser det sig under Arbejdets Udførelse, at de Dele af Bygningen, hvorigennem Maalerledningen er anvist, ikke holdes i tør eller ventileret Stand, eller at Benyttelsen af Rummet medfører Fare for Maalerledningens Holdbarhed, skal Arbejdet straks standses, og Meddelelse tilsendes Elektricitetsværkernes Ingeniørkontor. Arbejdet maa da ikke fortsættes før efter nærmere Anvisning fra Elektricitetsværkernes Ingeniørkontor.

Maalerledningskablerne leveres af Belysningsvæsenet gennem dettes Leverandør.

Til Ledningernes Forgrening maa kun anvendes de af Belysningsvæsenet udleverede Forgreningskasser.

Naar Maalerne anbringes paa offentlig tilgængelige Steder, skal de omgives af Skabe med følgende Minimumsdimensioner:

Døraabningen 75 cm. høj.

do. 35 " bred.

Dybden, regnet fra Dørens Inderside til Maaler-rammen: 25 cm.

Over Maalerrammen skal være mindst 80 $\frac{m}{m}$ frit Rum, saaledes at f. Eks. de over Maalerrammen eventuelt værende Hovedafbrydere skal være anbragt i en Afstand af mindst 80 $\frac{m}{m}$ fra Rammen.

Med Hensyn til Maalerledningens Tilslutning til Luftledningsstik gælder følgende:

Forbindelsen mellem Hovedsikring og de til Stikledningens Fastsættelse anbragte Isolatorer, samt Isolatorernes Paasætning udføres af Maalerledningsinstallatøren. Det hertil anvendte Kabel skal være vulkaniseret Maalerledningskabel.

De anvendte Porcelænstragte og Porcelænsforinger til Gennemføringsrør skal indvendig have en Minimumsdimension af 15 $\frac{m}{m}$.

Isolatorbøjlerne skal fastsættes i Muren ved Hjælp af Kilebolte.

Saa vel Isolator, som Bøjle og Kilebolt skal have Minimumsdimensioner som den, paa Elektricitetsværkernes

Ingeniørkontor, opstillede Prøve. Der kan anvendes saavel Porcelænsisolatorer som »Gummon» Isolatorer.

Isolatorerne anbringes lodret over hverandre med en indbyrdes Afstand af 300 $\frac{m}{m}$ og i Rækkefølge 0—Fase 3—2—1 regnet fra oven.

Isolatoren skal faststøbes til Bøjlen med en Blanding af Sølvglød og Glycerin.

Mindste Afstand fra nederste Faseledning til Jorden skal være 4 Meter. Hvor Stikledningen krydser Kørebanen skal Isolatorerne dog anbringes saa højt, at Stikledningen paa intet Sted kommer Kørebanen nærmere end 6 Meter.

Hvor Indføring til Hovedsikringen ikke kan ske umiddelbart ved Isolatorerne, føres Ledninger imellem Isolatorerne og Indføringen enten paa Isolatorer eller i lukket, forskruet Rør.

Dette Rør forsynes med saa stort Antal Langgevind, at Ledningerne let lader sig udveksle. Toppunktet leveres af Belysningsvæsenet.

Induktionsspolerne skal bestaa af 10 Vindinger med en indvendig Diameter af 50 $\frac{m}{m}$ og de enkelte Vindinger sammenbindes med tjæret Hyssing. Ledningsenderne udenfor Induktionsspolerne gøres saa lange, at der er rigelig Længde til Forbindelse med Stikket.

Vekselstrømsmaalerledningers Faseledninger skal have en farvet Omspinding, saaledes at:

rød Farve	anvendes til Fase 1.
blaa — — —	— 2.
grøn — — —	— 3.

Lægges Vekselstrømsledninger i Jærn- eller Staalrør, skal alle Ledninger lægges i et og samme Rør.

Til Beskyttelsesrør ved Gennemføringer maa for Vekselstrømsledninger kun anvendes Messingrør.

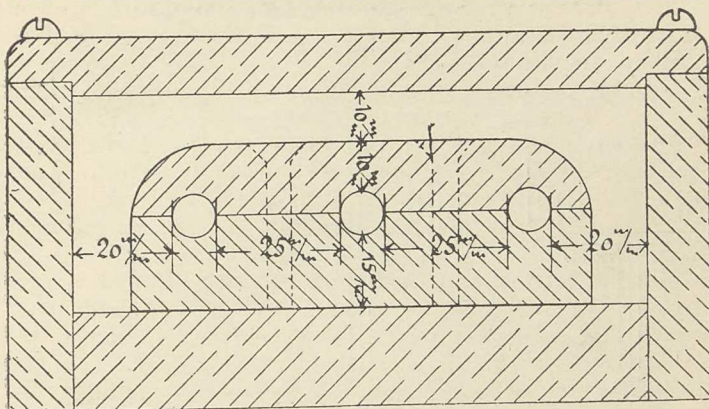
Maalerledningerne lægges som hosstaaende Skitser skematisk viser.

Følgende Installationsmaader er tilladte.

1. I Porcellænsklemmer i Dækkasse.
2. I Bergmannske metalklædte Rør.
3. I almindelige, lukkede, forskruede Staalrør.
4. I galvaniserede, forskruede Jærnrør.
5. Paa Isolatorer.

1. Anbringes Ledningerne i Porcellænsklemmer, skal Klemmerne og Dækkassen have de nedenangivne Minimumsdimensioner, og Afstanden mellem Klemmerne maa ikke overstige 250 $\frac{m}{m}$.

Dækkassen skal forfærdiges af høvlet Træ. Laaget skal fastgøres ved Hjælp af Skruer.



2. Bergmanns Rør maa kun anvendes i tørre Rum, og Rørene skal altid anbringes paa Træunderlag og med en indbyrdes Afstand af 10 m/m.

Rørene skal fastgøres ved Hjælp af Bøjler.

3. Hvor Maalerledningen lægges indemuret eller i vaade Rum, skal den anbringes i lukkede, vandtæt forskruede Staalrør, eller i vandtæt forskruede, galvaniserede Jærnrør.

4. Hvor Maalerledningen lægges som Jordledning, skal dette ske i galvaniserede, forskruede Jærnrør.

Lægges Ledningerne efter de under Punkt »3« eller »4« tilladte Installationsmaader, skal disse være af vulkaniseret Maalerledningskabel, medens der til de under »1« og »2« anførte Installationsmaader kan benyttes dobbelt-gummieret Maalerledningskabel.

Hvor Ledningerne anbringes i Rør, skal disses indvendige Lysning være som følger:

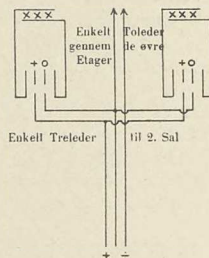
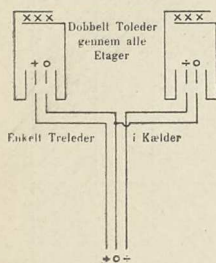
	16-25 □ m/m	35-50 □ m/m	70-95 □ m/m
Bergmanns Rør m. 1 Ledning i hvert Rør ...	11	16	23
Vandtætte Staalrør " " " "	16	20	
Galvaniserede Jærnrør m. 1 Ledning i hvert Rør	32	32	32
" " " 2 " " "	32	39	52
" " " 3 " " "	32	46	52
" " " 4 " " "	39	46	52

5. Maalerledninger paa Isolatorer maa kun anvendes i overdækkede Rum.

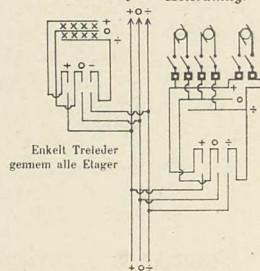
Skema for Maalerledninger.

Jævnstrøm.

Installationer under 100 Lamper og 220 Volts Motoranlæg.

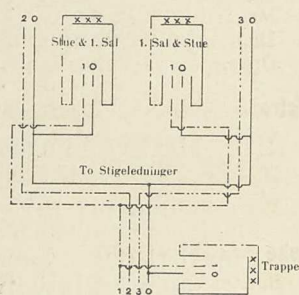
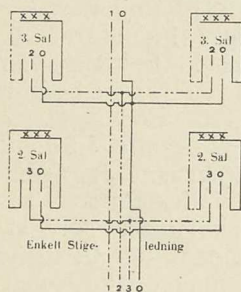


Installationer over 100 Lamper. 440 Volts Motoranlæg.

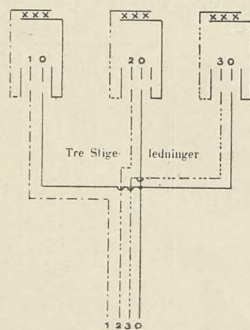


Vekselstrøm.

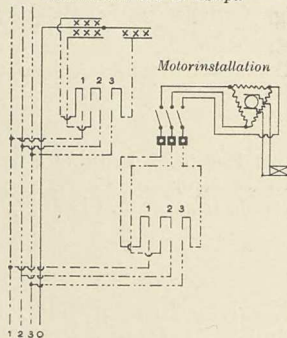
Installationer under 30 Lamper.



Installationer under 30 Lamper.



Installationer over 30 Lamper



Indholdsfortegnelse.

Indledning.	Pag.
1. Almindelige Anmærkninger	5
2. Vekselstrøm og Vekselspænding	6
3. Effektiv Strøm og Spænding	10
4. Faseforskydning og Spændingsdifferens-Induktiv Modstand	12
5. En Vekselstrøms Arbejde	26
6. Kapacitet i Vekselstrømkredsen	36
7. Selvinduktion, ohmsk Modstand og Kapacitet i Serie i en Vekselstrømkreds	44
8. Selvinduktion, ohmsk Modstand og Kapacitet i Parallelforbindelse i en Vekselstrømkreds	50
9. Selvinduktion og en Vekselstrømbuelampe i Serie	54
Tekniske Maaleapparater og deres Anvendelse.	
10. Ampèremetre	56
11. Voltmetre	60
12. Wattmetre	61
13. Elektricitetsmaalere	64
14. Maaling af Periodetal	65
15. Maaling af Selvinduktionskoefficienter	67
16. Maaling af Kapacitet	70
17. Maaling af Faseforskydning	72
18. Optegning af Strøm- og Spændingskurver	73
Vekselstrømmaskiner og Transformatorer.	
19. Vekselstrømgeneratorer	76
20. Transformatorer	107
21. Vekselstrømmotorer	120
22. Roterende Omformere	143
Elektriske Brugsgenstande.	
23. Buelamper	147
24. Glødelamper	154
Forskellige Systemer for Fordeling af elektrisk Energi.	
25. Enfase-, Tofase-, Trefasesystem	155
26. Omformerstationer, Transformatorstationer	157
27. Københavns kommunale Elektricitetsværker	158
28. Installationerne	169
Tillæg.	
Regler og Strømskemaer vedrørende Udførelsen af Maalerledninger i København	171

Trykfejl.

- Pag. 31, 8. L. f. o.: »kaldes« læs: »kalder«.
— - 19. - - - : »Face« læs: »Fase«.
— 32, Fig. 18: $\angle \varphi$ er $\angle$ mellem i_n og i .
— - 11. L. f. n.: »elektromotorisk« læs: »elektromagnetiske«.
— 84, 11. L. f. o.: Nævneren skal være: 100,000,000.
— 95, 15. L. f. n.: »Watt« læs: »Volt-Ampère«.
— 121, 13. L. f. n.: »forsynes« læs: »kan forsynes«.
— 125, 2., 3., 4. L. f. n.: »cos α « læs: »cos φ «.
— 126, 3., 4., L. f. o.: »E« læs: » $\frac{E}{p}$ «
-

