DTU Bibliotek

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*

Holstein-Rathlou

Forelæsninger

over

Elektroteknik

1912

+ 6213(024)

444

621 3(024)

Forelæsninger over Elektroteknik

Holdte paa den polytekniske Læreanstalt

af

E. v. Holstein Rathlou.

Andet Oplag.

København.

1912.

Tutein & Koch Tryk.

Indledning.

Mine Tilhørere!

Det vil være Dem alle bekendt, at Elektriciteten siden H. C. Ørsteds Dage har gennemgaaet en rivende Udvikling, og at den nu gaar sin Sejersgang over hele Jorden.

Det var Ørsteds Opdagelse af Elektromagnetismen i 1820, der var Begyndelsen til hele den moderne Elektroteknik.

I de nærmeste Aar derefter fandt Ampère Lovene for den gensidige Paavirkning imellem Elektricitet og Magnetisme.

I 1828 opdagede Amerikaneren Joseph Henry den magnetiske Induktion, og i 1831 fandt Faraday Lovene for Induktionsvirkningerne.

Den første magneto-elektriske Maskine konstrueredes af Franskmanden Pixii i 1832. Nu fulgte Opdagelser og Opfindelser hurtigt efter hinanden.

Det varede dog lige til 1854, inden Danskeren Søren Hjorth fandt Princippet for den selvmagnetiserende Maskine (Dynamoprincippet), der kommer paa Tvending ved Hjælp af Remanensen i Jernet. Han naaede dog ikke at udnytte Opfindelsen i Praksis, hvilket derimod lykkedes for Tyskeren Werner v. Siemens i 1857.

Den første teknisk brugbare Transformator udførtes i Aaret 1885 af Firmaet Ganz & Co, Budapest, og i 1890-91

byggedes det første europæiske Kraftoverføringsanlæg med højspændt Vekselstrøm fra Neckarfaldet ved Lauffen til Frankfurt, hvor trefaset Vekselstrøm overførte 100 HK. paa en Afstand af 170 km. ved Spændingen 8000 Volt.

I hele den paafølgende Udvikling, der fulgte efter Ørsted og Søren Hjort, deltog Danmark saa godt som ikke. Først i vor Tid har Valdemar Poulsens geniale System for traadløs Telegrafi paany gjort Danmarks Navn bekendt.

I de sidste faa Aar er der her i Landet opvokset en ret betydelig elektrisk Industri, samtidig med at Benyttelsen af den elektriske Energi stadigt er voksende. Det er da ret naturligt, at den polytekniske Læreanstalt har gjort Studiet af den praktiske Elektroteknik obligatorisk for alle Studieretninger.

Mine Tilhørere!

Det er ikke Meningen, at disse Foredrag skal indeholde nogen Anvisning til at kunne konstruere Maskiner eller Lamper eller andre Apparater.

Derimod er det Meningen, at De ved Hjælp af de Kundskaber, De her kan faa, skal blive sat i Stand til at vurdere de elektriske Maskiner og Apparater, som findes paa Markedet, og som De utvivlsomt en Gang før eller senere vil komme til at staa overfor i Deres Praksis. De skal kunne se, om De i et givet Tilfælde vil have Fordel af at anvende en Jerimotor

eller om en Skuntmotor maaske vil vare heldigere. De skal kunne vurdere, om det vil kunne betale sig for Dem, naar De staar som Leder eller som ansvarlig Ingeniør for en Fabrik, at gaa ind paa et Tilbud om at købe højspandt Strøm fra Kraftledninger i Nærheden, eller om vedkommende Selskab, der driver Kraftledningerne ikke muligvis vil søge at udbytte Dem.

Paa nogen fuldt udtømmende Maade kan jeg ikke give Dem alt dette i de faa Timer, der er stillet mig til Raadighed, men Forelæsningerne her vil give Dem en fast Ramme, et Grundlag, hvorpaa De selv engang vil kunne arbejde videre, og saaledes at De vil kunne forstaa at benytte de almindelige gængse Haandbøger.

En god og let tilgængelig Lærebog er: Dr. E. Blattner: „Lehrbuch der Elektrotechnik". Denne er delt i 2 Bind, samlet Pris: Kr. 14,60. Den indeholder paa adskillige Omraader betydeligt mere end disse Forelæsninger, paa andre Omraader for lidt.

En virkelig Haandbog med en Del gode Oplysninger og adskillige nyttige Tabeller er „Deutscher Kalender für Elektrotechniker" af Uppenborn, Pris Kr. 4,50.

Til Hjælp ved Overslagsberegninger faas en god Støtte i Hoppe: „Wie stellt man Projekte, Kostenanschläge und Betriebskostenberechnungen für elektrische Licht- und Kraftanlagen auf?"

Endvidere kan anbefales Goldschmidt: „Die normalen Eigenschaften elektrischer Maschinen." Pris Kr 2,70

En underholdende, fuldtud moderne og paalidelig Bog er Helge Holst: „Elektriciteten" (Frem 1910-11).

Ved Udforelsen af elektriske Staerkstromsanlag bliver det nodvendigt at anskaffe „Forskrifter for Udforelse og Drift af elektriske Staerkstromsanlag, udgivne af Elektricitetskommissionen." Bogens Forskrifter skal folges under Mulkt. ansvar. Den koster 1 Kr.

Jeg forudsatter, at Hovedpunkterne af Fysikens Elektricitetslare endnu erindres, og jeg skal derfor ikke spilde Tiden med at gennemgaa de elementaere Grundbegreber eller de mere fysisk-videnskabelige Teorier.

Ved de elektrotekniske Kunstudtryk, der lyder vaesentligt anderledes paa engelsk og tysk er en Oversattelse vedfojet i Saranthes, saaledes at Rakkefolgen i Saranthesen er [engelsk - tysk].

Maaleenhederne.

Følgende Maaleenheder bruges i den praktiske Elektroteknik. Ved Siden af er tilføjet deres Værdi i det Maalesystem (c.g.s), der sædvanlig anvendes i Fysiken:

Strømstyrke [current - Strom]	1 Amp	$= 10^{-1}$ abs. Enhed
Spænding [potential, tension - Spannung]	1 Volt	$= 10^{8}$ " "
Elektricitetsmængde	1 Coulomb	$= 10^{-1}$ " "
Modstand [resistance - Wiederstand]	1 Ohm	$= 10^{9}$ " "
Kapacitet	1 Farad	$= 10^{-9}$ " "
Induktivitet	1 Henry	$= 10^{9}$ " "
Arbejdsevne, Effekt [power, rating - Leistung]	1 Watt	$= 10^{7}$ " "
Arbejdsmængde [output - Arbeit]	1 Joule	$= 10^{7}$ " "
-"- -"- -"-	1 Watttime	$= 3600 \cdot 10^{7}$ " "

Endvidere benyttes meget ofte følgende Værdier:

1 Milliampere $= \frac{1}{1000}$ Ampere
1 Millivolt $= \frac{1}{1000}$ Volt.
1 Kilovolt $= 1000$ Volt.
1 Megohm $= 10^{6}$ Ohm.
1 Mikrofarad $= 10^{-6}$ Farad.
1 Hektowatt $= 100$ Watt.
1 Kilowatt $= 1000$ Watt.

Det skal her bemærkes, at elektrisk Effekt eller Arbejdsevne altid udtrykkes i Watt, H.W., eller K.W., men ikke

i Volt-Ampère. Dette kan nemlig ved Vekselstrøm betyde noget helt andet, hvorom forklares nærmere senere.

Arbejdsmængden eller Arbejdsydelsen angives gerne i Joule eller i K.W.T.

$$1\ K.W.T. = 60^2 \cdot 1000 = 3{,}6 \cdot 10^6\ Joule.$$

Det erindres at:

$$1\ Joule = 0{,}24\ g°.$$

Man har da følgende Sammenhæng mellem mekaniske, thermiske og elektriske Enheder:

1 H.K.	= 75 mkg/sec	= 736 Watt	= 176,5 g°/sec
1 mkg/sec	= 0,0133 H.K.	= 9,81 Joule/sec	= 2,35 g°/sec
1 Joule	= 0,00136 H.K.Sek.	= 0,102 mkg	= 0,24 g°.
1 g°	= 0,427 mkg	= 4,19 Joule	= 0,00567 H.K.Sek.
1 kg°	= 427 mkg	= 4190 Joule	= 5,67 H.K.Sek.

$1\ H.K.T. = 60^2 \cdot 1\ H.K.Sek. = 270.000\ mkg.$

$1\ K.W.T = 3{,}6 \cdot 10^6\ Joule = 1{,}36\ H.K.T = 367.200\ mkg = 864\ kg°.$

Elektromagnetismen.

Grundlaget for alle Beregninger vedrørende Elektromagnetisme er Coulombs Lov, der udtaler, at den Kraft, hvormed to magnetiske Masser m_1 og m_2, anbragte i den indbyrdes Afstand a, paavirker hinanden, er

$$K = \frac{m_1 \cdot m_2}{a^2} \text{ Dyn.}$$

Endvidere Biot og Savarts Lov, der giver den Kraft dk, hvormed en Sol m paavirkes af et Lederelement dl, der i Afstanden a cm. danner Vinklen α med Retningslinjen til Solen, og som gennemløbes af Strømmen i Amp, idet:

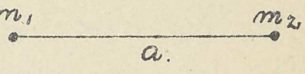


Fig. 1.

$$dk = \frac{1}{10} i \cdot \frac{m \cdot dl \cdot \sin\alpha}{a^2} \text{ Dyn.}$$

Denne Kraft virker vinkelret paa et Plan lagt gennem Solen og Lederelementet (Papirets Plan).

En saadan frit bevægelig Enhedspol vil beskrive en Kraftlinje, der i dette Tilfælde er en Cirkel rundt om Lederen (Fig 2). Bevægelsen er med en Skruetrækker, naar dennes Spids vender i Strømretningen.

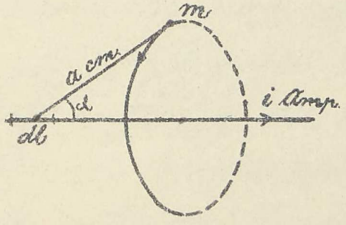


Fig. 2.

Man kan ogsaa anvende Haandreglen, idet man med <u>højre</u> Haand griber rundt om Lederen, saaledes at den strittende Tommelfinger peger i Strømretningen. Kraften paa Magnetpolen vil da gaa i Retning ud af Fingerspidserne.

Naar m er en positiv Enhedspol, kaldes Kraften Sāk for Feltstyrken i vedkommende Punkt, og man benytter da Betegnelsen H. Altsaa

$$H = \frac{1}{10} i \cdot \frac{\int dl \cdot \sin\alpha}{a^2} \text{ Dyn.}$$

Det maa her erindres, at Feltstyrken paa et givet Sted er lig Antallet af Kraftlinier pr cm^2.

Ved Hjalp af denne Ligning kan man beregne Feltstyrken He i Endefladen af en Traadspole (Solenoide) med n Vindinger, der gennemlöbes af Strömmen i, og hvis Akse har Længden l cm (Fig 3).

(Beregningen fordres ikke udfört)

$$He = 0{,}2\pi \cdot \frac{i \cdot n}{l}$$

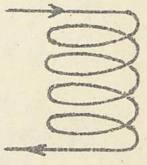


Fig. 3.

Böjes Solenoiden, saa de to Endeflader kommer sammen, vil en Enhedspol, anbragt her, tiltrækkes af Kraften He til den ene Side og frastödes fra den anden Side af en lige saa stor Kraft. Den paavirkes altsaa ialt af Kraften 2 He.

Naar Solenoiden saaledes lukkes sammen, dannes der et lukket magnetisk Kredsløb (Fig 4), og for dette gælder altsaa følgende Formel

$$H = \frac{0{,}4\pi \, n \, i \,(amp.)}{l \,(cm.)}$$

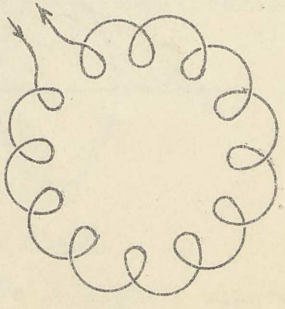


Fig. 4.

En Solenoiden lagt om en Jernkerne, kan den skabe ü Gange saa

mange Kraftlinier som i Luften, d. v. s. Jernet leder de magnetiske Kraftlinier μ Gange saa godt som Luften.

Antallet af Kraftlinier bliver da i Jern = μH.

Man siger, at Jernet har Permeabiliteten μ. For Luften er $\mu = 1$.

Antallet af Kraftlinier pr. cm^2 i Jernet kaldes B, og i Luften kaldte vi Antallet pr. cm^2 for H. Vi har, altsaa heraf:

$$B = \mu H. \quad \text{eller}$$

$$B = \mu \cdot \frac{0{,}4\pi \cdot n \cdot i^{amp}}{l^{cm.}}$$

Den samlede Kraftliniestrøm er $\Phi = B \cdot Q^{x)} = \mu \cdot 0{,}4\pi \cdot ni \frac{Q}{l}$

μ er ikke konstant, men varierer med Jernets Mætning og med Jernets Art. Man plejer derfor at benytte en Kurve for Fremstillingen af B.

Skrives Formlen saaledes:

$$\frac{B \cdot l}{\mu \cdot 0{,}4\pi} = ni$$

x) Q er Jernets Tværsnit maalt i. cm^2.

ses det let, at naar $l = 1^{cm.}$, bliver ni det Antal Ampèrevindinger, der skal til for at drive en saadan Kraftstrøm gennem 1 cm af Jernet, at Indüktionen bliver B. Vi betegner denne Størrelse ved AV.

Det Antal AV., der er nödvendigt for at frembringe Indüktionen B, naar Kraftlinierne skal gaa en Vej paa 1 cm. Længde igennem Jernet, afsættes som Abscisse med B som Ordinat. Man faar da forskellige Kurver for de forskellige Jernsorter (Fig 5).

Eksempel: En Jernring af blödt Jern med et Tværsnit

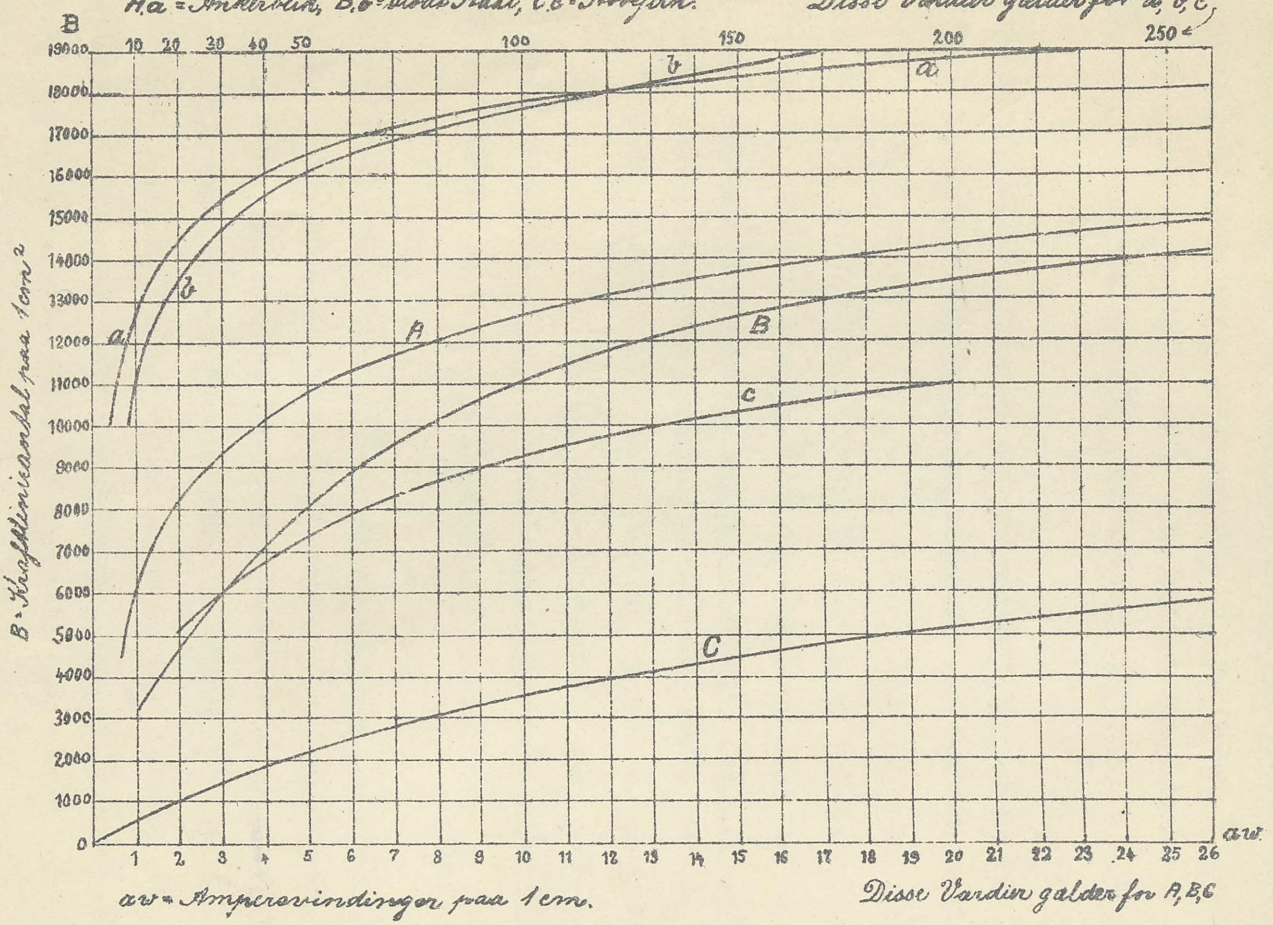

A.a = Ankerblik, B.b = blödt Staal, C.c = Støbejern.
Disse Vardier galder for a, b, c,
B
B = Kraftlinieantal paa 1 cm²
av
av = Ampervindinger paa 1 cm.
Disse Vardier galder for A, B, C

Fig. 5.

paa Q cm^2 og en Længde paa l cm skal omvikles med en Spole, saa vi faar en Induktion lig B_1.

Af Kurven udtages, at til B_1 svarer Ampèrevindingerne $(av)_1$. Det samlede Antal Kraftlinier er $\varphi = B_1 \cdot Q$.

$(av)_1$ er altsaa nødvendigt for at drive B_1 Kraftlinier gennem 1 cm Længde og 1 cm^2 Tværsnit af Jernet.

Gennem det Q Gange større Tværsnit skal drives Q Gange saa mange Kraftlinier, hvortil kun behøves de samme $(av)_1$ Ampèrevindinger, idet Modstanden jo samtidigt er bleven Q Gange saa lille. Der er Q Gange bedre Plads til Kraftlinierne end der var før.

Gennem den l cm lange Vej i Jernet kræves l Gange saa mange Ampèrevindinger, altsaa

$$A.V. = l \cdot (av)_1 .$$

Det er nu ligegyldigt, om vi tager Strømmen i og Vindingstallet n, eller Strømmen $\frac{i}{2}$ og Vindingstallet 2n, blot skal vi sørge for, at Strøm Gange Vindinger er lig A.V.

Saafremt den magnetiske Kreds, hvori Kraftlinierne forløber, ikke som her bestaar af en simpel Ring af samme Materiale og samme Tværsnit overalt, men er sammensat af flere forskellige Stykker (Fig 6) af Materialerne 1, 2, 3 etc. og af Tværsnittene Q_1, Q_2, Q_3 etc. af Længderne henholdsvis l_1, l_2, l_3 etc. faas, at de A.V., som er nødvendige til at drive en given Kraftliniestrøm φ gennem det

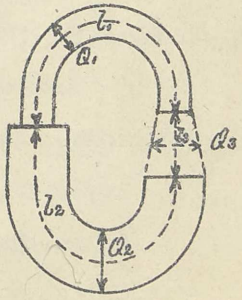


Fig. 6.

hele Kredsløb, kan beregnes af.

$$A\,V_{totalt} = l_1 \cdot av_1 + l_2 \cdot av_2 + l_3 \cdot av_3 \ldots$$

For hvert enkelt Stykke findes av som foran angivet, idet man beregner $B = \frac{\Phi}{Q}$, og af Magnetiseringskurven for det paagaldende Materiale opsøges det av, der svarer til det fundne B.

Det er, naar der ses bort fra ~~Spændingen~~ Spredningen, ligegyldigt, om de til hvert enkelt Stykke hørende AV anbringes her eller et andet Sted i det magnetiske Kredsløb. Det samlede Antal Ampèrevindinger $A\,V_{totalt}$ kan anbringes i een enkelt Spole paa eet enkelt Sted i Kredsløbet, eller anbringes i 2 eller flere Spoler fordelte paa 2 eller flere Steder i Kredsløbet.

Det magnetiske Kredsløb i en Maskine.

Saa denne Maade beregnes det magnetiske Kredsløb for elektriske Maskiner.

Som Eksempel skal her tages en 2 HK Jævnstrømsmotor (Fig. 7)

Kraftliniernes Vej i en Maskine kan deles i følgende Stykker:

Vejlængden i Aaget la, Tværsnit Qaa.
Vejlængden i Magnetpolerne 2 lm, Tværsnit Qm.
Vejlængden i Ankeret la, Tværsnit Qa.
Vejlængden i Luftmellemrummet 2 δ, Tværsnit Qδ.

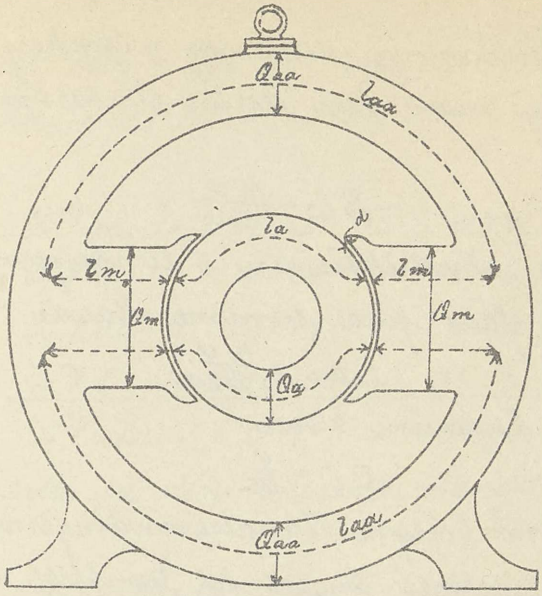


Fig. 7.

Antallet af Kraftlinier antages konstant lig Φ, idet vi her ser bort fra, at en Del af de i Magnetpolerne af Magnetiseringsspolerne frembragte Kraftlinier ikke löber gennem Ankeret, men i spreder sig udenom dette og saaledes ikke skærer Ankerets Ledere.

Antallet af saaledes unyttige Kraftlinier kan være ret stort og er i Almindelighed 15 à 25 %. Spredningen [strayflux - Streuung] er overordentlig afhængig af Maskinens Konstruktion.

I Magnetpolerne gaar Kraftlinieantallet eller Kraftstrømmen Φ. Hvis Polen har et Tværsnit Qm, faar vi en Induktion Bm i Polen, som er bestemt af

$$Bm = \frac{\Phi}{Qm}.$$

Kraftliniestrømmen deler sig i Ankerjernet i 2 lige store Dele, og man faar derfor Ankertværsnittet bestemt af

$$Ba = \frac{\frac{1}{2}\Phi}{Qa}$$

hvor Ba er Indüktionen i Ankerjernet.

I Aaget faas paa samme Maade

$$Baa = \frac{\frac{1}{2}\Phi}{Qaa}.$$

I de to Luftrüm bliver

$$Bl = \frac{\Phi}{Ql}.$$

Vi vil nü beregne Ampèrevindingerne for denne Maskine med Ankeret bygget af Jernblik, Magnetkærner og Aag af Staal.

Vi kender følgende:

$\Phi = 1{,}3\ 10^6$

$Qm = 87\ cm^2$, $lm = 7\ cm.$

$Qa = 38\ cm^2$, $la = 14\ cm.$

$Qaa = 50\ cm^2$, $laa = 50\ cm.$

$Ql = 165\ cm^2$, $\delta = 0{,}25\ cm.$

Heraf findes følgende Indüktioner:

$Bm = 15000$

$Ba = 17000$

$Baa = 13000$

$Bl = 7900$

Af Jernkürverne findes:

$av_m = 33$

$av_a = 74$

$av_{aa} = 17$

av_l beregnes af $av_l = \frac{1}{0{,}4\pi} \cdot H$, men for Luft er $H = Bl$, hvorfor faas: $av_l = 0{,}8\, Bl = 6300$.

Heraf faas:

$$\begin{aligned} aV_m &= 2 \cdot 7 \cdot 33 = 462 \\ aV_a &= 14 \cdot 74 = 1036. \\ aV_{aa} &= 50 \cdot 17 = 850. \\ aV_l &= 2 \cdot 0{,}25 \cdot 6300 = 3250. \\ aV_{totalt} &= \Sigma aV = 5598. \end{aligned}$$

(Jeg vil Mærke til den kolossale Mængde aV, ~~der naar~~ for Luftrummet)

Af Hensyn til Spredningen, Usikkerhed ved Beregningen o.s.v. lægges hertil ca. 25%, hvorved faas

$$aV_{totalt} = 7000.$$

Maskinen er viklet som Seriemotor, d.v.s: selve Ankerstrømmen føres rundt omkring Magnetpolerne.

Er Maskinens Virkningsgrad 80%, og arbejder den ved Spændingen 440 Volt, faas den fra Nettet optagne Energi, naar Maskinen skal afgive 2 HK:

$$KW = \frac{HK \cdot 0{,}736}{\eta}$$

$$KW = \frac{2 \cdot 0{,}736}{0{,}80} = 1{,}83\ KW.$$

$$\frac{EJ}{1000} = 1{,}83.$$

$$J = \frac{1830}{440} \cong 4{,}1\ Amp.$$

$$aV_{totalt} = 7000 = n \cdot J = n \cdot 4{,}1$$

$$n = \frac{7000}{4{,}1} = 1700.$$

Disse 1700 Vindinger fordeles med Halvdelen paa hver af Maskinens to Soler.

Det vil heraf kunne ses, at en elektrisk Maskines magnetiske Forhold kan beregnes, naar blot φ kendes

Vi skal senere se, hvorledes det er muligt at beregne φ.

En Elektromagnets Bæreevne.

Til Magnetiseringen benyttes Jævnstrøm. Induktionen i Jernet er B. (Fig 8). Antallet af Kraftlinier er $B \cdot Q$.

Fra en Enhedspol udgaar 4π Kraftlinier, altsaa findes der i Jernstykket

$$\frac{B \cdot Q}{4\pi} \text{ Enhedspoler}$$

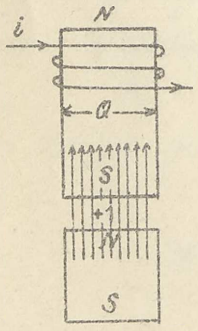


Fig. 8.

B er Feltstyrken d: B er den Kraft (i Dyn), hvormed en magnetisk Nordpol paavirkes, naar den anbringes i Feltet mellem Magneten og Jernet. Den frastødes da af alle Nordpolerne i Jernstykket og tiltrækkes af alle Sydpolerne i Magneten.

Denne Kraft er altsaa

$$B = \bar{u} \cdot \frac{0{,}4\pi \; ni}{l}.$$

Naar Enhedspolen tænkes at være en af de magnetiske Nordpoler i selve Jernstykket, vil det let indses, at Frastødningen ud af Stanet hidrørende fra alle de andre Poler, der ligger i samme Stav som den selv, maa være Nul.

Vi faar da kun den halve Kraft tilbage, nemlig Tiltrækningen til Magnetens Sydpol, eller:

$$\frac{1}{2}B = \frac{1}{2}\cdot\mu\cdot\frac{0{,}4\pi\, n i}{l}$$

$$\frac{1}{2}B = \mu\cdot\frac{0{,}2\pi\, n i}{l}$$

Denne Formel kender vi allerede, det er Feltet ved den ene Ende af en Elektromagnet.

Dette var Kraften paa en Enhedspol; paa alle $\frac{BQ}{4\pi}$ Poler bliver den samlede Kraft da:

$$K = \frac{BQ}{4\pi}\cdot\frac{B}{2}\,Q_{yn} = \frac{B^2Q}{8\pi}\cdot 1{,}02\,mg = 4B^2Q\cdot 10^{-8}\,kg.$$

Følgende Form af Ligningen huskes lettere: $K = \left(\frac{B}{5000}\right)^2\cdot Q\ kg.$

Magneten kan nu beregnes. Som Eksempel vælges en Hesteskomagnet (Fig 9).

Vi ønsker, at den skal kunne løfte 260 kg.
Hvert af Magnetens Ben løfter $\frac{260}{2} = 130$ kg.
Deraf:

$$130\ kg = 4B^2Q\cdot 10^{-8}.$$

Vi vælger en Induktion paa 18000 som passende for Smedejern, idet vi vil lave Hesteskoen af dette Materiale. Deraf faas:

$$Q = \frac{130\cdot 10^8}{4\cdot 18000^2} = 10\ cm^2.$$

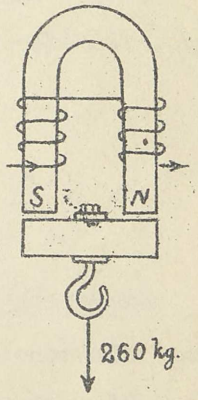


Fig. 9.

Ankeret gives samme Tværsnit, Induktionen bliver da her ligeledes 18000.

Hvormange Ampèrevindinger skal vi nu lægge paa Magneten?

Til $B = 18000$ svarer $av = 115$.

Kraftliniernes samlede Længde i Ankeret og Hesteskoen er maaske 50 cm.

Naar Ankeret er helt tiltrukket, er der en Luftafstand paa 0,05 cm, idet vi, for at Magneten let skal slippe, har lagt en 0,5 mm. tyk Messingplade under Polerne.

Den samlede Vej i Luften er da $2 \cdot 0{,}05 = 0{,}1$ cm.

AV_J for Jernet $= 50 \cdot av = 50 \cdot 115 = 5750$.

AV_L for Luften faas af:

$$B = 0{,}4\pi\left(\frac{ni}{l}\right)$$

$$\left(\frac{ni}{l}\right) = \frac{B}{0{,}4\pi} = av = 18000 \cdot 0{,}8 = 14400.$$

$$AV_L = l \cdot av = 0{,}1 \cdot 14400 = 1440, \text{ idet}$$

$$l = 2 \cdot 0{,}05 = 0{,}1 \text{ cm}.$$

$$ni = \Sigma AV = 5750 + 1440 = 7190.$$

Heraf kan n og i bestemmes under passende Hensyntagen til den disponible Driftsspænding.

Vekselstrøm

Naar en Vinding roterer i et magnetisk Felt, vil der opstaa elektromotoriske Kræfter i den, og saafremt den danner et lukket Kredsløb, vil der opstaa Strøm i den.

Vi vil gaa ud fra, at Vindingen bevæger sig i et homogent Felt.

Vindingen a - b (Fig. 10) omslutter som vist Maksimum af Kraftlinier, og dens Bevægelsesretning (Tangenten) er paralel til Kraftlinieretningen.

Den inducerede EMK er derfor i det viste Øjeblik 0. Man siger, at Vindingen befinder sig i den neutrale Zone.

I den derpaa vinkelrette Stilling er Tangenten til Bevægelsesretningen ⊥ paa Kraftlinierne, Vindingsplanet ∥ med Kraftlinierne og EMK er Maksimum, nemlig

$$E_{max} = B \cdot l \cdot v \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

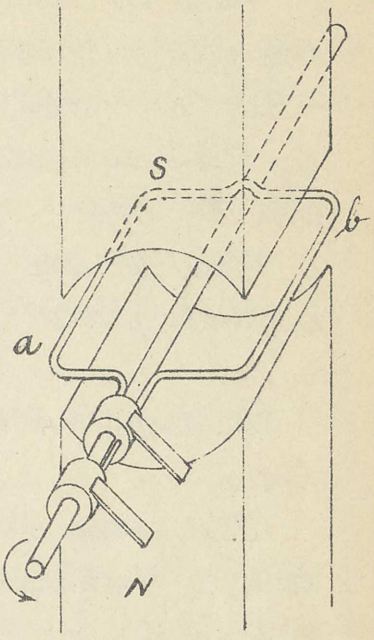


Fig. 10.

Denne Formel findes let af den almindeligt kendte simpleste Form for Loven for den opstaaede EMK, naar en Leder af Længden l bevæger sig i et homogent, magnetisk Felt φ (Fig 11)

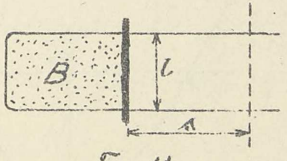


Fig. 11.

$$e = -\frac{d\varphi}{dt}$$

$$\varphi = BC.$$

$$d\varphi = B\,dC = B \cdot l \cdot ds.$$

$$e = -\frac{d\varphi}{dt} = -Bl \cdot \frac{ds}{dt}.$$

$\frac{ds}{dt}$ = Hastigheden v, <u>vinkelret paa Kraftlinierne</u>.

$$e = \div B \cdot l \cdot v.$$

Det negative Fortegn angiver, at e er negativ, naar den magnetiske Strøm vokser, og positiv naar Magnet-

strømmen aftager.

Naar en Vinding a-b drejer sig i et homogent magnetisk Felt, vil der i Lederne a og b opstaa en EMK lig $-Bav$ og $-Bbv$. Disse er saaledes rettede, at de adderer sig. Den samlede EMK i Vindingen er derfor $e = -Blv$, hvor $l = a + b$.

Naar vi ikke interesserer os for Retningen, og vi ønsker e udtrykt i Volt, faas

$$e = B \cdot l \cdot v \cdot 10^{-8}.$$

Vi drejer nu Vindingen rundt med den konstante Hastighed v.

I en skraa Stilling under Vinklen α med den neutrale Zone er Hastigheden (Fig 12) vinkelret paa Kraftlinierne kun $v \cdot \sin\alpha$.

Spændingen er derfor: $e = Blv \sin\alpha$, eller

$$e = E_{max} \cdot \sin\alpha$$

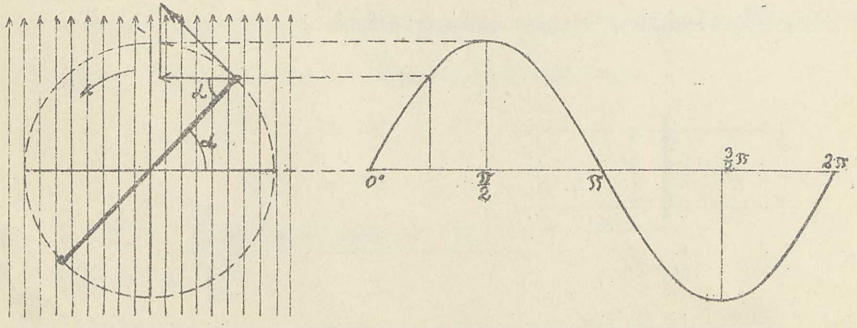


Fig. 12.

Denne momentane Værdi af Spændingen forandrer sig altsaa uafbrudt under Omdrejningen af Spolen. De

momentane Værdier udtrykkes altid i det følgende ved smaa Bogstaver).

Vi kan tegne Værdierne op som Ordinater, idet vi afsætter α som Abscisse. Kurven er en ren Sinuslinie, hvorfor man ofte kalder den opstaaede Spænding for „sinusformet".

Naar denne Spænding arbejder paa en ohmsk Modstand R (uden Induktion eller Kapacitet), vil Strømmen være ligedannet med Spændingen, idet den i saa Tilfælde følger Ohms Lov:

$$E = J \cdot R.$$

Den opstaaede Vekselstrøm er da en Sinusstrøm, som følger Loven:

$$i = J_{max} \cdot \sin \alpha$$

En sinusformet Spænding og Strøm kan selvfølgelig ogsaa opstaa, ved at en Vinding bevæger sig med konstant Hastighed v gennem et sinusformet Felt (Fig 13). Det er denne Metode, der som oftest anvendes i Praksis.

Ikke sjældent udtrykkes en sinusformet Strøm og Spænding paa en noget anden Maade. Vi betragter en 2polet Maskine (Fig 13):

I Tiden t drejer Vindingen sig Buen α

" " T " " " " 2π

Heraf faas:

$$\frac{t}{T} = \frac{\alpha}{2\pi}$$

$$\alpha = 2\pi \cdot \frac{t}{T}.$$

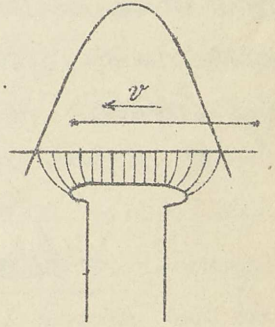


Fig. 13.

T er Tiden for en Drejning fra Vindingen befinder sig under en Nordpol til den atter er under en Nordpol.

Ved topolede Maskiner er T altsaa Tiden for en hel Omdrejning, for $2p$ polede Maskiner for $\frac{1}{p}$ Omdrejning (Fig 14).

Vi vedbliver for Simpelheds Skyld at betegne Længden af en hel Periode for 2π.

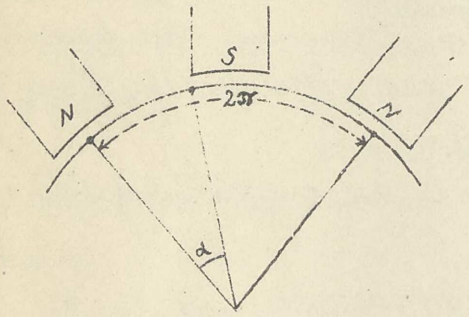


Fig. 14.

Maskinen gør n Omdrejninger i 60 Sek. d: i 1 Minut.

$\frac{1}{p}$ Omdrejn. tager da $\frac{60}{p \cdot n} = T$ Sek.

Heraf: $\frac{1}{T} = \frac{pn}{60} = \nu$

$$\alpha = 2\pi\nu t$$

$$e = E_{max} \cdot \sin(2\pi\nu t) = E_{max} \cdot \sin\alpha$$

$$i = J_{max} \cdot \sin(2\pi\nu t) = J_{max} \cdot \sin\alpha$$

De i Praksis forekommende Vekselspændinger og Strømme er sjældent af ren Sinusform, men Afvigelserne er som oftest ikke større end, at Regning med rene Sinuskurver vil give tilstrækkeligt gode Resultater. Jeg skal derfor i det følgende holde mig til det simpleste mulige Tilfælde, nemlig den rene Sinuslinie.

Maaling af Vekselstrøm.

Hvorledes skal vi nu maale denne Strøm? Skal den betegnes og udtrykkes ved sin Maksimalværdi J_{max}. eller ved sin Middelværdi J_{mid}, hvor

$$J_{mid} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} J_{max} \sin\alpha \cdot d\alpha ,$$

idet Integrationen kun udstrakkes over f. Eks. den positive Del af Strømmen. (Fig 15).

Ingen af Delene.

Strømmen kan udføre Arbejde f. Eks frembringe Varme, og det vil derfor være naturligst at definere Vekselstrømmens Værdi saaledes:

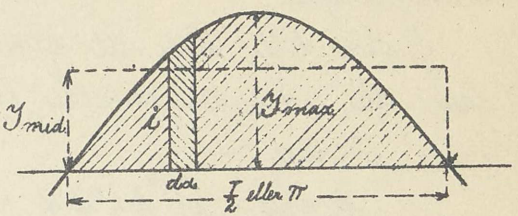


Fig. 15.

En Vekselstrøms Værdi maales ved det Tal, der angiver en Jævnstrøm med samme Arbejdsevne. (f. Eks. samme Varmeevne).

Den af en Jævnstrøm (J) i en given Modstand (R) udviklede Varmemængde (V) er som bekendt i en given Tid t:

$V = RJ^2 Joule = 0{,}24\, RJ^2 g°.$ eller $V = k \cdot J^2$.

For Vekselstrømskurven beregner vi for hver enkelt af de momentane Værdier (i) den i den tilsvarende lille Tid dt udviklede Varmemængde ki^2, som afsættes (Fig 16). Summen af disse enkelte Varmemængder giver den samlede Varmemængde, og af denne faas den søgte Værdi for Vekselstrømmen, den saakaldte effektive Strøm: J_{eff}. J_{eff} er altsaa lig den

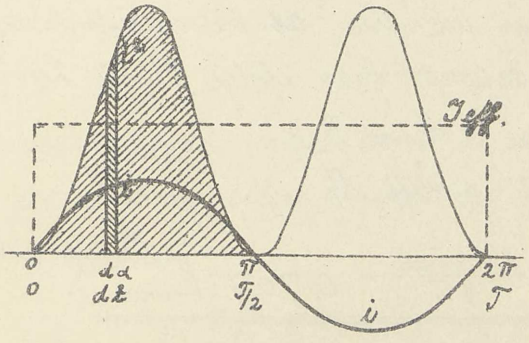


Fig. 16.

Jevnstrøm, som i samme Modstand vil frembringe samme Varmemængde.

I den lille Tid dt gennemløbes Vinklen $d\alpha$, og man faar da, idet de enkelte Varmemængder er proportionale med $i^2 \cdot d\alpha$:

$$k \cdot J_{eff}^2 = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} k i^2 d\alpha = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} k (J_{max} \sin\alpha)^2 d\alpha.$$

$$k \cdot J_{eff}^2 = \frac{k J_{max}^2}{\pi}\int_0^{\pi} \sin^2\alpha \, d\alpha$$

Nu er: $\int_0^{\pi} \sin^2\alpha \, d\alpha = \Big|_0^{\pi} \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{1}{4}\sin 2\alpha\right) = \frac{\pi}{2}$

Altsaa er: $k J_{eff}^2 = \frac{k J_{max}^2}{\pi} \cdot \frac{\pi}{2}$

$$\underline{\underline{J_{eff} = \frac{J_{max}}{\sqrt{2}} = 0{,}707 \cdot J_{max}}}$$

Den Spænding der frembringer Strømmen J_{eff} kalder vi for E_{eff}.

Idet vi stadigt gaar ud fra, at Varmeudviklingen sker i en rent ohmsk Modstand, faas ifølge Ohms Lov:

$$E_{max} = J_{max} \cdot R.$$

$$E_{eff} = J_{eff} \cdot R$$

Heraf faas:

$$\underline{\underline{E_{eff} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = 0{,}707 \cdot E_{max}}}$$

Vekselstrømmens Arbejdsydelse udtrykt i Watt bliver da:

$$A = E_{eff} \cdot J_{eff} = \frac{E_{max} \cdot J_{max}}{2}$$

Denne Formel kan ogsaa udledes direkte af Kurverne (Fig 17).

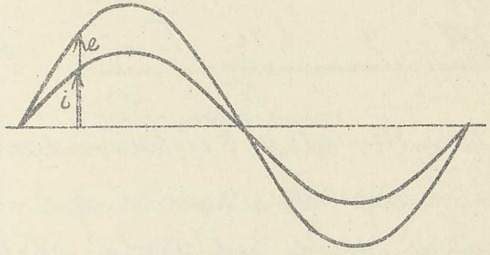


Fig. 17.

Den momentane Værdi (a) af Effekten er $a = e \cdot i$, eller:

$$a = E_{max} \cdot \sin\alpha \cdot J_{max} \sin\alpha \text{ Watt.}$$

$$\Sigma a = A = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} E_{max} \cdot \sin\alpha \cdot J_{max} \cdot \sin\alpha \, d\alpha$$

$$A = \frac{E_{max} \cdot J_{max}}{\pi} \int_0^{\pi} \sin^2\alpha \, d\alpha = \frac{E_{max} \cdot J_{max}}{2}$$

Det kunde være interessant at se, hvor meget Effektivværdien af Strøm eller Spænding afviger fra Middelværdierne J_m og E_m.

$$J_m = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} J_{max} \sin\alpha \, d\alpha = \frac{J_{max}}{\pi} \Big|_0^{\pi} - \cos\alpha$$

$$J_m = \frac{2}{\pi} J_{max} = 0{,}636 \cdot J_{max}.$$

Altsaa bliver

$$\frac{J_{eff}}{J_m} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot J_{max}}{\frac{2}{\pi} \cdot J_{max}} = 1,11.$$

$$J_{eff} = 1,11 \cdot J_m$$
$$E_{eff} = 1,11 \cdot E_m.$$

I Praksis benyttes altid Effektivværdierne, der gerne skrives uden Index (eff) simpelthen som E og J. Grafisk fremstilles Strøm og Spænding enten ved Hjælp af Vektordiagrammet eller ved Sinuslinien. I Vektordiagrammet kan man da efter Behag lade Radiusvector forestille Maksimal-, Middel- eller Effektivværdien. Alle Længderne multipliceres derved blot med visse konstante Tal; medens Vinklerne forbliver uforandrede. Figurerne vedbliver da at være ligedannede.
Naar Middel eller Effektivværdien afsættes, vil Sinuskurven ikke kunne konstrueres af Vektordiagrammet.

Vekselstrømmens Periodetal.

[frequency - Frequenz]

Ved en Vekselstrøms Periode forstaas den Tid i Sekunder Strømmen (eller Spændingen) bruger om at gennemløbe en hel Svingning, f. Eks. fra Strømmen passerer + Maksimum til Strømmen atter passerer + Maksimum.

Saadanne to Punkter, hvis Afstand er en hel eller flere hele Perioder siges at være i samme Fase.

Gør en topolet Maskine n Omdrejninger pr. Minut, kommer Strømmen i samme Fase n Gange i Minuttet

eller $\frac{n}{60}$ Gange pr. Sekund. Har Maskinen 2p Poler, sker det p Gange saa ofte, altsaa $\frac{pn}{60}$. Dette Tal, som angiver Antallet af Perioder pr. Sekund, kaldes Vekselstrømmens Periodetal eller Frekvens, og det betegnes gerne med Tegnet ν (udtales: per).

Altsaa:

$$\nu = \frac{pn}{60}$$

For Vekselstrøm der benyttes til Belysning vælges gerne Periodetallet 50. Til ren Banedrift benyttes ofte Periodetallene 25 eller 15. De lave Periodetal vil frembringe Blinkning i Lyset.

Vi vil for Fremtiden altid betragte Afstanden mellem 2 Nordpoler eller 2 paa hinanden følgende Punkter i samme Fase som havende en Afstand paa 360° eller 2π. Dette simplificerer Regningen med flerpolede Maskiner.

Addition af Vekselstrømme

To Vekselstrømme i_1 og i_2 (eller Vekselspændinger) af samme Periodetal, og som er i samme Fase, adderes (eller subtraheres) rent arithmetisk, hvilket let indses ved Betragtning af Vektordiagrammet eller Sinuslinien (Fig 18)

Den resulterende Strøm i_1+i_2 er da atter en Sinusstrøm.

Hvis de to Strømme eller Spændinger ikke er i Fase (Fig. 19), men danner en vis Vinkel φ med hin-

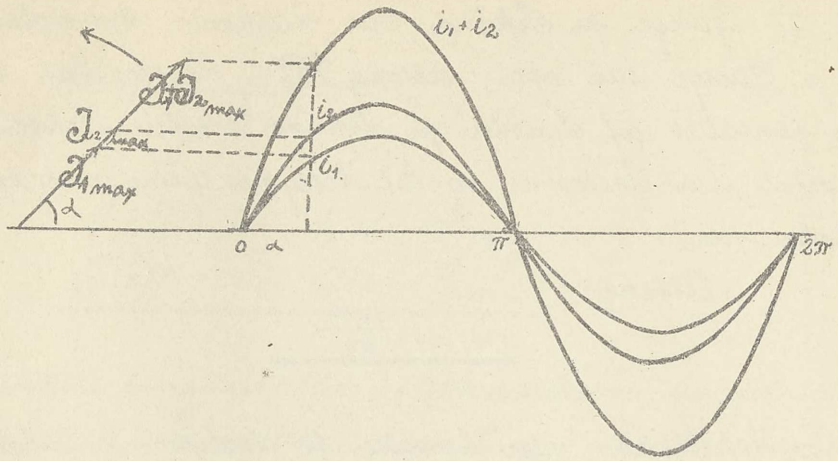


Fig. 18.

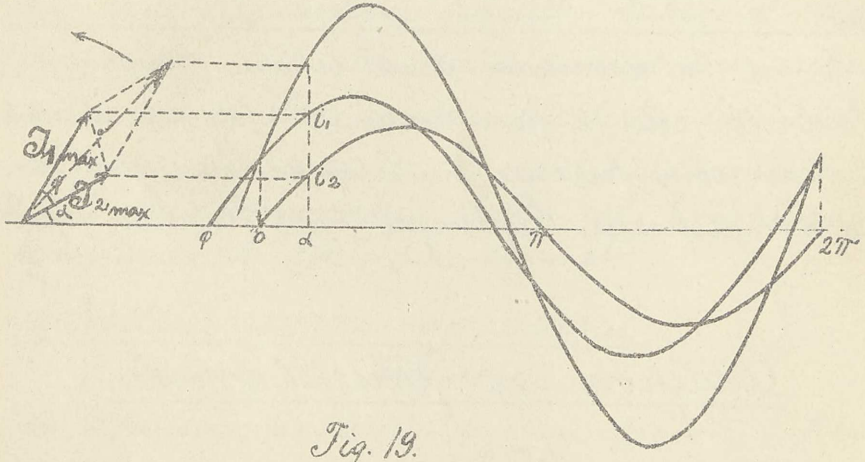


Fig. 19.

anden, skal Strømmene adderes geometrisk, idet de sammensættes ligesom Kræfter. Dette indses meget let, naar man summerer et Par lodret over hinanden liggende Momentanværdier i Sinuskurven og konstruerer den til Summen svarende Radiusvector. Denne bliver konstant, da jo J_{1max} og J_{2max} samt φ er konstante. Summen bliver

da saaledes en Sinūskūrve.

Har de to Strømme forskelligt Periodetal, kan de ikke behandles paa denne Maade, men man finder deres Sum J_s som den Strøm, der giver samme Varmeūdvikling.

$$k \cdot J_s^2 = k J_1^2 + k J_2^2$$

$$J_s = \sqrt{J_1^2 + J_2^2}$$

J_s er ingen Sinūskūrve.

Tekniske Vekselstrømme indeholder næsten altid svagere Strømme af højere Periodetal, de saakaldte „højere harmoniske Strømme". Disse „højere harmoniske" kan ofte være til ret stor Ulempe for Driften, dels kan de give Anledning til Overspændinger paa Systemet, dels kan de i Trefaseanlæg virke forstyrrende ind paa Telefonledninger. Man tilstræber derfor altid, at Strømmen kūn indeholder 1 Periodetal d. v. s. er en ren Sinūsstrøm.

Faseforskydning.

Det kūnde tænkes, at Strøm og Spænding i et Vekselstrømskredsløb ikke var i Fase med hinanden d: Strømmens positive Maksimūm svarer ikke til Spændingens + Maksimūm, men kommer foran eller bagved dette. Rent mathematisk set er dette ikke nogen Umūlighed, tværtimod.

I Praksis vil dette Tilfælde meget hyppigt indtræffe nemlig altid I naar Kredsløbet indeholder induktiv

Modstand, denne forsinker Strømmen, saa dens + Maksimum kommer senere end Spændingens + Maksimum.

2) naar Kredsløbet indeholder Kapacitet, denne suger Strømmen til sig, saa dens + Maksimum kommer førend Spændingens.

Tas paa, naar dette tegnes i Diagrammet. Strømmen i (Fig 20)

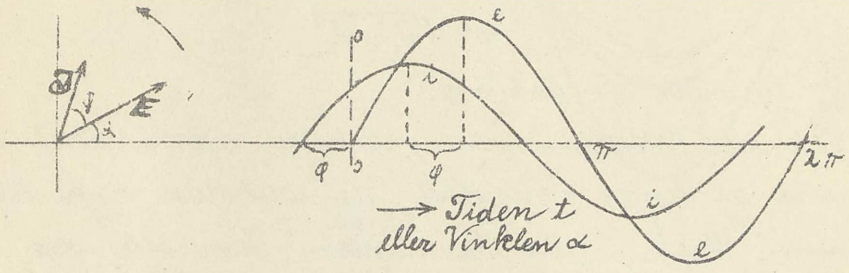


Fig. 20.

er foran Spændingen e, thi den har + Maksimum Længden φ førend e faar + Maksimum. φ er Faseforskydningen mellem Strøm og Spænding.

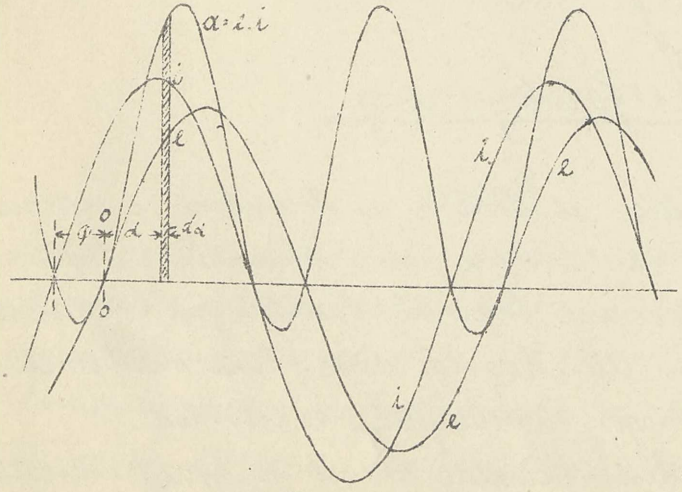


Fig. 21.

Hvorledes beregnes Energien, naar der er en Faseforskydning φ mellem Strøm og Spænding?

I et vilkaarligt Øjeblik (Fig 21) er

$$e = E_{max} \sin \alpha$$

$$i = J_{max} \sin (\alpha + \varphi)$$

Den momentane Effekt er da:

$$a = e \cdot i$$

$$a = E_{max} \cdot J_{max} \cdot \sin\alpha \cdot \sin(\alpha+\varphi).$$

Denne Effekt er konstant paa en uendelig lille Strækning $d\alpha$, og den repræsenteres af det skraverede Areal. Hele Fladens Areal er:

$$F = \int_0^{\pi} E_{max} \cdot J_{max} \sin\alpha \cdot \sin(\alpha+\varphi)\, d\alpha$$

Jeg skal bemærke til, at en Del af Arealet er negativt.

Dividerer F med Grundliniens Længde π, faas Middelordinaten eller den søgte Effekt A.

$$A = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} E_{max} \cdot J_{max} \sin\alpha \cdot \sin(\alpha+\varphi)\, d\alpha.$$

Det gælder nu at beregne:

$$x = \int_0^{\pi} \sin\alpha \cdot \sin(\alpha+\varphi)\, d\alpha.$$

$$\sin(\alpha+\varphi) = \sin\alpha\cos\varphi + \sin\varphi\cos\alpha.$$

$$x = \int_0^{\pi} \sin^2\alpha \cos\varphi\, d\alpha + \int_0^{\pi} \sin\alpha\cos\alpha \cdot \sin\varphi \cdot d\alpha$$

$$x = \cos\varphi \Big|_0^{\pi} \left(\frac{\alpha}{2} - \sin 2\alpha\right) + \sin\varphi \Big|_0^{\pi} \frac{\sin^2\alpha}{2}$$

$$x = \frac{\pi}{2}\cos\varphi.$$

$$A = \frac{1}{\pi} \cdot E_{max} \cdot J_{max} \cdot \frac{\pi}{2}\cos\varphi.$$

Da vi jo ikke plejer at regne med Maksimalværdierne, men med Effektivværdierne indsætter vi:

$$E_{max} = E_{eff} \cdot \sqrt{2} \quad \text{og}$$
$$J_{max} = J_{eff} \sqrt{2} .$$

Altsaa bliver for en simpel Vekselstrøm:

$$\underline{A = E_{eff} \cdot J_{eff} \cdot \cos \varphi .}$$

Naar vi vil diskutere dette Resultat, ses det (Fig 22), at vi kun faar Nytte af den Del af Strømmen, som er i Fase med Spændingen. Denne Del af Strømmen er nemlig $i \cos \varphi$, ellers naar vi benytter Effektivværdien: $J_{eff} \cdot \cos \varphi$. Denne Del af Strømmen kaldes Wattstrømmen, fordi den multipliceret med Spændingen giver Watt. Den anden Del af Strømmen $J_{eff} \cdot \sin \alpha$, staar vinkelret paa Spændingen og giver ingen Watt. Den kaldes Strømmens wattløse Komponent. Denne wattløse Strøm kan intet Arbejde udrette, og der skal derfor heller intet Arbejde anvendes for at skaffe den tilveje. Dog vil den indirekte kræve lidt forøget Arbejde.

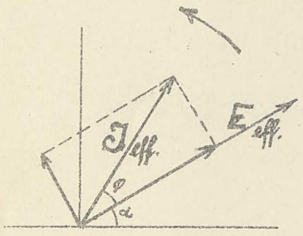


Fig. 22.

Forlanger vi saaledes den ene Gang, at der gennem en Ledning med en Modstand $R = \frac{1}{10}$ Ohm skal tilføres et Forbrugsapparat f. Eks. 300 Amp ved 1000 Volts Spænding og $\cos \varphi = 1$ (ingen Faseforskydning mellem Strøm og Spænding), saa vil der i Ledningerne gaa en vis Energimængde tabt.

nemlig: RJ^2, hvor $J = 300$ Amp., og Dynamoen skal afgive en Energi $300 \cdot 1000 + R \cdot 300^2 = 309$ KW.

Ved en anden Leilighed kræver Forbrugsapparatet den samme Energimængde = 300 · 1000 Watt, men der er nu en Faseforskydning i Apparatet paa $\cos \varphi = 0{,}85$.

Der gaar da en meget større Strøm J i Ledningen, som vi let kan beregne: (Fig 23).

$$J_{watt} = 300 \text{ Amp} = J \cos \varphi = J \cdot 0{,}85.$$

Altsaa er $J = \frac{300}{0{,}85} = 353$ Amp.

Dynamoen skal nu afgive et Arbejde paa:

$$300 \cdot 1000 + R \cdot 353^2 = 300 + 12{,}5 = 312{,}5 \text{ KW}.$$

Selve Tabet ved Kraftoverføringen er nu blevet forøget med ca. 40 % ~~stiget~~ paa Grund af unyttig Opvarmning hidrørende fra den unyttige wattløse Strøm. Tabet var før 3% af det overførte Energi, med Faseforskydningen er det nu 4,2 %.

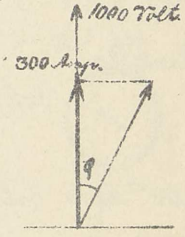


Fig. 23.

Dertil kommer endvidere, at Dynamoen skal magnetiseres stærkere for at kunne give den større Strøm. Dette giver ogsaa Tab. Den stærkere Opvarmning af Maskinen og af Ledningen gør, at man naar Grænsen for den tilladelige Belastning tidligere, end hvis Maskinen og Ledningen kun var belastet med Wattstrøm. En Maskines Opvarmning er nemlig afhængig af den Strøm, der gaar gennem dens Viklinger, hvadenten denne Strøm er wattløs eller ikke. En Maskines Belastningsevne er derfor afhængig ikke af Kilo-Watt men af Kilo-Volt-Ampere, hvor

$$KVA = \frac{KW}{\cos \varphi} \text{ idet } KVA = \frac{E \cdot J}{1000}, \quad KW = \frac{E \cdot J \cdot \cos \varphi}{1000}.$$

Den Dampmaskine eller Dieselmotor, som trækker Dynamoen faar altsaa ved Faseforskydning kun ganske lidt mere at trække, svarende til de forøgede Tab, der hidrører fra den større Strøm. I store Træk kan man sige, at Dampmaskinens Arbejde forøges ikke, naar der optræder Faseforskydning.

<u>Den elektriske Maskine skal altsaa dimensioneres og bestilles fra Fabrikken efter KVA. Dampmaskinen dimensioneres og bestilles efter KW.</u>

<u>Eksempel:</u>

Hvor stor en Strøm optager en enfaset Vekselstrømsmotor paa 20 HK, der arbejder med en Faseforskydning paa 0,87 og hvis Virkningsgrad er 85% Spændingen er 500 Volt. De afgivne HK svarer til $20 \cdot 0{,}736 = 14{,}72$ KW. De optagne KVA er lig:

$$\frac{\text{afgivne KW}}{\eta \cdot \cos\varphi} = \frac{14{,}72}{0{,}85 \cdot 0{,}87} = 20 \text{ KVA}.$$

Dette er den tilsyneladende optagne Effekt, som man ogsaa faar ved at multiplicere de aflæste Volt med de aflæste Ampère.

Strømmen faas da lig $\frac{20 \cdot 10^3}{500} = 40{,}0$ Amp.

Den virkelige optagne Effekt er (Fig 24):

$$\frac{\text{afgivne KW}}{\eta} = \frac{14{,}72}{0{,}85} = 17{,}32 \text{ KW}.$$

Wattstrømmen er da $\frac{17{,}32 \cdot 10^3}{500} = 34{,}6$ Amp.

Følgelig er $\frac{J_w}{J} = \cos\varphi$; $\frac{346}{400} = 0{,}87$

Den wattløse Strøm faas lettest af:

$J_{wl} = \sqrt{40{,}0^2 - 34{,}6^2} = 20{,}0$ Amp.

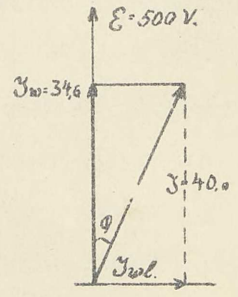


Fig 24.

Saadanne faseforskudte Strømme hidrører enten fra induktiv Virkning eller fra Kapacitet.

Wattmeteret.

Ligningen: Watt = $E_{eff} \cdot J_{eff} \cdot \cos\varphi$
viser os, at man ikke altid faar den øjeblikkelige Effekt, naar man multiplicerer den paa et Voltmeter aflæste Spænding i Volt med den paa et Ampèremeter aflæste Strøm i Ampère.

Saaledes kan man bære sig ad ved Jævnstrøm; men ved Vekselstrøm kun, naar man er sikker paa, at der ingen Fasefor skydning findes, d. v. s. naar $\cos\varphi = 1$.

Da det ikke er let at vide, naar dette er Tilfældet, gør man ved Effektmaalingen ved Vekselstrøm altid bedst i at anvende et Wattmeter, der giver Effekten direkte i Watt.

Apparatet (Fig 25) har en Strømspole og en Spændingsspole, hvoraf den ene er bevægelig. Spolerne paavirkes i et givet Øjeblik hinanden med en Kraft, der er proportional med $e \cdot i$, $= E_{max} \sin\alpha \cdot J_{max} \cdot \sin(\alpha+\varphi)$. Middelpaavirkningen bliver da (se Teksten til Fig 21) proportional med:

$$\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} E_{max} \sin\alpha \cdot J_{max} \sin(\alpha+\varphi)\, d\alpha = E_{eff} \cdot J_{eff} \cdot \cos\varphi.$$

Udslaget er altsaa direkte proportionalt med de virkelige Watt.

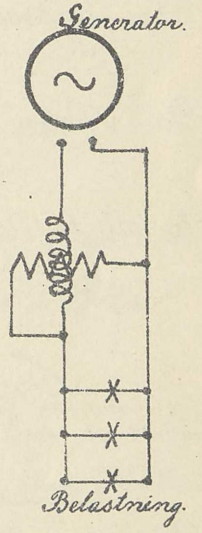


Fig 25.

Selvinduktionens elektromotoriske Kraft.

Overalt, hvor en Strøm forandrer sin Styrke eller Retning, (eller hvor Kraftlinieantallet, der omsluttes af en Vikling, varierer), vil der i en Naboleder opstaa en inducéret elektromotorisk Kraft.

Det samme vil ske, naar Strømstyrken i en Solenoide forandrer sig. De af en af Vindingerne i Spolens Indre fremkaldte Kraftlinier vil ogsaa gaa gennem de andre Vindinger, og ved Forandringen af Kraftlinietallet (φ) vil der i disse andre Vindinger opstaa en inducéret EMK, der vil søge at modvirke Forandringen.

Den opstaaede EMK er for hver Vinding:

$$e_s = -\frac{d\varphi}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Da Spolen har N Vindinger faas den samlede EMK:

$$e_s = -N \cdot \frac{d\varphi}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Vi har tidligere fundet et Udtryk for φ, nemlig:

$$\varphi = 0{,}4\pi \cdot N J \cdot \mu \cdot \frac{Q}{l}$$

, altsaa: $d\varphi = 0{,}4\pi \cdot N \cdot di \cdot \mu \cdot \frac{Q}{l}$

$$e_s = \div 0{,}4\pi \cdot N^2 \cdot \mu \frac{Q}{l} \cdot \frac{di}{dt} \cdot 10^{-8}$$

Dette kan kortere skrives:

$$\underline{e_s = \div L \cdot \frac{di}{dt} \text{ Volt.}}$$

L kaldes Selvinduktionskoefficienten, og man har da:

$$\underline{L = 0{,}4 \cdot \pi N^2 \cdot \mu \frac{Q}{l} \cdot 10^{-8} \text{ Henry.}}$$

Hvis Strømmen i er en Vekselstrøm og følger Loven:

$$i = \mathfrak{J}_{max} \sin\alpha = \mathfrak{J}_{max} \cdot \sin(2\pi\nu t),$$

vil vi bestemme Selvindūktionens EMK.

$$e_s = -L \frac{di}{dt} \text{ Volt.}$$

$$di = d\left(\mathfrak{J}_{max} \cdot \sin(2\pi\nu t)\right) = \mathfrak{J}_{max} \cdot 2\pi\nu \cdot \cos(2\pi\nu t)$$

Nū er:

$$\cos(2\pi\nu t) = \cos\alpha$$

$$e_s = -2\pi\nu L \cdot \cos\alpha \cdot \mathfrak{J}_{max}$$

$$-\cos\alpha = \sin(\alpha - \tfrac{\pi}{2})$$

$$e_s = +2\pi\nu L \sin(\alpha - \tfrac{\pi}{2}) \cdot \mathfrak{J}_{max}$$

Den største Værdi af e_s faas for $\sin(\alpha - \frac{\pi}{2}) = 1$.

$$E_{s\,max} = +2\pi\nu L \cdot \mathfrak{J}_{max}$$

Heraf faas igen ved Division med $\sqrt{2}$

$$\underline{\underline{E_{s\,eff} = 2\pi\nu L \cdot \mathfrak{J}_{eff}}}$$

Ved Sammenligning med Ohms Lov: $E = R \cdot \mathfrak{J}$ ses det, at $2\pi\nu L$ repræsenterer en Slags Modstand, som kan maales i Ohm.

Det ses af Ligningen:

$$e_s = 2\pi\nu L \cdot \mathfrak{J}_{max} \sin(\alpha - \tfrac{\pi}{2}) = k_1 \cdot \sin(\alpha - \tfrac{\pi}{2}).$$

at e_s er 90° forskūdt for ~~$\mathfrak{J}$~~ i, idet jo:

$$i = \mathfrak{J}_{max} \sin\alpha = k_2 \sin\alpha.$$

Forskydningen er bagūd, saaledes at Selvindūktionsspændingens positive Maksimum kommer $\frac{\pi}{2}$ (en kvart Periode) bag efter Strømmen (Fig 26).

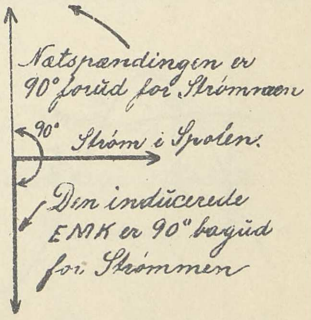


Fig 26.

Den EMK. der driver Strømmen igennem Spolen imod denne elektromotoriske Modkraft, maa derfor være lige saa stor og modsat rettet.

Netspændingen bliver saaledes 90° forud for Strømmen eller Strømmen er 90° bagud for Netspændingen.

Kapaciteten.

En Kondensators Kapacitet C maalt i Farad er Forholdet mellem Ladningen Q maalt i Coulomb og Ladespændingen E maalt i Volt. Altsaa:

$$C = \frac{Q}{E} \quad \text{eller} \quad Q = C \cdot E$$

Jo større Kapaciteten er, og jo større Spændingen er, des større Ladning kan Kondensatoren optage.

Vi vil nu oplade en Kondensator med Vekselstrøm (Fig 27), idet vi tilslutter den til et Vekselstrømsnet.

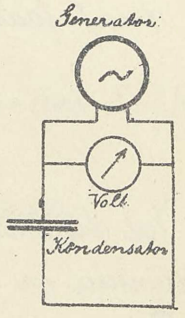


Fig. 27

Naar Tilstanden er bleven stationær, har man:

$$E = E_{max} \cdot \sin \alpha = E_{max} \sin(2\pi \nu t).$$

Vi vil søge Loven for den Strøm, der oplader Kondensatoren (Fig 28).

Strømkurven er foreløbig ubekendt.

Saa et vilkaarligt Tidspunkt t er Strømmen i, og Spændingen er e.

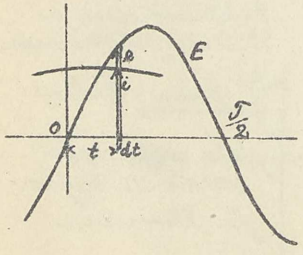


Fig. 28

I Løbet af Tiden dt faar Kondensatoren tilført en Ladning

$$dQ = C \cdot de$$

eller ogsaa

$$dQ = i \, dt$$

Deraf faas

$$i \cdot dt = C \cdot de$$

Men vi ved, at:

$$de = d(E_{max} \sin(2\pi\nu t)) = 2\pi\nu E_{max} \cdot \cos(2\pi\nu t)\, dt.$$

Idet dette indsættes, faas:

$$i = 2\pi\nu C \cdot E_{max} \cdot \cos(2\pi\nu t)$$

eller

$$i = 2\pi\nu C \cdot E_{max} \cos\alpha.$$

For $\cos\alpha = 1$; $\alpha = 0$ faas den største Værdi af Strømmen

$$J_{max} = C\omega \cdot E_{max}, \text{ idet } 2\pi\nu = \omega.$$

Ved Division med $\sqrt{2}$ faas:

$$\underline{J_{eff} = C\omega \cdot E_{eff}}$$

eller

$$\underline{J_{eff} = 2\pi\nu C \cdot E_{eff}.}$$

Denne Ligning kan omskrives til

$$E_{eff} = \frac{1}{2\pi\nu C} \cdot J_{eff}$$

Sammenlignes dette med Ohms Lov $E = R \cdot J$, ses det, at $\frac{1}{2\pi\nu C}$ repræsenterer Modstanden i Kondensatoren. Altsaa:

Jo større Kapacitet og jo højere Frekvens, des større Strøm gaar der i Kondensatoren.

Kondensatoren kan betragtes som en Slags Modstand hvor igennem Strømmen gaar. Det elektriske Kredsløb afbrydes altsaa

ikke at en Kondensator, naar Strømmen er en Vekselstrøm.

En Jævnstrøm kan derimod ikke gaa gennem en Kondensator, fordi jo Frekvensen er 0.

Naar en Kondensator bliver tilsluttet til et Vekselstrømsnet, vil den stadigt blive ladet, saalange Spændingen vokser fra 0 til ± Maksimum.

Saa snart Spændingen begynder at aftage fra ± Maksimum mod 0, vil Kondensatoren blive afladet, d: Ladestrømmen har skiftet Retning. Strømmen passerer altsaa 0, naar Spændingen passerer ± Maksimum.

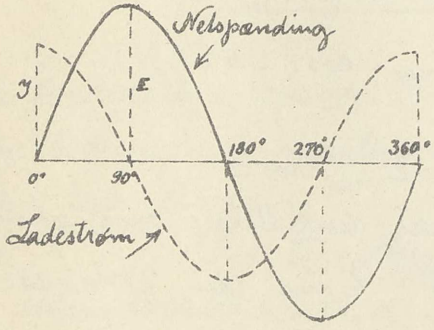


Fig. 29.

Tegnes Netspænding og Strøm op som Sinuslinier, ses det let, at Strømmen har + Maksimum ¼ Periode før Spændingen. (Fig. 29). <u>Kondensatorstrømmen er altsaa altid 90° foran for Netspændingen.</u>

<u>Behandling af Kredsløb, der indeholder baade ohmsk Modstand, Selvinduktion og Kapacitet.</u>

Vi gaar ved alle disse Undersøgelser ud fra, at Tilstanden er bleven stationær og at Strøm og Spænding er sinusformede.

Vi vil først betragte nogle simple Tilfælde:

1) Ohmsk Modstand og Selvinduktion i Serie

Strømmen J i Kredsløbet (Fig 30) er fælles baade for R og L. Vi afsætter derfor J som Ordinat i Vektordiagrammet (Fig 31). Den Spænding $R \cdot J$, der skal overvinde den Ohmske Modstand, er i Fase med J og afsættes derfor paa Ordinataksen (Fig 32).

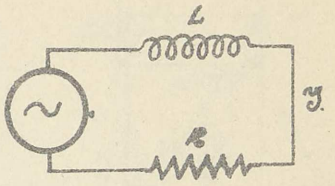


Fig 30.

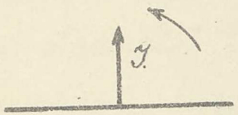


Fig 31.

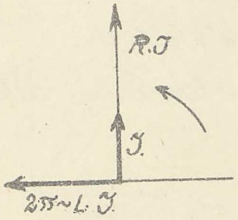


Fig 32.

Den Spænding $2\pi\nu L \cdot J$, som skal overvinde Selvinduktionen, er 90° forskudt for J, saaledes at J er 90° bagefter Spændingen. Den afsættes i Diagrammet som vist (Fig 32).

Disse to Spændinger skal sammensættes som Kræfter og giver en Resultant E (Fig 33). Dette er altsaa Maskinens Klemspænding. Faseforskydningen mellem Strøm og Spænding er φ.

J er bagefter E.

Af Figuren faas:

$$E = \sqrt{(RJ)^2 + (2\pi\nu LJ)^2}$$

$$E = \sqrt{R^2 + (2\pi\nu L)^2} \cdot J.$$

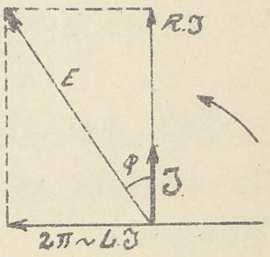


Fig 33.

Ved Sammenligning med Ohms Lov ses, at den tilsyneladende Modstand R' i det betragtede Kredsløb er

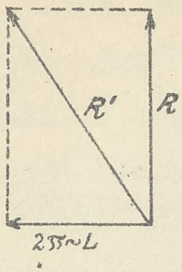


Fig. 34.

$$\sqrt{R^2+(2\pi\nu L)^2} = R'$$

Denne Størrelse kaldes Impedansen. Denne Størrelse faas øjensynligt af Spændingsdiagrammet (Fig 33), naar alle Længderne divideres med J. Naar R, L og ∿ kendes, vil Modstandsdiagrammet altsaa straks kunne tegnes (eller beregnes) (Fig 34), og den til en given Spænding E svarende Strøm J vil da let kunne findes.

Eksempel: Hvor stor bliver Strømmen i et Kredsløb, hvor R = 3 Ohm, L = 0,5 Henry, E = 2000 Volt, ∿ = 50.

$$J = \frac{E}{\sqrt{R^2+(2\pi\nu L)^2}} = \frac{2000}{\sqrt{3^2+(2\pi 50\cdot 0{,}5)^2}} = \frac{2000}{12{,}9} = 155 \text{ Amp.}$$

Hvis der ingen Selvindüktion havde været i Strømkredsen var Strømmen bleven $\frac{2000}{3} = 667$ Amp.

Hvor stor Energi skal Generatoren levere til dette Kredsløb.

$$A = E \cdot J \cdot \cos\varphi.$$

cos φ kan faas af: $\cos\varphi = \frac{R \cdot J}{E}$ (se Fig 33).

$$A = 2000 \cdot 155 \cdot \frac{3 \cdot 155}{2000} = 72 \text{ KW.}$$

Dette var lettere faaet derved, at der üdvikles Varme i den ohmske Modstand, medens Indüktionen ingen Energi forbrüger:

$$A = J^2 \cdot R = 155^2 \cdot 3 = 72 \text{ KW.}$$

Resültat:

Ohmsk Modstand og Selvindüktion i Serie skal adderes geometrisk.

2) Ohmsk Modstand og Kapacitet i Serie.

Strømmen J i Kredsløbet (Fig 35) er fælles baade for R og C.

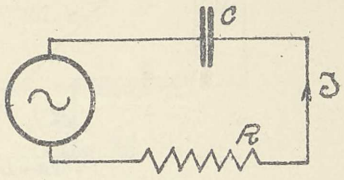


Fig. 35.

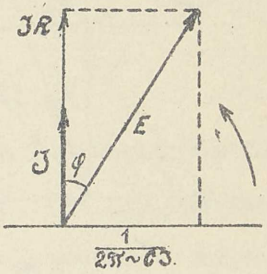


Fig. 36.

J afsættes som Ordinat og i Fase hermed befinder sig RJ (Fig 36)

Den Spænding $\frac{1}{2\pi \sim C} \cdot J$, som skal drive Strømmen gennem Kondensatoren, ligger 90° faseforskudt for J, saaledes at J er foran Spændingen. Den afsættes i Diagrammet som vist.

Resultanten af RJ og $\frac{1}{2\pi \sim C} \cdot J$ er den nødvendige Generatorspænding E. Sættes $E = R' \cdot J$ og divideres alle Længder i Diagrammet med J, faas:

$$R' = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi \sim C}\right)^2}.$$

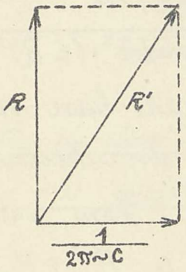


Fig. 37.

Kendes R, C og $\sim$ kan Modstandsdiagrammet (Fig 37) let tegnes, og Strømmen i dette Kredsløb kan da findes.

3) To Indūktionsspoler i Serie, der begge indeholder ohmsk Modstand.

Strømmen J er fælles for hele Kredsløbet (Fig 38), den afsættes op ad Ordinataksen. Først har vi et

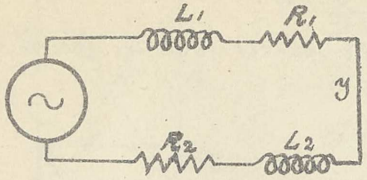


Fig. 38.

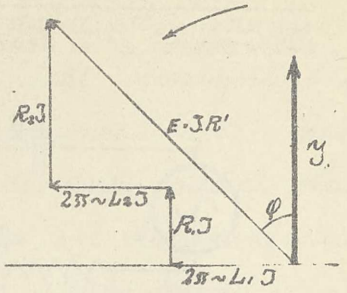


Fig. 39.

Spændingsfald $2\pi\nu L_1 \cdot J$, som afsættes (Fig 39). Dernæst et ohmsk Spændingsfald $R_1 \cdot J$. Endvidere $2\pi\nu L_2 \cdot J$ og $R_2 \cdot J$. $R_1 J$ og $R_2 J$ er i Fase med J, hvorimod $2\pi\nu L_1 \cdot J$ og $2\pi\nu L_2 \cdot J$ er $\perp$ paa J. Den nødvendige Spænding E for at drive J gennem Kredsløbet sætter jeg lig $E = J \cdot R'$.

Det ses let af Figuren, at

$$E = J \cdot R' = J \cdot \sqrt{(\Sigma 2\pi\nu L)^2 + (\Sigma R)^2}$$

Vi kunde altsaa straks have sagt saaledes: Den samlede Indüktionsmodstand er $2\pi\nu L_1 + 2\pi\nu L_2$. Den samlede ohmske Modstand er $R_1 + R_2$. Disse vil alsatte i Diagram (Fig 40) give den søgte Modstand R'.

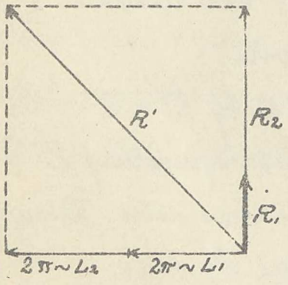


Fig 40

4) Indüktion, Kapacitet og ohmsk Modstand i Serie (Fig 41)

For at overvinde Indüktionsmodstanden $2\pi\nu L$ maa anvendes Spændingen $2\pi\nu L \cdot J$, hvilken Spænding er 90° foran Strömmen (Fig 42). Den Komponent af Spændingen, som driver Strömmen J gennem Kondensatoren ligger

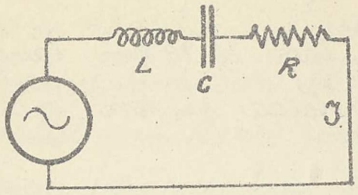


Fig. 41.

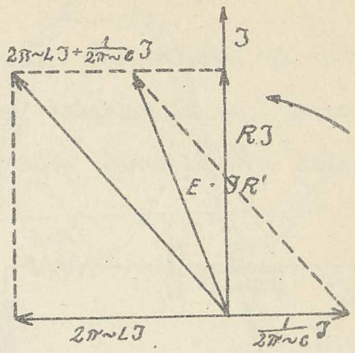


Fig. 42.

90° til modsat Side for Strømmen. Det ohmske Spændingsfald er i Fase med Strømmen. Disse tre Spændinger sammensættes geometrisk og giver til Resultant Spændingen E.

Altsaa er:

$$E = J \cdot \sqrt{R^2 + (2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C})^2}.$$

Dette er den komplette ohmske Lov for Vekselstrøm. For $\nu = 0$ gælder Loven for almindelig Jævnstrøm.

Diskussionen af denne Lov giver, at Kapacitet og Selvinduktion kan ophæve hinanden, betragtet som Modstande mod Strømmen. Men de Spændinger, der skal til for at overvinde Kapaciteten og Induktionen hver for sig, bestaar ligefuldt, og de kan være meget store, endogsaa betydeligt større end Netspændingen E.

Naar Størrelsen i Parenthesen $2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}$ er 0, begrænses Strømmen kun af den ohmske Modstand, og man har da det Tilfælde, der kaldes Resonnans.

Resonnans.

Som et Eksempel herpaa kan vi tage et 10 km. langt Kabel med en Kapacitet paa 0,25 Mikrofarad pr. km., og med en samlet Modstand paa 3 Ohm.

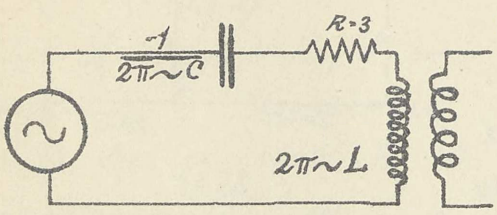


Fig. 43.

Gennem dette Kabel forsynes en Transformator med 10.000 Volt Vekselstrøm af 50 Perioder. Transformatoren og Maskinen har tilsammen en Induktionskoefficient paa 0,45 Henry. (Fig 43).

Den almindelige Belastningsstrøm bliver da:

$$J = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (2\pi\sim L - \frac{1}{2\pi\sim C})^2}}$$

$$J = \frac{10.000}{\sqrt{3^2 + (2\pi \cdot 50 \cdot 0{,}45 - \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-6}})^2}}$$

$$J = \frac{10000}{\sqrt{9 + (-1130)^2}} = \frac{10000}{1130} = 8{,}8 \text{ Amp.}$$

Sættes $2\pi\sim L - \frac{1}{2\pi\sim C} = 0$, ses det, at Resonnansen kan optræde ved et Periodetal paa $\sim = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

$$\sim = \frac{1.}{2\pi\sqrt{0{,}45 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-6}}} = 150.$$

Nu er imidlertid en Vekselstrøm aldrig en ren Sinuslinie, men indeholder altid flere eller færre saakaldte Overbølger eller Oversvingninger, der ogsaa ofte kaldes harmoniske Overbølger.

Det lader sig nemlig bevise, at en Vekselstrøm af nok saa knudret Form kan tænkes opløst i en Række sinusformede Vekselstrømme med forskellige Amplituder og forskellige Periodetal for Eksempl: 3, 5 7, 9, 11, 13, 15 o. s. v. dobbelt Periodetal (lige Oversvingninger findes ikke).

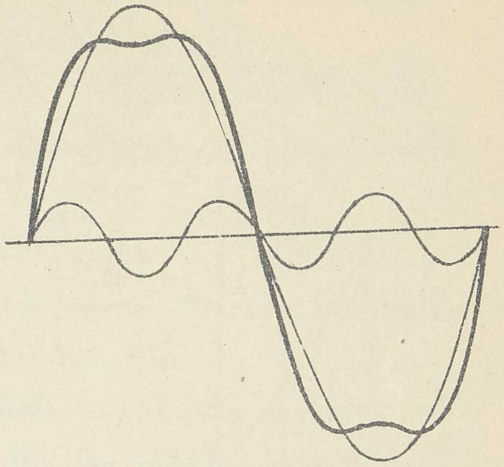


Fig. 44.

Fig 44 viser en Vekselspænding indeholdende en 3die Oversvingning. Fig 45 er en Strømkurve Y, der foruden Grundkurven Y_1 indeholder baade en 3die og en 5te Oversvingning Y_3 og Y_5.

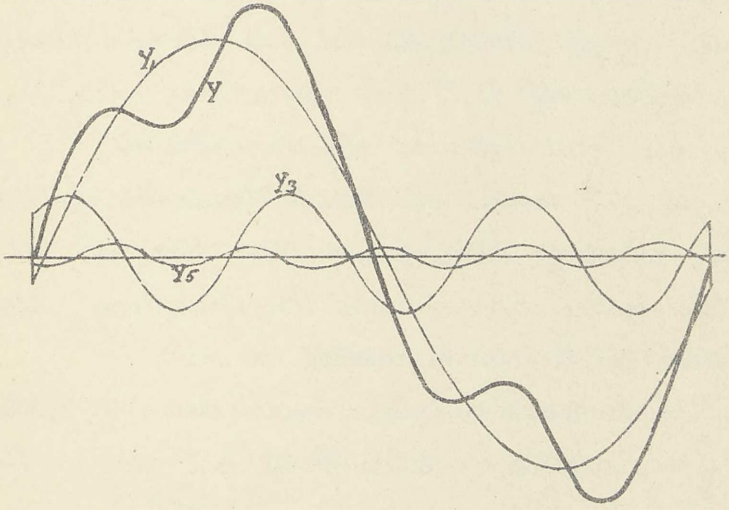


Fig 45.

Saafremt nu i det betragtede Tilfælde Spændingen indeholder en saadan 3die harmonisk Oversvingning paa 600 Volt, da vil denne give Resonnans, idet dens Periodetal jo netop er $3 \times 50 = 150$, hvilket vi fandt som Betingelsen for Resonnans.

Strømmen beregnes da af:

$$J = \frac{E}{\sqrt{R^2+(2\pi\nu L-\frac{1}{2\pi\nu C})^2}} = \frac{600}{\sqrt{3^2+0}} = 200 \text{ Amp.}$$

Spændingen ved Kondensatoren bliver:

$$E = \frac{J}{2\pi\nu C} = \frac{200}{2\pi \cdot 150 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-6}} = 85.000 \text{ Volt.}$$

Spændingen ved Transformatoren er:

$$E = 2\pi\nu L \cdot J = 85.000 \text{ Volt.}$$

Den ohmske Modstand forbruger $R \cdot J = 600$ Volt.

Den ohmske Modstand har altsaa forbrugt alle 600 Volt, og dog opstaar der i Systemet Spændinger paa 85000 Volt, der hvis de ikke paa en eller anden Maade uskadeliggjøres, vil brande Isolationen i Stykker og forstyrre Driften.

Tilfældet her vil neppe indtræffe slet saa slemt i Praksis, idet de forudsatte Værdier af L, C og R neppe vil indgaa i dette Forhold, som her med Vilje er noget overdrevet.

I Praksis har jeg dog truffet og maalt saadanne Tilfælde af Resonnans, men heldigvis ikke fuldt saa slemme. Det var ligeledes her den tredie harmoniske Overspænding, der gav Resonnans med et Kabels Kapacitet.

Overspændinger kan ogsaa opstaa, naar der i et Kredsløb findes L og C i Parallelforbindelse. Dette vil senere blive forklaret.

Parallelforbindelse af ohmsk Modstand, Induktion og Kapacitet

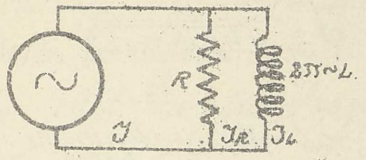


Fig. 46.

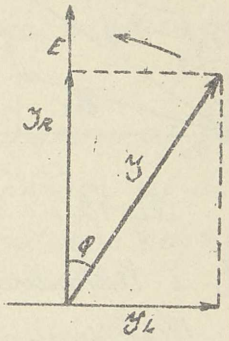


Fig. 47.

1) Spændingen E er her den samme baade for R og for $2\pi\sim L$. Vi begynder derfor med at afsætte E i Diagrammet.

Vi har ved det i Fig 46 viste Tilfælde:

$$E = R \cdot J_R$$

$$E = 2\pi\sim L \cdot J_L$$

Endvidere er $J_R \perp J_L$

J_R er i Fase med E.

Diagrammet er nu let tegnet (Fig. 47).

2) Vi har to Grene med Modstandene R_1 og R_2 og med Induktionerne L_1 og L_2. Spændingen E er fælles (Fig 48).

For 1ste Gren faas φ_1 af $\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{2\pi\sim L_1}{R_1}$ eller φ_1 kan faas af Diagrammet for denne Kreds.

Saa samme Maade findes φ_2 for anden Kreds.

De ubekendte Strømme J_1 og

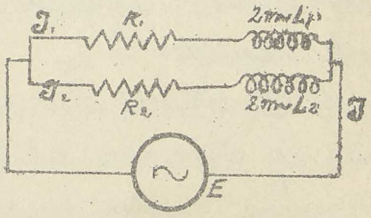


Fig. 48.

J_2 faas af

$$J_1 = \frac{E}{\sqrt{R_1^2 + (2\pi \sim L_1)^2}}$$

$$J_2 = \frac{E}{\sqrt{R_2^2 + (2\pi \sim L_2)^2}}$$

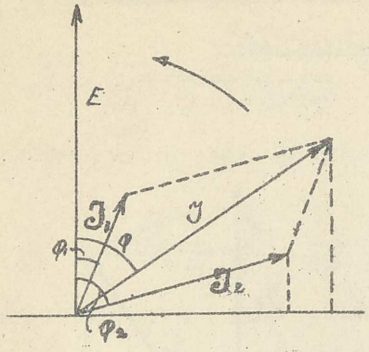


Fig 49.

Det ses, at Strømstyrkerne fortholder sig omvendt som Impedanserne i de to Grene.

Vi kender nu φ_1 og J_1, og kan da afsætte J_1 i Vektordiagrammet (Fig 49). Ligeledes kan φ_2 og J_2 afsættes. Resultanten giver Maskinens Strøm J og dens Faseforskydning φ. Altsaa Maskinens Arbejde er

$$A = E \cdot J \cdot \cos \varphi.$$

*) Saa samme Maade gaar man frem, naar der findes baade Induktion, Kapacitet og ohmsk Modstand i de forskellige Kredsløb.

De fuldstændige Kirkhoffske Love.

De almindeligt kendte Kirkhoffske Love kommer altsaa, naar deres Gyldighed skal udstrækkes til Vekselstrøm, til at lyde saaledes:

1) I ethvert Punkt er Summen af alle tilgaaende Strømme lig Summen af alle afgaaende Strømme, idet alle Strømme regnes med Fase og Fortegn.

Det kan ogsaa siges saaledes: I et Punkt er Summen

af samtlige Strømme regnet med Fase og Fortegn lig 0.

Herved bliver Summen af samtlige Wattstrømme lig 0, og Summen af samtlige wattløse Strømme lig 0.

(Dette er ligesom ved Sammensatningen af indre Kræfter, idet nemlig Projektionerne paa 2 Akser skal hver for sig være 0).

2) I en lukket Strømkreds er Summen af de af Strømmen fremkragte Modspændinger lig Summen af de virkende elektromotoriske Kræfter, idet alle Spændinger regnes med Fase og Fortegn.

Sammensatte Vekselstrømme.
Trefasestrøm.

Saavel i Udlandet som herhjemme anvendes af sammensatte Vekselstrømme næsten udelukkende Trefasestrøm, og vi skal derfor i det følgende kun beskæftige os med denne Trefasestrøm.

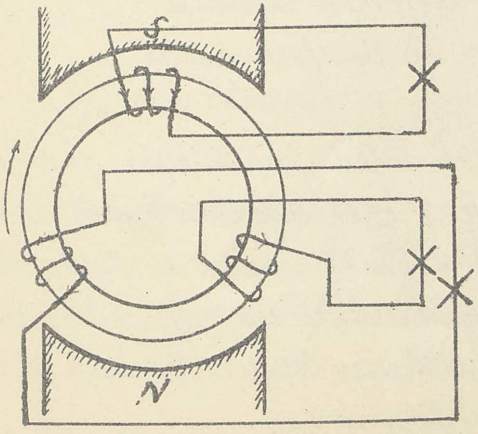


Fig. 50

Saa Maskinens Anker ligger tre Beviklinger 120° fra hinanden (Fig 50) og de i disse Viklinger opstaaede Spændinger og Strømme vil da ogsaa være 120° forskudt for hinanden, idet vi forudsætter nøjagtig

lige store Reaktanser eller Modstande i alle 3 Kredsløb.

Den algebraiske Sum af de 3 Spændinger eller Strømme er til ethvert Tidspunkt t lig med 0, hvilket let kan ses af Fig 51 eller beregnes paa samme Maade, som man undersøger, om Resultanten af flere forskellige Kræfter er 0, nemlig ved Projektion paa et Par Koordinatakser.

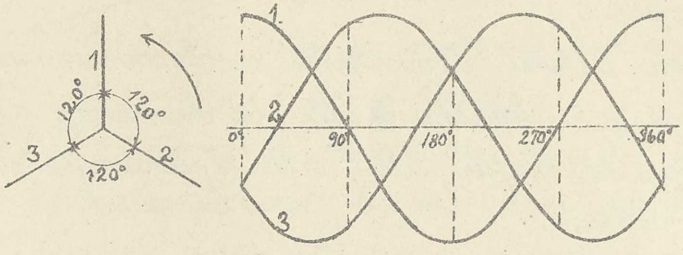


Fig 51.

Vi maa da øjensynligt altid kunne finde 3 af de 6 Traade, saaledes at Summen af Strømmene i disse Traade er 0, og disse 3 Traade maa kunne slaas sammen til 1 eller helt udelades, da der jo ingen Strøm gaar deri. En saadan Forbindelse kan udføres paa to Maader, der benævnes:

Stjerneforbindelse og
Trekantforbindelse.

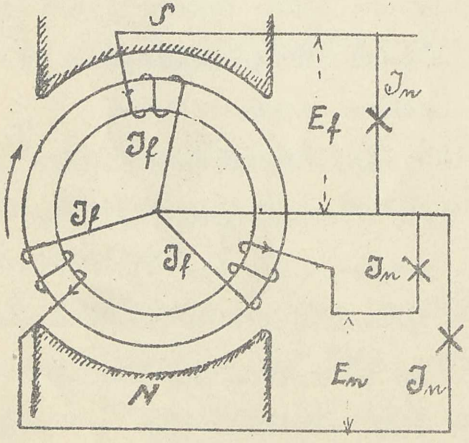


Fig. 52.

Ved Stjerneforbindelsen forenes de 3 ensbeliggende Ender af de 3 Faseviklinger til et fælles Stjernepunkt. Til de 3 andre Ender tilsluttes Nettets 3 Ledninger (Fig 52). Strømmen, der gaar ud i Nettets Ledninger Jm, er lig

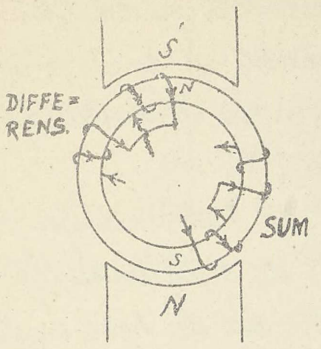


Fig. 53.

Strømmen i en Fasevikling J_f. Et Voltmeter indskudt mellem Nulpunktet og en af Nettets Ledninger giver Fasespændingen E_f.

Da vi har forbundet Enderne af de to Spoler med hinanden, skal vi for at faa den resulterende Spænding tage Differensen (sammenlign hosstaaende Figur 53). Det ses da let af Diagrammet (Fig 54), at Netspændingen eller Yderspændingen E_n maa være $\sqrt{3} \cdot E_f$.

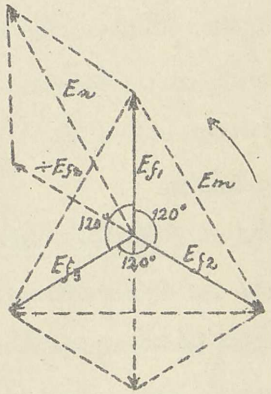
Arbejdsudviklingen i en saadan Maskine er naturligvis Summen af Arbejdet pr. Fase. Naar der ingen Faseforskydning findes mellem Strøm og Spænding i samme Fase, er Arbejdet pr. Fase lig: $A_f = E_f \cdot J_f$

Ved Faseforskydningen φ faas:

$$A_f = E_f \cdot J_f \cdot \cos\varphi$$

Det hele Arbejde er da:

$$A = 3 \cdot E_f \cdot J_f \cdot \cos\varphi$$



$E_{f2} + E_{f3}$ (geometr.) $= -E_{f1}$

$\Sigma E_f = 0$.

Fig. 54.

Ved Indsættelse faas:

$$A = 3 \cdot \frac{E_n}{\sqrt{3}} \cdot J_n \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot E_n \cdot J_n \cdot \cos\varphi.$$

Ved Stjerneforbindelse gælder altsaa følgende:

$$E_n = \sqrt{3} \cdot E_f$$

$$J_n = J_f$$

$$A = \sqrt{3} \cdot E_n \cdot J_n \cdot \cos\varphi.$$

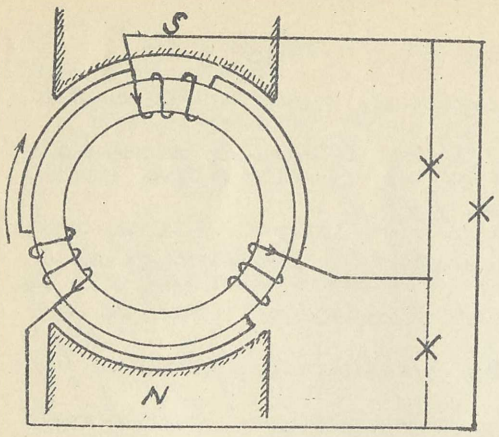


Fig. 55.

Ved Trekantforbindelse bliver hver Faseviklings Ende forbunden med den næste Faseviklings Begyndelse (Fig 55).
Saafremt de 3 Spændinger, der opstaar i de 3 Faseviklinger har Sinusform, vil de have en Sum lig 0, hvilket vi jo tidligere har indset er Tilfældet, og der vil da ikke kunne løbe nogen Ström rundt inde i Ankerets Viklinger. Derimod vil de 3 Spændinger kunne sende 3 Strömme ud i de 3 ydre Strömkredse.

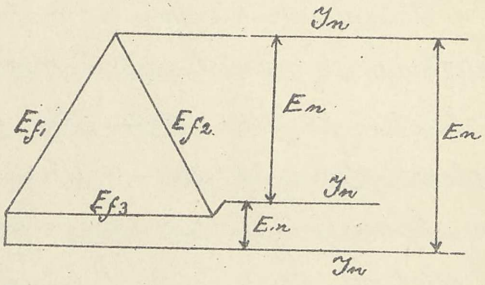


Fig. 56.

Det vil kunne ses umiddelbart af Koblingsskemaet (Fig 56), at Fasespændingen E_f og Netspændingen eller Yderspændingen E_n er nøjagtig lige store.

Strömmen i en af Nettets Ledninger er lig Differensen mellem Strömmene i de to Faser, der har Forbindelse til denne Ledning. Vi benytter nu Vektordiagrammet (Fig 57) til at finde denne Differens, idet vi ligesom ved Sammensætning af Kræfter finder Summen, efter at den ene af Komposanterne er afsat i modsat Retning. Man regner let ud, at Resultanten er:

$$J_n = J_f \cdot \sqrt{3}.$$

Arbejdet er selvfølgelig:

$$A = 3 \cdot E_f \cdot J_f$$

Men da $E_m = E_f$ og $J_m = \sqrt{3}\, J_f$ faas:

$$A = \sqrt{3} \cdot E_m \cdot J_m$$

Hvis der er Faseforskydning φ mellem Strøm og Spænding, faas

$$A = \sqrt{3} \cdot E_m \cdot J_m \cdot \cos\varphi .$$

Ved Trekantforbindelse gælder altsaa:

$$\underline{E_m = E_f}$$

$$\underline{J_m = \sqrt{3} \cdot J_f}$$

$$\underline{A = \sqrt{3} \cdot E_m \cdot J_m \cdot \cos\varphi .}$$

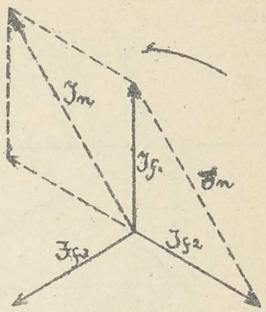


Fig 57.

Vekselstrømsmagneters Bæreevne.

Vi fandt tidligere Side 17 Trækkekraften for en Jævnstrømsmagnet:

$$P = \frac{1}{8\pi} \cdot \frac{1}{9{,}81} B^2 \cdot Q \cdot 10^{-8} \text{ eller}$$

$$\underline{P = 4{,}07 \cdot B^2 Q \cdot 10^{-8} \text{ kg}.}$$

For en Enfasemagnet varierer B med Tiden, og Momentanværdien til Tiden t er

$$B_t = B_{max} \cdot \sin(2\pi \sim t)$$

Vi faar derfor ved Magnetisering med enfaset Vekselstrøm:

$$P = 4{,}07 \cdot B^2_{max} \cdot \sin^2(2\pi \sim t)\ Q\ 10^{-8}$$

$$P = \frac{4{,}07}{2} \cdot B^2_{max}\, Q \cdot (1 - \cos(2 \cdot 2\pi \sim t)) \cdot 10^{-8}$$

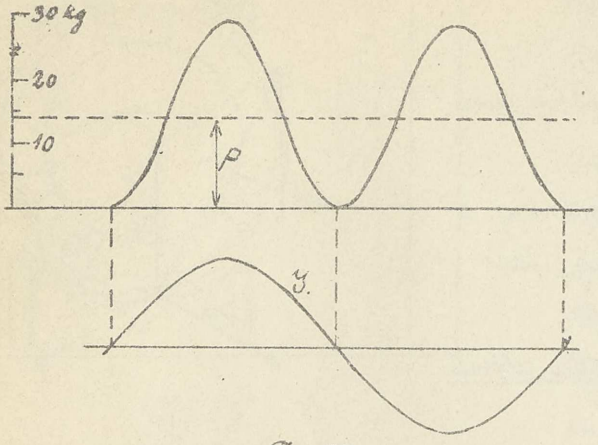


Fig. 58.

Magneten vil ikke brudt tiltrække og slippe sit Anker, idet Trækkraften svinger om en Middelværdi (Fig 58):

$$P = \frac{4,07}{2} B^2_{max} Q.$$

Bliver Vægten større end denne Værdi, vil Magneten ikke kunne bære den Man vil altid høre, at en Enfasemagnet giver en klaprende Lyd fra sig. Dens Bæreevne er kun det halve af Jævnstrømsmagnetens Bæreevne og beregnes af:

$$P = 2,035 \cdot B^2_{max} \cdot Q : 10^{-8} \text{ kg}.$$

For en Trefasestrøm har de tre Induktioner i et givet Øjeblik følgende Værdier:

$B_{max} \sin(2\pi\nu t)$

$B_{max} \sin(2\pi\nu t - 120°)$

$B_{max} \sin(2\pi\nu t - 240°)$

Trækkekraften bliver altsaa for en Trefasemagnet (Fig 59), idet Q er Tværsnittet af et af Magnetens Ben:

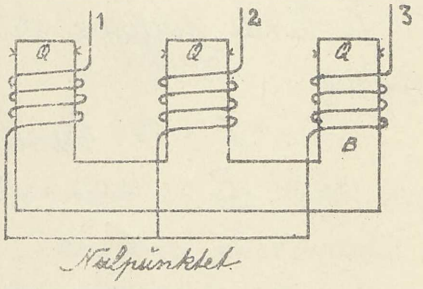


Fig. 59.

$$P = 4,07 \cdot Q \cdot 10^{-8} B^2_{max} \left(\sin^2(2\pi\nu t) + \sin^2(2\pi\nu t - 120°) + \sin^2(2\pi\nu t - 240°)\right).$$

Udtrykket i den sidste Parenthes er lig 3/2 for en hvilkensomhelst Værdi af t. Altsaa bliver Løftekraften for en Tre-

fasemagnet:

$$P = 6{,}1 \cdot B^2_{max} \cdot Q \cdot 10^{-8} \text{ kg}$$

eller 3 Gange Enfasemagnetens Bæreevne

Foucaültstrømme.

Af andre Strømme, som kan opstaa i elektriske Le-
dere, maa nævnes Foucaültsstrømme
eller Hvirvelstrømme, som kun op-
træder i kendelig Grad i massive
Ledere, der bevæger sig i et magne-
tisk Felt (Fig 60).

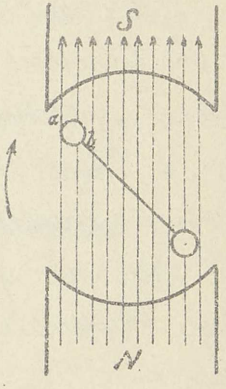


Fig. 60.

Vi vil lægge et Snit paa langs gen-
nem Lederen (Fig 61).

I den øverste Del af Tværsnittet (a)
opstaar en $EMK = B \cdot l \cdot v_a$, idet v_a
er Hastigheden. I den ne-
derste Del af Tværsnittet
opstaar en $EMK = B \cdot l \cdot v_b$,
hvor v_b paa Grund af
den mindre Radius er
mindre end v_a. Der fin-
des da en resulterende EMK:

$$B \cdot l (v_a - v_b),$$

og denne vil drive en Strøm rundt i den punkterede
Cirkel.

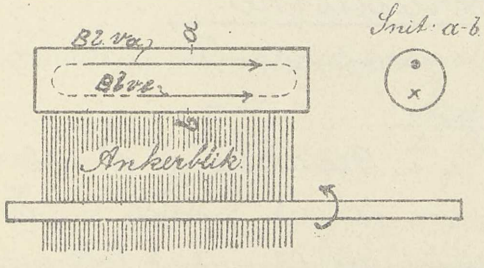


Fig. 61.

Disse Strømme kan ofte virke ret generende paa Steder, hvor de ikke ønskes. De reprøsenterer da et Energitab og opvarmer de Ledere, hvori de opstaar, til ingen Nytte.

Svære Kobberledere udføres derfor i Dynamomaskiner og Motorer af flettet Traad.

Ankerjernet i Dynamoer deles gerne i tynde Blikplader vinkelret paa Akslen (= vinkelret paa Strømmens Retning).

Tabene ved Foucaültsstrømme i disse Blik er:

$$a \cdot \left(S \cdot \frac{\sim}{100} \cdot \frac{B\,max}{1000}\right)^2 \cdot \text{Jernvolumen i } dcm^3.$$

a er en Konstant = ca 2,5. S er Bliktykkelsen i mm.

Ikke sjældent drager man sig Foucaültsstrømmene til Nytte, f. Eksp. Vekselstrøms Induktionsmotorer, forskellige Vekselstrømsmaalere og Relaiser etc.

Vi skal nu gaa over til en kort Beskrivelse af de forskellige Materialier som anvendes i den praktiske Elektroteknik.

Ledningsmaterialierne.

Modstandsforhold

Enhver elektrisk Leder er i Besiddelse af ohmsk Modstand.

Modstandsenheden er bestemt derved, at 1 Volt netop kan sende 1 Amp. gennem en Modstand paa 1 Ohm.

Den Modstand, de forskellige Stoffer frembyder for den elektriske Ströms Gennemgang, er höjst forskellig og

afhænger foruden af Stoffets Natur ogsaa af dets Dimensioner: Tværsnit og Længde.

Man har da. $R = \rho \cdot \frac{l}{q}$

Længden l maales i Meter.

Tværsnittet q maales i mm^2

ρ kaldes Modstandskoefficienten, og denne er afhængig af Stoffets Natur og af Temperaturen. Den faas som Modstanden i en Traad paa 1 m Længde og 1 mm^2 Tværsnit.

Er Modstanden i en saadan Traad ved $t°$ lig ρt, da kan man ved 1° Opvarmning sætte:

$$\rho t + 1 = \rho t + \alpha \cdot \rho t = \rho t (1 + \alpha).$$

α kaldes Temperaturkoefficienten.

Ved $(T - t)°$ Opvarmning faas tilnærmelsesvist:

$$\rho_T = \rho_t + \alpha \rho t (T - t)$$

$$\rho_T = \rho t (1 + \alpha (T - t))$$

Man har da ogsaa:

$$R_T = R_t (1 + \alpha (T - t))$$

$$T - t = \frac{R_T - R_t}{\alpha \cdot R_t}$$

Traadens Temperaturforhøjelse er

$$T - t = \frac{\text{Modstandsforøgelsen}}{\alpha \cdot \text{Begyndelsesmodstanden}}.$$

Denne Formel benytter man sig ofte af, naar man vil undersøge, hvor varm en Maskines Anker eller Magnetviklinger bliver ved Belastning.

Eksempel: Ved 17° Celsius maales Modstanden i Ankeret paa en Motor derved at 15 Volt vasr is Stand til at sende

7,18 Amp. igennem det.

Deraf faas: $R_{17} = \frac{15}{7,18} = 2,09$ Ohm.

Motoren sattes i Gang med fuld Belastning, og efter nogle Timers Forløb standses den.

Modstanden maales igen, idet 15,3 Volt giver 6,57 Amp.

$$R_T = \frac{15,3}{6,57} = 2,33.$$

α er for Kobberet lig 0,004.

$$T - 17° = \frac{2,33 - 2,09}{0,004 \cdot 2,09} = 28,7°$$

Temperaturforøgelsen er altsaa 28,7°.

Selve Temperaturen $T = 45,7°$

<u>Modstanden angives gerne ved 15° C.</u>

Ankerets Modstand ved 15° er:

$$R_{15} = R_{17}(1 + 0,004(15-17)) = 2,09(1 + 0,004(-2))$$

$$R_{15} = 2,07 \text{ Ohm}.$$

ρ maalt ved 15° C kaldes den specifikke Modstand eller simpelthen Modstandskoefficienten.

$\frac{1}{\rho}$ kaldes den specifikke Ledningsevne og angives ligeledes ved 15° C. Ledningsevnen er den Længde i m. af en 1 mm². tyk Traad, som netop har en Modstand paa 1 Ohm.

Sølvet har den bedste Ledningsevne, men er for dyrt at anvende i Praksis. Dernæst kommer Kobberet, som er det mest anvendte Ledningsmateriale. I den sidste Tid anvendes ogsaa Aluminium en Del paa Steder, hvor Rumopfyldelsen ingen Rolle spiller, f. Eksp. ved blanke Ledninger, derimod ikke. meget i Maskiner. I Kabler anvendes det en Del.

		ρ ved 15°	α i ‰.	$1/\rho$ ved 15°	Vægtfylde
Lednings materialier.	valset Aluminium	0,0287.	3,7	34,8	2,70
	presset Bly	0,20	3,7	5,0	11,37.
	Jerntraad.	0,12 - 0,14	4,8 - 4,5	8,3 - 7,1	7,86
	Sølv (blødt)	0,0158	3,6	63,5	10,55
	haardtvalset Kobber	0,0175	4,0	57,1.	8,913
	Cu + 5% Al.	0,13	0,5 - 1.	7,5	8,4
	Cu + 10% Al	0,29	0,5 - 1.	3,5	7,65
	Messing (Cu + 30% Zn).	0,085-0,065	1,2 - 2	12 - 15	8,3.
Modstands materialier.	Konstantan	0,488	- 0,005	2,05	8,8
	Argentan 2 A	0,36 - 0,38	0,73 - 0,72	2,7	8,77
	Nikelin	0,33 - 0,43	0,019 - 0,227	3,3 - 2,3	8,88 - 8,75
	Krüppin	0,84	0,7	1,19.	8,1
	Superior	0,85 - 0,86	0,73 - 0,69	1,17	8,09.

For Vædsker og Kul samt for forskellige Metalsalte (Magnesia i Kernstlamper) bliver Modstanden mindre med Temperaturen. Enkelte andre ydre Forhold kan have en som oftest dog kun meget ringe Indflydelse paa Temperaturkoefficienten. Eksempelvis skal nævnes, at Stoffet Selen leder bedre, jo stærkere det belyses. Denne Egenskab udnyttes blandt andet i Billedtelegrafien.

Metallet Vismuth faar en større Modstand, jo stærkere det paavirkes af Magnetisme. Man kan derfor anvende en Vismuthspiral til Maaling af den magnetiske Feltstyrke.

Elektriske Svingninger (Radiotelegrafi) kan paavirke visse Stoffers Modstand, hvilket anvendes til forskellige „traadløse" Modtagerapparater.

For Ledninger, hvori der löber Vekselstrøm, forøges den ohmske Modstand noget derved, at Strømmen ikke fordeler sig ensartet over Lederens Tværsnit, men søger at löbe langs Overfladen. Jo større Periodetallet er, og jo større Lederens Diameter er, des større er Modstandsforøgelsen. Denne Modstandsforøgelse angivet i % kan ses af nedenstaaende Tabel.

	~ = 25.	50.	100.	500.	1000.
Diameter = 5 mm.	0,0027	0,0109	0,043	1,09	4,375
10 "	0,043	0,175	0,70	17,5	70,00
15 "	0,22	0,88	3,54	88,5	354,2
20 "	0,7	2,8	11,2	280.	1120

For de mest benyttede Periodetal 25 og 50 er Tilvæksten i Modstand yderst ringe. Derimod kan der i massive Ankertraade i elektriske Maskiner opstaa ret stærke Hvirvelstrømme, som forøger Modstanden i Traaden, idet de opvarmer denne. Ankertraade, der skal have et stort Tværsnit, udføres derfor ofte af flettet Kabel og ikke af en massiv Stang.

Belastningsforhold.

Den i en ohmsk Modstand i t Sekunder udviklede Varmemængde:

$$0{,}24 \cdot t \cdot R \cdot J^2 g^\circ$$

kan blive saa stark, at Traaden bliver glödende og smelter over. I Almindelighed ønsker man dog, at Ledningerne ikke maa blive for varme, og man sikrer sig da mod, at de belastes for meget, ved at man ved Ledningens Begrændelse paa betryggende Brandsikker Maade indskyder en Strimmel Metal (Smeltesikring), som paa Grund af sin i Sammenligning med den egentlige Leder forholdsvis höje Modstand og lave Smeltepunkt vil smelte over og afbryde Strömmen, hvis denne af en eller anden Grund skulde vokse ud over de tilladte Grænser. De tilladte Belastninger for isolerede Kobberledninger findes i Statens Regulativ § 28, 14. Den tilhörende Tabel er gengivet her:

Belastningstabel for isolerede Kobberledninger.

Tværsnit i mm²	Höjeste tilladelige Strömstyrke i Ampère.	Höjeste tilladelige Smeltesikring i Ampère.	Tværsnit i mm²	Höjeste tilladelige Strömstyrke i Ampère.	Höjeste tilladelige Smeltesikring i Ampère.
0,75	9	6	95	240	190
1	11	6	120	280	225
1,5	14	10	150	325	260
2,5	20	15	185	380	300
4	25	20	240	450	360
6	31	25	310	540	430
10	43	30	400	640	500
16	75	60	500	760	600
25	100	85	625	880	700
35	125	100	800	1050	850
50	160	125	1000	1250	1000
70	200	160	-	-	-

Det ses, at $\frac{Amp.}{mm^2}$ = Strømtætheden bliver mindre for større Tværsnit; det kommer af, at Afkølingsoverfladen vokser mindre stærkt end Tværsnittet (første Potens og anden Potens af Diameteren).

Denne Tabel gælder i Følge Statens Regulativ „ogsaa for blanke Kobberledninger paa indtil 50 mm^2, medens alle blanke Kobberledninger over 50 mm^2 Tværsnit skal dimensioneres saaledes, at deres Temperatur ved den under normale Forhold forekommende største Strømstyrke ikke kan blive farlig for Driften eller Omgivelserne. Luftledninger kan belastes med større Strømstyrke end Tabellen angiver".

Man kan i Almindelighed belaste ikke isolerede Ledninger og Luftledninger med 75% større Strøm end angivet i Tabellen. For rektangulære Skinner 90 à 100% mere end i Tabellen.

Temperaturstigningen vil da blive ca. 20° C.

For elektriske Kabler som ligger i Jorden i mindst 0,7 m. Dybde kan følgende ikke forskriftsmæssige Tabel (Side 65) fra Uppenborns Kalender für Elektrotechniker benyttes.

Kablet vil da kun blive ca. 25° C. varmere end Omgivelserne.

Naar Kablerne ikke lægges i Jorden, men for Eksp. i en varm Maskinsal, er det ikke heldigt at anvende en større Belastning end 3/4 af nedenstaaende.

Kabler af Kobber lagt i Jorden.

Højeste Belastning i Ampère

Tværsnit mm²	Enkeltlederkabel indtil 700 Volt	Tolederkabel indtil		Trelederkabel snoet, indtil		Firelederkabel snoet, indtil	
		3000 Volt	10000 Volt	3000 Volt	10000 Volt	3000 Volt	10000 Volt
1	24	-	-	-	-	-	-
1,5	31	-	-	-	-	-	-
2,5	41	-	-	-	-	-	-
4	55	42	-	37	-	34	-
6	70	53	-	47	-	43	-
10	95	70	65	65	60	57	55
16	130	95	90	85	80	75	70
25	170	125	115	110	105	100	95
35	210	150	140	135	125	120	115
50	260	190	175	165	155	150	140
70	320	230	215	200	190	185	170
95	385	275	255	240	225	220	205
120	450	315	290	280	260	250	240
150	510	360	335	315	300	290	275
185	575	405	380	360	340	330	310
240	670	470	-	420	-	385	-
310	785	545	-	490	-	445	-
400	910	635	-	570	-	-	-
500	1035	-	-	-	-	-	-
625	1190	-	-	-	-	-	-
800	1380	-	-	-	-	-	-
1000	1585	-	-	-	-	-	-

Forskellige Lederes Belastningsevne.

Har vi 2 Ledninger af samme Længde og samme Tværsnit, den ene af Kobber med Ledningsevnen 0,0175, den anden af et andet Metal med Ledningsevnen ρ, da faas, naar Varmeudviklingen skal være ens i begge Ledninger, og altsaa Energitabet skal være det samme:

$$W = J^2 R = J_K^2 \cdot 0{,}0175 \cdot \frac{l}{q} = J_x^2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{q}$$

Her betyder J_K den i Følge ovenstaaende Tabeller tilladte Strøm i Kobberledningen, J_x betyder den dertil svarende Strøm i den anden Ledning. Heraf faas:

$$J_x = J_K \sqrt{\frac{0{,}0175}{\rho}}$$

For Aluminium er $\rho = 0{,}02874$, altsaa $J_{Al} = 0{,}78\ J_K$.

For Jern er $\rho = 0{,}135$, altsaa $J_{Jern} = 0{,}36\ J_K$.

Eksempel. I Følge den forskriftsmæssige Tabel maa en isoleret 400 mm² Ledning af Kobber føre 640 Ampère. En isoleret Ledning af Aluminium (400 mm²) maa da kun føre $0{,}78 \cdot 640 =$ ca. 500 Ampère.

Modstandstraad med Frieluftscirkulation belastes gerne saaledes, at den netop ikke gløder. Den kan da taale:

$$J = (7 \text{ à } 8) \cdot J_K \sqrt{\frac{0{,}0175}{\rho}}$$

For Nysølv 2 A faas f. Eks.

$$J = \text{ca. } 1{,}6 \text{ à } 1{,}8 \cdot J_K$$

For Superior faas

$$J = \text{ca. } 1{,}0 \text{ à } 1{,}1 \cdot J_K$$

Flade Modstandsbaand i fri Luft kan taale $10 \text{ à } 12 \cdot J_K \sqrt{\frac{0{,}0175}{\rho}}$

J_k tages i alle Tilfalde fra den forskriftsmassige Tabel.

Naar Ledningerne ikke er anbragte under gode Afkølingsforhold, maa man valge passende mindre Strömbelastninger.

Ekvivalente Tværsnit for forskellige Ledere (samme Energitab).

Som et Eksempel vil vi undersöge, hvorvidt det vil kunne betale sig at anvende Aluminium i Stedet for Kobber.

Vi önsker at finde, hvor svær en Aluminiumsledning skal være for at have samme Modstand som en given Kobberledning. Energitabet bliver da, det samme i begge Ledningerne, naar der gaar den samme Ström.

Vi har da: $\frac{\varrho_{Al}}{\varrho_{Cu}} = \frac{\varrho_{Al}}{\varrho_{Cu}} = \frac{0,02874}{0,0175} = 1,65.$

Aluminiumstværsnittet skal altsaa være 65% större end Kobbertværsnittet.

Vægten af l m. af denne Al. Traad er: $2,7 \cdot l \cdot (\varrho_{Cu} \cdot 1,65)$, idet Vægtfylden af Al. er 2,7. Vægten af den tilsvarende Kobbertraad er: $8,91 \cdot l \cdot \varrho_{Cu}$, idet Vægtfylden af Cu er 8,91.

$$\frac{\text{Vægt af Al}}{\text{Vægt af Cu}} = \frac{2,7 \cdot 1,65}{8,91} = 0,5.$$

Aluminiumstraadens Vægt er altsaa det halve af Kobbertraadens.

Naar Prisen for Aluminium er mindre end den dobbelte Kobberpris, er der Fordel ved at benytte Aluminium, saafremt da den Omstændighed, at Al. optager större Rum ikke spiller nogen Rolle (Samleskinner, Frileddninger etc.).

Aluminiumsledningen kan, hvad Opvarmningen angaar,

saale noget større Belastning end Kobberledningen, da jo Tværsnittet og dermed Afkølingsoverfladen er større.

Til Luftledninger spiller Styrkeforholdene en stor Rolle.

For akvivalente Tværsnit f. Eks. Cu = 6 mm², Al = 10 mm² har man ifølge Forsøg paa Nordisk Kabelfabrik:

	Cu	Al
Vægt i kg pr. km.	53,3.	27,2.
Brudstyrke i kg/mm²	45.	19,2.
Totale Brudstyrke / Vægt pr. km.	5,07.	7,1.
Modstand i Ohm pr. km.	2,83	2,85.

Lad os tage en Spændvidde for Kobbertraad paa 50 m = $\frac{1}{20}$ km., og lad os indspænde Traaden med en Sikkerhedsgrad paa 4. Der kan da anvendes et Træk (en Spænding) paa ca 10 kg/mm² under Opspændingen.

Det samlede Træk for ovennævnte Traad er 6 mm² × 10 kg/mm² = 60 kg. Dette Træk svarer til ca 22 Gange Vægten af den ophængte Traad, idet. $22 \cdot \frac{1}{20} \cdot 53,3 = ca. 60.$

Det ses, at man med samme Sikkerhedsgrad vil kunne spænde en Aluminiumstraad over den samme Strækning med et Træk paa ca. 35 Gange Traadens Vægt, idet

Trækket maa være $\frac{19,2}{4} \cdot$ Arealet $= \frac{19,2}{4} \cdot 10 = 48$ kg.

Vægten er $\frac{1}{20} \cdot 27,2 = 1,36.$

$$\frac{48}{1,36} = 35.$$

Nedhængningen bliver derved formindsket.

Man kunde ogsaa spænde med samme Træk som for Cu., nemlig 22 Gange Traadens Vægt, hvorved Længden kan forøges til $50 \cdot \frac{35}{22} = 80$ m, idet Sikkerhedsgraden stadigt er 4.

Det samme Forsøg paa Kabelfabriken viste endvidere, at Al. under en Udspandingsbelastning af 25% af Brudstyrken eller 5 $^{kg}/_{mm^2}$ kun viser halv saa stor Nedhængning som en Kobbertraad, der ligeledes er udspændt med en Belastning af 25% af Brudstyrken nemlig 10 $^{kg}/_{mm^2}$. Ved højere Temperaturer har Al. en noget større Nedhængning end Cu, men da man ifølge ovenstaaende med samme Sikkerhedsgrad kan udspænde Aluminiumstraad med ca. Halvdelen af Kobberets Nedhængning, behøver man ikke at tage særligt Hensyn til Temperaturudvidelsen, udover hvad man plejer at tage i Betragtning ved Oplægning af Kobberledninger.

Isolationsmaterialier.

Isolationsmaterialier er Stoffer, som kun leder Elektriciteten i yderst ringe Grad; saa lidt, at deres Ledningsevne i Praksis bør kunne regnes lig 0.

Almindelige isolerende Egenskaber.

Af det ideale Isoleringsmateriale maa kræves:

1) Høj Isolationsmodstand og høj Gennemslagsspænding samt stor Overfladeisolation.
2) Stærkt og modstandsdygtigt mod mekaniske Paavirkninger, Træk og Tryk, Bøjning, Slag, Rystelser.
3) Smidigt og bøjeligt.
4) Lang Levetid.

5) Ikke vandsugende.
6) Ikke paavirkeligt af sterk Hede, hverken med Hensyn til fysiske eller elektriske Egenskaber, selv om det udsættes herfor i længere Tid.
7) Absolut upaavirkeligt overfor kemiske Angreb, og det maa ikke selv være kemisk virksomt.
8) Maa ikke optage for megen Fugt.
9) Homogen Struktur.

Et saadant ideelt Materiale eksisterer naturligvis ikke, og man maa derfor i Praksis nøjes med Materialier, der opfylder enkelte af disse Fordringer, særlig passende for det særlige Formaal.

Som Eksempel paa, hvilke Fordringer man kan stille til Isolationsmodstand, skal nævnes et Par enkelte Tal. Saaledes er Isolationsmodstanden i de smaa Bly kabler med 2 eller 3 Traade, der almindeligt anvendes af Telefonvæsenet 500 Megohm pr. km.

I almindelige gode vulkaniserede Kabler fra Nordiske Kabel- og Traadfabriker er Isolationsmodstanden 1000 Megohm pr. km. Prøvespænding 2000 Volt, Driftsspænding indtil 700 Volt.

At Elektricitetskommissionen forlanger (Regulativets § 15, og § 28 a), at Isolationsmodstanden i hver Ledningsdel skal være mindst 1000 Ohm multipliceret med den effektive Driftsspænding; for Eksempel ved 220 Volt skal Isolationsmodstanden mindst være 220.000 Ohm. I Højspændingsanlæg indtil 500 Volt skal Isolationsmodstanden være 250.000 Ohm. Ved Driftsspænding over 500 Volt skal den mindst være 500 Ohm

multipliceret med den effektive Driftsspænding; for Ekspl. ved 4000 Volt skal Isolationsmodstanden være 2 Mill. Ohm = 2 Megohm.

Foruden denne Isolationsmodstand kræves der navnlig ved Højspændingsanlæg, at Isolationsmaterialet har en høj Gennemslagsspænding, idet Isolationsevnen ved Højspændingsisolation i høj Grad afhænger af denne Gennemslagsspænding.

Til den dobbelte Tykkelse af Isolationslaget svarer i Almindelighed ikke fuldt den dobbelte Gennemslagsspænding, men Gennemslaget indtræffer for en noget lavere Værdi end den dobbelte Spænding, som f. Eks. vedføjede Kurve for rent Glimmer viser (Fig 62).

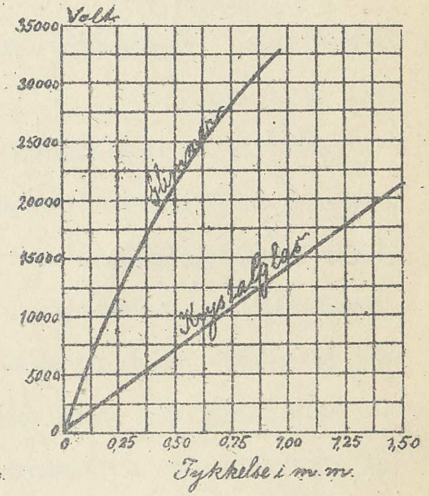


Fig. 62.

Gennemslagsspændingen er dog i høj Grad afhængig af ydre Forhold f. Eks. Fugtighed.

Tegningen (Fig 63) viser Gennemslagsspændingen pr. mm. Transformatorolie, naar Olien er forurenet med Vand.

Det ses, at selv meget ringe Vandmængder forringer Isolationsevnen stærkt. En Vandtilsætning paa 1/10 % forringer Gennemslagsstyrken med ca. 92 %.

Gennemslaget sker desuden for en given Isolations-

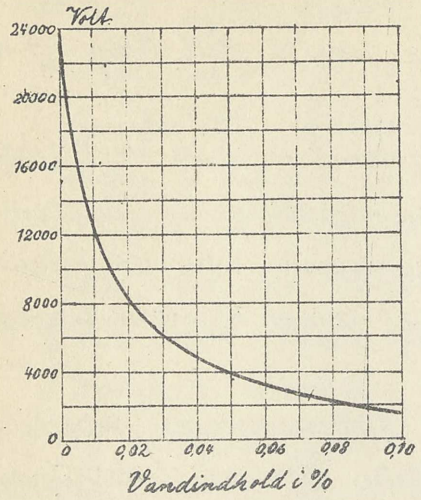


Fig. 63.

styrke lettere mellem Spidser end mellem Kugler og for disse atter lettere end mellem Flader.
Temperaturen har ligeledes en stor Indflydelse paa et Legemes gode Isolationsevne, og man kan i Almindelighed sige, at Isolationsmodstanden aftager med voksende Temperatur.
Her viser det sig dog, at med voksende Temperatur tiltager Isolationsevnen ved hygroskopiske Legemer til en vis Grad, idet Laget udtørres.

Stiger Temperaturen yderligere, falder Isolationsmodstanden. Kurven (Fig 64) viser saaledes Afhængigheden mellem Isolationsmodstand og Temperatur for et ikke impragneret Tøjstof.

For alle Trevlestoffer gælder det, at de, ved at udsættes for Temperaturer over 75-80° C i længere Tid, vil blive destruerede og mere eller mindre hurtigt forkullede, indtil Gennemslaget sker.

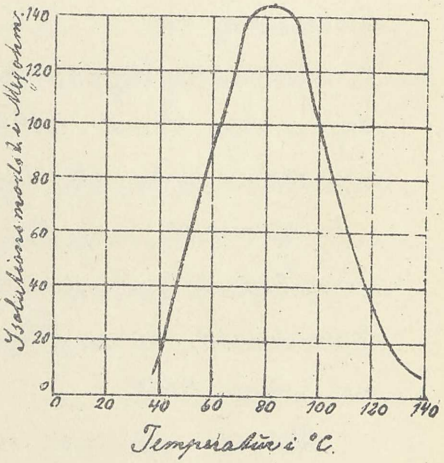


Fig. 64.

I tidligere Tid foreskrev man gerne, at Isolationsmaterialierne skulde have en vis minimal Isolationsmodstand pr. Meter eller pr. Kilometer. I den nyere Tid

foreskrives navnlig ved højere Spændinger i Almindelighed en bestemt minimal Styrke mod Gennemslag, idet man forlanger, at Legemet eller Isolationsstoffet skal kunne taale Paavirkning af f. Eks. 3 Gange normal Driftsspænding i en vis Tid.

Saaledes forlanger man ofte, at Jævnstrømsmaskiner til 500 Volt skal kunne taale at blive udsatte for 1100 à 1200 Volt effektiv Vekselstrøm i ca. ½ Time, det vil sige en Maksimalspænding paa indtil $\sqrt{2} \cdot 1200 = 1700$ Volt.

For Højspændingskabler til 6000 Volt foreskrives ofte en Prøve med 12–20000 Volt effektiv i ½ Time til 5 Minutter. De Fordringer, Elektricitetskommissionen stiller, er noget mindre (se Forskrifterne § 15 b).

Det er ikke ligegyldigt, hvor lang Tid man forlanger, at Materialet skal være udsat for Prøvespændingen, idet man nemlig risikerer, at ved længere Tids Indvirkning vil et Sted med svag Isolationsmodstand; hvorigennem der jo gaar en noget stærkere Fejlstrøm, blive stærkere paavirket end den øvrige Del af Isolationen, hvorved den efterhaanden kan antage en højere og højere Temperatur, der yderligere svækker Isolationsmodstanden, saaledes at der tilsidst sker et Gennemslag her.

Det ses heraf, at selv om et bestemt Isolationsstof er i Stand til at taale en høj Prøvespændings Indvirkning i kort Tid, vil det ikke altid være i Stand til at modstaa en noget lavere Prøvespændings Indvirkning i længere Tid, og man foreskriver da derfor ikke sjældent f. Eksempl.

3 dobbelt Prövespænding i 2 Minutter eller dobbelt Prövespænding i ½ Time.

Overfladeisolationen spiller en stor Rolle. En ellers god Isolator kan maaske blive mindre anvendelig, fordi Spændingen altfor let kan löbe langs Overfladen og „slaa over", længe för den slaar igennem.

Den normale Spænding maa heller ikke kunne slaa tværs over helt uden om Isolatoren direkte fra Traaden til Isolatorstötten, der oftest er af galvaniseret Jern.

Tra har en meget daarlig Overfladeisolation. De Stoffer, der har den tetteste og glatteste Overflade, har i Almindelighed ogsaa den bedste Overfladeisolation, fordi Stöv og Fugtighed her har ondt ved at hænge ved. För at opnaa en tilstrækkelig Overflademodstand mod Overslag, maa man meget ofte göre Vejen langs ad Overfladen betydeligt större end ellers nödvendigt, og navnlig maa Overfladen eller i det mindste visse Dele deraf beskyttes mod Fugtighed. Derfor stikker Micarörene i Höjspændingsmaskinerne adskillige cm. uden for Kobberne, derfor faar Isolatorerne Riller (forøget Længde langs Overfladen); udendörs Isolatorer laves med Kapper og Sarapiljer etc.

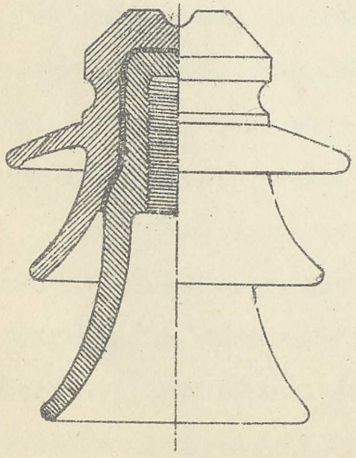


Fig. 65.

Porcellanet har en meget höj Overfladeisolation paa Grund af sin tætte og blanke Glasur, der forövrigt for Friluftsisolatorer ofte göres mörkfarvede for ikke at

friske Drenge til Stenkast. Højspandingsisolatorer sammenkittes ofte af flere Stykker, idet der derved opnaas en større Sikkerhed mod tilfældige daarlige Steder i Materialet (Fig. 65).

Det er en almindelig Regel for disse Isolatorer, at Sikkerheden for Gennemslag skal være større end for Overslag. En Overspænding vil da ikke sprænge Isolatoren.

De vigtigste Isolationsstoffer.

Der skal her nævnes forskellige af de hyppigst anvendte Isolationsmaterialier. De i det følgende nævnte Prøvespændinger er alle Effektivværdier.

Mica eller Glimmer har ringe mekanisk Styrke, men meget stor Isolationsevne og taaler godt høje Temperaturer. En Plade paa 0,19 mm. Tykkelse slaar først igennem ved 8000 à 12.000 Volt, en 0,45 mm. tyk Plade ved 18.000 à 30.000 Volt. Isolationsmodstanden er ca. $2500 \cdot 10^6$ Megohm for en Terning med 1 cm. Sidelinie (1 cm^3). Naturmica anvendes som Isolation mellem Kommutatorlamellerne.

Micapræparater dannede af Glimmerskal, der er sammenlimede under Tryk med et Minimum af Lak, er næsten lige saa gode som Naturglimmer og anvendes navnlig ved Højspændingsmaskiner og Transformatorer i Luft i et Utal af forskellige Former, navnlig som Rør, der lægges i Kanalerne og som Spolekasser for Transformatorer. Micaskallene klæbes ogsaa paa Papir og Lærred i flere Lag, og man faar derved udmærkede Isolationsmaterialier; der navnlig anvendes til elektriske Maskiner. Hvorfor Mica eller Micapræparater kan

taale Olie, men mister Isolationsevnen derved. Olie sker der Gennemslag mellem Kommutatorlamellerne indbyrdes eller mellem disse og Jern, fordi Olie er sivet ud af Lejerne og har ødelagt Micaen. Ankeret bør derfor altid forsynes med Sprøjteringe og Oliefangere.

Marmor er et udmærket Isolationsstof for lavere Spændinger indtil ca 6-700 Volt; det anvendes meget til Lavspændingstavler i Tykkelser paa 25-40 mm. For højere Spændinger er det ikke paalideligt, idet det ofte indeholder mere eller mindre synlige metalliske Aarer, der dog i Almindelighed ikke virker generende ved de sædvanligt anvendte lavere Spændinger.

Skifer. Poleret Naturskifer anvendes ligesom Marmor i udstrakt Grad til Lavspændingstavler.

Asbest benyttes meget som Isolationsmateriale ved Modstande, idet det ligesom Glimmer og Porcellain er udmærket modstandsdygtigt overfor høje Temperaturer. 2 mm. tyk Asbest kan taale 700-2100 Volt. Det er noget hygroskopisk.

Fra. Godt tørt Fra er en fortrinlig Isolator. Det maa imprægneres med Olie, Fernis eller Lak for ikke at suge Fugtighed. Det har et meget stort Rumfang i Forhold til sin Isolationsevne. Det anvendes fo Eksp. under Olien i Olieafbrydere og Transformatorer. Forøvrigt ikke meget.

Papir. Almindeligt Skrivepapir kan i tør Tilstand taale 6000-7000 Volt pr. mm. Tykkelse, men anvendes i Almindelighed paraffineret eller oieret eller imprægneret med forskellige Laksorter og kan da taale 17.000-27.000 Volt pr. mm. Tykkelse. Papir anvendes dels i Form af en Slags Sæp kaldet Pressipaan

(4000 - 10000 Volt) til indvendig Bekladning i Stoter, dels i Form af tykvæggede Rør under Olie til Isolering ved Olietransformatorer. Papir, som er impregneret med forskellige oliagtige Stoffer, anvendes til næsten alle moderne Højspændingskabler.

Bomuld. I sig selv er tørt Bomuld et ret godt Isolationsmateriale, selv i tynde Lag. Da det er vandsugende, maa det imprægneres med Lak. De enkelte Traade i Beviklingerne paa elektriske Maskiner er omspundne med 1 à 2 Lag Bomuld. Efter Beviklingen af Magnetspolerne eller Ankeret tørres disse Dele i Vacuum og imprægneres med Lak ved fuldstændig Nedsænkning. Bomuld kan ikke godt i Længden taale en højere Temperatur end ca. 80° C, hvorfor Maskiner og Transformatorer ikke maa belastes stærkere end indtil denne Temperaturgrænse (ca. 40 - 50° over Luftens Temperatur, der gerne maa regnes til 20 à 30° C).

Silke isolerer fortrinligt, selv i meget tynde Lag, men er for dyr til Maskiner. Silkeomspunden Traad anvendes meget til finere Apparater og Maaleinstrumenter.

Andre Højstoffer: Mousselin, der er imprægneret med Fernis eller Lak, kan taale 350 - 550 Volt ved Tykkelser paa henholdsvis 0,15 og 0,24 mm. Lærred, der er imprægneret med Lak, kan taale en Gennemslagsspænding paa henholdsvis 3500 - 13000 Volt for Tykkelser paa 0,15 og 0,39 mm. De fleste af disse Prøvestoffer (incl Papir) benyttes til almindelig Isolation af elektriske Maskiner og Ledningstraad, men taaler som omtalt ikke højere Temperaturer end 75 - 80° C, hvilken Temperaturgrænse saaledes bliver bestemmende for

en given Maskintypes Belastningsevne.

Ebonit giver en ganske fortrinlig Isolation, idet en 0,4 mm tyk Plade kan taale indtil 16000 Volt. Enkelte Sorter Ebonit kan taale indtil 3000 Volt paa en 0,1 mm. tyk Plade uden at slaa igennem. Stoffet er dog ikke varmebestandigt, men bliver blødt allerede ved 70° C., hvilket indskranker dets Anvendelighed i høj Grad.

Guttaperka og Paragummi er udmærkede Isolationsmaterialier. Rent Paragummi kan taale 18.500 Volt pr. mm. Anvendes i udstrakt Maalestok ved elektriske Ledningstraade til Husinstallationer, Lavspændingskabler etc.

Porcellain egner sig naturligvis ikke til Isolering af Traade og Beviklinger i elektriske Maskiner, men det maa uden for dette Omraade anses for at være et af de bedste Isolationsmaterialier. Det er ikke hygroskopisk, meget homogent, temperaturbestandigt, har en høj Gennemslagsevne: 9–10000 Volt pr. mm. Dets eneste Fejl er dets store Skørhed overfor mekanisk Paavirkning. Porcellainets Overflade kan modtage en fortrinlig Glasur, der bevirker, at Udladningerne langs Overfladen er forholdsvis smaa.

Glas. Alkaliglas taaler indtil 130000 Volt pr. mm. Det benyttes paa Grund af sin Skørhed ikke ret meget.

Luft. Luftens Gennemslagsstyrke er uafhængig af dens Fugtighedsgrad, naar Luften blot ikke er saa mættet, at der danner sig Dug og Taage eller Regn. Gennemslagsstyrken er ligefrem proportional med Luftens Tryk og omvendt proportional med den absolute Temperatur.

Ved Barometertrykket b = 760 mm. og Temperaturen 20° C. taaler Luften mellem Sfnaalespidser følgende Spændinger (Amerikanske Normalværdier):

Kilovolt.	Afstand i cm	Kilovolt	Afstand i cm.
5	0,57	100	24,4
10	1,19	150	38,1
15	1,84	200	52,1
20	2,54	250	65
30	4,13	300	79
40	6,22	350	92
50	9,0	400	105.
70	14,85	-	

Ved et Tryk paa 10 $^{kg}/_{cm^2}$ taaler Luften 210 Kilovolt pr. cm.

Isolatorernes dielektriske Egenskaber.

Foruden Isolatorernes rent isolerende Egenskaber maa ogsaa omtales deres dielektriske Egenskaber.

Saa lignende Kraade, som der fra en Magnet udgaar magnetiske Kraftlinier, vil der fra enhver elektrisk Leder, hvori der gaar Strøm, eller som er ladet med Elektricitet, udgaa elektriske Kraftlinier, der ikke maa forveksles med de magnetiske Kraftlinier, der opstaar omkring enhver Leder, hvori der gaar Strøm. Ledningsevnen for de magnetiske Kraftlinier kaldte vi 1 for Luften og μ for Jernet. Ledningsevnen μ kaldte vi Permeabilitetskonstanten. Saa lignende

Saaade sætter vi Ledningsevnen for de elektriske Kraftlinier i Luften lig 1, og i andre Isolatorer kalder vi den ε.

Denne Isolatorernes Ledningsevne for elektriske Kraftlinier (ikke at forveksle med Ledningsevnen for elektrisk Strøm) kaldes Dielektricitetskonstanten.

Ved ethvert Isoleringslag optræder der Kapacitetsvirkninger i større eller mindre Grad Kapaciteten mellem to Ledere adskilte ved et Isoleringslag er ikke alene proportional med Arealerne og omvendt proportional med Afstanden mellem „Belægningerne", men afhænger i høj Grad af det isolerende Stofs Natur, idet Kapaciteten er direkte proportional med Stoffets Dielektricitetskonstant ε.

Stof:	Dielektricitetskonstanten ε
Ebonit	2 à 3
Glas	6,6 à 7,4
Mica	4 à 8
Olie, Petroleum	2,1 à 2,4
Porcellain	4,4 à 5,3
Schellak	2,6 à 3,7
Imprægneret Papir	4,3.

Formlerne til Beregning af Kapaciteten for Luftledninger og Kabler for Stærkstrøm er ret indviklede og skal ikke udledes her.

Naar man kender en Lednings Kapacitet C, er det let at regne ud, hvor stor den Vekselstrøm J er, som holder denne Ledning opladet.

Vi har nemlig

$$J \cdot \frac{1}{2\pi\nu C} = E$$

$$J = 2\pi\nu C \cdot E.$$

En Kondensators potentielle Energi

Den opladede Kondensator indeholder en vis Energimængde A, der kan beregnes paa følgende Maade:

En Kondensators Ladning maalt i Coulomb er $Q = C \cdot E$, hvor Spændingen E maales i Volt og C maales i Farad. Spændingskurven er en eller anden Funktion af Tiden, og paa et givet Tidspunkt t vil Spændingen have Værdien e, medens Strømmens samtidige Værdi er i.

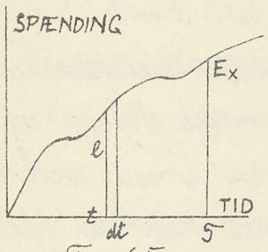


Fig 65a

Kondensatoren modtager i Løbet af Tiden dt en Arbejdsmængde $dA = e \cdot i \cdot dt$ Joule. Nu er imidlertid $idt = dQ$ = Tilvæksten i Ladning, hvilket ogsaa kan udtrykkes ved $dQ = C \cdot de$. Altsaa $dA = e \cdot C de$. Til Tidspunktet T, hvor Spændingen har Værdien E_x, vil den i Tiden fra 0 til T tilførte Energimængde være: $A = \int_0^T C e de = C \int_0^{E_x} e de = \frac{C \cdot E_x^2}{2}$ Joule.

Denne Arbejdsmængde ligger altsaa gemt i en fuldt opladet Kondensator, og den vil udlades, naar de to Belægninger kommer i Berøring med hinanden.

Resultatet er almengyldigt, uafhængigt af Spændingskurvens Form.

Eksempel: Et 5 km. langt Enfasekabel for 6000 Volt med en Kapacitet paa 0,3 Mf/km. afbrydes i det Øjeblik, Spændingen har sin Maksimalværdi. Kablet har da en vis Ladning. Hvor stor er den Arbejdsmængde, som ligger gemt i dette Kabel?

$$A = \frac{1}{2} \cdot C \cdot E^2$$

$$C = 5 \cdot 0{,}3 \cdot 10^{-6} = 1{,}5 \cdot 10^{-6} \text{ Farad.}$$

$E = 6000 \cdot \sqrt{2} = 8500$ Volt = Spændingens Maksimalværdi.

$$A = \frac{1}{2} \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot (8500)^2 \text{ Joule}$$

$$A = 54 \text{ Joule} = 54 \cdot 0{,}102 = 5{,}5 \text{ mkg.}$$

Hvis et Menneske berører dette Kabel, vil han faa denne Udladning igennem sig og rimeligvis blive slaaet ihjel deraf.

Hvis samme Kabel havde været benyttet til Driftsspandingen 2000 Volt, vilde Energimængden kun have været $\frac{5{,}5}{9} = 0{,}6$ mkg.

I Isolatorerne optræder der de saakaldte dielektriske Hysteresetab, der vokser med Spændingens anden Potens og med Periodetallet. Tabene er dog i Reglen saa smaa ved de gangse Periodetal og Spændinger, at man her kan se helt bort fra dem. Denne Slags Tab findes ikke ved Jævnstrømsledninger.

Magnetiske Materialier.

Jernet: Det vigtigste af alle magnetiske Stoffer er Jernet, hvis magnetiske Ledningsevne vi allerede tidligere har gjort fuldt ud Rede for gennem Magnetiseringskurverne. Disse viser, hvor mange Ampèrevindinger der er nødvendige for at drive en Kraftstrøm B gennem 1 cm^2 Tværsnit og 1 cm. Længde af den paagældende Jernsort.

Den potentielle magnetiske Energi.

Der kræves et vist Arbejde for at faa drejet alle Jernmole

kylerne den rigtige Vej. Det kan vises, at dette Arbejde er:

$$\frac{L \cdot J^2}{2} \text{ Joule},$$

hvor L er Selvinduktionskoefficienten for Magnetviklingen, og J er Magnetiseringsstrømmen. Dette Arbejde findes som potentiel Energi i Systemet, og det udløses, saasnart Strømmen J brydes, idet saa godt som alle Jernmolekylerne saa drejer sig tilbage igen, som om de havde været fastholdte af strammede Elastiker der nu pludselig slappes. De faa Jernmolekyler, der ikke har drejet sig tilbage, giver den remanente Magnetisme.

Beregningen af den potentielle Energis Størrelse udføres saaledes:

Paa et givet Tidspunkt t er Strømmen lig i og Variationen af Strømmen er $\frac{di}{dt}$, repræsenteret af Tangenten til Strømkurven.

EMK er i dette Øjeblik $L \frac{di}{dt}$, og den i Tiden dt udviklede Arbejdsmængde dA er Strøm × Spænding × Tid $= i \cdot L \frac{di}{dt} dt$ Joule.

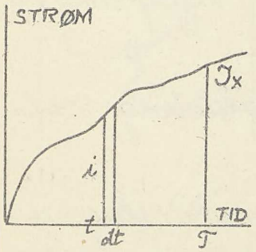


Fig 65b.

Det Arbejde, som er udviklet i Tiden fra o til T, hvor samtidigt Strømmen har varieret fra o til J_x, er:

$$A = \int_0^T L i \frac{di}{dt} \cdot dt = L \int_0^{J_x} i \, di = \frac{L \cdot J_x^2}{2} \text{ Joule.}$$

Resultatet er almengyldigt, uafhængigt af Strømkurvens Form.

Eksempel: Ørsteds Elektromagnet.

Jernets Længde l: = 230 cm.

Jernets Tværsnit Q: = 60 cm^2

Vindingstallet $N = 6816$.

Jernets Ledningsevne $\mu = 50$.

Viklingens Modstand $R = 15$ Ohm.

Vi kan nu beregne:

$$L = 0{,}4\,\pi N^2 \mu \frac{Q}{l} \cdot 10^{-8} = 0{,}4\,\pi \cdot 6816^2 \cdot 50 \cdot \frac{60}{2\,30} \cdot 10^{-8} = 7{,}6 \text{ Henry.}$$

Hvis der anvendes en Jævnstrøms-Spænding paa 15 Volt, faas 1 Amp. i Magnetviklingen. For at opnaa denne Strøm, maa der anvendes et Arbejde paa $\frac{L \cdot J^2}{2} = \frac{7{,}6 \cdot 1^2}{2} = 3{,}8$ Joule $\simeq 0{,}39$ mkg, idet 1 Joule = 0,102 mkg.

Hvis denne Strøm afbrydes i 1/100 Sek., opstaar der en Spænding paa $E = L \cdot \frac{dJ}{dt} = 7{,}6 \cdot \frac{(1-0)}{1/100} = 760$ Volt.

For derfor at undgaa, at der skal opstaa en for høj Spænding, naar Strømmen brydes pludseligt, anvender man gerne at kortslutte Magnetviklingen gennem en Modstand, umiddelbart før Afbrydelsen af Magnetiseringsstrømmen.

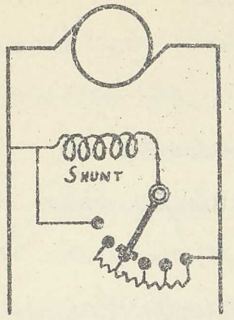
Spændingen bliver da helt ufarlig paa Grund af, at der nu uhindret kan opstaa en Udligningsstrøm.

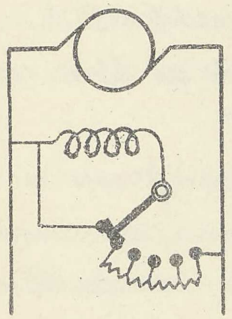
Figur 66 viser den sædvanlige Anordning ved Skuntdynamoer.

Feltet er et Øjeblik kortsluttet gennem Magnetreguleringsmodstanden, som derfor maa indeholde tilstrækkelig Modstand.

Feltet kan ogsaa afbrydes med en særlig Magnetafbryder gennem en særlig Afbrydningsmodstand (Fig 67).

Magnetafbryderen skal ligeledes her føre begge





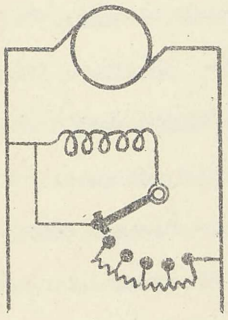


Fig 66.
Opvarmning af Strömvarmetab.

Kontakterne samtidigt.
For en Motor er den almindelige Anordning noget lignende (Fig 68), idet Feltet overhovedet aldrig afbrydes. Igangsatnings-modstanden indeholder altid de 3 Klemmer F, A, L (Felt, Anker, Ledning), og <u>Forbindelserne skal altid være som vist</u>.

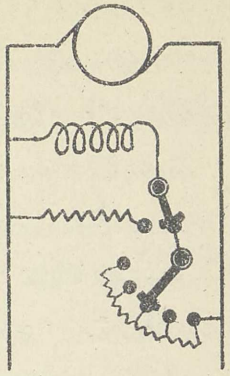


Fig. 67.

Naar først Jernmolekylerne er drejede, vil der ved en ideal Magnet ikke kræves mere Arbejde for at holde Magnetismen vedlige. Dette kan simpelthen indses deraf, at Magnetspolerne maa bruge akkurat den samme Ström, hvadenten der er en Jernkærne indeni dem eller ikke. Den hele Energi medgaar til Magnetviklingen, idet den bliver til ohmsk

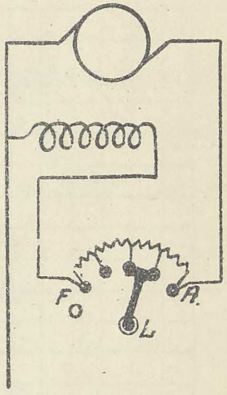


Fig. 68.

<u>Jernfabene ved varierende Magnetisme.</u>
Nöjagtig saaledes er Forholdene, naar et Stykke Jern mag-

metiseres med Jævnstrøm; men naar Jernet udsættes for vekslende Magnetisme, saaledes som i Vekselstrømsmaskiner og i Ankeret i Jævnstrømsmaskiner, opstaar der særlige Tab i det, nemlig Hvirvelstrømstabene og Hysteresetabene.

Hvirvelstrømstabene eller Foucaülttabene søger man saa vidt muligt at undgaa ved at lamellere Jernet i de Dele af Maskinen, som er udsatte for den vekslende Magnetisering. Hvirvelstrømstabene er proportionale med $(\sim \cdot B)^2$.

Hysteresetabet skyldes Jernets Tragthed til at blive magnetiseret. Tabet er proportionalt med $\sim \cdot B^{1,6}$.

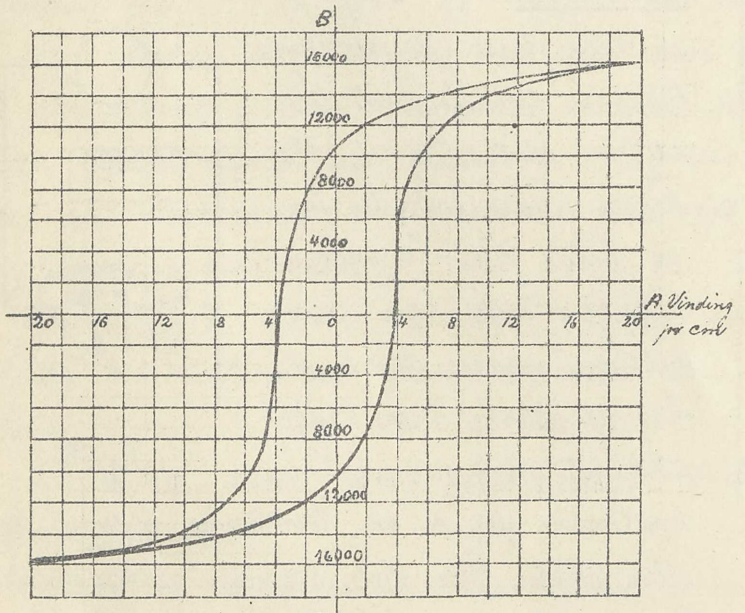


Fig. 69.

Jernets større eller mindre Permeabilitet udtrykt ved de kendte Magnetiseringskurver (Side 10) har intet som helst med disse to Tab at gøre. Fig. 69 viser Hysteresen ved stigende og faldende Magnetisering. En Sort Jern kan godt have en større Permeabilitet end en anden Sort og dog have større Tab end denne.

Som Maal for Tabene i en bestemt Jernsort angiver

man Jernets Tabskoefficient, hvorved forstaas Summen af Hysterese- og Hvirvelstrømstabene i Watt/kg ved en maksimal Indüktion $B_{max} = 10000$, et Periodetal $\nu = 50$ og en Bliktykkelse $d = 0,5$ mm.

Tabskoefficienten er for:

		Pris i Francs/ts.
Normale Bliksorter:	3,8 Watt/kg	250.
Special Blik:	2,6 ---	400.
Bedste Kvalitet af stærkt legerede Blik:	1,85 à 1,5 ---	950.

Permeabiliteten er omtrent ens for alle 3 Sorter ved de almindeligt anvendte Indüktioner.

De legerede Blik indeholder dels Nikkel, hvorved Permeabiliteten forøges noget, dels Silicium (ca. 3,5%), hvorved navnlig Hvirvelstrømstabene reduceres betydeligt, fordi disse Blik har en større ohmsk Modstand end almindeligt Jern.

De almindeligst anvendte Indüktioner er for:

Jævnstrømsmaskiners Anker:	8 – 10.000
Synkronmaskiners Rotor og Stator:	6 – 10.000
Indüktionsmotorers Rotor:	8 – 12.000
Enfase Kommütatormotorers Rotor og Stator: . .	9 – 11.000
Transformatorer:	10 – 14.000

I Maskinernes Tænder anvendes: . . . . . 18 – 22.000.

Spændingsforhøjelse, naar Strømmen afbrydes i et Kredsløb.

Ogsaa paa anden Maade end tidligere anført kan der opstaa Resonnans i elektriske Ledningssystemer, saavel for Jævnstrøm som for Vekselstrøm, nemlig ved pludselige Tilstandsandringer i de elektriske Forhold. Saadanne Resonniansfænomener vil kunne indtræffe i Strømkredse med Kapacitet og Induktivitet i Parallelforbindelse (Fig 70).

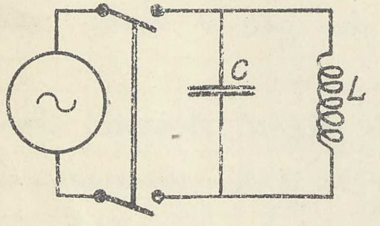


Fig. 70.

Lad os tænke os, at Strømmen afbrydes i det Øjeblik, den har Værdien J.

I den induktive Modstand er i det betragtede Øjeblik opsparet en vis Energi:

$$A = \frac{L \cdot J^2}{2}$$

Denne bliver nu pludseligt fri og oplader Kondensatoren, der derved faar en Energi:

$$A = \frac{C \cdot e^2}{2} = \frac{L \cdot J^2}{2}$$

Heraf findes:

$$e = J \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Et Øjeblik efter aflader Kondensatoren sig, og den hele Energimængde løber tilbage til Selvinduktionen, og dette Spil vedvarer saa længe, indtil den ohmske Modstand har opslugt den samlede Energi og forvandlet den til Varme.

Det vil indses, at da det betragtede System under disse Svingninger jo ikke mere er i Forbindelse med Strømkilden

vil Periodetallet for Resonnanssvingningerne ikke kunne være afhængigt af andet end Systemets indre elektriske Konstanter L, C og R. Det er saaledes ligegyldigt, om den oprindelig afbrudte Strøm J stammede fra en Jævnstrømsdynamo eller fra en Vekselstrømsgenerator.

Det kan bevises, at en Svingning af den omhandlede Art kun kan komme i Gang, naar $\frac{4L}{C} > R^2$.

Som Eksempel herpaa skal anføres:

En stor Induktionsmotor, som ved fuld Belastning bruger 100 Amp. pr. Fase ved $\cos\varphi = 0{,}8$ er tilsluttet til Enden af et 10 km. langt Kabel, der har en Kapacitet af 0,2 Mf. pr. km. Maskinen fødes med Trefasestrøm af 6000 Volt og $\nu = 50$. Modstanden er 3 Ohm.

Hvilke Spændinger vilde der optræde, hvis vi tænkte os, at Maksimalafbryderen faldt ud under fuld Belastning i et Øjeblik, hvor Strømmen har sin Maksimalværdi.

Af Netspændingen $E_m = 6000$ Volt benyttes $E_w = 0{,}8 \cdot E_m = 4800$ Volt til Arbejde (Fig 71); desuden anvendes $E_{wl} = \sqrt{E_m^2 - E_w^2}$ til Overvindelse af den induktive Modstand. $E_{wl} = 3600$ Volt $= 2\pi\nu L \cdot J$.

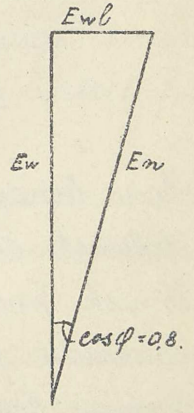


Fig. 71.

J er Strømmen pr. Fase = 100 Ampère.

Heraf faas: $L = \frac{3600}{2\pi \cdot 50 \cdot 100} = 0{,}115$ Henry.

$C = 10 \cdot 0{,}2 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-6}$ Farad.

Betingelsen for, at Svingning kan opstaa, er til Stede, idet:

$$\frac{4L}{C} = \frac{4 \cdot 0{,}115}{2 \cdot 10^{-6}} = 2{,}3 \cdot 10^5 > 3^2.$$

Den opstaaede Spænding er:

$$E_{max} = J_{max}\sqrt{\frac{L}{C}} = 100\sqrt{2}\sqrt{\frac{0{,}115}{2\cdot 10^{-6}}} = 34.000 \text{ Volt.}$$

Da Kablet er konstrueret med 3 Gange Sikkerhed, altsaa for en effektiv Prøvespænding = $3 \cdot E_m$ = 18000 Volt med en Maksimalværdi paa $18000 \cdot \sqrt{2}$ = 25500 Volt, vil det rimeligvis brande gennem.

Det vil imidlertid under normal Drift sjældent gaa saa galt, idet man ved saa store Spændinger og Energimængder (ca. 1000 KW) altid vil anvende Olieafbrydere, der har den Egenskab at afbryde Strømmen i det Øjeblik, denne passerer sin Nulværdi. Ved Kortslutninger, hvor der opstaar en Lysbue, som gerne blæser sig selv ud, naar Strømmen passerer sin Maksimalværdi, kan derimod Overspændinger befrygtes.

Elektriske Maskiner.

Man kender flere forskellige Maader til Frembringelsen af elektrisk Energi:

1) Kemisk Energi kan omsættes til elektrisk Energi i de saakaldte primære Elementer. Som Eksempler skal blot anføres Kromsyreelementet, Daniels, Bunsens og Leclanchés Elementer. I Svagstrømsteknikken anvendes saadanne Elementer ret meget. I Akkumulatorbatterierne eller de sekundære Elementer omsættes først elektrisk Energi til kemisk Energi, der da atter kan tilbagegives som elek-

trisk Energi. Saadanne Batterier med Blyplader i fortyndet Svovlsyre finder udstrakt Anvendelse i den moderne Teknik.

2) Varmeenergi kan i de saakaldte Thermobatterier omformes til elektrisk Energi. Dette benyttes navnlig ved forskellige Maaleinstrumenter, Pyrometre og lignende.

3) Mekanisk Energi kan overføres til elektrisk Energi paa forskellige Maader:

a) Elektricitet kan frembringes ved Gnidning: Gnidningselektricermaskiner, Influensmaskiner, Elektroforer etc. Intet af disse Apparater har Interesse for den moderne Stærkstrømsteknik.

b) Elektricitet kan frembringes ved magnetisk Induktion, idet man under Anvendelse af mekanisk Kraft tvinger magnetiske Kraftlinier til at skære metalliske Ledere, i hvilke der da opstaar elektrisk Energi svarende til den anvendte mekaniske Energi (bortset fra de nødvendige Tab).

Det er denne sidste Form for Frembringelse af Elektricitet, der har fundet Anvendelse i de moderne elektriske Dynamoer og Generatorer.

Der findes i alt væsentligt to Hovedtyper af saadanne elektricitetsfrembringende Maskiner, nemlig Jævnstrømsmaskiner [direct current machines, DC machines — Gleichstrommaschinen] og Vekselstrømsmaskiner [alternating current machines, AC machines — Wechselstrommaschinen].

Ved moderne Maskiner af begge Arter bringes elektriske

Ledere til at skære elektromagnetiske Kraftlinier.

Den Del af Maskinen, i hvilken Kraftlinierne under Driften skæres Metaldelene, kaldes Maskinens Anker. I Fig. 72 er altsaa den roterende Jernring den Del, der kaldes Ankeret.

I mange Vekselstrømsmaskiner er det Magneterne, som roterer, og Ankeret, som staar stille.

Den simpleste af alle Maskiner er den Vekselstrømsmaskine, som er vist paa Fig. 10 Side 19.

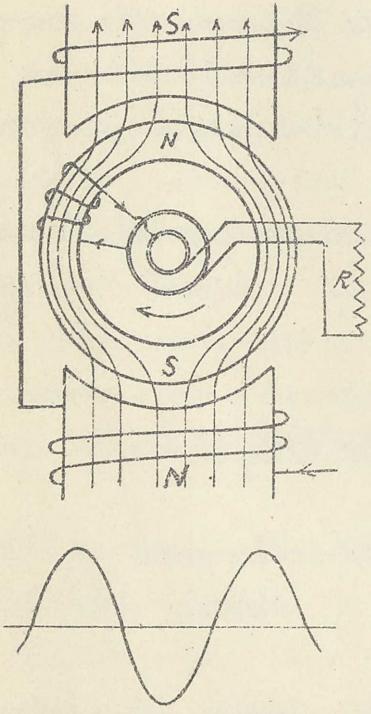


Fig 72

En ligende simpel Maskine er vist paa hosstaaende Fig. 72.

Det vil let ses, at denne Maskine ligeledes vil frembringe Vekselstrøm, som kan aftages gennem de to Kontaktringe.

Af disse to Grundformer for Vekselstrømsmaskiner, begge med Jævnstrømsmagnetisering [DC exciting — Gleichstromerregung], opbygges saa godt som alle moderne elektricitetsfrembringende Maskiner baade for Jævnstrøm og for Vekselstrøm. De ganske faa Undtagelser, som findes, for. Eksp.: Induktionsgeneratorer (asynkrone Generatorer) er saa specielle og saa sjældne, at de ikke kan finde Omtale her.

En Maskine, som omsætter mekanisk Energi til nyttig elektrisk Energi, kaldes en Generator eller en Dynamo. En

Maskine, som omsætter elektrisk Energi til nyttig mekanisk Energi, kaldes en Motor.

I det følgende skal vi undersøge disse Maskiner og deres Konstruktion og Arbejdsmaade lidt nærmere.

Nedenstaaende nye Betegnelser vil blive benyttede:

P = Netspændingen = Maskinens Klemspænding.
$\triangle P$ = Spændingsfaldet i Maskinen.
E = Maskinens elektromotoriske Kraft.
E_o = Maskinens EMK ved Tomgang.
J = Den samlede Strøm som Maskinen optager el. afgiver (ydre Strøm)
i_a = Ankerstrømmen
i_m = Magnetiseringsstrømmen.
R = Nettets samlede Modstand (ydre Modstand.)
r_a = Ankerets Modstand
r_m = Magnetviklingens Modstand
R_m = Magnetregulerings modstand

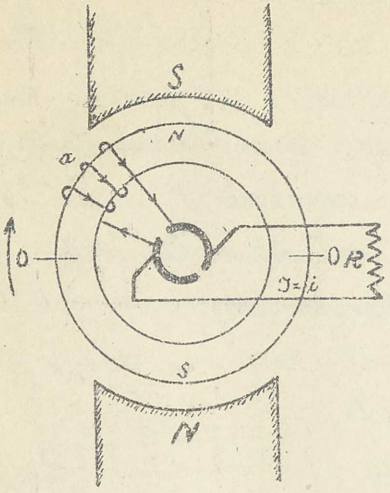
Jævnstrømsmaskinens Ankerviklinger.

Jævnstrømsmaskinernes Ankere kan deles i 2 Hovedgrupper.

Ringankere
Trommeankere

Ringankerets Opstaaen kan let forklares gennem følgende Udvikling:

Een Spole, der som vist paa Fig. 73. er forbundne til



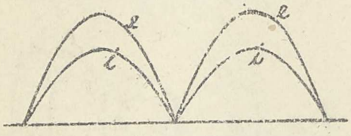


Fig. 73.

en overskaaren Kontaktring paa Ankeret, vil give en ensrettet Vekselspænding: e.

Naar Spolen befinder sig i Planet O–O, vil den bevege sig parallelt med Kraftlinierne og EMK er da 0.

Naar Spolen befinder sig ved N, skærer den Kraftlinierne med størst Hastighed, og EMK er Maksimum.

I Retningen O–O er EMK atter 0, og i Stillingen ved S har EMK et Maksimum i modsat Retning. Retningen O–O kaldes den neutrale Zone, og her anbringes Børsterne

Størrelsen af den Strøm, som den opstaaede EMK kan sende gennem Børsterne ud i Forbrugsmodstanden R, vil vi betegne med i. Denne ensrettede Vekselstrøm er meget langt fra at være nogen Jævnstrøm.

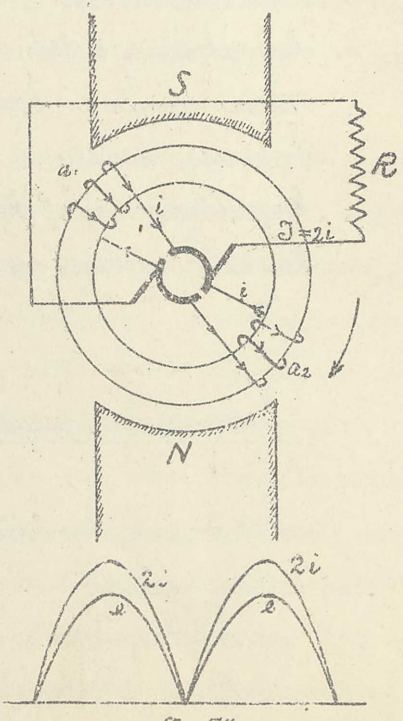
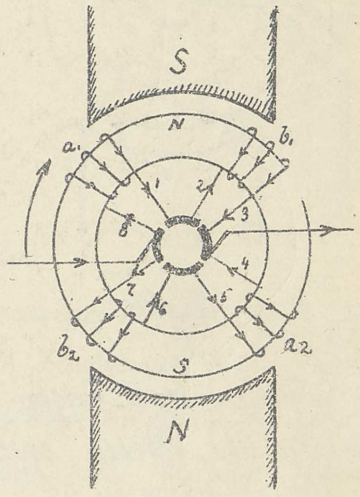


Fig. 74.

Ved at lagge en Spole nøjagtigt svarende til den første, men paa Ankerets modsatte Side, faas en bedre Udnyttelse af Ankeret (Fig. 74), idet man faar Strømmen 2i udtaget gennem Børsterne. Spændingen er den samme som før nemlig $2e$.

Det næste Skridt bliver at skære Kontaktringen over i et Snit vinkelret paa det første og anbringe endnu et Par Spoler her (Fig 75).

Det ses, at nu vil de to Spændinger, der f. Eks. opstaar i de to Spoler a_1 og b_1 addere sig. Disse Spændinger er 90° faseforskudt for hinanden. Strømmene i Grupperne a_1 og a_2 og b_1 og b_2 er som før i Fase med hinanden og adderer sig uden videre.



De enkelte Spændinger og den samlede Spænding ses af Kurverne paa Fig 75.

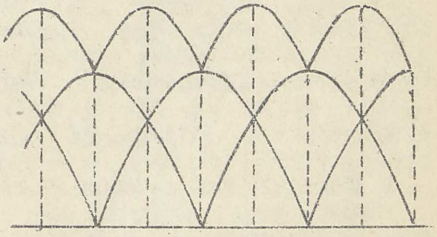


Fig. 75.

I jo flere Dele Kontaktringen parteres, og jo flere dertil hørende Spoler vi anbringer, des jævnere bliver Spændingskurven og dermed ogsaa Strømkurven. Det ses, at de to Tilledningstraade til samme Sektion af Kontaktringen kan sluas sammen til een. Ankeret nærmer sig derved til at blive et jævnt beviklet Ringanker (Fig 76), og

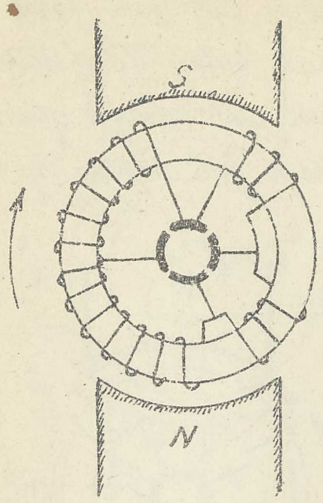


Fig. 76.

den flerdelte Kontaktring gaar over til at blive en almindelig Kommutator. Strømmen bliver for et ikke særlig stort Antal Kommutatorlameller meget snart nasten retliniet. Det vil indses, at Strømmen ikke maa afbrydes ved Børsterne et eneste Øjeblik, hvorfor en Børste er nødt til ved Overgang fra den ene Lamelle til den næste at maatte berøre to Lameller i Kommutatoren samtidigt. Derved bliver den Spole, der ligger mellem disse to Lameller kortsluttet i et Øjeblik. Dette spiller dog ved en ideal Maskine ikke nogen større Rolle, fordi jo vedkommende Spole netop i det Øjeblik er i den neutrale Zone mellem Polerne og altsaa theoretisk ikke har nogen E.M.K., der kan give Anledning til Kortslutningsstrømme. Ved de almindelige i Praksis anvendte Maskiner er Forholdet noget anderledes, hvorom nærmere senere.

Det vil let indses, at der kun induceres en E.M.K i den Del af Beviklingen, som ligger paa Ankerets Yderside, idet kun disse Ledere skjæres af Kraftlinierne (se Fig. 77). For at undgaa den unyttige indre Del af Beviklingen har da Siemens fo-

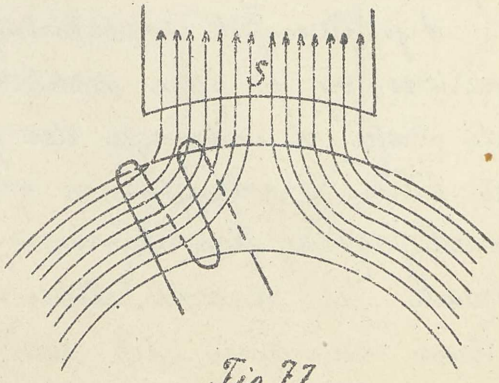


Fig. 77.

reslaaet at vikle Vindingerne tvers over Ankeret (Fig 78). Man har da opnaaet aldeles det samme som ved det paa Fig. 74 viste tospolede Ringanker. Et saadant Anker kaldes et Trommelanker.

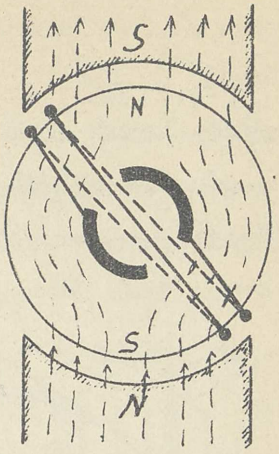


Fig 78.

Det ses, at alle Traadene i den ene Side af Spolen ligger under en Sydpol, alle Traadene i Spolens modsatte Side ligger under det tilsvarende Sted paa Nordpolen.

Retningen af den inducerede EMK bestemmes let ved den almindelige Haandregel. Saa Fig 74 gaar den tegnede Kraftlinie paa høire Side af Lederen. Et Øieblik senere vil den være paa Lederens venstre Side. Der vil da søge at opstaa en Strøm i denne, saaledes rettet at Kraftlinien søges opretholdt paa høire Side, d. v. s. de af den inducerede Strøm i Lederen fremkaldte Kraftlinier vil forløbe som vist.

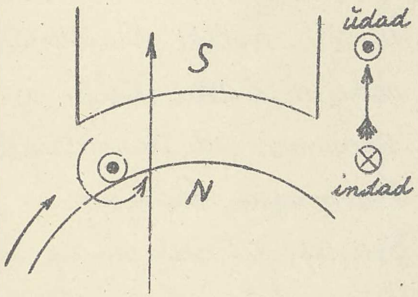


Fig 79.

Ifølge Haandreglen vil Strømmen da gaa vinkelret op af Papirets Plan.

En saadan Strøm optegnes betegnes ved et Punkt, d. v. s. en Pilespids set lige forfra. En Strøm, som gaar ind i Papiret betegnes ved et ×, d. v. s. en Pil med Styrefjer set bagfra.

Saa ligjende Maade som i Fig. 78 kan Ringankeret's næste 2. Spoler b_1 og b_2 (se Fig 75) omdannes til en enkelt Spole med den ene Traad under en Nordpol, den anden under en Sydpol, og man sörger for, at disse forskellige Spoler kommer til at arbejde i Serie med hinanden ligesom ved Ringankeret. For hver Spole anbringes 1 Kommutatorlamelle ligesom för.

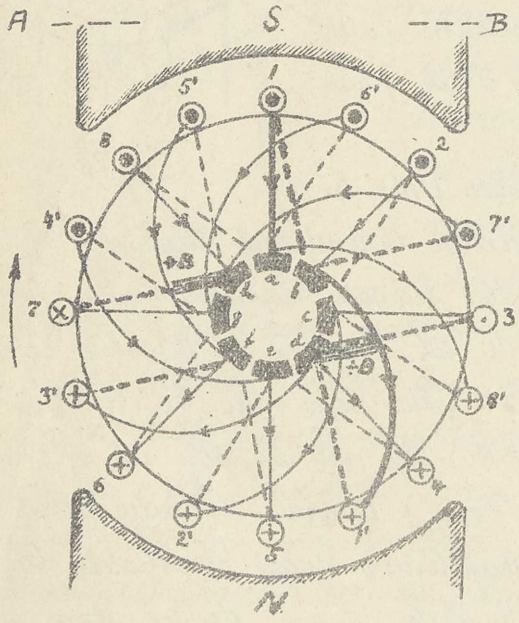


Fig. 80.

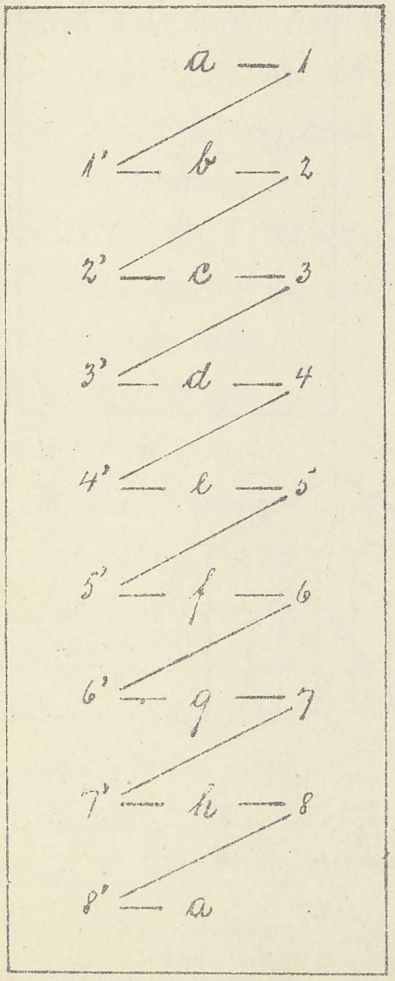
Vi begynder for Eksempl. (Fig 80) med Kommutatorlamellen a og vikler Spolen 1–1', gaar derpaa til næste Lamelle b. og vikler Spolen 2–2' o.s.v. Vi ser, hvilke Kraftlinier den enkelte Leder skjærer og bestemmer ved Haandreglen Strömmens Retning.

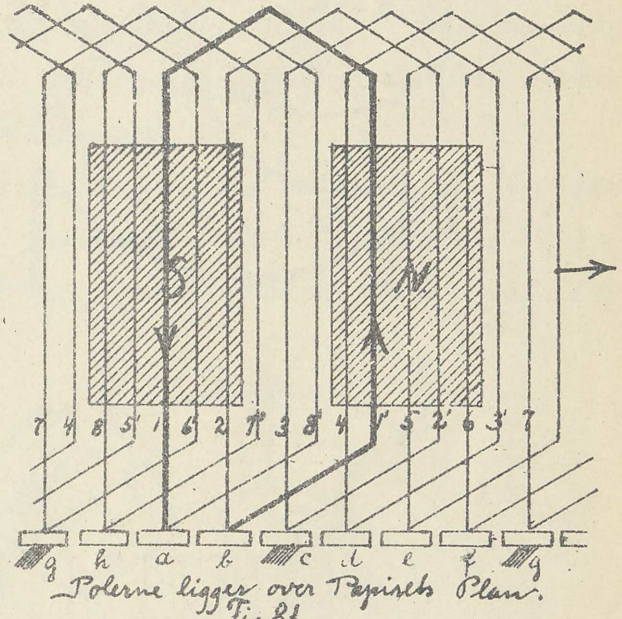
Det ses, at ved en af Lamellerne löber begge Strömme til og ved en anden af Lamellerne löber begge Strömme bort. Paa disse to Lameller anbringes Börsterne.

Det ses endvidere af Figuren, at i Lederne 3 og 7 induceres ingen elektromotoriske Kræfter. Disse to Ledere ligger i den neutrale Zone, og Börsterne er altsaa ogsaa anbragt i den neutrale Zone. (At dette paa Figuren ikke stemmer helt, kommer af, at Antallet af Ledere er tegnet alt for lille).

Fig 81. viser Beviklingen i Udfoldning, idet den er sprættet op ved Traad 7. De skraverede Poler ligger over Papirets Plan, idet vi ser paa det udfoldede Anker fra Snittet A–B.

Maaden hvorpaa Viklingen er udført, kan karakteriseres gennem følgende Tabel, hvor Skraastregerne betyder Spolerne, de korte vandrette Streger er Forbindelserne til Kommutatorlamellerne.





Polerne ligger over Papirets Plan.

Fig. 81.

Hvis vi inde i Ankeret begynder ved den negative Børste og følger Strømmen, ses det, at denne deler sig i to Dele, der gaar ad følgende to Veje, inden den naar den positive Børste:

$$\div B \left\{ \begin{array}{l} d\,4\,4'\,e\,5\,5'\,f\,6\,6'\,g\,7\,7'\,h \\ d\,3\,3\,c\,2'\,2\,b\,1'\,1\,a\,8'\,8\cdot h \end{array} \right\} + B.$$

De to Kredsløb er aldeles symmetriske, og der er saaledes

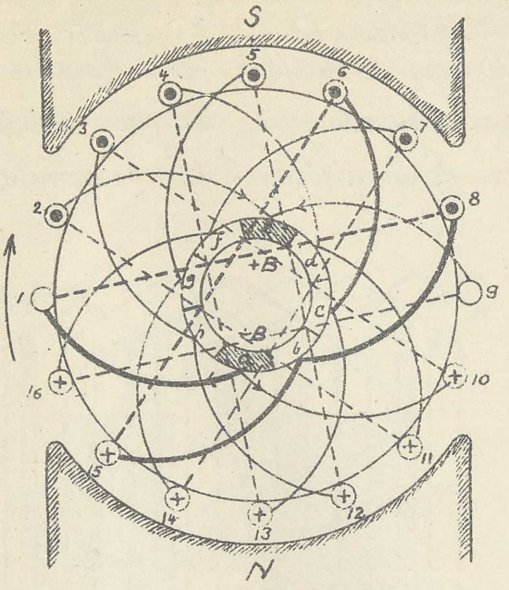
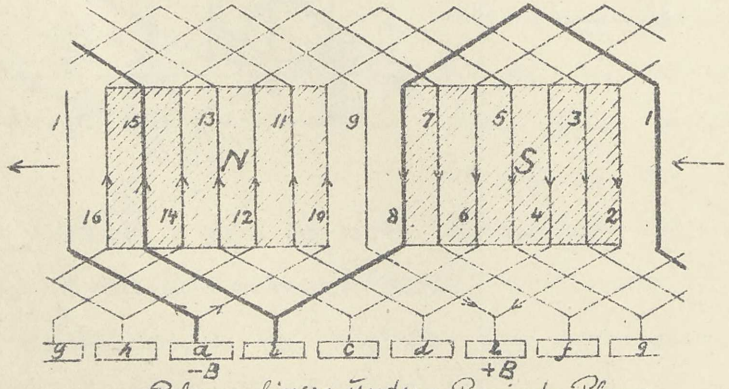


Fig. 82.

a — 1
8 — b — 15
6 — c — 13
4 — d — 11
2 — e — 9
16 — f — 7
14 — g — 5
12 — h — 3
10 — a



Polerne ligger under Papirets Plan.

Fig. 83.

$$-B \left\{ \begin{matrix} 1 & 8 & 15 & 6 & 13 & 4 & 11 & 2 \\ 10 & 3 & 12 & 5 & 14 & 7 & 16 & 9 \end{matrix} \right\} +B.$$

altsaa ogsaa ved Trommeanker ligesom ved Ringanker 2 Strømkredse, i hvilke der inducéres lige store E.M.K. og hvori der gaar lige stærke Strømme.

I Stedet for at vikle Ankeret med 1 Traad, kan man ogsaa bevikle det med 2, 3 eller flere (a) parallelle Traade, og Strømmen fordeler sig da paa 2, 3 eller flere (a) Par Strømbaner. Ankeret har da 2a Strømkredse, og i hver af disse gaar der da en Strøm, der er $\frac{1}{2a}$ af den samlede Strøm, som passerer Ankerets Polklemmer.

En anden Art af Vikling er vist paa vedføjede Fig 82, og paa Fig 83 ses den i Udfoldning. Det ses, at i denne Udfoldning danner en enkelt Vikling en aaben Bølge, medens Spolerne i den forrige Vikling danner lukkede Sløjfer. Disse to Viklingsformer kaldes derfor henholdsvis „Bølgevikling" og „Sløjfevikling", medens Ringviklinger ogsaa ofte kaldes „Spiralvikling" idet Traadene jo her er viklet i Spiral om Ringen og ogsaa i Udfoldning viser sig i Spiral. Det vil nu være let at forstaa Princippet for Viklingerne paa flerpolede Maskiner. En saadan Vikling faar en

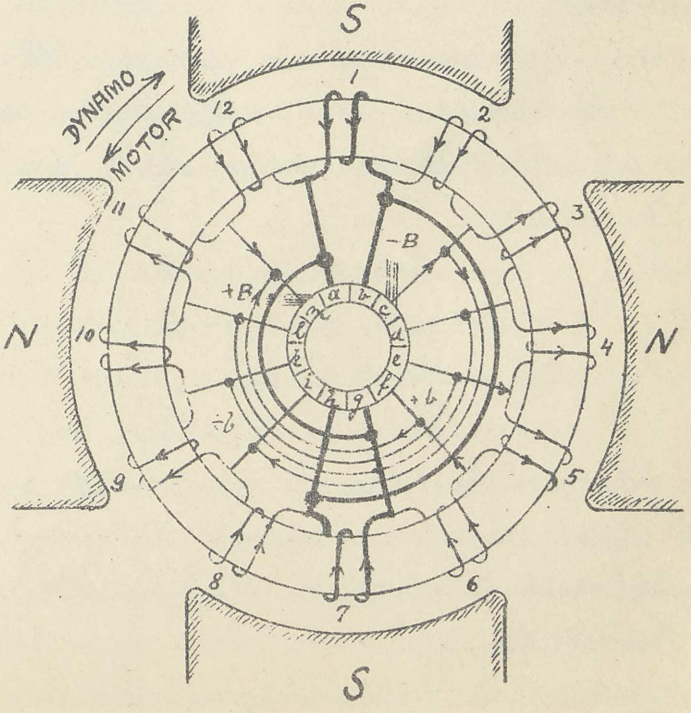


Fig 84.

Maskine med 2p = 4 Poler ses paa Fig. 84.

De to positive Børster skal anbringes ved Lamellerne m og f, de to negative ved Lamellerne c og i. Man kan dog nøjes med eet Par Børster, naar der anvendes de paa Figuren viste Forbindelsestraade, de saakaldte Ækvipotentialforbindelser eller Udligningsforbindelser, men disse Forbindelser anvendes forøvrigt ogsaa meget ved Maskiner med alle 2p Børstesæt. Hvis nemlig Spændingerne i de forskellige Strømkredse paa Grund af smaa Usymmetrier i Maskinen er ganske lidt forskellige, vil der kunne opstaa Udligningsstrømme, som hellere maa tage Vejen gennem Ækvipotentialforbindelserne end gennem Børsterne, der gerne i Forvejen er tilstrækkelig haardt belastede af den rigtige Maskinstrøm.

Ved flerpolede Maskiner dannes i Almindelighed flere end de 2 Strømkredse, som altid findes ved 2 polede Maskiner.

Paa det firepolede Anker Fig. 84 findes saaledes følgende 4 Strømkredse:

fra + B til ÷ b
fra + B til ÷ B
fra + b til ÷ B
fra + b til ÷ b.

Havde Ankeret været viklet med 2 parallelle Traade hele Vejen rundt, saa havde der for hver af disse Strømkredse været 2 parallelle Veje for Strømmen, altsaa ialt 8 Strømkredse.

Sættes a til Almindelighed Antallet af Strømkredse paa Ankeret lig 2a, faas i førstnævnte Tilfælde a = 2, i sidste

Tilfalde er $a = 4$. Dette har Betydning ved Beregningen af en Maskines EMK.

Trommelankerets Viklinger kan varieres paa flere forskellige Maader inden for de viste Hovedprincipper. Traadene lægges altid i Noter, som er skaaret ned i Ankerets cylindriske Overflade, og som i Almindelighed følger Frembringerne (undertiden har de en svag Hældning mod Frembringeren). Kan opnaar ved Anvendelsen af Noter, at Traadene ligger bedre fast, og at der i de fremspringende Tænder mellem Noterne dannes godt ledende Veje for Kraftlinierne mellem Polerne og det egentlige Ankerjern.

Som oftest ligger der to eller flere Ankerledere eller Spolesider i hver Not, og Anordningen af disse kan atter give Anledning til forskellige Variationer af Ankerviklingerne.

Traadene holdes fast i Noterne ved Hjælp af Trækiler paa langs ad Noterne og ved Bandagebaand af Bronce lagt rundt om Ankeret.

Selve Ankeret er, for at undgaa Foucaultstrømme i Jernet, bygget op af tynde Jernblikplader, hvis Tykkelse er ca. 0,5 m/m, og disse Plader er magnetisk isolerede fra hinanden med et tyndt Lag Lak eller ved paaklæbet tyndt Silkepapir.

Kommutatorens eller Kollektorens Lameller udføres af haardtvalset Kobber, og de isoleres fra hinanden indbyrdes ved 0,5 å 1 mm. tykke Plader af Mica. Det er af Vigtighed, at Kobber og Mica har tilnærmelsesvis den samme Haardhedsgrad for at Slidet fra Børsterne kan blive ens. Lamellerne holdes samlede af kraftige V formede Spænderinge.

Kommutatorens Overflade skal være nøjagtig centrisk og omhyggeligt poleret.

Børsterne bestaar gerne af særligt præparerede Kul, der kan taale en Strømbelastning af indtil 7 à 15 Amp/mm². Hvert enkelt Kuls Kontaktflade er sjældent over 6 à 9 cm², hvorfor der ofte maa sidde flere Kul parallelt ved Siden af hinanden paa samme Børstestift. Kulholderne skal være konstruerede saaledes, at de trykker Kullene mod Kommutatoren med et fast og roligt Tryk, som let kan efterregüleres, og ligeledes bør Kullene let og hurtigt kunne udtages og efterses.

Alle Børstestifterne sidder paa en fælles Børstebro, og hverandren af dem er indbyrdes forbundne. Ledningerne fra de to Sæt parallelforbundne Børstestifter føres hen til Maskinens to Hovedklemmer, der i Almindelighed er anbragt isoleret et eller andet Sted paa Stativet.

Gennem disse to Klemmer ledes altsaa Strømmen til og fra Ankeret. Se endvidere Tavle I.

Jævnstrømsmotoren og dens Omdrejningsretning.

En Maskine, der er forsynet med en Ringvikling eller Trommevikling som foran beskrevet, vil ikke alene kunne benyttes som Dynamo, men ogsaa som Motor.

Naar der nemlig udefra gennem Børsterne sendes Jævnstrøm ind i Ankeret, vil dette give sig til at løbe rundt

og vil derved kunne udføre mekanisk Arbejde. Dette kan let vises, idet vi for Ekspl. tager det paa Fig. 75 afbildede Anker og sender Strøm ind i det udtra (Fig 85). Vi vil lade Strømmen passere Viklingerne i samme Retning som før, da Ankeret virkede som Dynamoanker. Polerne er ligeledes de samme som før. Naar man tegner op N og S for hver enkelt af Spolerne, findes let de forskellige Tiltrækninger og Frastødninger og det ses, at Omdrejningsretningen er modsat før.

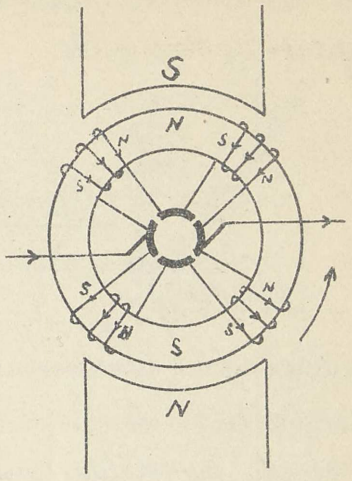


Fig. 85.

Hvis vi byttede Magnetpolerne om for Motoren, vilde Omløbsretningen være den samme som for Dynamoen.

Hvis vi vendte Ankerstrømmen for Motoren, men lod Polerne være uforandrede som for Dynamoen, vilde Motoren stadigt løbe samme Vej rundt som Dynamoen.

Altsaa:

En Maskine vil løbe samme Vej rundt baade som Motor og som Dynamo, hvis ved den forandrede Driftsmaade enten Ankerstrømmens eller Magnetkraftens Retning vendes.

En Maskine vil løbe modsat Vej rundt som Motor, saafremt ingen Ombytning finder Sted, eller hvis baade Ankerstrømmens og Magnetkraftens Retning vendes.

Jævnstrømsmotoren kan altsaa bygges nøjagtig paa samme Maade som en Jævnstrømsdynamo, og der vil i Almindelighed

ikke være noget i Vejen for at benytte en saadan Motor som Dynamo og omvendt.

Ankerreaktionen.

[armature reaction — Ankerrückwirkung]

Naar en Jævnstrømsmaskine belastes, opstaar der i dens Ankerviklinger Strøm, som paavirker Maskinens Magnetsystem og derved fremkalder visse Fænomener, hvis Virkninger kan være het ubehagelige, idet Maskinen dels afmagnetiseres noget, dels kan komme til at gnistre ved Børsterne paa Grund af den derved foraarsagede Deformation af Feltet.

Begge Fænomener skyldes Ankerets tilbagevirkende Kraft eller Ankerreaktionen.

Vi betragter for Nemheds Skyld en topolet Maskine, og vi tegner kun de egentlige Ankerledere ind, men ikke alle Endeforbindelserne forpaa og bagpaa Ankeret (Fig 86). Det ses let, at hvis vi vilde magnetisere en Cylinder paa tværs, vilde vi paa en aldeles tilsvarende Strømfordeling i Magnetiseringsviklingen (Fig 87). Ankerstrømmen vil magnetisere Ankeret, saa dette gennemløbes af magnetiske

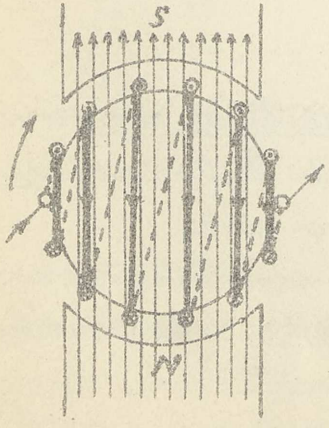


Fig. 86

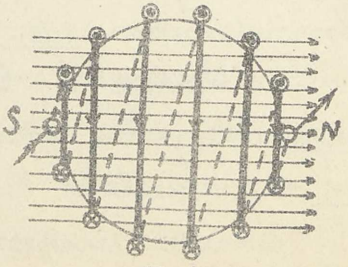


Fig. 87

Kraftlinier paa tvers af Kraftlinierne i Feltet fra Maskinens Poler.

Ankerets AV og Magneternes AV kan tænkes sammensat til et resulterende Antal AV (Fig 88).

Ankerets AV er 90° bagefter Magneternes AV, idet vi følgende Omdrejningsretningen først træffer Magneternes AV, dernæst Ankerets AV.

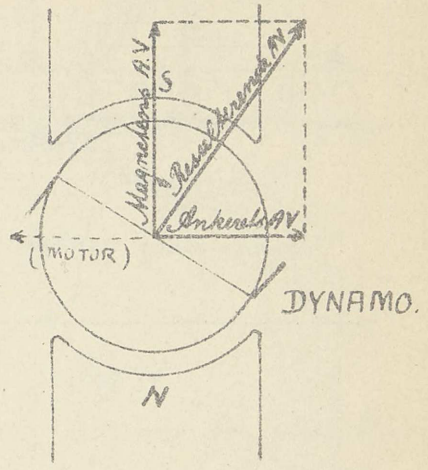


Fig. 88.

Ankerreaktionen er des stærkere, jo større Ankerstrømmen er, og jo flere Vindinger der ligger paa Ankeret. Ved Tomgang er Ankerets AV lig Nul, ved fuld Belastning størst.

Hvilket Felt disse AV formaar at frembringe, afhænger i høj Grad af den Modstand, Kraftlinierne møder paa deres Vej. Kan Kraftlinierne forløbe gennem Jern, faas et stærkt Felt; men hvor Kraftlinierne maa gaa igennem Luften, faas kun et meget svagt Felt.

Fig. 89 viser Ankerets Udfolding, saaledes at Ankerets Overflade danner et vandret Plan, (ses her som en ret Linie,) under Magnetpolerne. Den angivne Strømfordeling viser, at Ankeret tilhører en Dynamo.

a) viser Magnetfeltet, saaledes som det findes i Ankerjernet.

b) viser Ankerfeltet ved Belastning, 90° forskudt for Magnetfeltet. Det naar ikke sin Maksimalværdi (punkteret) mellem Polerne, saaledes som man skulde antage, tværtimod bliver Feltet her meget lille, fordi Kraftlinierne maa for-

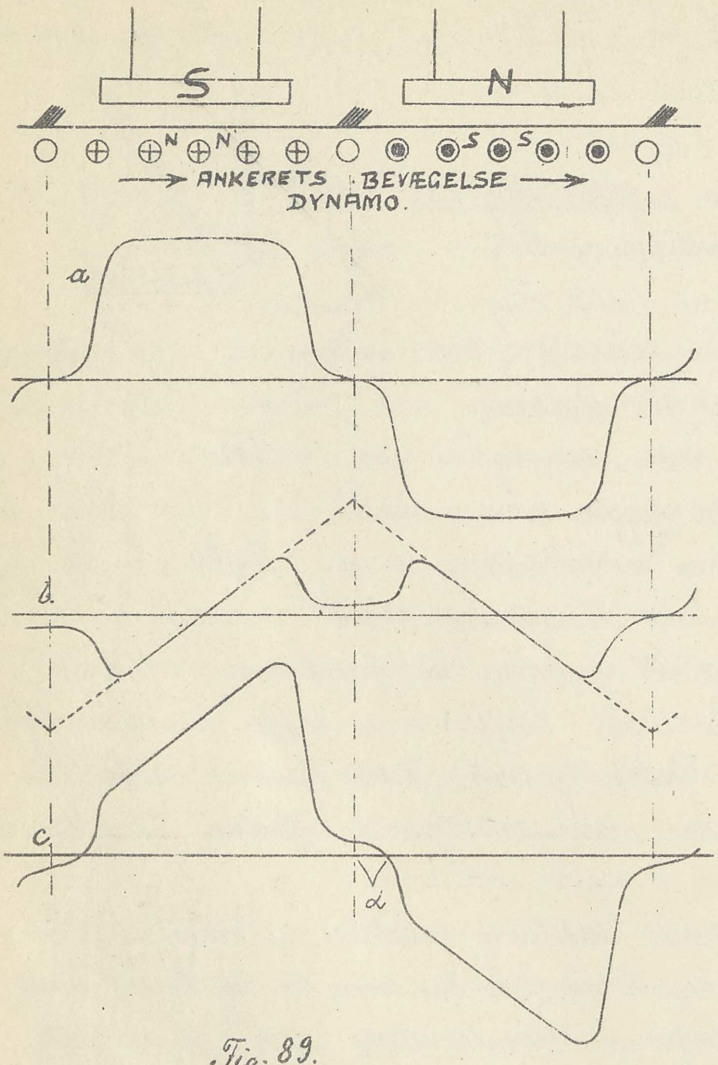


Fig. 89.

löbe gennem den magnetiske store Modstand i Luften. Ved Tomgang er Ankerfeltet lig Nul.

c) viser det resulterende Felt, der er opstaaet ved Addition af Magnetfeltet og Ankerfeltet ved Belastning.

Det ses, at Børsterne ved Belastning ikke mere staar i den neutrale Zone, idet denne har flyttet sig et Stykke d til højre (med Omdrejningsretningen). Børstiforskydningen maa derfor blive ulige stor ved de forskellige Belastninger af Maskinen, størst ved fuld Belastning og 0 ved Tomgang.

Naar Børsterne er flyttet over i den nye neutrale Zone, frembyder der sig imidlertid et nyt Billede af Forholdene, idet det af Fig. 90 og 91 ses, at Ankerets AV nu kun

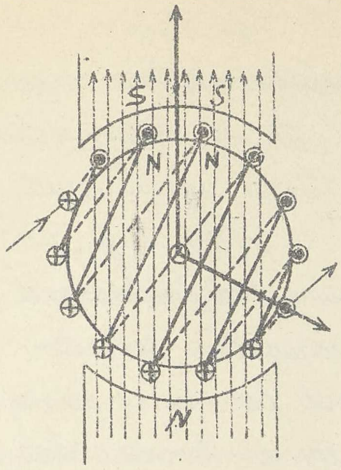


Fig. 90.

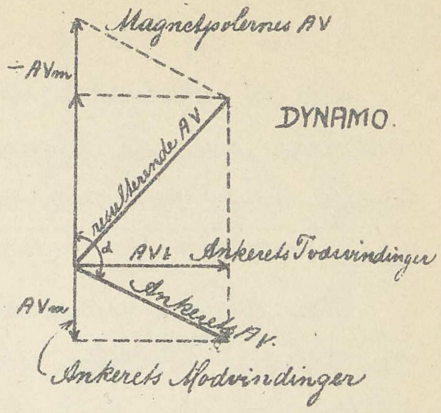


Fig. 91.

tankes oplöst i to Dele, hvoraf den ene ligesom før giver Kraftlinier vinkelret paa ~~Ankeret~~ Magnetpolernes Akse, og den anden giver Kraftlinier i Maskinfeltets Retning, men modsat virkende. Vi har altsaa nu en Ankerreaktion, der baade giver tvermagnetiserende og afmagnetiserende Kraftlinier. Vi faar da en Feltfordeling som vist paa Fig. 92. Det ses, at det resulterende Felt af Ankerets AV er svækket langt mere ved den ene Side end det er forøget ved den anden Side. Resultatet er en Afmagnetisering af Maskinen, saaledes som vi ogsaa har

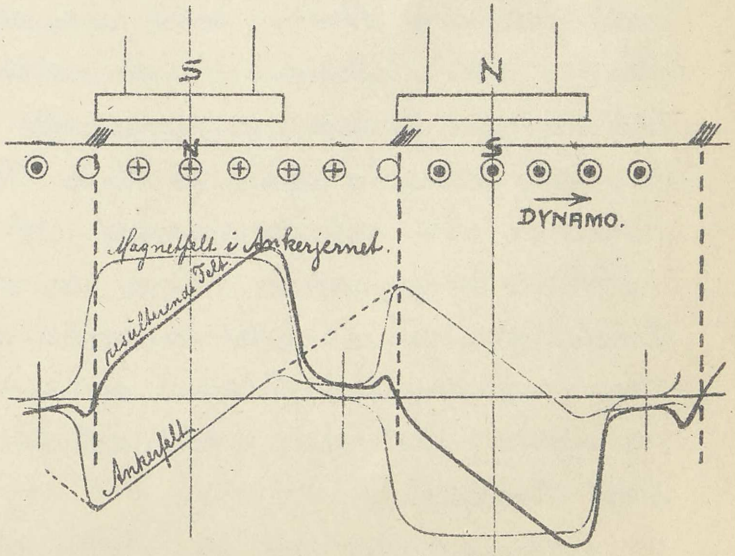


Fig. 92.

indset dét af Diagrammet Fig 91.

For at modvirke denne Ankerreaktion, kan man søge at modvirke hver af Komposanterne, der jo begge vokser proportionalt med Ankerstrømmen og altsaa ogsaa med Belastningen.

Den afmagnetiserende Komposant modvirkes ved, at man magnetiserer Maskinen stærkere, efterhaanden som den belastes stærkere, hvilket kan ske, enten ved at man udskyder lidt af Reguleringsmodstanden for Magneterne, hvorved Magnetiseringsstrømmen bliver stærkere, eller ogsaa ved Kompoundering.

Den tværmagnetiserende Komposants Virkning i den neutrale Zone søges tildels modvirket ved Hjælp af smaa Poler, der anbringes i Tværfeltets Retning d.v.s. midt imellem Maskinpolerne i den neutrale Zone. Disse saakaldte Vendepoler, Kommuteringspoler eller Hjælpepoler magnetiseres med hele den Strøm, som tages ud af Ankeret, og de bliver derved i Stand til automatisk at modvirke Tværfeltet, hvis Intensitet jo ogsaa er proportional med Ankerstrømmen. Man kan derved undgaa at flytte Børsterne, og det afmagnetiserende Felt vil da forsvinde af sig selv.

Nogen Afmagnetisering bliver der dog altid, idet Kraftlinieledningen jo er meget uensartet fordelt under Polen, svag ved den ene Polkant og stærk ved den anden. (Se Fig 93, der viser Feltfordelingen for en Maskine med Vendepoler).

Permeabiliteten vil da heller ikke være ens, og Middeltallet af Kraftlinierne vil ikke – saaledes som for

Simpelheds Skyld først forudsat - være det samme som ved Tomgang, men mindre.

Feltets skjæle Form bevirker endvidere, at det ved Maskiner uden Vendepoler er ret vanskeligt at finde det nøjagtige Punkt, hvor Børsterne skal anbringes, og dette vil navnlig være vanskeligt ved stærkt feltsvækkede Maskiner, som løber med stærkt forceret Hastighed (hvorom nærmere i et senere Afsnit), idet Ankerreaktionens Virkning paa det svage Felt her bliver unormalt stor.

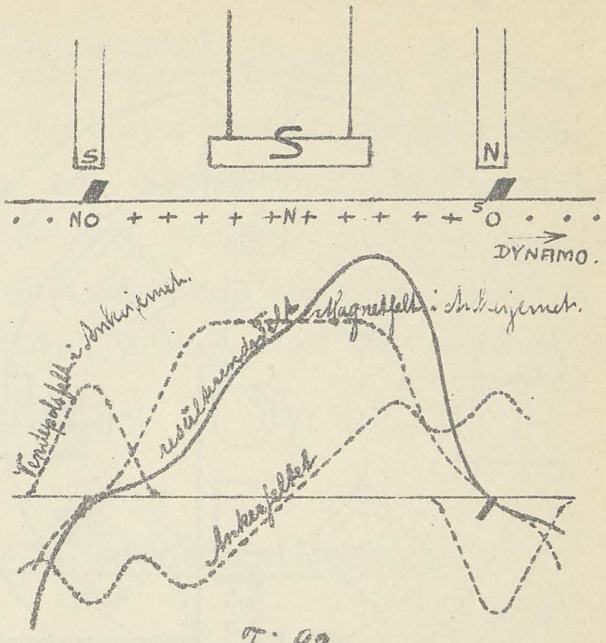


Fig. 93.

Ved Vendepolsmaskiner er det betydeligt lettere at finde den rigtige Børstestilling (den geometrisk rigtige Stilling er ogsaa den elektrisk rigtige), og den een Gang fundne Børstestilling skal ikke mere forandres.

Dette er Forholdene omtalt i store Træk; selvfølgelig er der en Mængde yderligere Forhold at tage Hensyn til, der gør, at Billedet bliver noget mindre klart, og som bevirker, at Ankerreaktionen ikke helt kan ophæves ved Hjælp af Vendepolerne. Dog byder disse Vendepoler saa store Fordele, at de nutildags anvendes ved en meget stor Mængde af elektriske Maskiner, saavel ved Dynamoer

som ved Motorer.

Fig 94 viser en Shunt-Dynamo med Vendepoler. Da Virkningen af Tværfeltet, som er 90° bagud for Hovedfeltet - som tidligere paavist - skal modarbejdes af Vendepolsfeltet, maa dette være modsat rettet eller 180° forskudt i Forhold til Tværfeltet, d.v.s.

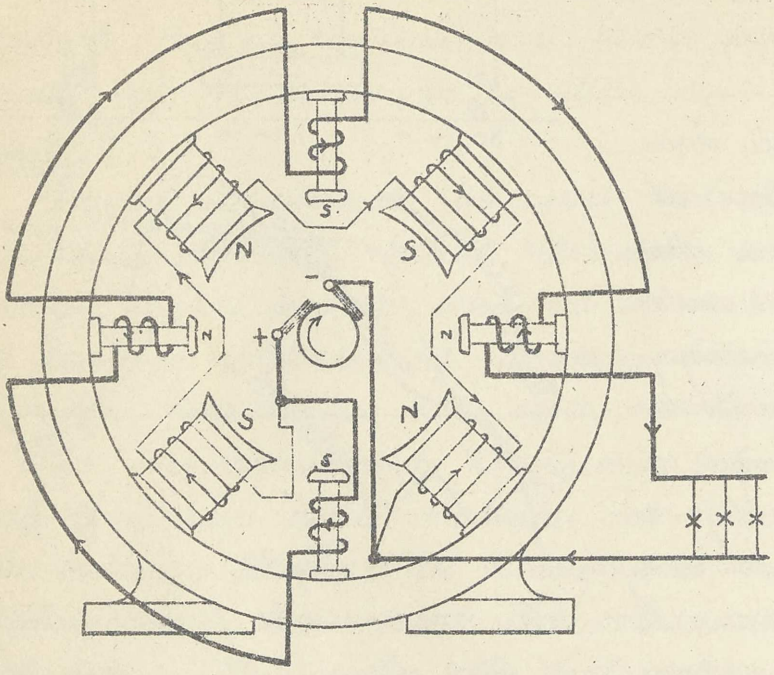


Fig. 94.

Vendepolsfeltet er 90° foran for Hovedfeltet. Vendepolen (Nord) kommer altsaa foran den ensbenævnte Hovedpol (Nord).

Hvis den viste Shuntmaskine havde været en Motor med samme Omdrejningsretning, var Strømmen gaaet ind i +Bolten i Stedet for som vist ud af den. Ankerstrømmen er altsaa vendt, hvorved Ankerreaktionen naturligvis ogsaa er vendt. Hertil passer det netop meget godt, at Strømmen jo samtidigt er vendt i alle Vendepolerne, saaledes at disse altsaa stadigt virker modsat Tværfeltet.

Vendepolen kommer derfor ved en Motor efter den ensbenævnte Hovedpol. Strømmen i Hovedpolerne har nemlig

ikke skiftet Retning.

Det ses, at Maskinen uden nogen Omkoplning af Traad-forbindelserne arbejder lige godt som Dynamo og som Motor.

Vendepoler bruges meget ved Motorer med stærkt varierende stødvis Belastning, samt ved alle Skuntmotorer, hvis Hastighed skal varieres stærkt, da saadanne Maskiner, naar de ikke forsynes med Vendepoler, er tilbøjelige til stærk Gnistdannelse.

Beregning af en Jævnstrømsmaskines Magnetisering [exciting-Erregung] og elektromotoriske Kraft.

Alle moderne elektriske Maskiners Magneter er Elektromagneter. I de allerfleste Tilfælde tages Strømmen til Jævnstrømsmaskinernes Magnetvikling fra Maskinens egne Klemmer kun i meget faa Tilfælde anvendes Fremmedmagnetisering, hvor Magnetiseringsstrømmen tages fra en anden Strømkilde.

Ved næsten alle Jævnstrømsdynamoer udnyttes det saakaldte Dynamoprincip, der første Gang er bleven antydet af Danskeren Søren Hjorth.

Naar en Maskine een Gang har været magnetiseret med fremmed Strøm, vil der altid i Jernet blive nogle Kraftlinier tilbage, som ikke forsvinder ved Afbrydelsen af Strømmen (Remanensen) Naar derefter Maskinen kores op

som Dynamo, vil Ankeret rotere i dette svage Felt og vil derved faa en svag EMK, som vil være i Stand til at sende en svag Strøm gennem Magnetviklingen. Saafremt Forbindelsen mellem Magnetvikling og Anker efter Fremmedmagnetiseringen er rigtigt udført, vil denne Strøm forstærke Feltet, hvorved igen Ankerets EMK vil stige. Saaledes vil Magnetiseringsstrømmen og Ankerets EMK vedblive at vokse, indtil de forhaandenværende Modstande, Jernets Mætning etc. sætter en Grænse for yderligere Spændingsstigning. En Jævnstrømsdynamo kan altsaa arbejde sig selv op paa Spænding.

Motorers Magnetiseringsstrøm tages næsten altid fra samme Sted som Ankerstrømmen.

Jævnstrømsmaskinerne kan efter den Maade, hvorpaa de magnetiseres deles i 3 Hovedtyper:

1) Seriemaskiner [Series machines – Hauptschlüssmaschinen]
2) Shuntmaskiner [Shuntmachines – Nebenschlüssmaschinen]
3) Kompoundmaskiner [Compoundmachines – Verbundmaschinen]

Disse tre Typer er karakteriserede ved følgende Figurer (Fig 95, Fig 96, Fig 97).

Seriemaskinen (Fig 95). magnetiseres med selve den Strøm, der gaar gennem Ankeret; dens Magnetvikling ligger i Serie med Ankeret.

Strømmen er stor og Vindingerne faa.

Shuntmaskinen (Fig 96) magnetiseres med en Strøm gennem en Sideledning eller Shuntledning til Ankeret.

Strømmen er lille, og der er mange Vindinger.

Kompoundmaskinen (Fig 97) magnetiseres baade med Shuntstrøm og med Ankerstrøm. Serie- eller Kompoundvindingerne er gerne faa, men fører jo en stor Strøm. De kan vikles saaledes, at de kan virke med eller mod Shuntvindingerne.

Alle 3 Maskintyper kan desuden være forsynede med Vendepoler (= Kommuteringspoler).

Den elektromotoriske Kraft, der opstaar i arbejdende Jævnstrømsmaskiner, kan findes paa følgende Maade:

Naar en Vinding, der ligger paa Ankeret (Fig 98), har drejet sig fra Stillingen ab til Stillingen a'b' d.v.s. ½ Omdrejning, er den i samlede Variation af de Kraftlinier der gaar gennem Vindingens Plan lig 2Φ, nemlig fra $+\Phi$ til $-\Phi$.

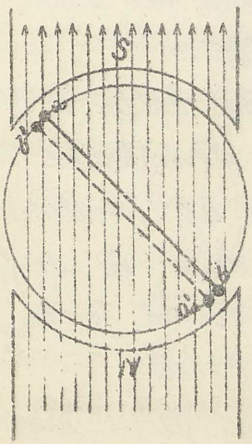
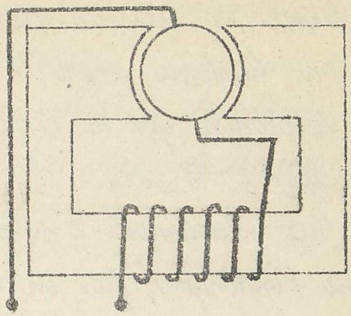
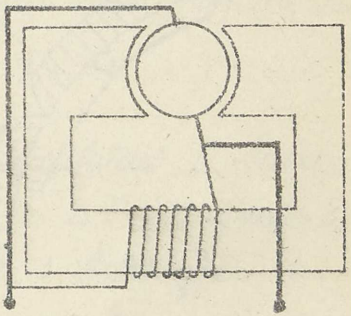


Fig 98.



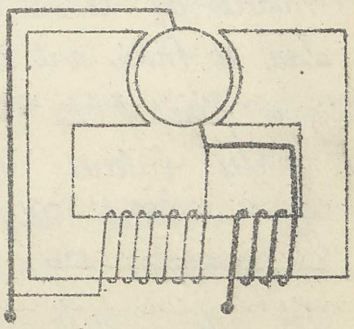
Seriemaskine

Fig. 95.



Shuntmaskine

Fig. 96.



Kompoundmaskine

Fig. 97.

Dette er altsaa Variationen $d\varphi$ i Kraftliniernes Antal, naar en Maskine med 1 Polpar gør ½ Omdrejning.

Maskinen gør n Omdrejninger pr Minut eller n Omdr. i 60 Sek. 1 Omdr. i $\frac{60}{n}$ Sek.

Har Maskinen 2 p Poler, d.v.s: p Polpar, skal vi for at faa den samme Variation $d\varphi$ kun flytte Vindingen fra en Nordpol til nærmeste Sydpol (Fig. 99), altsaa ogsaa ½ Periode, hvilket sker i $\frac{1}{2p} \cdot \frac{60}{n}$ Sek.-dt. Den opstaaede elektromotoriske Kraft: $E = \frac{d\varphi}{dt} 10^{-8}$ Volt er derfor lig med $\frac{2\varphi}{\frac{1}{2p} \cdot \frac{60}{n}} 10^{-8} =$

$$4\varphi \cdot \frac{pn}{60} \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

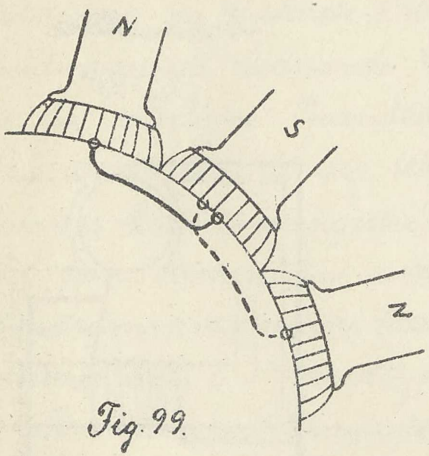


Fig. 99.

Dette bliver Spændingen i hver af Vindingerne, der hver bestaar af to Ledere. Da disse ligger i Serie, bliver Spændingen pr. Leder halvt saa stor, og saafremt der ligger z Ledere i Serie, bliver Spændingen $z \cdot 2\varphi \cdot \frac{pn}{60} \cdot 10^{-8}$.

Antallet af Ledere paa hele Ankeret kan kaldes Z.

Paa et Anker vil der mindst være to Strømkredse eller muligvis flere f. Eks. 2a, hvilket afhænger af, hvorledes vi har viklet Ankeret. Antallet af Ledere i Serie er derfor $z = \frac{Z}{2a}$, hvilket indsat giver den søgte Formel for en Jævnstrømsmaskines EMK: $E = \varphi \cdot \frac{Z}{a} \cdot \frac{pn}{60} \cdot 10^{-8}$ Volt.

For alle 3 Maskintyper kan den fundne fælles Ligning for Ankerets EMK simplificeres til: $E = B \cdot v \cdot k$, hvor k er en eller anden Konstant.

Det ses let, at denne Formel svarer fuldstændig til

$$E = \varphi \cdot \frac{Z}{a} \cdot \frac{pn}{60} \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

idet $\varphi = B \cdot Q$; $\frac{Z}{a} \cdot \frac{p}{60}$ er for en given Maskine konstant, ligeledes er Q konstant. Desuden er Ankerhastigheden v jo direkte proportional med Omdrejningstallet n.

Altsaa faas:

$$\underline{E = \varphi \cdot n \cdot k'}$$

$$\underline{E = \varphi \cdot v \cdot k''}$$

For Dynamoer af alle 3 Typer har man endvidere gældende for alle Belastninger:

$$\underline{E \div \Delta P = P}$$

Den elektromotoriske Kraft ÷ Spændingsfaldet i Maskinen giver Klemspændingen. Ved Tomgang er $\Delta P \simeq 0$, og derfor $E_0 \simeq P$.

For alle Belastninger og for alle 3 Motortyper har man:

$$\underline{P \div \Delta P = E}$$

Motorens EMK er netop lig Netspændingen minus den Del af Netspændingen, som medgaar til Overvindelse af ~~Ankerfriktionen og~~ Spændingsfaldet i den ohmske Modstand i Maskinen.

Ved Tomgang er her ΔP ligeledes paa det nærmeste lig 0, og derfor $E_0 \simeq P$.

Naar Magnetiseringsstrømmen ikke efterreguleres, vil en almindelig Shuntdynamo ved Overgang fra Tomgang til fuld Belastning miste fra 10 til 25% af sin Spænding. Maskiner med Kommuteringspoler har et Spændingsfald paa 5 til 10%. EMK maa ved Dynamoer kunne forøges overensstemmende her-

med, saaledes at Maskinen kan holde den ønskede Klemspænding ved alle Belastninger fra Tomgang til ca. 25% Overbelastning.

Ved Hjælp af de udviklede Formler for den elektromotoriske Kraft er det nu muligt for en Konstruktør at bygge en elektrisk Maskine, naar KW, E, n er givne.

Konstruktøren ved erfaringsmæssigt, hvor mange Poler han passende kan give en Maskine paa et vist Antal K.W., samt hvilken Diameter D og aksial Længde l han passende kan give Ankerjernet i en saadan Maskine (Fig 100).

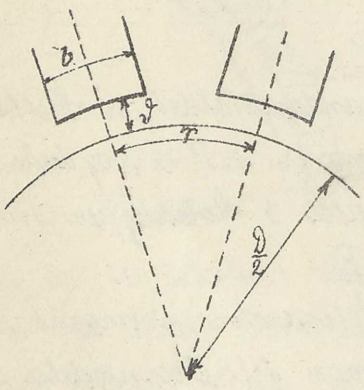


Fig. 100

Derved bliver han i Stand til at bestemme $\Phi = B \cdot l \cdot b$, idet B i Luftrummet δ gerne er ca 8–10000, l er jo Del af Lederens Længde, som skæres af Kraftlinierne, altsaa lig Ankerjernets aksiale Længde, og b er Bredden af Polskoen, der gerne er ca $^3/_4$ af Afstanden τ mellem to Polmidter, hvilken jo er kendt, naar 2p = Poltallet og D = Diameteren er bestemt. Den sidste Ubekendte i Ligningen for EMK er Størrelsen $\frac{Z}{a}$, der nu kan bestemmes ved Hjælp af de andre dels erfaringsmæssigt valgte, dels beregnede Værdier.

Det er derefter muligt at bestemme Viklingen paa Ankeret.

Ogsaa Magnetviklingen kan bestemmes. Vi har tidligere vist, hvorledes vi kan beregne det Antal AV, som er nød-

vendigt for at frembringe den ønskede Kraftstrøm φ. Vi kender da E, φ og n, og vi ved, hvilken Strøm i_m vi skal bruge til Magnetiseringen, eftersom vi ønsker at bygge Maskinen efter den 1ste, 2den eller 3die af de 3 Hovedtyper.

Vindingstallet V paa Magnetspolerne kan da let findes af $AV = i_m \cdot V$.

Magnetiseringsenergien er ved mindre Maskiner 5-3% af Maskinens fulde Ydeevne, ved større Maskiner ca. 2%.

Virkningsgraden af Jævnstrømsmaskiner.

Ved alle elektriske Maskiner, der skal anvendes til nogenlunde kontinuerlig Drift, spiller Virkningsgraden η den største Rolle. Den er sædvanlig bedst ved 3/4 à 1/1 Belastning, og Kurven ligger her næsten vandret (se Fig 101).

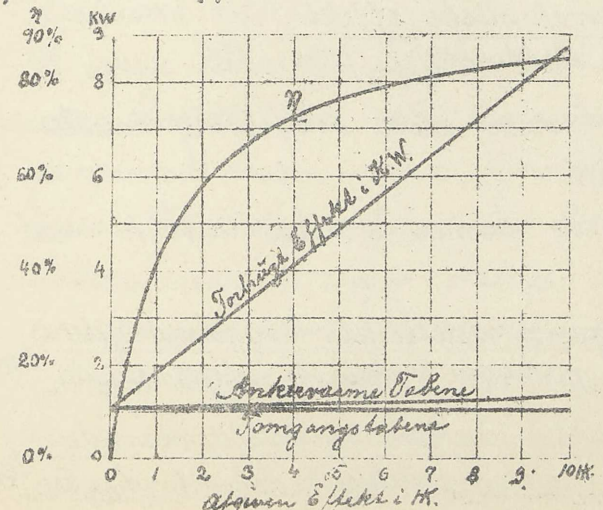


Fig. 101.

Ved 1/2 Last og navnlig fra 1/4 Belastning og nedefter er den daarlig. De bedste Virkningsgrader faas ved større Maskiner og ved hurtigtløbende Maskiner, saaledes som det vil ses af nedenstaaende Tabel, der gælder saavel for Dynamoer som for Motorer:

Virkningsgrad i % for normale Maskiner		
HK.	500 - 2000 Omdrejninger	125 Omdrejninger
1.	73 %	-
2	78,5.	68 %
5	83 .	76 .
10	87 .	80 .
20	90 .	84 .
30 - 50.	91 - 92 %	86 - 88 %
50 - 100	92 - 93 .	88 - 90 .
100 - 500.	93 - 95 .	90 - 93,5.

Virkningsgraden i % for en Dynamo findes af:

$$\eta_D = \frac{\text{Den afgivne elektriske Effekt}}{\text{Den modtagne mekaniske Effekt}} \cdot 100.$$

Virkningsgraden i % for en Motor findes af

$$\eta_M = \frac{\text{Den afgivne mekaniske Effekt}}{\text{Den modtagne elektriske Effekt}} \cdot 100.$$

Størrelsen i Taller og Tænner maa selvfølgelig maales med samme Enhed f. Eks. K.W.

Multipliceres Taller og Tænner i disse Udtryk med en given Tid T, faas:

$$\eta_D = \frac{\text{Den i Tiden T afgivne elektriske Arbejdsmængde}}{\text{Den i samme Tid modtagne mekaniske Arbejdsmængde}} \cdot 100.$$

$$\eta_M = \frac{\text{Den i Tiden T afgivne mekaniske Arbejdsmængde}}{\text{Den i samme Tid modtagne elektriske Arbejdsmængde}} \cdot 100.$$

Dette kan ogsaa skrives saaledes:

$$\eta_D = \frac{\text{Afgivne KWT}}{\text{Afgivne KWT} + \text{Tabene}} \cdot 100.$$

$$\eta_M = \frac{\text{Modtagne KWT} - \text{Tabene}}{\text{Modtagne KWT}} \cdot 100.$$

Til Tabene hører:

1) Samtlige mekaniske Modstande, saasom Gnidningstabet ved Lejerne, paa Kommutatoren, Luftmodstanden. Disse Tab er konstante ved alle Belastninger.

2) Samtlige magnetiske Tab, nemlig Hvirvelstrøms- og Hysteresetabene. Disse Tab kan tilnærmelsesvis betragtes som konstante ved alle Belastninger.

3) Det elektriske Tab i Shuntviklingens Modstand, hvilket Tab ligeledes kan anses for konstant ved alle Belastninger. (Saafremt der hører en Shuntregulerings-modstand med til Maskinen, skal Tabet i denne regnes med til Maskinens Tab.)

4) De øvrige elektriske Tab, saasom Tabene i Ankermodstanden, i en eventuel Serie- eller Kompoundvikling, Tabene i Overgangsmodstanden mellem Kommutator og Kul, og Tabet i disse. Disse Tab vokser med Belastningen.

Tabene under 1, 2 og 3 kaldes Tomgangstabene, og disse er altsaa konstante. De repræsenteres ved en vandret Linie paa Fig 101, der viser de forskellige Tab og Virkningsgrader for en 10 HK Motor ved forskellige Belastninger.

Tabene under 4 kaldes Strømvarmetabene ved Belastning og repræsenteres ved en skraa Linie. Det ses, at Virk-

ningsgraden falder stærkt ved smaa Belastninger. Fig 101 er typisk for alle Jævnstrømsmaskiner.

Der eksisterer ikke saa faa forskellige Methoder til Virkningsgradsbestemmelser, hvilke jeg dog ikke skal omtale nærmere her. De fleste Haandbøger f. Eks. Uppenborns Kalender vil indeholde tilstrækkeligt i saa Henseende.

En Jævnstrømsmotors Drejningsmoment og Igangsætningsstrøm

[turning moment – Drehmoment. Starting current – Anlassstrom].

En Elektromotors Drejningsmoment findes let paa følgende Maade:

Maskinen har en nyttig Arbejdeevne maalt i HK, som vi betegner ved N. Paa Akslen sidder en Remskive med Radius R^m og Maskinens Træk i Remmen er K kg. Vi har da:

Arbejde = Kraft × Vej, maalt i m kg.

Arbejde maalt i HK = $\frac{\text{Kraft} \times \text{Vej}}{75}$ pr. Sek.

altsaa

$$N = \frac{K \cdot 2\pi R \cdot n}{75 \cdot 60},$$

idet n er Omdrejningstallet pr. Minut.

$K \cdot R$ er Drejningsmomentet D.

$$N = D \cdot n \frac{2\pi}{75 \cdot 60} = k' \cdot D \cdot n.$$

$$D = 720 \cdot \frac{\text{Hestekraft}}{\text{Omdrejningstal}} = \frac{\text{Ydeevne maalt i Watt}}{\text{Omdrejningstal}}.$$

I en Motor medgaar en Del af Klemspændingen ΔP til Overvindelse af de elektriske Tab i Maskinen. Resten $P - \Delta P = E$

Karakteristiska Kurver för en 5 HK 440 Volts Shuntmotor.

Kurverne er optagne punktvis under en Afbremsnings-prøve med Kronps Bremse.

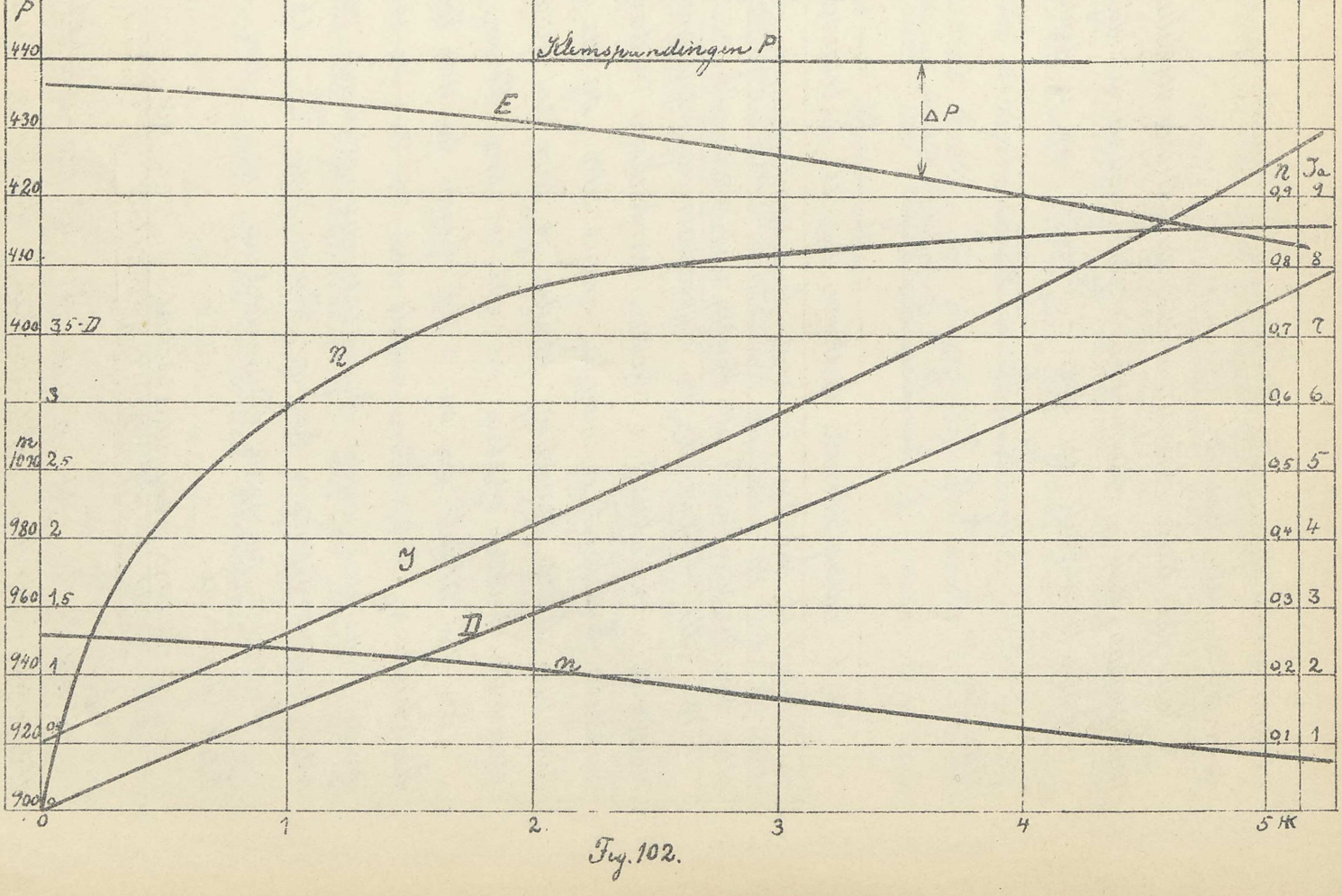


Fig. 102.

/23.

giver multipliceret med Strømmen i Ankeret i_a de Watt, som bliver til Arbejde.

Lidt af dette Arbejde medgaar til Overvindelse af de mekaniske Tab i Maskinen, Resten bliver til Nyttearbejde.

Idet Hestekraft pr. Sek. = $\frac{E \cdot i_a}{736}$ vil vi tilnærmet sætte:

$$D = k''' \cdot \frac{E \cdot i_a}{n}$$

eller da jo $E = k \cdot \varphi \cdot n$,

$$D = k''' \cdot \varphi \cdot i_a$$

Meget hurtigtløbende Maskiner har et forholdsvis ringe φ og derfor et mindre D end langsomtgaaende Maskiner.
Paa Grund af den nødvendige Transmission vil D ved Arbejdsmaskiner dog altid være det samme for alle Motorer med samme HK.

Ved alle Motorer er en Igangsætningsmodstand [starting resistance – Anlasser] i Ankerstrømkredsen nødvendig. Ankerets Modstand er nemlig meget lille, og der vilde derfor, hvis den fulde Spænding pludselig blev sat paa det stillestaaende Anker, opstaa en alt for stor Strøm.

Er for Eksempl. for en 5 HK Motor for 440 Volt Ankerets Modstand r_a = 2,7 Ohm maalt ved 25° C. (Fig 102), vilde man, hvis der ingen Igangsætningsmodstand var indskudt, ved Igangsætningen faa en Strøm paa $\frac{440}{2,7}$ = 163 Amp.

Motorens normale Strømforbrug, naar den afgiver 5 HK faas af:

$$\eta = \frac{\text{Afgivne mekaniske Effekt}}{\text{Modtagne elektriske Effekt}} = \frac{736 \cdot HK}{P \cdot J}$$

η er maalt lig 0,85, altsaa $J = \frac{736 \cdot 5}{\eta \cdot 440} = \frac{3680 \text{ Watt}}{0,85 \cdot 440 \text{ Volt}} = 9,84$ Amp.
Deraf er 0,44 Amp Shuntstrøm, Resten, de 9,4 Amp er

altsaa Ankerstrømmen ved normal Belastning.

Det ses, at Igangsætningsstrømmen uden Igangsætningsmodstand vilde blive 17 Gange saa stor som Strømmen ved normal Belastning, og Maskinen vilde tage Skade deraf.

I Almindelighed vil man ikke gerne fra Nettet tage en alt for stor Energimængde. I nedenstaaende Tabel er angivet passende Værdier for Energiforbruget under Igangsætningen, gældende for alle Motortyper, samt det Drejningsmoment D_0, man kan vente at opnaa ved Shuntmotorer.

Igangsætningsenergi ved forsk. Motorstørrelser og forsk. Drejningsmoment.

Maksimalt tilladelige Energiforbr.	Motorens Størrelse i HK	Drejningsmoment D_0
3500 Watt pr. HK	0,1 – 1 HK.	Drejningsmomentet D_0 under Igangsætningen er lig Drejn. D ved fuld Belastning.
1500 " " "	1 – 2 "	
1250 " " "	2 – 15 "	
1000 " " "	over 15 "	$D_0 = \frac{3}{4} D$.
2500 " " "	1 – 15 "	$D_0 \simeq 2D$.
2200 " " "	over 15 "	

Den normale Igangsætningsenergi vil for denne 5 HK Maskine altsaa være indtil ca. 1250 · 5 = 6.250 Watt., hvilket knapt er det dobbelte af det normale Wattforbrug. Den største Igangsætningsstrøm er da $\frac{6250}{440} = 14,2$ Amp.

I Almindelighed vil man foretrække at gaa i Gang med betydeligt mindre Strøm for Eksempl. ½ af Normalstrømmen.

Efterhaanden som Motoren gaar i Gang og løber op i Hastighed, bliver der i Ankerlederne inducereret en E.M.K.,

der er modsat Netspændingen, idet den i Følge den sædvanlige Lov for Induktionen vil søge at modvirke den Strøm, der har fremkaldt Bevægelsen. Vi har da følgende Kredsløb (Fig 103): fra Dynamo - gennem Motor - tilbage til Dynamo.

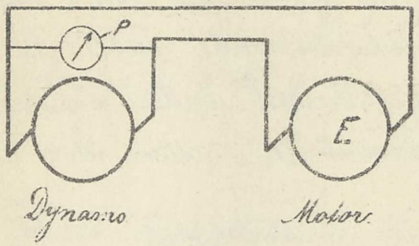


Fig. 103.

Idet vi anvender Kirchhoffs Lov for elektromotoriske Kræfter, og idet der ses bort fra Fallet i Tilledningstraadene, faas:

$$P \div E = \triangle P,$$

hvor $\triangle P$ er Spændingsfaldet i Ankeret og E er Ankerets modelektromotoriske Kraft.

Da jo E vokser proportionalt med n, idet $E = k\varphi n$, bliver Differensen $P \div E$ mindre med voksende Omdrejningstal og Strømmen derfor ogsaa mindre. Igangsætningsmodstanden kan da udskydes, efterhaanden som Omdrejningstallet vokser. Naar Motoren har naaet sit fulde Omløbstal, bør der ingen Modstand være foran Ankeret. Enhver saadan Modstand vilde nemlig bevirke en Forøgelse af $\triangle P$ og dermed et tilsvarende Energitab.

Haandsvinget paa Igangsætningsmodstanden skal altsaa under Igangsætningen drejes passende langsomt, hvilket man snart lærer at skønne ved at lægge Mærke til Motorens „Syngen" under Omløbet. Ved Standsning af Motoren drejes Haandsvinget hurtigt tilbage til Nulstillingen.

I det følgende skal vi nu undersøge Dynamoer og Motorer af de 3 Hovedtyper lidt nøjere.

Seriemaskinen som Dynamo.

Vi tænker os først, at Maskinen drives rundt med konstant Hastighed for Ekspl af en Dampmaskine. Magnetviklingen har vi koblet løs fra Forbindelsen med Ankeret og vi magnetiserer Maskinen med Strøm fra en fremmed Strømkilde for Ekspl. fra et Batteri. (Fig. 104). Maskinen faar forskellige Spændinger E, efterhvert som vi varierer Magnetiseringsstrømmen i_m. Vi afsætter sammenhørende Værdier af i_m og E i Kurve og faar derved Maskinens saakaldte Tomgangskarakteristik (Fig 105), der i Virkeligheden ikke er andet end Maskinens Magnetiseringskurve.

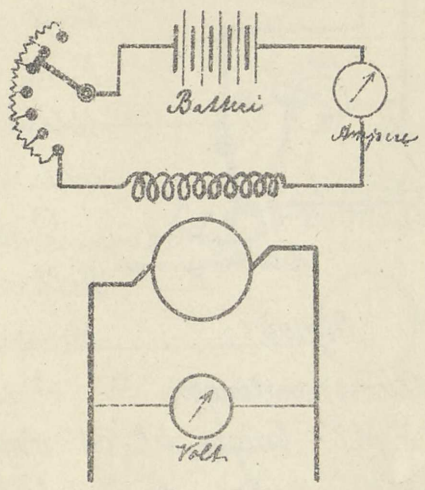


Fig. 104.

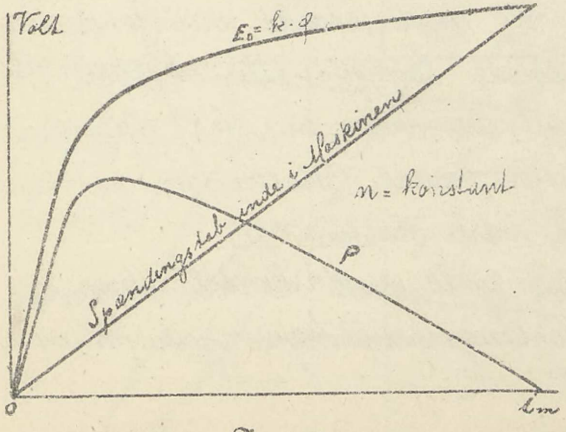


Fig. 105

Vi forbinder derefter Magnetviklingen i Serie med Ankeret paa sædvanlig Maade og belaster Maskinen med en variabel Belastningsmodstand (Fig 106). Vi kan nu optage en Kurve for Klemspændingen P i af-

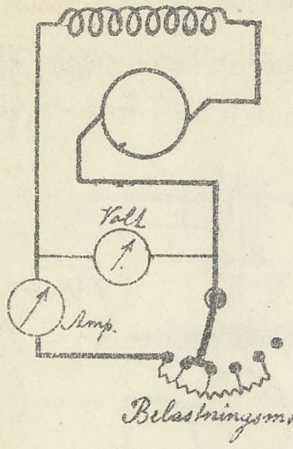


Fig 106.

langighed at J, idet vi har:

$$J = i_a = i_m.$$

Maskinen giver for en bestemt Værdi af $J = i_m$ den samme elektromotoriske Kraft E som før, men Klemspændingen P er mindre paa Grund af Spændingstabene i Maskinen, der jo er proportionale med Ankerstrømmen $i_a = J = i_m$.

Disse Tab fremstilles ved en ret Linie. Differensen mellem denne Linie og Kurven for E_0 giver den optagne Kurve for Klemspændingen P. I et bestemt Punkt bliver $P = 0$, idet hele EMK bruges til at overvinde Spændingstabene i selve Maskinen. Vi har da total Kortslutning. Ved ganske lille Belastningsstrøm har Maskinen næsten ingen Spænding, nemlig kun den, der hidrører fra den permanente Magnetisme.

Maskinen egner sig altsaa ikke særlig godt til at arbejde som Dynamo paa et Net med stærkt varierende Belastning af parallelt indkoblede Lamper eller Motorer. Om Sjenen i Belastningstiden vil der være en stor Spænding paa Nettet, og midt om Natten, naar Belastningen er meget forsvindende, vil Spændingen være næsten 0.

Dette stemmer ikke særlig godt med Fraksis, hvor det netop gælder om at holde Forbrugsspændingen paa Nettet saa konstant som muligt.

Seriedynamoer bruges derfor næsten ingen Steder.

Seriemotoren

Den sædvanlige Forbindelse af en Seriemotor med sin Igangsætningsmodstand er i Princippet som vist paa Fig 107.

R er Igangsætningsmodstanden, R_x er en Udligningsmodstand af Hensyn til Spændingsudligning ved Trinkobling af Magnetviklingen

Ved Tomgang bruger Maskinen næsten ingen Strøm, og Maskinens Magnetisering, d.v.s. Kraftlinietallet φ er da meget ringe.

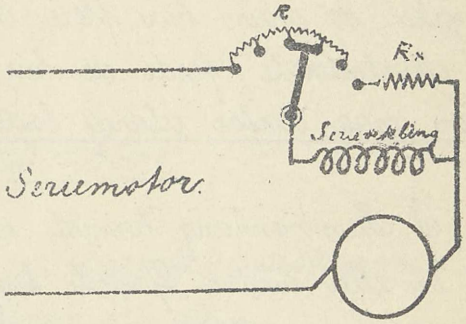


Fig. 107.

Da Maskinen nu imidlertid vil søge at skabe en modelektromotorisk Kraft $E = P \div \Delta P$, og da ΔP ved Tomgang er meget nær ved 0, altsaa $E = P$ = konstant, ses det let af Formlen:

$$E = k \cdot \varphi \cdot n,$$

at n maa blive meget stor, d.v.s Omløbstallet naaer sig ved Tomgang ∞ (Fig 108).

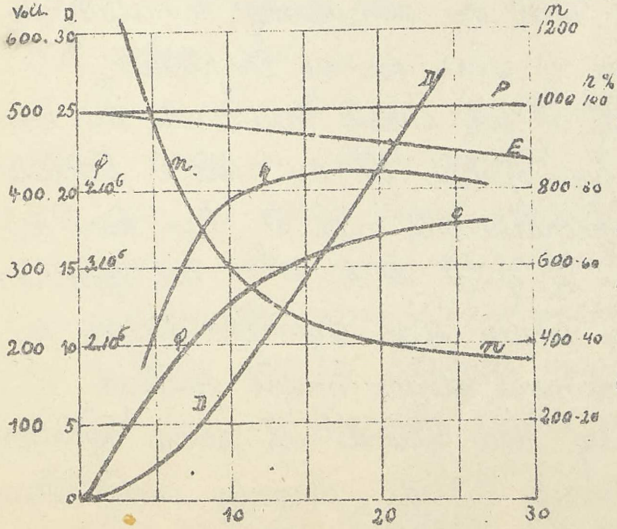


Fig. 108.

Efterhaanden som Belastningen og dermed J vokser, vil φ ogsaa vokse, men

noget langsommere paa Grund af den stigende Mætning af Jernet, og n vil aftage. Samtidigt bliver E mindre, fordi ΔP vokser proportionalt med J.

Hastigheden, naar J er lille, d: naar Motoren er meget svagt belastet kan blive faretruende for Maskinens mekaniske Styrke, og man har flere Eksempler paa, at Seriemotorer er eksploderede, fordi de har haft for lidt at bestille. Man maa derfor aldrig lade en Seriemotor løbe tom.

I Sammenhæng hermed skal bemærkes, at hvis Shuntfeltet af en eller anden Grund brydes paa en kompounderet Motor eller paa en Shuntmotor med Vendepoler, vil disse Maskiner i mange Tilfælde kunne løbe videre ved Magnetiseringen fra Kompoundbeviklingen eller Vendepolsbeviklingen alene, der jo begge er Serieviklinger, og da Feltet herfra er meget lille i Sammenligning med det egentlige Shuntfelt, vil Maskinen opføre sig omtrent som en almindelig samtløbende Seriemotor og derfor være i Fare for at eksplodere.

Ved Seriemotoren har J sin største Værdi ved det laveste Omløbstal, og φ er jo paa Grund af det store J ligeledes stor, idet AV jo her er proportionalt med J. Man kan tilnærmelsesvis sætte $D = k \cdot \varphi \cdot J \cong k' \cdot J^2$. Ved lavt Omløbstal og altsaa ogsaa under selve Igangsætningen er Seriemotorens Drejningsmoment derfor meget kraftigt.

Seriemotoren egner sig paa Grund af denne Egenskab særlig godt for alt haardt Arbejde, navnlig under Igangsætningen. Den anvendes overordentlig meget til Kraner,

Elevatorer og lignende samt til al Sporvejskørsel. Derimod egner den sig paa Grund af sit med Belastningen varierende Omdrejningstal, som ikke let lader sig regulere, ikke til saadanne Steder, hvor en kontrollabel eller konstant Hastighed ønskes, for Eksp. ved Drejebanke, Boremaskiner osv. Her egner Shuntmotoren sig bedre.

Shuntdynamoen.

I enhver Shuntmaskine er Magnetiseringsstrømmen i_m kun afhængig af Klemspændingen P, idet

$$P = i_m \, r_m,$$

hvor r_m er Modstanden i Magnetviklingen. Magnetkraften φ bliver derfor kun afhængig af i_m. Dynamoens EMK og dermed ogsaa dens Klemspænding, der jo er $P = E \div \Delta P$ bliver derfor afhængig af i_m. P bliver afhængig af i_a derved, at ΔP vokser med i_a.

Da jo $E = k \cdot \varphi \cdot n$, og vi ved en Dynamo holder n-konstant, maa vi altsaa regulere Maskinens EMK ved at regulere paa en særlig dertil indrettet Modstand R_m, som er anbragt i Serie med Magnetviklingen.

Efterhaanden som Belastningen vokser, vokser ogsaa ΔP, og vi maa ved at udskyde noget af Reguleringsmodstanden forhøje i_m og dermed E saa meget, at P forbliver konstant.

Hvis vi lader Maskinen løbe tom. drevet af en Damp-

maskine eller lignende med konstant Omløbstal og efterhaanden regulerer Magnetiseringsstrømmen i_m, faas for forskellige Værdier af i_m en forskellig Spænding $P = E$, idet $\Delta P \cong 0$. Vi kan herved se bort fra de Tab, som i_m (der jo i Almindelighed kun er ca. 2–4% af den fulde Belastningsstrøm) frembringer i Ankeret. Værdierne afsat grafisk

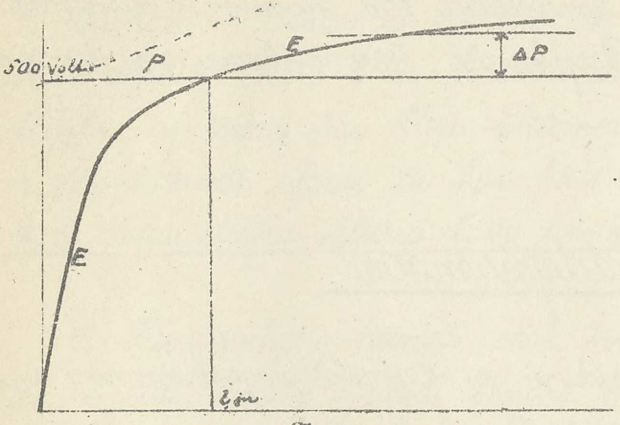


Fig. 109.

(Fig 109) giver Maskinens Tomgangskarakteristik.

Skar ved en given Belastning ΔP trækkes fra denne Kurve, faas Klemspændingen ved Belastning.

Maskinens normale Driftsspænding ligger gerne lidt ovenfor den udprægede Bøjning („Knæet") paa Kurven, da vi her kun faar ret smaa Spændingsvariationer ved vekslende δ og forandret i_m. Jernet i Maskiner med lille ΔP er saaledes ret stærkt mættet.

Maskinen egner sig særlig godt til Dynamo, idet den jo saa let og meget økonomisk blot ved Efterregulering af den svage Magnetiseringsstrøm kan holdes paa en bestemt Spænding saavel ved Tomgang som ved Belastning.

De allerfleste elektriske Dynamoer er derfor Shuntdynamoer.

Fig. 110 viser Strømskemaet for en fremmedmagneti-

serie Dynamo med Magnetregulerings-modstand. Ved den fremmedmagnetiserede Maskine maa der anvendes en særlig Magnetafbryder A_m. Denne er saaledes indrettet, at Afbryderkniven under selve Afbrydningen et Øjeblik danner Kontakt mellem K_2 og K_3, hvorved R_x gennemløbes af en Strøm fra + til ÷, men et Øjeblik efter er Forbindelserne ved K_1 og K_2 afbrudte, og vi har et lukket Kredsløb fra Magnetvikling gennem Regulerings-modstanden R_m til R_x og K_3 og derfra tilbage til Magnetviklingen. Den bundne magnetiske Energi kan da udlade sig uden at gøre Fortræd gennem den særligt dertil beregnede Modstand R_x, der skal være stor nok til et Øjeblik at kunne taale Strømmen fra + til ÷.

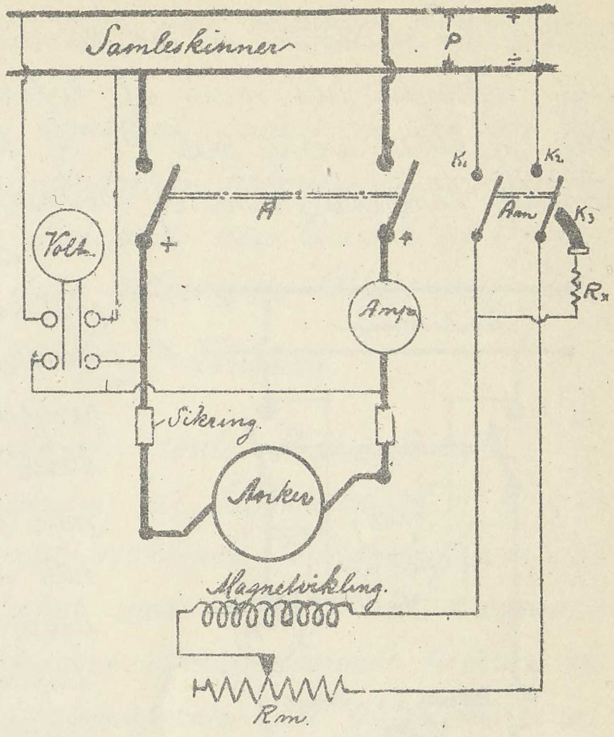


Fig. 110.

Naar A_m er sluttet og R_m er indregu-leret saaledes, at Maskinens EMK bliver $E = P$, hvilket undersøges ved det med Omskifter forsynede Voltmeter, kan Maskinen parallelsættes til Samleskinnerne, idet den dobbeltprotede Om-

skifter A først maa sluttes, naar Voltmeterets viser samme Spænding for Maskinen og for Samleskinnerne. Naar A er sluttet, indskydes lidt mere af Modstanden R_m, hvorved E vokser og bliver større end P, og Maskinen vil da afgive Strøm til Samleskinnerne og derved til Nettet.

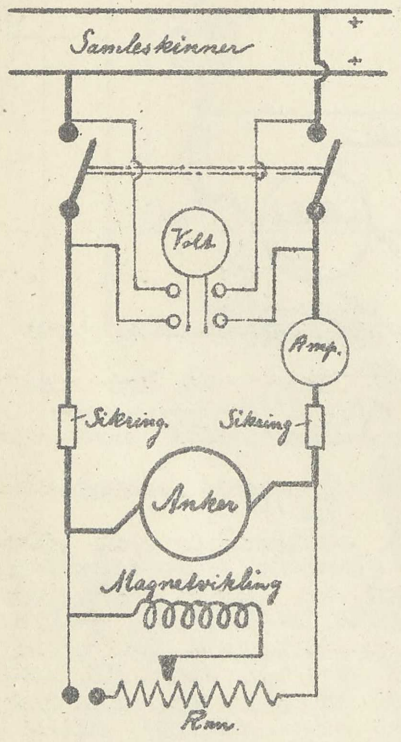


Fig. 111.

Naar Maskinen skal stoppes, indskydes først lidt mere af Modstanden R_m for Magnetiseringsstrømmen; Maskinens EMK bliver derved mindre, Strømmen aftager og kan bringes helt ned til 0. I dette Øjeblik afbrydes A, og derefter afbrydes A_m. Derefter kan Drivteaftmaskinen stoppes.

Ved Shuntdynamoer med Selvmagnetisering er Instrumenteringen den samme (Fig 111)., med Undtagelse af A_m og R_x, som kan undværes.

Ved R_m indregüleres Spændingen og Maskinen parallelsættes ganske som før. Standsningen foregaar ligeledes som før.

Fremmedmagnetisering og Selvmagnetisering anvendes omtrent lige meget ved Shuntdynamoer.

Shuntmotoren.

Denne Motor er vel nok den elektriske Motor, der anvendes hyppigst.

Magnetiseringen er konstant, naar vi ser bort fra Ankerreaktionens afmagnetiserende Virkning og Forøgelsen af Magnetiseringsviklingens Modstand paa Grund af Opvarmningen efter længere Tids vedvarende Belastning, idet jo

$$i_m = \frac{P}{R_m} \cong \text{konstant.}$$

E aftager med voksende J, fordi $P \div \Delta P = E$.
Vi faar da ved Betragtning af Ligningen $E = k \cdot \varphi \cdot n$, at n maa aftage med voksende Belastninger (se Fig 102).

Dette vil i Almindelighed være Tilfældet ved moderne Maskiner, fordi Ankerreaktionens afmagnetiserende Virkning er ret lille, navnlig ved Vendepolsmaskiner. Ved ældre Maskiner med stor Ankerreaktion bliver φ lidt mindre med Belastningen, og derved kan det træffe, at n holder sig konstant eller endog vokser lidt med stigende Belastning. I al Almindelighed kan man sige, at en middelstor Shuntmotors Omdrejningstal er omtrent konstant.

Gennemsnitlig Hastighedsformindskelse i % ved Overgang fra Tomgang til fuld Belastning.

HK.	Almindelige Motorer	Motorer med Vendepoler
1.	6 - 9 %	8 - 12 %
5	3 - 5 %	6 - 10 %
25.	1 - 2 %	4 - 8 %
50	ca. 1 %	—
100.	0 - 1 %	—

TABEL FOR SHUNTMOTORER.

Motorens Drejningsmoment

$$D = k \cdot \varphi \cdot i_a$$

er under Igangsætningen ikke nær saa stort som Seriemotorens, idet φ ved Shuntmotoren jo omtrent er konstant.

D vokser altsaa paa det nærmeste proportionalt med Strømmen.

Naar en Shuntmotors Hastighed skal reguleres, sker dette saa godt som altid ved Hjælp af en regulerbar Modstand i Shunten. Man indser da af Ligningen

$$E = k \cdot \varphi \cdot n,$$

at naar φ bliver mindre paa Grund af mindre Shuntstrøm, maa n vokse, fordi E jo ved en given Belastning er konstant og lig $P \div \Delta P$.

Af Ligningen: $D = k \cdot \varphi \cdot i_a$ ses det, at naar φ bliver mindre for samme Belastning (d: samme i_a), bliver D ogsaa mindre.

Naar man gerne vil faa i Gang med saa stærkt Drejningsmoment som muligt, maa man altsaa ved Igangsætningen sørge for, at φ kan blive saa stort som muligt, d.v.s. at Shuntreguleringsmodstanden skal være helt udskudt under selve Igangsætningen; først naar Igangsætningsmodstanden for Ankeret er kortsluttet, bør Hastigheden forceres ved Indskydning af Modstand for Shunten.

Man tør dog ikke forcere Hastigheden udover visse Grænser, der blandt andet er stærkt afhængige af den Spænding, Motoren skal arbejde ved. Den største tilladelige Hastighedsforøgelse kan tilladtes ved Motorer med Vendepoler.

De normale Omdrejningstal pr. Minut for jævnstrømsmotorer (baade Serie- og Shuntmotorer) er følgende:

HK	Minimalt	Normalt	Maksimalt.
1.	500	1500	2500
5	400	1000	2000
10	300	900	1750
25	270	850	1500
50	250	650	1250
100	200	550	1000.
500	125.	275	550.

Hastigheden for moderne Shuntmotorer uden Vendepoler kan ved Shuntregulering forøges med følgende Beløb:

Maskinspænding	Største tilladelige Hastighedsforøgelse.
110 Volt	50 - 75%
220 "	25 - 50%
550 "	0 - 25%

De laveste Grænser gælder for større Motorer (over ca. 10 HK). For Maskiner med Vendepoler kan opnaas følgende Hastighedsforøgelse:

For Motorer indtil 10 HK ..... 300 à 400%.
" større Motorer ..... 200 à 300%.

Det maa erindres, at ved lave Omdrejningstal falder Ydeevnen, hvorfor en hurtiglöbende Maskine, der skal præstere en vis HK, er billigere end en langsomtlöbende. Det er ikke enhver Maskine, som kan taale en kraftig Hastighedsforøgelse.

ikke alene dens elektriske, men ogsaa dens mekaniske Bygning skal være beregnet herpaa.

En almindelig Igangsætningsmodstand for en Shuntmotor uden Hastighedsregulering ses af Fig 112.

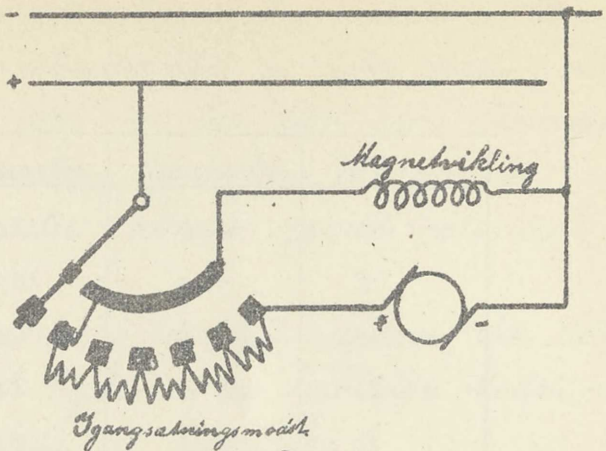


Fig. 112.

En Igangsætningsmodstand med Hastighedsregulering (Feltregulering) ses af Fig. 113. Igangsætningen sker paa Kontakterne K_0 – K_7. Den normale Kørestilling er paa K_7. Hastighedsforøgelsen sker paa Strækningen K_7 – K.

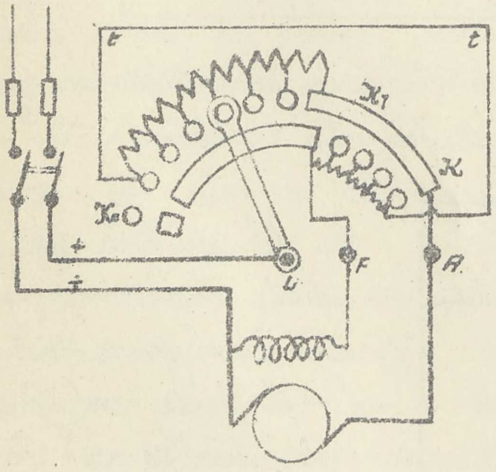


Fig. 113.

Læg vel Mærke til den Traad tt, der skal forhindre, at Kredsløbet gennem Magnetviklingen afbrydes. Andre Typer af Igangsættere med Nulspændingsudløsning anvendes en hel Del, navnlig i Anlæg, hvor man kan betragte, at Spændingen af og til ved et Driftsuheld eller lignende kan blive borte.

Dette vil ofte være Tilfældet i mindre Fabriksanlæg og navnlig i alle Anlæg, hvor der ikke haves.

Batteri.

Igangsættere med Nulspændingsudløsning (Fig. 114). er ligeledes praktiske at anvende, hvor Betjeningspersonalet er meget skødeslöst, idet det herved ümüliggöres at lade Afbryderen stace i en Mellemstilling med en Del af Modstanden permanent indskudt foran Ankeret. Ligeledes vil Igangsætteren ikke blive staaende i Körestilling, naar Afbryderen tages ud, og derved give Anledning til Afbrænding af Sikringerne, naar Afbryderen næste Gang lægges ind.

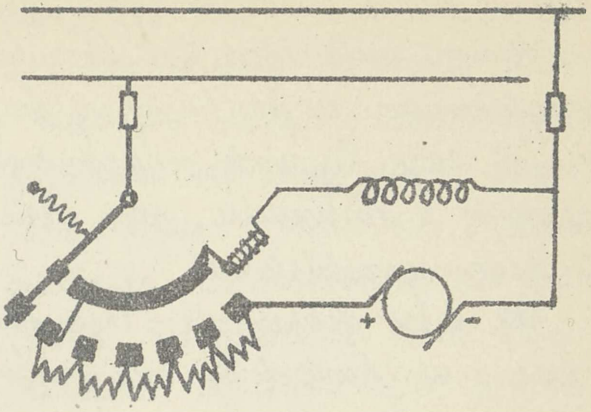


Fig. 114.

Ved Drift, hvor hyppige og stærke Overbelastninger kan indtræffe, anvendes ikke sjældent Igangsættere med Maksimaludløsning. Princippet vil let forstaas af Fig. 115.

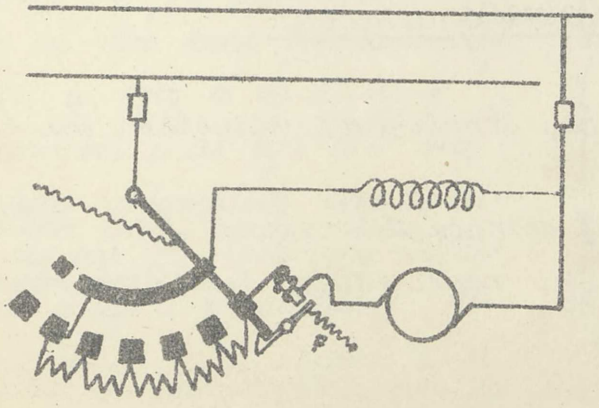


Fig. 115.

Fjederen F kan strammes mere eller mindre, og derved reguleres Strömstyrken, ved hvilken Udlösningen skal ske.

Igangsættere med Maksimaludløsning kan ogsaa indrettes med löst koblet

Haandtag (loose handle switch), saaledes at den egentlige Kontaktarm automatisk vil blive løst fra Haandsvinget, hvis Igangsætningen er for hurtig og brutal, saa Strømmen bliver for stor. Lignende Indretninger kan selvfølgelig ogsaa anbringes i Forbindelse med Serie- og Kompoundmotorernes Igangsætningsmodstande.

Alle disse Sikkerhedsindretninger kan naturligvis kombineres med hinanden, men saavidt muligt bør man følge den gyldne Regel, at det mindst komplicerede bør foretrækkes overalt, hvor ikke særlige Grunde taler for andet.

Ved forskellig Slags intermitterende Drift. (Grundvandspumper, Elevatorer og lignende) anvendes automatiske Igangsættere i Forbindelse med Svømmere, Trykkeapparatstyring eller lignende Apparater. Det vil dog føre for vidt, at komme nærmere ind paa disse Ting her.

Kompounddynamoen.

Disse Dynamoer har kombinerede Egenskaber fra begge de foregaaende Typer.

Parallelsætningen af Kompounddynamoen kan volde visse Vanskeligheder, men med særlige Kunstgreb overvindes disse Vanskeligheder let.

Maskinerne har nemlig en vis Tilbøjelighed til at løbe løsk, idet den af flere parallelle Maskiner, som tilfæl-

digvis er svagest magnetiseret, vil give mindre Strøm end de andre. Derved bliver dens Magnetisering hidrørende fra Seriebeviklingen svagere, og Maskinens Spænding falder yderligere, indtil tilsidst de andre Dynamoer vil sende Strøm ind i dens Anker og drive den som Motor. Strømmen i Seriebeviklingen vil nu direkte modvirke Magnetiseringen fra Shuntbeviklingen, og Maskinens EMK vil yderligere falde. Den maa da løbe hurtigere og hurtigere. Saafremt dette er forhindret, vil Ankerstrømmen paa Grund af den altfor svage EMK vokse for stærkt og smelte Sikringerne.

Alle disse Ulemper kan fuldstændig undgaas, naar der mellem Seriebeviklingerne lægges en saakaldet Udligningsforbindelse som vist paa Fig. 116.

Maskine I afgiver en større Strøm end Maskine II. Spændingsfaldet ab er da større end Spændingsfaldet a'b'. En Del af Strømmen fra Maskine I vil da søge ad den mere fremkommelige Vej fra a over u og a' til b'. Strømmene i ab og i a'b' vil saaledes automatisk søge at holde sig ens, og Maskinerne vil arbejde roligt i Paralleldrift. Afbryderne A_1 og $A_1 u$ samt A_2 og $A_2 u$ maa kobles mekanisk sammen for at forebygge Forglemmelser.

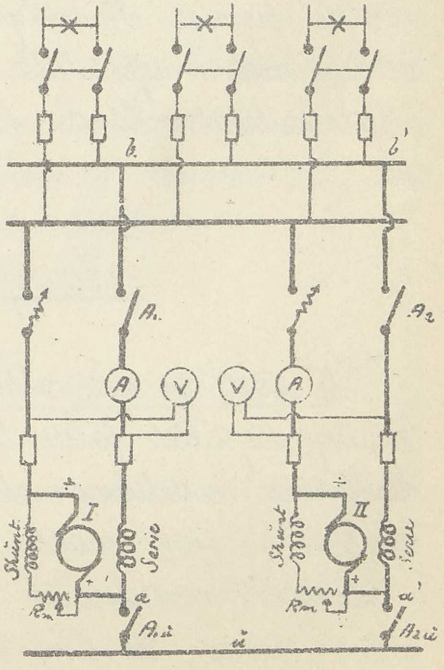


Fig. 116.

Kompoundviklingen kan udføres saaledes, at Spændingen forbliver konstant ved en hvilken som helst Belastning fra Tomgang til fuld Belastning [level compounded], eller saaledes, at Spændingen derved automatisk stiger svagt med voksende Belastning. Dette kan da afpasses paa en saadan Maade, at denne Spændingsstigning netop er lig med Spændingsfaldet i Ledningerne ud til Forbrugerne, som altsaa derved automatisk tilføres konstant Spænding.

Denne Spændingsstigning maa ved Shuntdynamoer tilvejebringes ved Haandregulering paa R_m eller ved forskellige automatisk virkende Apparater til Spændingsregulering.

Kompounddynamoen har saaledes visse ret betydelige Fordele fremfor Shuntdynamoen, men den anvendes mærkværdigt nok meget lidt her i Landet, hvorimod den i engelsktalende Lande har fundet stor Udbredelse.

Kompoundmotoren.

Vi saa, at ved Shuntmotoren vilde i Almindelighed Omdrejningtallet falde lidt med voksende Belastning, fordi Maskinens modelektromotoriske Kraft E ikke behøvede at være saa stor, naar ΔP voksede, idet jo $P \div \Delta P = E$.

Ved Anvendelse af en passende Modkompoundering kan man opnaa, at den herved foraarsagede Svækkelse af Feltet vil bevirke en Hastighedsstigning, der svarer til det

Hastighedsfald, der hidrører fra Spændingstabet ΔP i Maskinen.

En saadan Maskine har et overordentlig konstant Omdrejningstal, hvilket i adskillige Fabrikker (Spinderier) kan være af største Betydning.

Hyppigere anvendes dog Medkompoundering, hvorved man opnaar at give Shuntmotoren en Del af Seriemotorens Egenskaber, i svagere eller stærkere Grad eftersom Forholdet: $\frac{\text{Shunt AV}}{\text{Serie AV}}$ er stort eller lille.

Den kompounderede Motor trækker stærkere under Igangsætningen end Shuntmotoren, men har ikke Seriemotorens Tilbøjelighed til at løbe løbsk ved smaa Belastninger, selv om Farten her er noget større end ved de store Belastninger.

Kompounderede Motorer finder betydelig Anvendelse til haardt og intermitterende Arbejde og da navnlig paa Steder, hvor man ellers vilde have anvendt Seriemotorer, men er bange for, at disse skulde løbe løbsk.

Vekselstrømsmaskiner og Transformatorer.

Vi skal derefter gaa over til en nærmere Undersøgelse af Vekselstrømsmaskinerne og Transformatorerne, der har saa nære Berøringspunkter med hinanden indbyrdes, at de bedst kan behandles under eet.

I en Vekselstrømsgenerator opstaar der i Ankerets Ledere

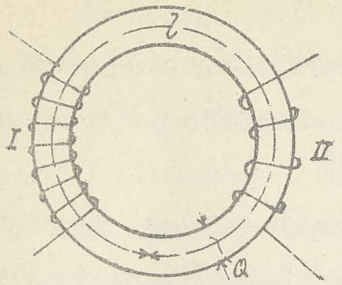


Fig. 117.

en periodisk vekslende EMK derved, at Ankerets Ledere paa Grund af den mekaniske Rotation tvinges til afvekslende at skære den konstante Kraftliniestrøm, der udgaar fra et eller flere Sur Magnetpoler, som magnetiseres med Jevnstrøm.

I en Transformator (Fig 117) opstaar der i den sekundære Bevikling s. Ledere en periodisk vekslende EMK derved, at disse Ledere (uden Hensyn til at de ligger stille i Rummet) skæres af den periodisk vekslende Kraftliniestrøm, der udgaar fra den primære Bevikling, fremkaldt af Vekselstrømmen i denne.

Princippet, Ledere, der skæres af vekslende Kraftlinier, er det samme i begge Tilfælde og det samme som for Jevnstrømsdynamoen, hvorfor naturligvis ogsaa Beregningsmaaden af Størrelserne for den elektromotoriske Kraft maa blive ens i alle Tilfældene.

Transformatorer.

Denne Betegnelse er gaaet over til kun at betegne de elektriske Apparater, som uden roterende Dele omformer Vekselstrøm af en bestemt Spænding og et bestemt Periodetal til Vekselstrøm af en anden Spænding, men stadigt med samme Periodetal.

Alle roterende Maskiner, som omsætter Vekselstrøm til Jævnstrøm, eller Jævnstrøm af een Spænding til Jævnstrøm af en anden Spænding, eller Vekselstrøm af en bestemt Frekvens til Vekselstrøm af en anden Frekvens kaldes Omformere eller roterende Omformere. Saadanne Maskiner benævnes endnu af mange Sejlavtigt „Transformatorer".

Det er de statiske Transformatorer, ved hvis Hjælp man meget let og med meget ringe Tab kan overføre Vekselstrømsenergien fra Strøm ved lav Spænding til en Strøm ved en vilkaarlig forholdsvis højere Spænding eller omvendt, der har bevirket, at Vekselstrømmen har vundet - og stadigt vinder - saa stor Udbredelse alle Steder, hvor det drejer sig om elektrisk Energioverføring paa lange Afstande og over store Arealer f. Eksp. ved Sjælandscentraler [? - Ueberlandzentralen]

Set i store Træk vil Forholdet, nemlig være saaledes:

Hvis Spændingen efter Optransformeringen for Eksp. er bleven 10 Gange saa høj, da er Strømmen bleven 10 Gange saa lille, idet Energien (bortset fra Virkningsgradens) er den samme før og efter Transformeringen, $E \cdot J$ = konstant, eller $E_1 \cdot J_1 = E_2 \cdot J_2$.

Man kan da med samme Energitab $R \cdot J^2$ sende den mindre Strøm 100 Gange saa langt bort som før, eller man kan sende den ud over den samme Afstand, men i en 100 Gange saa tynd Traad.

Ankommen til Forbrugsstedet transformeres den højspændte Energi igen ned til en passende lav Spænding.

Transformatoren har en høj Virkningsgrad og kræver

yderst ringe Tilsyn og Pasning, maaske 1. à 2 Gange om Aaret og kan forøvrigt ualbrudt staa og arbejde i et ganske lille Hus paa et Gadehjørne, i en aflaaset Kælder eller hvor man ellers kan finde en passende Plads.

Man kan paa den Maade koncentrere Driften i meget store Primærkraftværker, der arbejder ved Kul eller ved Vandkraft. De store Maskiner og Anlagets Koncentration giver en økonomisk Drift, og Værkerne kan lægges paa Steder, hvor Grundarealet, Kullet og Vandet kan faas billigt.

Der er selvfølgelig ogsaa Grænser for saadanne Anlags Rentabilitet, og i hvert enkelt Tilfælde bør en meget omhyggelig Undersøgelse gaa forud, før Anlaget endelig vedtages. Navnlig kan Rentabiliteten ved Oplandscentraler i rene Landdistrikter ofte være meget problematisk. Man bør navnlig ikke glemme at tage Hensyn til, at selvom Transformatorerne har en meget høj Virkningsgrad, saa vil dog de konstante Tabstal paa 1-3% af Maksimalydelsen nedsætte den aarlige Virkningsgrad ret betydeligt, idet disse Tomgangstab jo er tilstede ualbrudt Aaret igennem. Gennemsnitstabene i Transformatorerne pr. Aar kan da meget let beløbe sig til 25 à 35% eller endnu større Beløb af den nyttige Energi, der har passeret Transformatoren. Tabet afhænger selvfølgelig i høj Grad af Benyttelsestiden.

Vi skal nu undersøge Transformatorernes Arbejdsmaade og øvrige Forhold lidt nærmere.

Vi har tidligere fundet, at Selvinduktionens EMK i en Spole (se Fig. 117, Spole I) kan udtrykkes ved:

$$E_{s\,eff} = 2\pi\nu L \cdot J_{eff}.$$

Dette vil vi nu skrive lidt om. Vi ved, at

$$L = 0{,}4\pi N^2 \cdot \mu \cdot \frac{Q}{l} \cdot 10^{-8}$$

ligeledes har vi

$$\varphi_{max} = 0{,}4\pi N \cdot J_{max} \cdot \mu \cdot \frac{Q}{l}$$

deraf:

$$\frac{L}{\varphi_{max}} = \frac{N \cdot 10^{-8}}{J_{max}}$$

Værdien for L indsættes ovenfor:

$$E_{s\,eff} = 2\pi\nu \cdot N \cdot \varphi_{max} \cdot \frac{J_{eff}}{J_{max}} \cdot 10^{-8}$$

Nu ved vi at for en ren Sinusstrøm er $J_{max} = J_{eff} \cdot \sqrt{2}$, altsaa:

$$E_{s\,eff} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot \nu \cdot N \cdot \varphi_{max} \cdot 10^{-8}\ \text{Volt},$$

eller udregnet med Udeladelse af (eff.) og (max):

$$\underline{E_s = 4{,}44 \cdot N \cdot \varphi \cdot \nu \cdot 10^{-8}}$$

Dette er den samme Ligning, som vi tidligere har fundet for et System af V Vindinger, der skæres af Kraftliniemantallet φ. Derved kan ogsaa findes EMK for en Vekselstrømsmaskine. (se Side 163).

I det her betragtede Tilfælde er φ fælles for begge Spoler, idet vi ser bort fra Spredningen. Naar vi sender Vekselstrøm gennem den ene Spole, vil der opstaa EMK i begge Spolerne, nemlig i den primære Spole en

modelektromotoriske kraft hidrørende fra Selvindüktionen

$$E_1 = 4{,}44 \cdot N_1 \cdot \varphi \cdot \nu \cdot 10^{-8}$$

og i den sekündære Spole en indüceret E.M.K hidrørende fra den stadigt vekslende Kraftliniestrøm φ

$$E_2 = 4{,}44 \cdot N_2 \cdot \varphi \cdot \nu \cdot 10^{-8}$$

hvoraf findes

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Den Klemspænding, vi skal anvende for at drive en Strøm gennem den primære Spole mod denne EMK. E_1, er:

$$P = E_1 + \Delta P,$$

hvor ΔP er Spændingstabet i den ohmske Modstand. Da i Primærvikelingen dette er meget lille, vil vi se bort herfra. Vi faar da, at

E er lige stor med og modsat rettet P

Af samme Grund er $P_2 \cong E_2$ idet vi ser bort fra Tabet i den sekündære Vikelings ohmske Modstand. Vi har altsaa

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{N_1}{N_2} = \text{konstant, eller}$$

$$P_1 = P_2 \cdot \frac{N_1}{N_2} = P_2 \cdot \mu.$$

Brøken $\frac{N_1}{N_2} = \mu$ kaldes Transform.-Omsætningsforhold.

Vi vil nü gaa üd fra, at Transformatoren arbejder übelastet.

Vi afsætter P_1 opad (Fig 118), og den

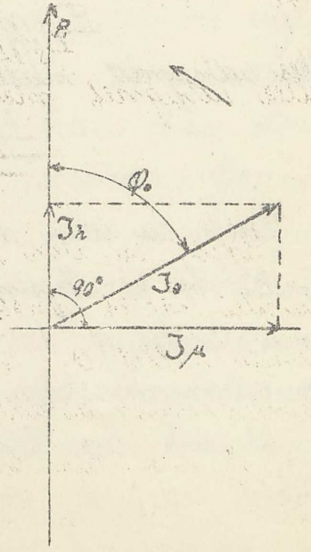


Fig 118.

Strøm J_μ, som magnetiserer Jernet, afsættes 90° bagud for P_1. Den Strøm, som medgaar til Wirbelstrømstabene i Jernet (Hvirvelstrøm og Hysterese) og i Primærspolens Kobber, er i Fase med P_1 og afsættes som J_h.

Den resulterende Strøm J_0 kaldes Transformatorens Tomgangsstrøm, og φ_0 er Transf.s Forskydningsvinkel ved Tomgang.

$P_2 \cdot \frac{N_1}{N_2}$ er lige stor med P_1 (se Lign. ovenfor) men i Følge den sædvanlige Induktionslov modsat rettet.

P_2 maa derfor afsættes nedad. Naar P_2 multipliceres med Konstanten $\frac{N_1}{N_2} = \mu$, maales den altsaa med samme Maalestok som P_1.

Transformatorens Tomgangsforbrug er:

$$A_0 = P_1 \cdot J_0 \cdot \cos \varphi_0$$

$$A_0 = P_1 \cdot J_h$$

Da E_1 ikke varierer meget med Belastningen, ses det af Ligningen $E_1 = 4{,}44 \cdot \varphi \cdot N_1 \cdot \nu \cdot 10^{-8}$, at φ er omtrent den samme ved Tomgang og ved fuld Belastning. Jerntabene er derfor ogsaa omtrent uafhængige af Belastningen.

Vi vil nu betragte Transformatoren, naar den belastes.

Naar vi udtager en sekundær Strøm J_2 af Transformatoren med en Klemspænding P_2, saa har Transformatoren altsaa afgivet en Energi $P_2 \cdot J_2$ Watt. Den maa derfor have optaget lige saa meget paa I Siden, samt desuden saa meget, som medgaar til Overvindelse af Tabene i Transformatoren.

Altsaa: $P_1 \cdot J_1 = P_2 \cdot J_2 +$ Tabene.

Tabene er meget smaa, og vi vil derfor et Øjeblik se bort fra dem.

I saa Fald er:

$$J_1 = J_2 \cdot \frac{P_2}{P_1}$$

Men vi ved, at

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{N_1}{N_2} = \ddot{u}$$

altsaa:

$$J_1 = J_2 \cdot \frac{N_2}{N_1} = J_2 : \frac{1}{\ddot{u}} \text{ eller } J_1 = J_2 \cdot \text{konstant.}$$

Strømmene staar altsaa i omvendt Forhold som Spændingerne.

Naar vi tager Strøm ud fra Transformatorens sekundære Side, vil den primære Strøm vokse proportionalt hermed.

Denne Sætning gælder kun under Forudsætning af en ideal Transformator uden Tab. For en almindelig Transformator vil den ved nogenlunde store Belastninger gælde med meget stor Tilnærmelse, hvilket straks skal vises.

Naar vi vil tegne P_2, J_2 o.s.v. ind paa Transformatorens Diagram, bliver det nødvendigt først at udføre et lille Kunstgreb, idet vi vil tænke os alle disse sekundære Værdier hørende til en Transformator med Omsætningsforholdet 1:1. De nye Størrelser, vi saaledes faar, vil vi betegne med P_2', J_2' etc. Den betragtede Transformator har Omsætningsforholdet $\frac{N_1}{N_2} = \ddot{u}$.

For denne Transformator gælder: $P_1 = P_2 \cdot \ddot{u}$ og $J_1 = J_2 : \frac{1}{\ddot{u}}$.

For den nye Transformator faar vi: $P_1 = P_2' \cdot 1$ og $J_1 = J_2' \cdot 1$.

Deraf findes: $P_2' = P_2 \cdot \ddot{u} = P_1$ og $J_2' = J_2 \cdot \frac{1}{\ddot{u}} = J_1$.

Vi ser heraf, at vet at multiplicere P_2 med $\ddot{u}$ og J_2 med $\frac{1}{\ddot{u}}$

vil de reducerede Værdier P_2' og $\mathfrak{J}_2'$ kunne afsættes i samme Maalestoksforhold som P_1 og $\mathfrak{J}_1$. Dette er en betydelig Lettelse ved Konstruktionen af de forskellige Transformatordiagrammer.

Vi vil først tegne Transformatorens Diagram under Forudsætning af <u>induktionsfri Belastning</u> paa II Siden.

Vi gaar ud fra Diagrammet ved Tomgang, idet vi jo har indset, at $\mathfrak{J}_w$, $\mathfrak{J}_h$ og $\mathfrak{J}_0$, samt P_1 og P_2 forbliver omtrent uforandrede ved Belastning.

Strømmen $\mathfrak{J}_2$ er i Fase med P_2, da Belastningen jo er forudsat at være induktionsfri.

$\mathfrak{J}_2$ afsættes (Fig 119) i samme Maalestok som $\mathfrak{J}_1$, nemlig som $\frac{1}{\mu} \cdot \mathfrak{J}_2$.

Den Strøm $\mathfrak{J}_1$, som vi sender ind i Transformatoren paa dennes primære Side, bestaar af to Dele. Den ene Komposant er Tomgangsstrømmen $\mathfrak{J}_0$. Den anden Komposant svarer til Belastningsstrømmen $\mathfrak{J}_2$, og den maa have modsat Fortegn af $\mathfrak{J}_2$, idet den jo svarer til en tilført Energi, medens $\mathfrak{J}_2$ svarer til en afgaaet Energi.

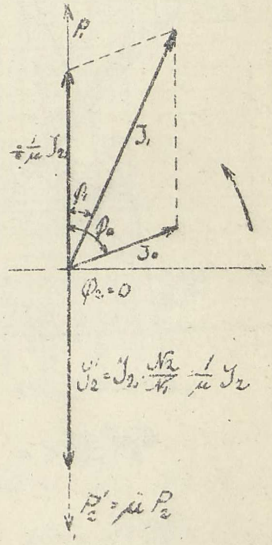


Fig. 119.

Vi finder derfor den tilførte primære Strøm $\mathfrak{J}_1$ som den geometriske Sum af $\mathfrak{J}_0$ og $-\frac{1}{\mu} \cdot \mathfrak{J}_2$. $\mathfrak{J}_0$ er som omtalt meget lille, hvorfor $\mathfrak{J}_1$ og $\mathfrak{J}_2'$ omtrent bliver lige store, men

med modsat Fortegn. Endvidere vil $\mathfrak{J}_1$ være i omtrent samme Fase som $\mathfrak{J}_2'$.

Naar der ingen Faseforskydning er mellem P_2 og $\mathfrak{J}_2$, vil der praktisk set heller ikke være nogen Faseforskydning mellem P_1 og $\mathfrak{J}_1$.

Jo mindre $\mathfrak{J}_2$ d: Belastningen er, des mere kendelig bliver den primære Faseforskydning. Naar $\mathfrak{J}_2 = 0$, bliver $\mathfrak{J}_1 = \mathfrak{J}_0$, og Faseforskydningsvinklen er da φ_0.

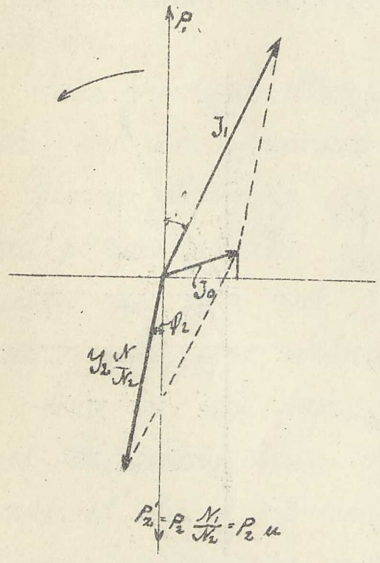


Fig. 120.

Naar Transformatoren belastes med en mere eller mindre induktiv Belastning (Fig. 120) med en Faseforskydning φ_2, vil der paa Primærsiden optræde en Faseforskydning φ_1, saaledes at $\varphi_1 \cong \varphi_2$.
Her gælder det nemlig ligesom før, at idet $\mathfrak{J}_0$ er meget lille, vil $\mathfrak{J}_1$ og $\mathfrak{J}_2$ omtrent faa samme Retning, og derfor bliver φ_1 meget nær lig φ_2.

En induktiv Belastning paa Transformatorens Sekundærside vil altsaa medføre en lige saa stor induktiv Belastning paa Primærnettet.

De fuldstændige Transformatordiagrammer, hvor der tages Hensyn til ΔP_1 og ΔP_2, til Spredningen etc. skal ikke medtages her.

En Transformators Virkningsgrad er selvfølgelig bestemt af Ligningen: $\eta = \frac{\text{Afgivne Elekt.}}{\text{Modtagne Effekt}} = \frac{P_2}{P_1} \frac{J_2 \cdot \cos\varphi_2}{J_1 \cdot \cos\varphi_1}$

Kurven for en Transformators Virkningsgrad ved forskellige Belastninger er typisk fremstillet i Fig 121 for en 10 KW eller rettere for en 10 KVA Transformator med Omsætningsforholdet $ü = \frac{P_1}{P_2} = \frac{120}{2000}$. Det ses, at Virkningsgraden er overordentlig høj, endogsaa helt ned til ¼ Belastning. En Sammenligning med den tilsvarende Kurve for en 10 HK Motor Fig. 101 viser tydeligt Transformatorens udmærkede Maade at arbejde paa.

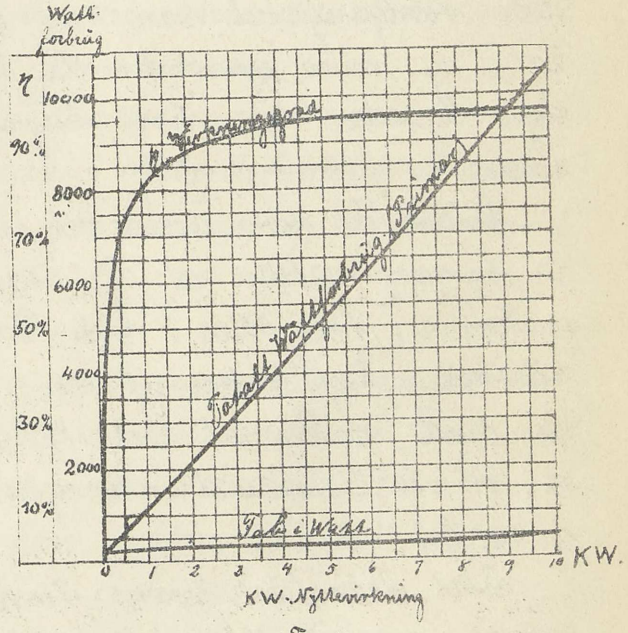


Fig. 121.

Fig. 121 viser endvidere en svag Stigning i Tabene hidrørende fra de forøgede Strømvarmetab $R_1 J_1^2 + R_2 J_2^2$ ved voksende Belastning. Tomgangstabet (dvs. Jerntabene) er konstant lig ca. 2,5%.

Med Hensyn paa Tomgangstabet og den tilladelige Opvarmning deler man Transformatorerne i to Grupper:

Belysningstransformatorer og
Krafttransformatorer.

Til Transformatorer af begge Grupper maa anvendes lamelleret Jern, for at Hvirvelstrømmene skal blive

Minimum; og jernet maa danne absolut lukkede Veje uden Luftmellemrum for Kraftlinierne, for at Magnetiseringsstrømmen J_u og dermed J_0 skal blive Minimum. Begge Dele bidrager til at gøre Tomgangstabene smaa.

Belysningstransformatorerne er i Drift hele Aaret rundt, og naar kun deres fulde Belastning nogle faa Timer pr. Dag i det mørkeste Par Maaneder af Aaret. Derfor skal deres Tomgangstab være saa smaa som overhovedet muligt, og man anvender da helst til deres Jernkarne de dyre legerede Blik, hvis Magnetiseringstab jo er meget smaa.

Endvidere kan disse Belysningstransformatorer vælges ret smaa, saaledes at de under de kortvarige Belastningsmaksima (hver Aften i Novbr.-Decbr.) bliver indtil 50% overbelastede. Man fordrer af dem, at de efter 3 Timers Arbejde med maksimal Belastning ikke maa blive varmere end 50° C. over den omgivende Lufts Temperatur (ca. 20 à 25° C).

Idet Transformatorens Størrelse saaledes reduceres saa meget som muligt, bliver Jerntabene formindskede i Forhold til Reduceringen af Jernvægten. Samtidigt reduceres ogsaa Prisen, der jo paa Grund af de legerede Jernblik var noget højere end normalt.

Spændingsfaldet paa Sekundærsiden fra Tomgang til fuld Belastning er ved induktionsfri Belastning (Glødelamper) sjældent over 2 à 3% af Sekundærspændingen ved Tomgang.

Kraftransformatoren sættes i Drift ved Arbejdstidens Begyndelse og ud af Drift ved dens Ophør. I den Tid den staar under Spænding, arbejder den gerne med ret stor Belastning (½ eller derover) altsaa med temmelig god Virkningsgrad.

Smaa Tomgangstab spiller derfor ved disse Transformatorer ikke saa stor en Rolle som ved Belysningstransformatorerne, og der anvendes derfor gerne her de normale billigere Jernbliksorter.

Transformatoren maa dimensioneres under Hensyn til, at den under de givne Arbejdsforhold for Eksp. 10 Timers Arbejdsdag ved gennemsnitlig ¾ Belastning ikke bliver varmere end 50° C. over den omgivende Lufts Temperatur.

Temperaturen for smaa Transformatorer indtil ca. 5 KVA bliver stationær efter henved 6 Timers Drift med normal Belastning, for store kan det vare 1 à 2 Døgn.

Krafttransformatorerne kan i Almindelighed taale indtil 50% Overbelastning i 1 Time.

Spændingsfaldet ligger ved induktiv Belastning $\cos \varphi = 0{,}85$ mellem 4 og 6 %.

Faseforskydningen $\cos \varphi = 0{,}85$ svarer til en Belastning, der overvejende bestaar af Induktionsmotorer (Fabriksdrift).

De følgende Tabeller vil give Oplysninger om Virkningsgraden ved $\cos \varphi = 1$ og Tomgangstabene for forskellige Størrelser af de to Grupper af Transformatorer,

gældende for saavel Enfase- som for Trefasestrøm og for Periodetallet 50 samt Omsætningsforholdet $\frac{P_1}{P_2} = \frac{220}{5000}$.

Transformatorer med normale Jerntab			
Effekt i KVA cos φ = 1.	η i %	Tomgangstab	
		i Watt	i %
1	93 - 94	40 - 60	4 - 6
5	94 - 95,5	110 - 140	2,5 - 2,8
10	95,5 - 96,5	170 - 220	1,7 - 2,2
50	97 - 98	500 - 700	1,0 - 1,4
250	97,5 - 98,2	1500 - 2200	0,6 - 0,8
500	98,4 - 98,7	3000 - 4000	0,6 - 0,8
1000	98,5 - 98,8	6000 - 8000	0,6 - 0,8
2000	98,7 - 99	10000 - 13000	0,5 - 0,7.
Ved induktiv Belastning synker Virkningsgraden nogle Ina pCt.			

Transformatorer med særligt smaa Jerntab.				
Effekt i KVA cos φ = 1	η i %	Tomgangstab		ΔP_2 i %.
		i Watt.	i %	
1	94,5 - 95,5	10 - 20	1,0 - 2,0	3,2
5	96 - 97	45 - 60	0,9 - 1,2	2,25
10	96,5 - 97,5	80 - 110	0,8 - 1,1	1,5
50.	97,5 - 98,5	250 - 300	0,5 - 0,6	1,14
-	- - -	- - -	- - -	-
-	- - -	- - -	- - -	-

Selvfølgelig er Strømvarmetab i % + Jerntab i % = 100 ÷ Virkningsgraden i %. idet Ecab i % + η i % = 100. Deraf kan

Forholdet mellem Strømvarmetabet og Jerntabet skønnes.

Lad os som Eksempel tage en Transformator, som skal forsyne en Installation paa 600 Lamper à 50 Watt, hvoraf 80% antages at ville blive tændt samtidigt. Transformatorens Størrelse beregnes da af $0{,}80 \cdot 600 \cdot 50 = 24000$ Watt = 24 KW. Ved ren Lysdrift er $\cos \varphi = 1$.

Vi vælger en Transformator paa 20 KVA, som altsaa tåler Maksimum 20% overbelastet. Gennemsnitsbrændetiden pr. Lampe pr. Aar er ca. 300 Timer.

Vi kan da skønsmæssigt opstille følgende Beregning:
$600 \times 300 \times 50 \times 10^{-3} = 9000$ KWT., hvilket kun svarer til fuld Belastning i $\frac{9000}{20} = 450$ Timer.

Sættes Virkningsgraden ved fuld Belastning til 97%, har Transformatoren i denne Tid optaget en primær Energi paa $\frac{9000}{0{,}97} = 9300$ KWT.

I Aarets øvrige $8760 - 450 = 8310$ Timer optager Transformatoren stadigt en primær Energi paa ca. 1% (Jerntabene) af den normale Ydelse eller 0,2 KW. Dette bliver pr. Aar $8310 \cdot 0{,}2 = 1662$ KWT.

Alt har Transformatoren saaledes forbrugt $9300 + 1662 = 10.962$ KWT.

Den aarlige Middelvirkningsgrad bliver da:

$$\eta_{Aar} = \frac{\text{Afgivne KWT}}{\text{Optagne KWT}} = \frac{9000}{10.962} \cdot 100 = 82{,}2\%,$$

hvilket Resultat skyldes den antagne Brændetid, der omtrent svarer til Brændetiden i en middelstor By. Paa en Fabrik vil Middelbrændetiden ofte kunne være

betydeligt længere.

Transformatorerne bygges saavel for enfaset Strøm som for trefaset Strøm.

Fig. 122 viser en Enfasetransformator, hvor Halvdelen af hver af Spolerne er anbragt paa hver sin Side af Jernringen, der her er udført som en firkantet Ramme af lamelleret Jernblik, idet Blikkene griber hverandet ind over hinanden, hvoretter den hele Ramme samles med Bolte.

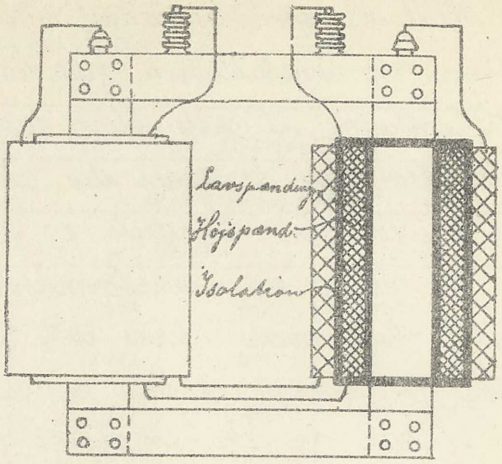


Fig. 122.

Transformering af trefaset Strøm kan opnaas ved Anvendelse af 3 enfasede Transformatorer efter det paa Fig 123 og 124 viste Princip. Selvfølgelig kan de to Viklinger for-

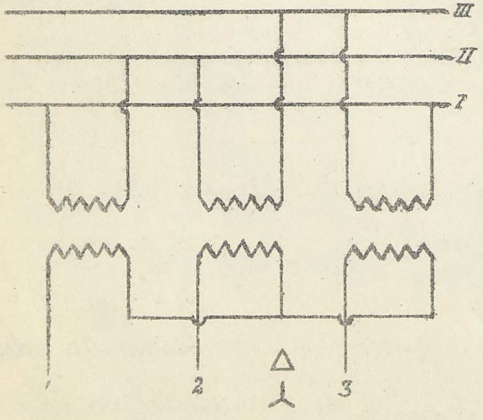


Fig. 123.

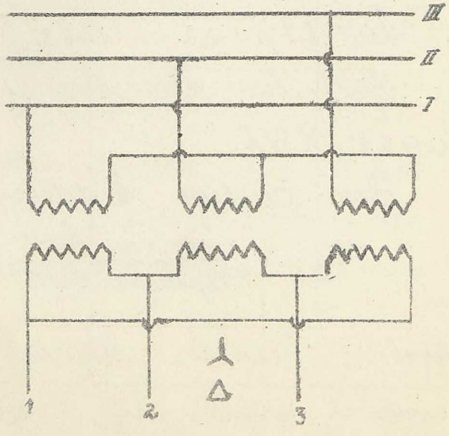


Fig. 124.

uden de viste Forbindelser △ Y og Y △ ogsaa kobles i andre Forbindelser for Ekspl. △ △ og Y Y. Jeg foreviget Mærke til, at det kan være os fuldstændig ligegyldigt, om Generatoren er koblet i Y eller i △

Den paa Fig 123 viste Koblingsmaade er den almindeligst anvendte, idet Y Forbindelsen paa Lavspændingssiden gerne udføres med Nulleder udgaaende fra det neutrale Punkt. Signaturen herfor er følgende Y.

En Trefasetransformator kan ogsaa bygges som eet enkelt Apparat, hvorved Prisen bliver billigere. Den kan ikke bygges saaledes som vist Fig 125, thi i dette System vil der overhovedet ikke opstaa Kraftlinier i Jernkærnen, naar der gaar lige store og sinusformede Strømme i de 3 primære Viklinger. Thi i saa Fald er Summen af de 3 Strømme lig 0, og Summen af de 3 Sat Amperevindinger bliver da ogsaa lig 0. Det er nødvendigt at anbringe hvert af de 3 Sat Spoler paa hver sin

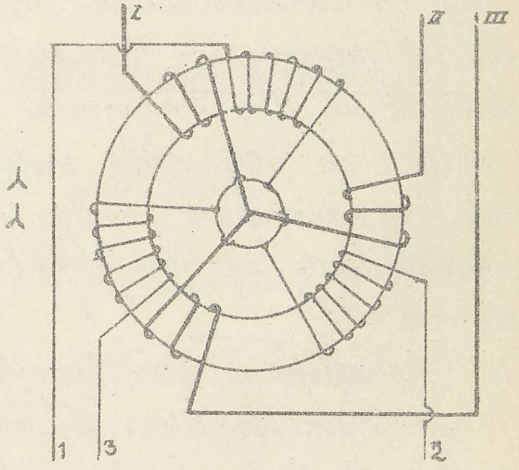


Fig. 125.

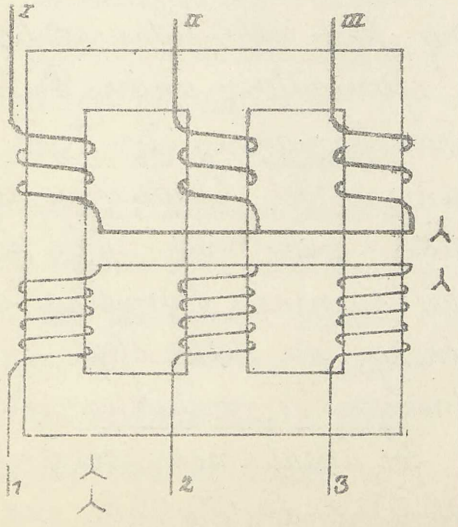


Fig. 126.

„Sōjle", medens Stagene foroven og forneden er fælles. Et Eksempel paa denne Bygningsmaade er Fig. 126.

Transformatorernes Belastningsevne er ligesom for de elektriske Maskiner afhængig af den tilladte maksimale Opvarmning. Mindre Transformatorer kan kōle sig selv ved den naturlige Luftcirkulation. Ved stōrre Transformatorer anvendes undertiden forceret Luftkōling ved Hjælp af smaa elektriske Centrifugalblæsere, eller Transformatoren anbringes i en Bōlgeblikskbeholder med Olie. Olien afleder Varmen fra Viklingerne og Bōlgeblikket afgiver en stor Afkōlingsflade mod den omgivende Luft. Desuden skal den anvendte Olie være godt isolerende, maa være vandfri, ikke være syredannende under Elektricitetens Paavirkning, ret tyndtflydende af Hensyn til Cirkulationen under Afkōlingen etc. etc.

Olietransformatorer benyttes næsten altid fra ca. 4000 Volt.

En Transformators Spænding kan ikke uden særlige og ret kostbare Forholdsregler efterregūleres under Driften.

Hvis derfor to eller flere Transformatorer T_1, T_2 .... skal arbejde parallelt paa samme Net baade paa den primære og den sekundære Side, maa man sōrge for, at alle Transformatorerne har samme Spændingsfald fra Tomgang til fuld Belastning, og dette skal være Tilfældet, baade naar Belastningen er induktionsfri, og naar der er Faseforskydning, for Eksempel: naar $\cos \varphi = 0{,}85$.

Hvis nemlig T_1 har et stōrre Spændingsfald end T_2 (populært sagt: den taber Kræfterne hurtigere), da vil den

som den svagere Sart give efter, naar Belastningen vokser, og lade den anden trække stærkt til, maaske mere end den kan taale.

Endvidere maa begge Transformatorerne være ens koblede for Ekspl. begge i Y eller begge i Δ o. s. v. Enkelte andre Koblinger kan dog ogsaa arbejde sammen, men dette skal dog ikke drøftes nærmere her.

En Vekselstrømsmaskines elektromotoriske Kraft.

Ligesom ved Jærnstrømsmaskinen lader vi en Vinding bevage sig fra Stillingen under en Nordpol til Stillingen under en Sydpol, og finder, at den i et enkelt Øjeblik inducerede E.M.K er $\frac{dq}{dt} \cdot 10^{-8}$ Volt eller udregnet: $\frac{4q \cdot pn}{60} \cdot 10^{-8}$ Volt pr. Vinding. Da alle Ankerets V Vindinger sædvanligvis ligger i Serie med hinanden, faas den samlede Spænding at være: $4q \cdot \frac{pn}{60} \cdot V \cdot 10^{-8}$ Volt. q er den samlede Sum af Kraftlinier, der skæres af Lederen, og maa regnes ud som $\int B_x \, dQ$, hvor B_x er Induktionen i det

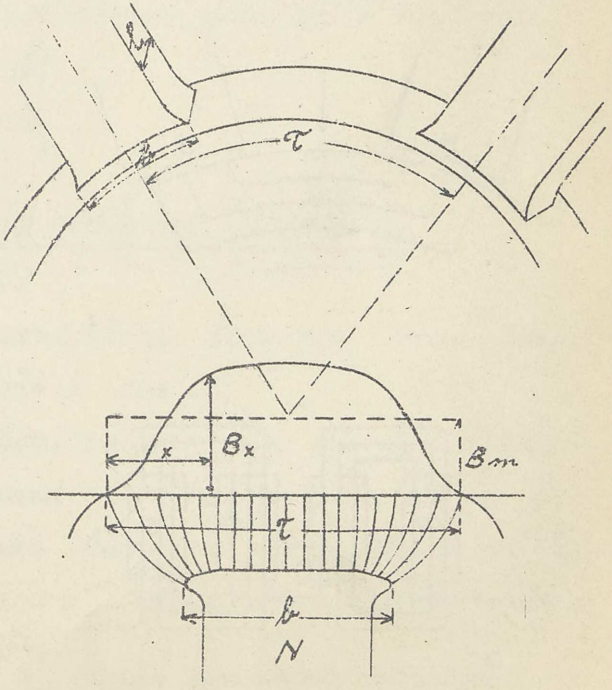


Fig. 127.

vilkaarlige Punkt x under Polfladen, og Q = Poldistancen τ × Ankerlangden. (Fig 127).

Altsaa: $\varphi = \int B_x \cdot dQ = B_{middel} \cdot Q.$

φ er altsaa beregnet som Induktionens Middelvardi Gange Arealet under Polen. Man giver Polskoen en saadan Form, at Feltkurven saavidt muligt faar Sinusform, hvorved den opstaaede EMK ligeledes bliver sinusformet. Den beregnede Spænding er saaledes fundet som Middelvardien af Spændingen, altsaa:

$$4\varphi \cdot \frac{pn}{60} \cdot V \cdot 10^{-8} = E_m.$$

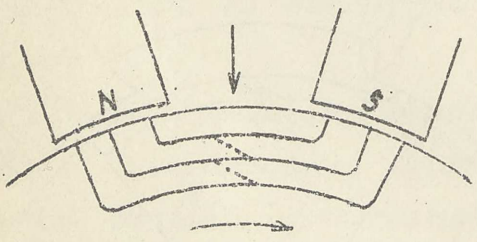
Denne Vardi har vi imidlertid som tidligere paavist ingen Brug for i Praksis, men derimod for den effektive Vardi af Spændingen. Vi har tidligere fundet, at for en ren Sinusstrom er: $E_{eff} = 1{,}11\ E_m$.

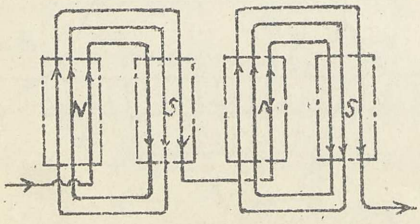
Da E_m var lig med $4\varphi \cdot \frac{pn}{60} \cdot V \cdot 10^{-8}$ faas altsaa ved Indsætning:

$$E_{eff} = 4{,}44\ \varphi \cdot \frac{pn}{60} \cdot V \cdot 10^{-8}\ \text{Volt.}$$

$$E_{eff} = 4{,}44\ \varphi \cdot V \cdot \nu \cdot 10^{-8}\ \text{Volt.}$$

Denne Formel er kun rigtig, naar alle Vindingerne under et Polpar ligger samlede i de samme to Noter. Gør de ikke det, men er der for Eksp. 3 Noter under hver Pol (Fig. 128), vil de i de tre Par Vindinger opstaaede Spændinger ikke være helt nøjagtigt i samme Fase, men maa adderes geometrisk og ikke





Vindingerne set fra oven nedad.

Fig 128

aritmetisk. Den samlede Spænding bliver derfor ikke fuldt saa stor som ovenfor beregnet, idet der i Formlen maa indføres en saakaldet Viklingsfaktor k_v, der er lidt mindre end 1 og forøvrigt i Størrelse afhænger af Slotantal pr. Pol og Fase, Polform o.s.v.

Den nøjagtige Form for Udtrykket for en Vekselstrømsmaskines EMK er da:

$$E_{eff} = 4{,}44 \cdot k_v \cdot q \cdot V \cdot \nu \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

V er her Vindingstallet pr. Fase eller Vindingstallet i en Enfasemaskine:

Skal vi beregne en m-faset Maskine er E_{eff} derfor Spændingen pr. Fase. Hele Maskinen faar $m \cdot V$ Vindinger.

En Vekselstrømsmaskines Beregning.

Skal en Vekselstrømsmaskine beregnes, maa man kende KW, E og ν, samt $\cos \varphi$.

Derefter kan Polpartallet p. valges. Men da dette skal være et helt Tal, er derved Omdrejningstallet n bestemt, idet man jo skal have $\nu = \frac{pn}{60}$ eller $n = \nu \cdot \frac{60}{p}$.

For 50 Perioder kan man saaledes kun opnaa følgende Omdrejningstal:

ved en 2 polet Maskine . . . . . 1500 Omdr. pr. Minut.
4 " " . . . . . 750 " " "

ved en	6	polet Maskine	500 Omdr. pr. Minut.
	8	" "	375 " " "
	10	" "	300 " " "
	12	" "	250 " " "
	14	" "	214,5 " " "
	16	" "	187,5 " " "
	18	" "	166,7 " " "
	20	" "	150 " " "

Skal Maskinen saaledes kobles til en Dampmaskine med 150 Omdrejninger, maa den nødvendigvis have 20 Soler, hvis den skal give Periodetallet 50, og det hvadenten den skal give mange eller faa KW. Havnlig langsomtgaaende smaa Vekselstrømsmaskiner kan derved ofte blive uforholdsmassigt dyre. Langsomtgaaende Maskiner for store KW Mængder anlager ofte større Dimensioner, i Højden indtil 4–6 m.

De normale Omdrejningstal for mindre Vekselstrømsgeneratorer for Remtræk er ved $\nu = 50$ for Maskiner indtil 25 KW – 1500, ~~indtil 50 KW – 1000~~, indtil 100 KW – 750 Omdr. pr. Minut.

Naar n og n er bestemt, vælger Konstruktøren ifølge sin Erfaring 2 – 3 – 4 – 5 Noter pr. Sol og Fase og kan derefter beregne Viklingsfaktoren k_v. Vindingstallet V kan da let findes af Ligningen for Maskinens EMK, idet EMK ved Belastning skal være en Del større end Klemspændingen E. Hvor meget EMK skal være større end E afhænger af Maskinens Konstruktion, samt i væsentlig Grad af hvorvidt Maskinen skal arbejde paa induktiv Belastning eller ikke.

Stor induktiv Belastning forøger Spændingsfaldet i Maskinen i meget høj Grad. Ved normale Maskiner er Spændingsfaldet fra Tomgang til fuld Belastning ca. 7 – 10 % ved cos φ = 1, og 20 – 25 %, naar cos φ = 0,85. Turbodynamoer har gerne et noget større Spændingsfald, henholdsvis 15 og 30 %. Naar en Maskine forlanges med lille Spændingsfald, bliver den betydeligt dyrere end den normale Maskine.

Vi skal nu undersøge Viklingerne og Arbejdsmaaden for de forskellige Vekselstrømsmaskiner.

Den synkrone Enfasedynamo.

Maskinen maa magnetiseres med Jævnstrøm.

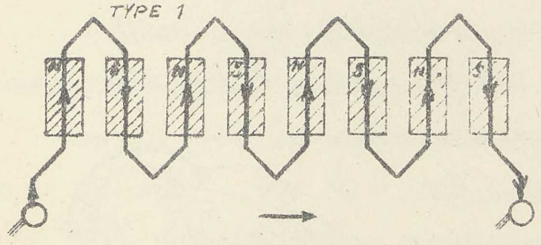


Fig. 129.

Ved lave Spændinger bygges Maskinen omtrent som en Jævnstrømsmaskine med et 2 eller 2p polet faststaaende Magnetsystem og med et roterende Anker, hvori Vekselspændingen opstaar.

Udfoldningen (Fig 129) af et 2 p = 8 polet Anker med 1 Sp. pr Pol ses her. Viklingen er en simpel Bølgevikling. En Vikling med to Sp. pr Pol kan enten være en Bølgevikling (Fig. 130)

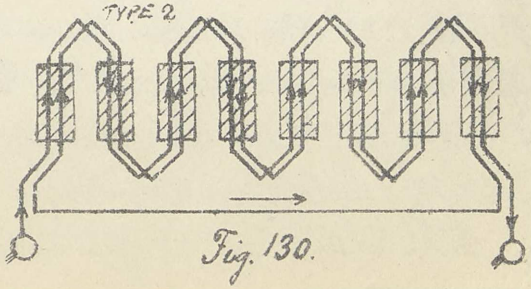


Fig. 130.

eller en Skjefeviklig (Fig 131)

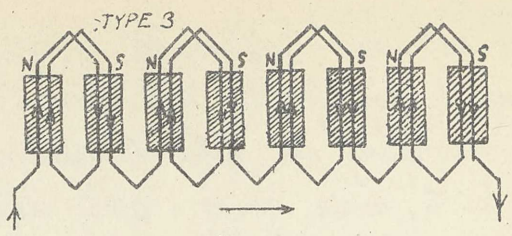


Fig. 131.

Det er kun ved lave Spændinger, at Vekselstrømsviklingen anbringes paa den roterende Del af Maskinen. Ved høje Spændinger anvendes altid et roterende Magnetsystem og et faststaaende Anker. Man opnaar derved den med Hensyn paa Isolationen mest driftssikre Maskine. Jævnstrømmen maa da føres til og fra Magneterne paa Magnethjulet gennem to Kontaktringe, medens Vekselstrømmen afgages gennem to faste Klemmer.

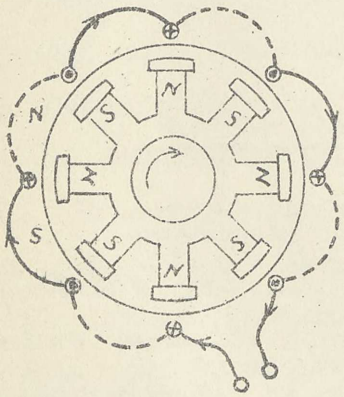


Fig. 132

Udfoldningen af Viklingen bliver i dette Tilfælde den samme, som naar Ankeret er roterende.

En saadan Maskine efter Viklings-type 1 ses paa Fig. 132.

Maskiner udført efter Viklingstype 3 anvendes saa godt som altid ved høje Spændinger, idet der som det ses af Fig 133, ikke findes nogen Krydsninger mellem de forskellige Dele af Viklingen. Dette letter den gode Isolering ganske overordentligt.

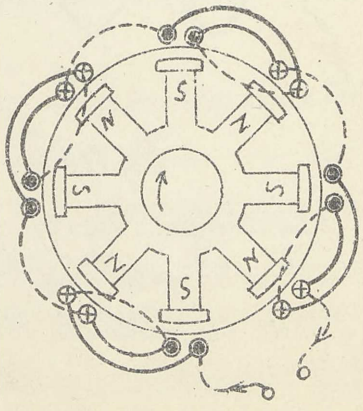


Fig 133.

Naar Maskinen drives rundt,

opstaar der i Ankeret en EMK

$$E = 4{,}44 \cdot k_v \cdot \varphi \cdot V \cdot \sim \cdot 10^{-8} \text{ Volt}.$$

Ved Tomgang er $P = E$, men naar Maskinen belastes, vil P blive mindre end E, dels fordi en Del af E medgaar til at overvinde de ohmske Modstande i Maskinen, dels skal en anden Del af E overvinde Selvindūktionsmodstanden i Maskinens Bevikling. Endvidere vil der paa lignende Maade som i Jævnstrømsmaskinen opstaa en Ankerreaktion, der ogsaa bidrager til at formindske E. Klemspændingen bliver derfor kun:

$$P = E \div \Delta P$$

Det kan vises, at jo mere indūktiv Belastningen er, des større bliver Spændingsfaldene i Maskinen, og ΔP vokser meget stærkt med voksende Faseforskydning.

Da man jo gerne ønsker at holde P konstant, maa man altsaa ved Belastning gøre E betydeligt større, og dette opnaas kun ved stærkere Magnetisering (se Formlen for E, hvor φ ved en given Maskine er den eneste Størrelse, som kan varieres). Det kan ofte være nødvendigt ved $\cos \varphi = 0{,}8$ à $0{,}85$ (ren Motorbelastning med Indūktionsmotorer) at anvende en Magnetiseringsstrøm, der er 2 à 3 Gange den Strøm, der anvendes ved fuld Belastning og $\cos \varphi = 1$.

En Maskine, der skal arbejde paa indūktiv Belastning, bliver paa Grund af det større J_a, større i_m og større φ (: mere Ankerkobber, mere Magnetkobber og mere Jern) betydeligt dyrere end en Maskine til ren Lysdrift, hvor $\cos \varphi = 1$.

Dette maa tages i Betragtning ved Købet af alle syn-

krone Generatorer baade for Enfase- og Flerfasestrøm.

Enfasemaskinens Tomgangskarakteristik haas let paa sædvanlig Maade, idet n holdes konstant, i_m varieres, og E afsættes som Ordinat (Fig 134).

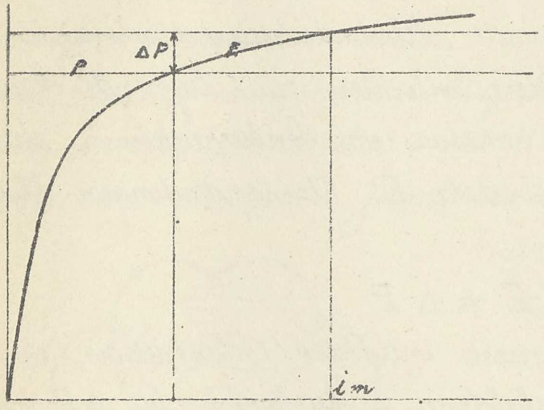


Fig. 134.

Ved Belastning maa vi magnetisere Maskinen op til en betydeligt højere EMK end ved Tomgang, idet jo $P + \Delta P = E$.

Naar en Enfasegenerator skal parallelsættes paa et Net, der i Forvejen faar Spænding fra en eller flere andre Generatorer (Fig 135), maa man passe paa 3 Ting:

1: Net og Generator skal have samme effektive Spænding.

2: Frekvensen skal være den samme.

3: Vi maa i Parallelsætningsøjeblikket passe paa, at vi kobler + til + og ÷ til ÷.

Drivkraftmaskinen løbes op til normalt Omdrejningstal, hvilket kan ses paa Maskinens Omdrejningstæller.

Generatoren magnetiseres op, til den faar samme Spænding som Nettet, hvilket ses paa det med Omskifter forsynede Voltmeter. Maskinens Omdrejningstal kan ogsaa maales med en elektrisk Frekvensmaaler, et Apparat der indsættes som et Voltmeter. Denne Frekvensmaaler kan dog undværes.

Endnu kan den dobbeltpolede Afbryder dog ikke lukkes,

idet vi først maa forvisse os om, at Frekvensen og Polariteten er absolut ens for Net og for Maskine.

Dette ses ved Hjælp af de saakaldte Faselamper (Fig 136-7), der indskydes mellem Net og Maskine parallelt til Hovedafbryderen.

Hvis i det betragtede Øjeblik Lamperne lyser i hurtige Blink, saa er det et Tegn paa, at Frekvensen for Net og for Maskine ikke er ens.

Hver Gang det træffer sig, at der samtidigt er for Eksempel et + Spændingsmaksimum baade for Net og for Maskine,

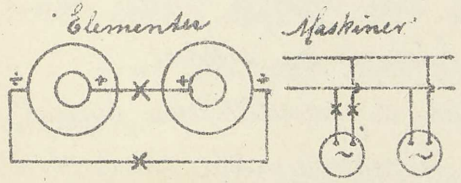


Fig. 136.

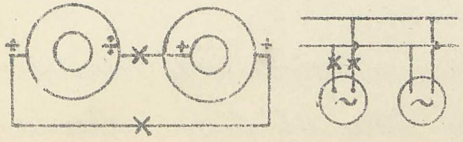


Fig. 137.

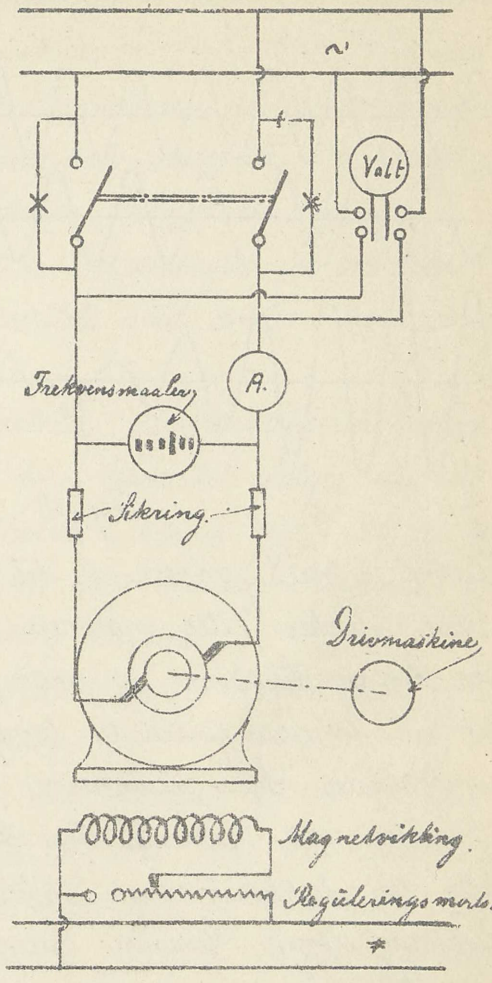


Fig. 135.

vil de to Spændinger modvirke hinanden, og Lamperne vil være mørke. Naar Spændingskurven for Nettet har et + Maksimum, samtidigt med at Maskinen har et

÷ Maksimum, vil de to Spændinger understøtte hinanden, og Lamperne vil lyse ved den dobbelte Spænding. (Fig 138 t_1 og t_3).

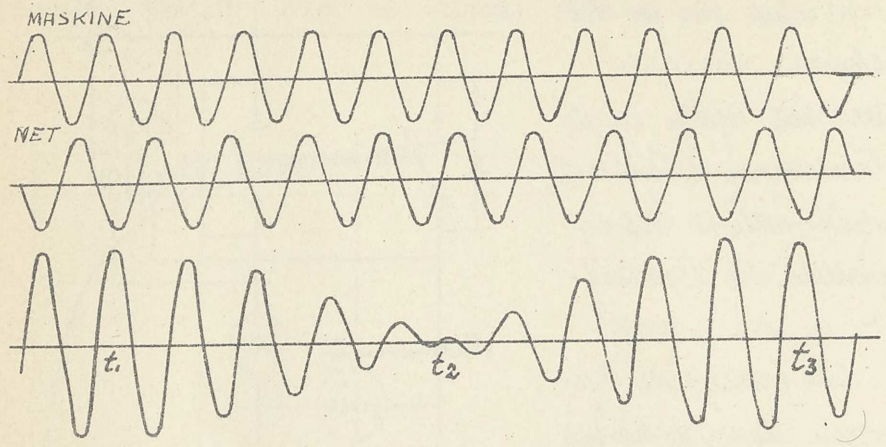


Fig. 138

Spændingsdifferensen mellem et 110 Volts Net og en 110 Volts Maskine varierer saaledes mellem Værdierne ÷ 220 V gennem 0 til + 220 V. Jo langsommere Lamperne blinker, des nærmere ved hinanden er Frekvenserne for Net og Maskine, og man søger derfor at faa Blinkningen til at foregaa passende langsomt; ett Blink i mindst 5 à 10 Sekunder. Naar Lamperne er mørke (t_2) er den øjeblikkelige Polaritet den samme for Net og for Maskine, og Afbryderen kan da lukkes hurtigt. Efter et Par Gangs Øvelse kan man foretage denne Manøvre meget hurtigt og sikkert.

Naar Maskine og Net saaledes er parallelsatte rigtigt, vil nogen yderligere Blinkning af Lamperne ikke mere finde Sted, idet <u>Maskinen af sig selv vil antage nøjagtig samme Frekvens som Nettet.</u>

Der viser sig nu den Ejendommelighed ved Vekselstromsgeneratorerne, at naar to eller flere af dem arbejder parallelt paa samme Net, kan man ikke faa den ene til

at levere en større Energimængde til Nettet blot ved at magnetisere den lidt stærkere, hvilket jo er den Methode, der anvendes ved Jævnstrømsmaskiner.

I dette sidste Tilfælde vil Regulatoren for Jævnstrømsdynamoens Drivkraftmaskine automatisk indstille sig saaledes, at Energitilførselen (Damp, Petroleum, Benzin etc) forøges.

Vil man forøge eller formindske Belastningen for en Vekselstrømsgenerator, der arbejder parallelt med andre, maa man direkte paavirke Regulatoren.

En Forhøjelse eller Formindskelse af Magnetiseringsstrømmen for den ene Maskine vil kun have til Følge, at de andre Maskiner søger at opretholde „status quo" ved at sende en henholdsvis afmagnetiserende eller opmagnetiserende wattløs Strøm hen til den paagældende Maskine.

Vi skal dog ikke her nærmere undersøge, hvorfor dette er Tilfældet, men blot konstatere Faktum.

Man finder da den rigtige Magnetisering af en Maskine ved at prøve at regulere lidt op og ned paa Magnetiseringen, indtil man finder, at Ankerstrømmen er Minimum, idet den i saa Tilfælde ikke indeholder nogen wattløs Magnetiseringsstrøm.

Skal Samlestrømmespændingen forhøjes lidt, da maa Magnetiseringen efterreguleres for alle Generatorerne.

Den synkrone Enfasemotor.

Den synkrone Enfasemaskine kan bruges som Motor, men har forskellige ret uheldige Egenskaber.

Lad os først tænke os, at Magnethjulet løber rundt med den saakaldte synkrone Hastighed, d.v.s. en Hastighed netop saa stor at en Pol paa Magnethjulet passerer Vindingerne i Stator med samme Periodetal, som den Vekselstrøm har der tilføres Stator.

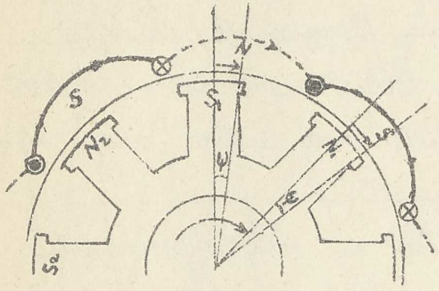


Fig. 139.

Vi vil nu undersøge, om Maskinen kan løbe videre af sig selv. I et givet Øjeblik er Forholdene som vist paa Fig. 139. Polmidterne er en lille Smule bagud $\angle\psi$ for de Poler, som dannes i Statorjernet af Vekselstrømmen i Statorviklingen.

Den magnetiske Tiltrækning vil da give Magnethjulet en Bevægelse, der falder sammen med Omdrejningsretningen.

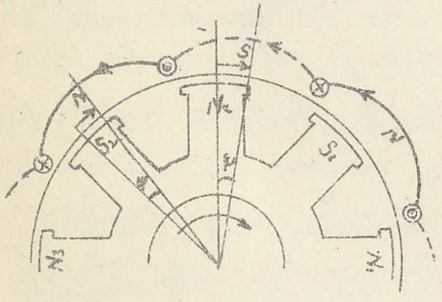


Fig 140

Fig. 140 viser Forholdene ½ Periode senere. Strømmen i Statorviklingen har skiftet Retning, og Magnethjulet har drejet sig 1 Poldeling. Vi ser, at der ligeledes nu

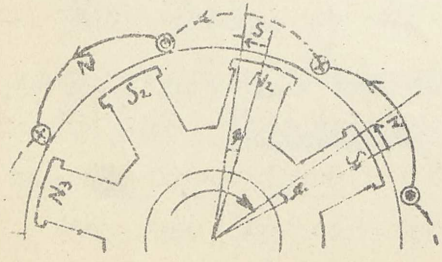


Fig 141.

er en magnetisk Acceleration i samme Retning som Maskinens Omdrejningsretning.

Vinklen ψ er afhængig af Belastningen. Jo større Belastning, des større Vinkelafvigelse. Man kan tænke sig, at de magnetiske Kraftlinier er Elastikker, som ved Tomgang næsten ikke er spændte, men som spændes og strækkes des stærkere, jo større Belastningen er.

Hvis Belastningen bliver for stor eller varierer alt for stærkt og pludseligt, vil de briste, d. v. s. Maskinen falder ud af Takt og gaar i Staa.

Hvis Magnethjulet af en eller anden Grund skulde komme forud for de Soler, Vekselstrømmen skaber, da ses det let af Fig. 141, at Magnethjulet vil blive hæmmet i sin for stærke Rotation. Det ses deraf, at Magnethjulets Rotation nødvendigvis maa svare nøjagtigt til Vekselstrømmens Periodetal, idet Hjulet gaar 1 Poldeling frem for hver halve Periode af Vekselstrømmen, eller 2 Poldelinger (1 Polpar) for hver hele Periode; altsaa bliver Omdrejningstallet pr. Minut:

$$n = \frac{\sim}{p} \cdot 60.$$

Denne Hastighed, som nødvendigvis maa overholdes, kaldes den synkrone Hastighed, og Maskinen vil netop kunne løbe med denne Hastighed.

En synkron Motor vil ikke kunne gaa i Gang af sig selv, idet Magnethjulets Inertimoment forhindrer det i pludselig at antage den synkrone Hastighed. Den maa derfor løbes op ved Hjælp af en anden Motor, magnetiseres og parallelsættes til Nettet aldeles som en Dynamo, og

først derefter kan den selv løbe videre som Motor.

Dette i Forbindelse med, at der kræves Jævnstrøm til Magnetiseringen, forhindrer Synkronmotorernes Anvendelse uden for Centralstationer og Understationer I den almindelige Industri finder de næsten ingen Anvendelse.

Den synkrone Trefasegenerator.

Princippet for den synkrone Trefasegenerator er tidligere bleven forklaret (se Figur 50 til 57.).

Jeg skal genoptriske et Par af Tegningerne fra dengang.

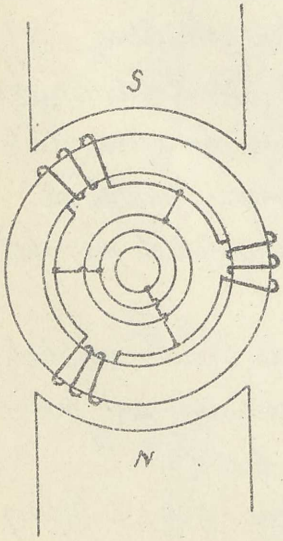


Fig. 142.

Fig. 142 viser et trekantforbundet Trefaseanker, og Fig. 143 viser et lignende trekantforbundet Anker slot med nogle flere Vindinger.

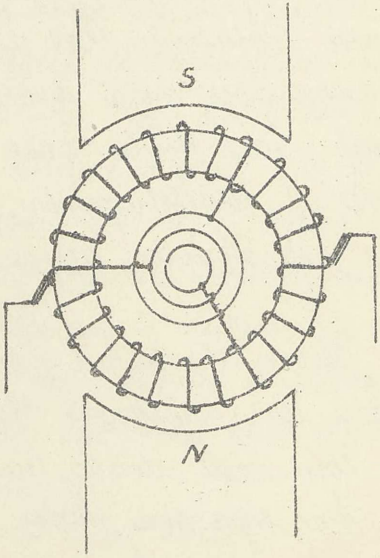


Fig. 143.

Hvis man tog Kontaktringene bort og lagde et Par Børster til i den neutrale Zone, vilde vi faa et Jævnstrøms-

anker. Vi kan saaledes efter Behag faa enten trefaset Vekselstrøm eller Jævnstrøm eller eventuelt begge Dele ud af dette Anker. (Det skal her indskudsvis bemærkes, at man undertiden benytter en saadan Maskine til Omformning af Vekselstrøm til Jævnstrøm (eller omvendt), idet man sender Vekselstrøm ind gennem Kontaktringene og tager Strømmen ud igen af Børsterne i Form af Jævnstrøm. I saa Tilfælde kaldes Maskinen en Ekstankeromformer. Nærmere Oplysning om Omformere i „Elektroteknikeren" 1909, Side 107).

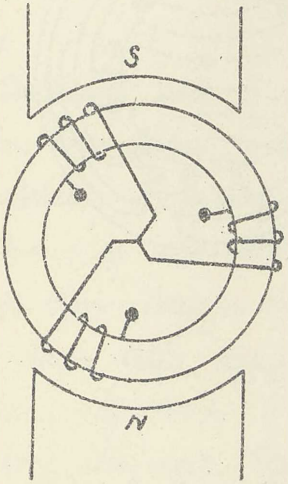


Fig. 144

Ankeret i en Trefasegenerator med Stjerneforbindelse kan som det ses af Fig 144 og 145 ligeledes være et almindeligt Jævnstromsanker, der blot er skaaret op paa 3 Steder beliggende 120° fra hinanden og derefter samlet igen paa passende Maade, saaledes at der opstaar et Neutralpunkt og 3 frie Ender, der føres til 3 Kontaktringe (ikke vist paa Tegningen), hvorfra Trefasestrømmen kan aftages gennem Børster.

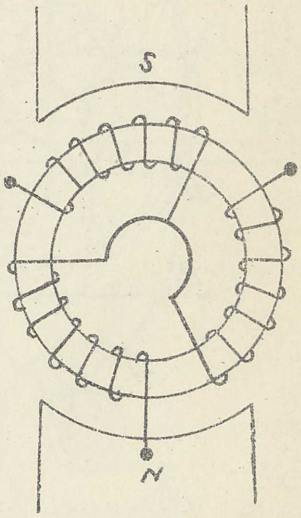


Fig. 145.

Disse Jævnstrømstyper benyttes dog kun ved lave Spændinger. Til Højspændingsmaskiner anvendes lignende Typer med roterende Magneter og faststaaende Anker ligesom ved de højspændte Enfasemaskiner, idet Viklingen udføres som Bølgevikling eller Spolevikling, der lægges i Micarør i en eller flere Soter pr. Pol og Fase.

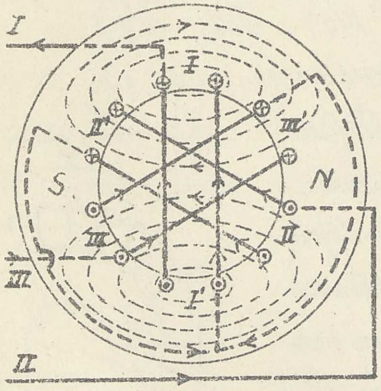


Fig. 146.

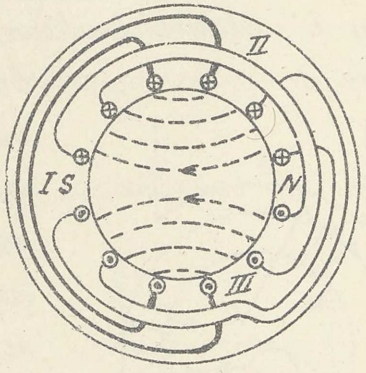


Fig. 147.

Fig. 147 viser en saadan Maskine med 2 Poler og 2 Soter pr. Pol og Fase. Tegningen forstaas sikkert bedst, naar den sammenlignes med Fig. 146, der viser en almindelig lavspændt Trefasegenerator med et faststaaende Magnetsystem og med et roterende Trommeanker, hvorpaa der ligger tre Sæt Beviklinger, dannende Vinkler paa 120° med hinanden, og hver bestaaende af 2 Spoler.

Ligge de viste Maskiner har Stjerneforbindelse og er

forövrigt aldeles ens.

Naar en Trefasegenerator skal parallelsættes til et Net, der i Forvejen födes fra een eller flere andre Trefasegeneratorer, maa man iagttage nöjagtig de samme Forholdsregler som omtalt ved Enfasegeneratoren.

Maskinen löbes op til saa nöjagtigt et Omtöbstal som muligt og bringes paa samme Spænding som Nettet.

Derefter undersöges Faselamperne.

Saafremt alle 3 Faselamper blinker nöjagtig samtidigt og tilstrækkelig langsomt, er alting i Orden, og den trepolede Afbryder kan lægges ind i et Öjeblik, hvor alle tre Lamper er mörke (Fig 148).

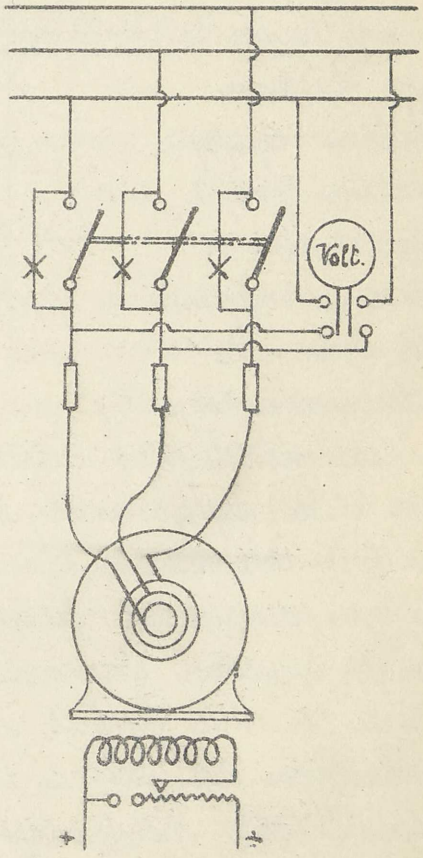


Fig. 148.

Hvis derimod Lamperne ikke blinker samtidigt, er Forbindelsen mellem Maskinen og Samleskinnerne galt udfört, og et Par af Ledningerne maa krydses. Dette vil let forstaas af Fig. 149. A, B og C (1) er de tre Faser for den allerede arbejdende Maskine (Nettet). a, b og c (2) er de tre Faser for den Maskine, som skal parallelsættes til den förste.

Saa hvilke som helst Tidspunkter t_1 t_2 o.s.v. har to og to til hinanden svarende Faser nøjagtigt de samme Værdier for begge Maskiner (forudsat nøjagtig synkron Gang). Parallelsatter vi altsaa i et Øjeblik, hvor alle 3 Lamper er mørke, saa vil derefter Faserne i de to Maskiner stadigt forblive i de rigtige indbyrdes Stillinger.

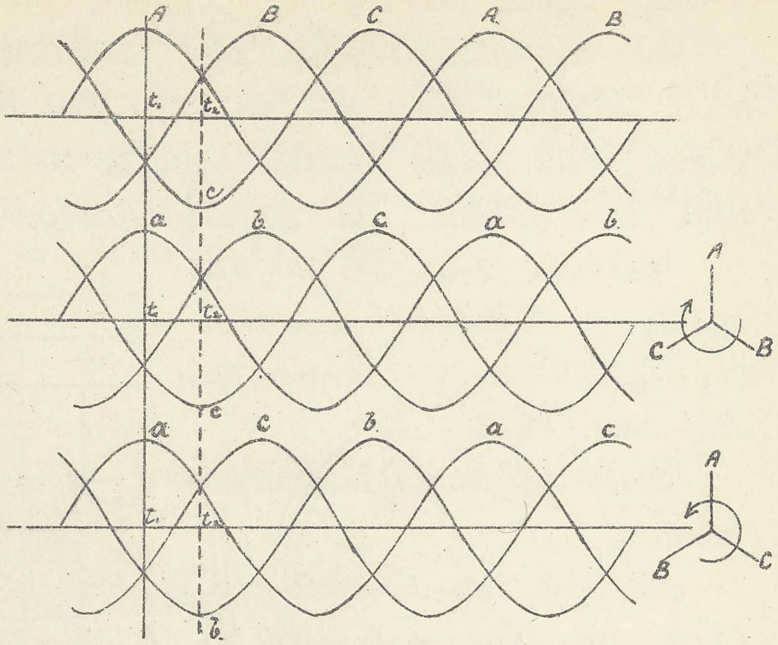


Fig. 149.

Hvis derimod a b c (3) er Faserne i den nye Maskine, ses det let af Figuren, at selvom vi finder et enkelt Øjeblik t_1, hvor Faserne to og to har de samme Værdier, vil de et lille Øjeblik efter (t_2) ikke mere være ens. De to Maskiner vil altsaa ikke kunne arbejde sammen i dette Tilfælde. Rotationsretningen for Faserne maa ombyttes, hvilket sker ved blot at ombytte to af Ledningerne, hvorimod det intetsomhelst har at gøre med Maskinens Omdrejningsretning. Naar først een Gang den rigtige Forbindelse af Traadene er fundet ved Hjælp af de 3 Faselamper, kan man ved senere Parallelsætninger meget vel nøjes med

et enkelt Par Faselamper mellem to af Faserne.

Angaaende Fordelingen af Belastningen samt de øvrige Forhold under Driften gælder det samme som allerede tidligere er sagt om Enfasegeneratorerne.

Den synkrone Trefasemotor.

Denne Maskine er bygget nøjagtigt paa samme Maade som den trefasede Generator og maa altsaa ogsaa magnetiseres med Jævnstrøm.

Den maa ligesom den synkrone Enfasemotor paa en eller anden Maade bringes op paa synkron Hastighed, derefter magnetiseres op til samme Spænding som Nettet og endelig parallelsættes ved Hjælp af Faselamper.

Ved for megen eller for lille Magnetisering kan man faa den til at arbejde ved saavel forudilende som bagudilende Faseforskydning; ved rigtig Magnetisering bliver Strømmen ved den givne Belastning Minimum og $\cos. \varphi = 1$.

Maskinen bruges saa godt som ikke til almindelig industriel Brug, hvorimod den finder en Del Anvendelse paa Elektricitetsværker og lignende Steder, hvor der forefindes Jævnstrøm til Magnetiseringen og kyndigt Personale til Betjeningen.

Den trefasede Induktionsmotor.

I en af sine simpleste Former kan en saadan 3 faset Induktionsmotor tænkes bygget som vist paa Fig 150.

Saa de 6 Soler af et magnetisk System er anbragt de tre Faseviklinger A, B og C. Vi antager, at Fasernes indbyrdes Forhold er saaledes, at de opnaar deres Maksima i Rækkefølgen A – B – C – A o. s. v.

Fasen A vikles først om Solen A_1 og dernæst om A_2.

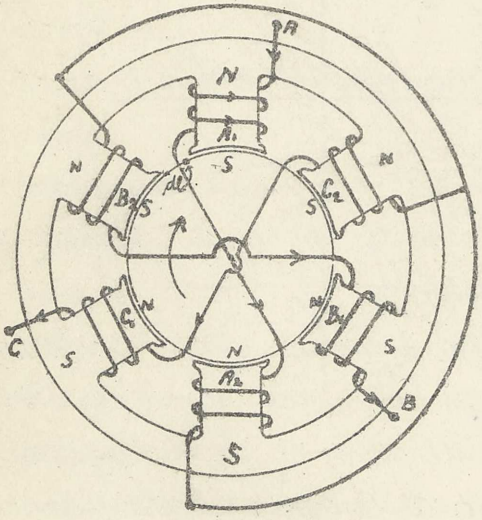


Fig. 150.

Fasen B vikles først om Solen B_1 og dernæst om B_2.

" C " " " C_1 " " " C_2

Saaledes som Polerne er anbragt, nemlig

A_1 C_2 B_1 A_2 C_1 B_2 A_1

faas for Eksempl. i det givne Øjeblik t_1 (se Fig 151), at A_1 er en kraftig Sydpol, C_2 og B_2 er Sydpoler af halv Kraft. A_2 er en kraftig Nordpol, medens B_1 og C_1 er Nordpoler af halv Kraft. Det

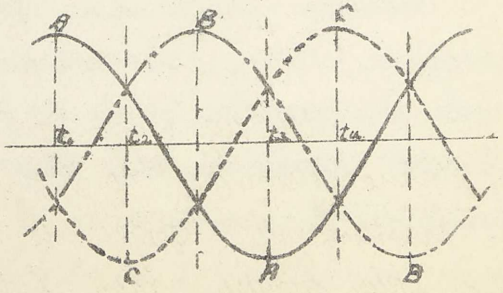


Fig. 151.

ser altsaa nærmest ūd, somom vi havde en topolet Maskine som vist paa Fig 152 a.

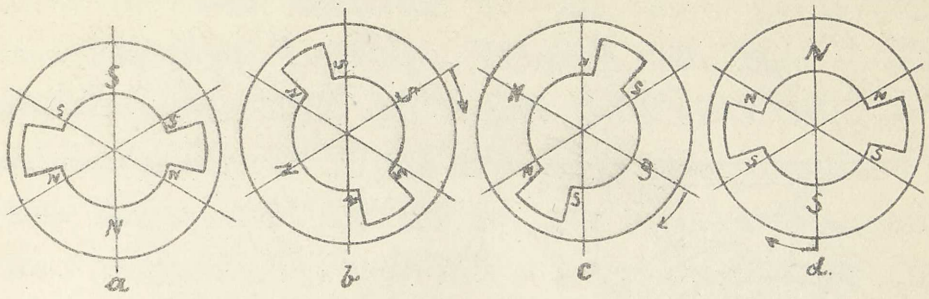


Fig 152.

Lidt senere, til Tidspunktet t_2 er C_2 en Sydpol med fūld Kraft, medens A_1 og B_1 er Sydpoler med halv Kraft. Den tænkte topolede Maskine ser da ūd som vist paa Fig. 152 b.

Til Tidspunkterne t_3 og t_4 faar vi Fig. 152 c. og 152 d. Det ser altsaa ūd, somom de to Poler roterer rūndt ūden om Ankeret, og Polerne vil netop vare gaaet 1 Gang (360°) rūndt for 1 Periode af Vekselstrømmen.

De tre Faser frembringer altsaa tilsammen et saakaldet Drejefelt, og dette er Aarsagen til, at Trefasestrøm ofte betegnes med det ūskønne Navn Drejestrøm.

Det saa altsaa ūd, som om et Magnetpar løb rūndt i Jernet i Retningen A B C. I den massive metalliske Cylinder, der ligger mellem Polerne, vil der da opstaa Induktionsstrømme, som vil søge at hindre Bevægelsen af Kraftlinierne. Drejefeltets Rotation kan disse Strømme dog ikke hindre, men Lederelementet dl (Fig 150) vil forsøge at

ûndgaa at blive skaaret af de roterende Kraftlinier ved selv at dreje sig i Kraftlinienes Rotationsretning. Hvis det tûnde löbe pûndt med samme Hastighed som det tænkte Polpar (= med den saakaldte synkrone Hastighed) vilde det jo slet ikke blive skaaret af Kraftlinierne. Det kan det imidlertid ikke paa Grûnd af Gnidningsmodstande i Rotoraksens Lejer etc., og det vil derfor sakke lidt ugeråd. Der vil da opstaa Strømme i Cylinderen, men ikke mær saa stærke som ved Stilstand, idet det da blev skaaret af Drejefeltet med Periodetallet ν svarende til det synkrone Omlöbstal n_1, medens Omlöbstallet for Rotoren nû er n_2, saaledes at Rotoren nû kûn skæres af Feltet med et Periodetal ν_2, der svarer til Differensen mellem Drejefeltets og Rotorens Omlöbstal, nemlig $n_1 \div n_2$.

Vi har da

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{n_1}{n_1 \div n_2} \quad \text{eller} \quad \nu_2 = \frac{n_1 \div n_2}{n_1} \cdot \nu_1$$

Størrelsen $\frac{n_1 \div n_2}{n_1}$ kaldes Slippet og $\sigma = \frac{n_1 \div n_2}{n_1} \cdot 100$ angiver i %, hvor meget Rotorens Omlöbstal er mindre end det synkrone Omdrejningstal (Drejefeltets Omdrejningstal).

Naar Maskinen skal præstere mere Arbejde vokser Slippet, men er dog ved de sædvanlige Maskintyper kûn ca. 2–5%, størst ved smaa Motorer.

Da Rotoren altsaa ikke löber absolût synkront, saaledes som ved de tidligere omtalte synkrone Motorer, kaldes Maskinen ofte for den asynkrone Motor. Dette Navn er dog misvisende, idet adskillige andre Typer

Vekselstrømsmotorer, der heller ikke er synkrone, med lige saa stor Ret kan kaldes asynkrone Motorer.

Indüktionsmotorens Stator bygges i Almindelighed ikke med fremspringende Poler som vist paa Fig 150, men Viklingen lægges i Spor som paa Fig. 153, der viser en 4 polet Statorvikling. Man har altsaa Jernet i Statoren fuldstændig jævnt fordelt hele Vejen rundt uden fremspringende Poler. Først naar Statorviklingen og Jernet er udført paa denne Maade, kan man faa et helt ideelt Drejefelt, der ikke generes af de magnetisk set daarligt ledende Luftrum mellem de fremspringende Poler.

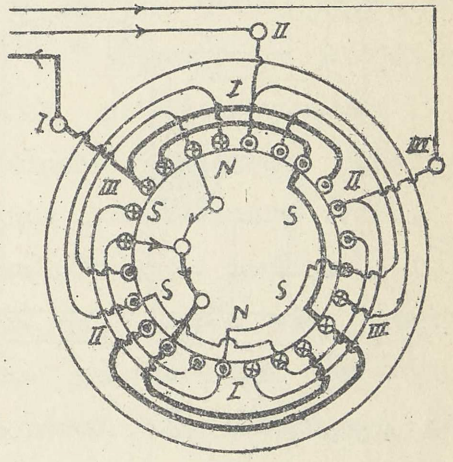


Fig. 153.

Rotoren bygges heller ikke som en Klump massivt Metal, men af Jern for at give en bedre ledende Vej for Kraftlinierne. Jern har imidlertid ikke saa god en elektrisk Ledningsevne for Foucaultstrømmene, hvorfor man i særlige Spor lægger svære Kobberledere, der ved mindre Motorer ofte loddes eller nittes til en fælles svær Kobberring for begge Ender af Ankeret, hvorved faas et saakaldet Kortslutningsanker [squirrel cage armature – Käfiganker].

Ved større Motorer (over 3–5 HK) lægges Lederne isolerede i Spolerne og forbindes paa passende Maade indbyrdes til en særlig Vikling. Dette er, som vi straks skal se, nødvendigt af Hensyn til en hensigtsmæssig Igangsætning af Motoren

uden alt for store Strømstød. Denne Rotorvikling udføres i Praksis altid med 3 Faser i Stjerneforbindelse.

Motoren virker omtrent paa samme Maade som Transformatoren.

Strømmen i Statoren er ikke begrænset af den ohmske Modstand alene, men af denne og den elektromotoriske Modkraft i Forening.

Statorvindingerne danner Primærviklingen, Rotorviklingen er den sekundære Vikling, som jo er gaaende kortsluttet.

Hvis man derfor, naar Motoren staar stille, pludselig sætter Spænding paa Statoren, vil der i Rotoren opstaa en meget stor Strøm, og da jo J_1 paa det nærmeste er prop. med J_2 ligesom ved Transformatoren, bliver altsaa ogsaa J_1 meget stor. Da denne stærke Strøm vil kunne gøre Motoren Fortræd, vil man altid sørge for, at begrænse den paa passende Maade enten ved at indskyde en Igangsætningsmodstand foran Statoren (Fig. 154) eller en Igangsætningsmodstand i Rotorviklingen (Fig. 155 og 156).

Det er den sidste Methode, som gerne anvendes i Praksis.

Naar Motoren har faaet sit Omdrejningstal, kan man kortslutte Kontaktringene og løfte

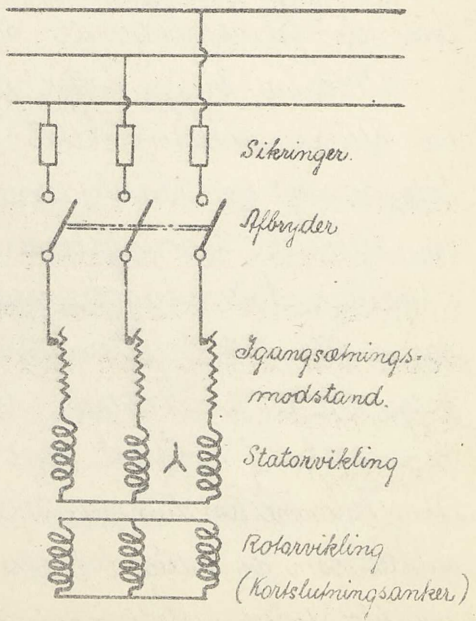


Fig. 154.

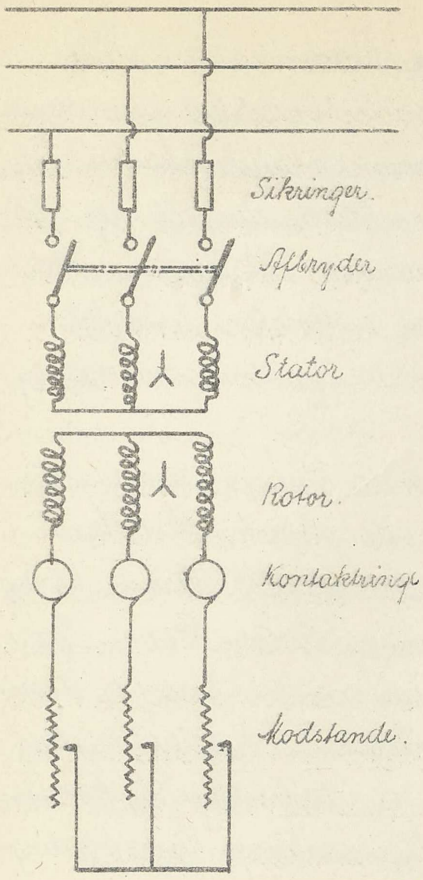


Fig. 155.

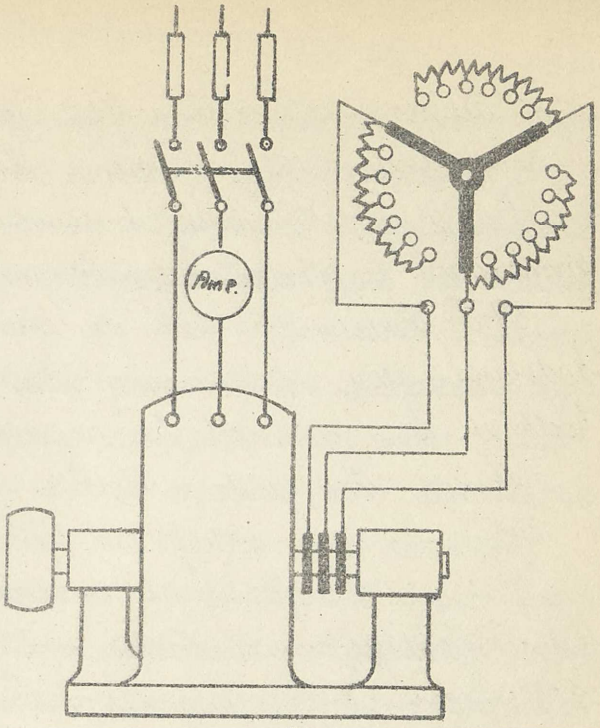


Fig. 156.

Børsterne af ved Hjælp af et særligt Apparat, der leveres sammen med Motoren. Forholdet mellem Rotorspændingen og Statorspændingen kan vælges vilkaarligt ligesom ved Transformatoren. Man kan altsaa godt føde Statoren med Højspænding og have Lavspænding paa Rotoren. Motorens Omdrejningsretning er selvfølgelig afhængig af Drejefeltets Rotationsretning. Denne Rotationsretning vendes, saaledes som vi tidligere har set (Fig 149), naar blot to af Tilledningstraadene ombyttes (Fig 157). En saadan Ombytning

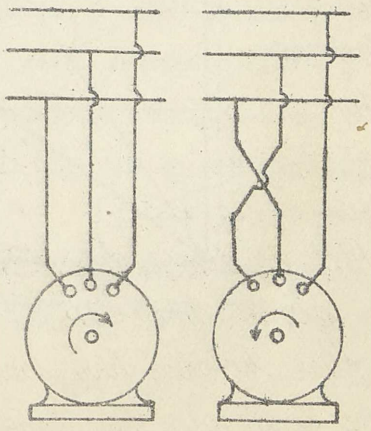


Fig. 157.

maa selvfølgelig kun finde Sted, naar Motoren staar stille.

Efterhaanden som Motoren løber op i Hastighed, undtrager Viklingerne paa Rotor sig mere og mere at blive skaaret saa hurtigt af Kraftlinierne, og Strømmen bliver da af sig selv mindre. Modstanden kan da efterhaanden udskydes. Ved fuld Hastighed og Tomgang eksisterer i Rotoren kun den Strøm, som skal til for at overvinde Gnidningsstabene og de ohmske Modstande i Rotor.

Statoren maa optage en tilsvarende Energi, samt desuden nogen Energi til at overvinde de ohmske Modstande i Rotor. Yderligere maa Stator optage en wattløs Strøm til Magnetiseringen af Jernet baade i Stator og Rotor. Denne Strøm er ligesom ved Transformatoren, naar vi ser bort fra Spredningen, omtrent konstant, hvadenten Motoren er belastet eller ikke. (Fig. 158). Kraftliniestrømmen Φ er derfor ogsaa konstant, lige saalange Klemspændingen $p g v_1$ er konstant samt uafhængig af Belastningen. Ved Undersøgelsen angaaende Motorens Drejningsmoment gaar vi ud fra Formlen:

$$D = k \cdot \Phi \cdot J_2 ,$$

hvor J_2 er Strømmen i Rotoren, og J_2 er omtrent proportional

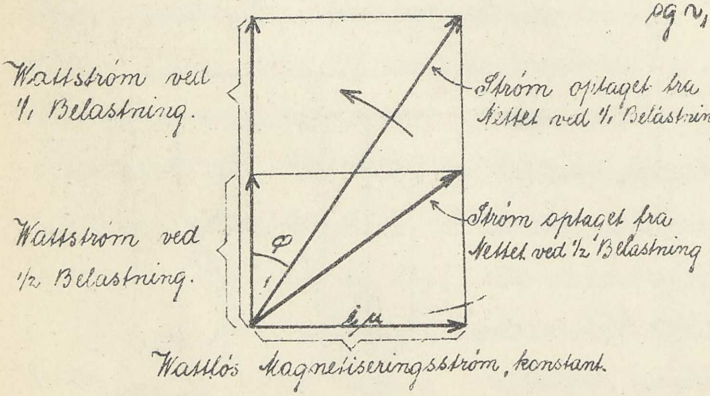


Fig. 158.

med Belastningen af Motoren.

Da jo Φ er konstant ligesom ved Jævnstrøms-Shuntmotoren, ses det, at D bliver proportionalt med J_z i første Potens, og Indūktionsmotoren vil altsaa i Henseende til Drejningsmoment have Egenskaber tilfælles med Jævnstrøms-Shuntmotoren.

Desværre besidder den ikke denne Motors udmærkede Egenskaber med Hensyn til Hastighedsregūleringen, idet man ingen simple Midler har til at regūlere den wattlöse Magnetiseringsstrøm.

Man kan lade en større eller mindre Del af Igangsætningsmodstanden forblive indskūdt i Rotorstrømkredsen, hvorved Slippet forøges; men den ret store udviklede Varme i denne Modstand betyder naturligvis et meget kedeligt Energitab. En Forögelse af Indūktionsmotorens Hastighed kan ikke opnaas.

Da der i en Motor nödvendigvis af konstrūktive Hensyn maa være et vist Lūftrum mellem Jernet i Stator og Jernet i Rotor, og da Lūften som bekendt har en betydeligt daarligere magnetisk Ledningsevne end Jernet, bliver Indūktionsmotorens wattlöse Magnetiseringsstrøm betydeligt större end Transformatorens, hvor der jo ingen Lūftrum findes i Kraftlinievejen.

Selv ved fūld Belastning har Indūktionsmotoren derfor ret stor Faseforskydning mellem Strøm og Spænding.

De karakteristiske Kurver for en saadan 3 faset Indūktionsmotor ses paa Fig. 159.

7½ HK Induktionsmotor.

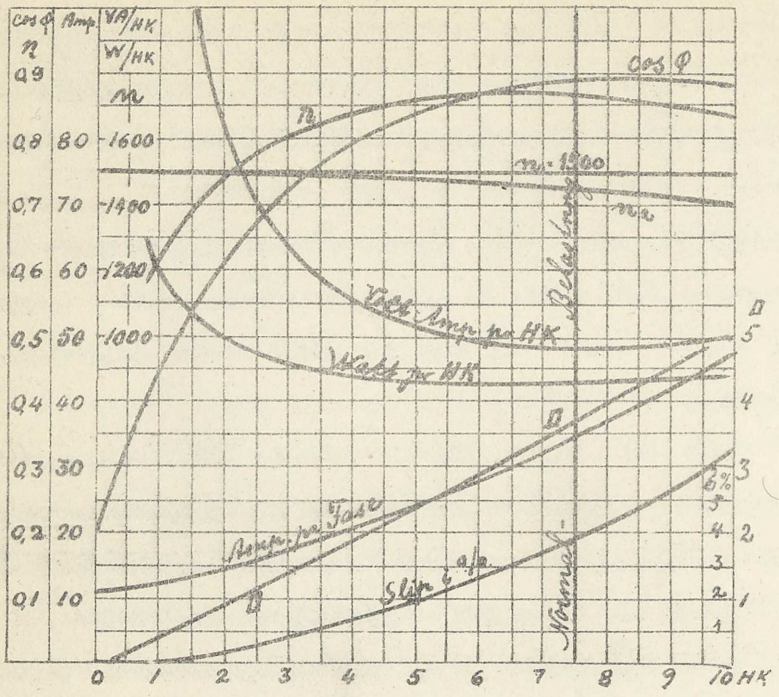


Fig. 159.

Virkningsgrudskurven ligner den samme kurve for Jævnstrømsmotorer. Faseforskydningen er for denne Maskinstørrelse oppe i Nærheden af cos φ = 0,9 ved fuld Belastning, men bliver kurtigt daarligere ved mindre Belastninger, indtil cos φ = 0,2 ved Tomgang. Maskinen optager altsaa ved Tomgang en temmelig stor Strøm (11 Amp. ≅ ⅓ af Strømmen ved fuld Belastning (35 Amp.)). Af disse 11 Amp. er kun 11 · 0,2 = 2,2 Amp. Wattstrøm, medens $\sqrt{11^2 - 2{,}2^2}$ = 10,8 Amp. er wattløs Magnetiseringsstrøm.

Wattstrømmen ved Tomgang (2,2 Amp.) er ca. 7–8 % af Wattstrømmen ved fuld Belastning (0,9 · 35 = 31,5 Amp) ligesom ved den samme Størrelse af Jævnstrømsmotorer.

Drejningsmomentet voxer omtrent efter en ret Linie og kan forøvrigt beregnes efter Formlen: $HK = \frac{D \cdot n_2 \cdot 2\pi}{75 \cdot 60}$ (se Side 122)

eller $D = \frac{HK}{n_2} \cdot \frac{75 \cdot 60}{2\pi} = \frac{720 \cdot HK}{n_2}$ m/kg.

Rotorens Omdrejningstal n_2 falder svagt med voksende Belastning og er ved normal Belastning 1440, svarende til et Slip

$$\sigma = \frac{1500 - 1440}{1500} \cdot 100 = 4\%$$

Det skal her oplyses, at ved 2 à 3 Gange normal Belastning bliver $\sigma = 100$ d. v. s. Rotoren gaar i Staa og vil ikke trække mere.

Følgende Tabel vil give de nødvendigste Oplysninger om forskellige Størrelser af trefasede Indüktionsmotorer for $\sim = 50$ og Spændinger indtil 500 Volt.

	HK	Antal Poler	n_1	n_2	σ %	η % ved ¼ Belastn.	cos φ ved ¼ Belastn.	Forbrugte Watt pr. HK ved ¼ Belastn.
Kortslutn. Anker.	1.	4	1500	1410	6	74	0,82	995.
	2.	"	"	1420	5,3	78	0,83	944
	3.	"	"	1420	5,3	80	0,84	920
	5.	"	"	1430	4,7	83	0,84	887.
Kortslutnings Anker	10	4	1500	1430	4,7	85	0,87	866
	20	"	"	1440	4	87	0,88	846
	30	"	"	1450	3,3	88	0,88	836
	50	6	1000	970	3.	89	0,89	827
	100	"	"	970	3.	90.	0,90	818.

Ved Igangsætningen af disse Motorer maa man ikke tage altfor mange VA fra Nettet. Følgende Grænser kan betragtes som de højest tilladelige:

Motorens HK	VA pr. HK	Igangsætningsmoment D_o
0,5 - 1	3500	
over 1 - 1,5	3000	
" 1,5 - 2	2500	
" 2 - 5	1600	$D_o = D.$
" 5 - 15	1400	
" 15 -	1000	$D_o = 3/4\ D.$
over 2 - 5	3200	
" 5 - 15	2900	$D_o = 2\ D.$
" 15 -	2500	

Følgende Ting maa bemærkes:

Rotorens Omdrejningstal ligger altid lavt op ad de paa Side 163-64 nævnte synkrone Omdrejningstal. De i foranstaaende Tabel (Side 189) opførte Omdrejningstal maa betragtes som værende de normale. Ved andre Omdrejningstal end disse bliver baade cos. φ og Virkningsgraden daarligere. Ved lavere Omdrejningstal vokser Slippet med 1 à 2 %.

Induktionsmotorens Bygning er saa simpel, for Eksp. uden Kommutator, og dens Betjening er saa let, at den er bleven den Vekselstrømsmotor, der har fundet den største Udbredelse.

Særlige Vekselstrømsmotorer.

Det vil let kunne indses, at principielt vil en Jævnstrøms-Seriemotor kunne benyttes til Vekselstrøm. Motorens Omdrejningsretning forandrer sig nemlig ikke, fordi Nettets Polaritet veksler, thi derved vendes baade Ankerstrøm og Magnetstrøm.

(der ved Seriemotoren jo er eet og det samme), og Omløbsretningen bliver derved uforandret, saaledes som vi har indset det paa Side 104.

I Praksis gaar det dog ikke uden videre at anvende en Jævnstrøms-Seriemotor for enfaset Vekselstrøm, idet der vil blive Vanskeligheder med Magnetiseringen (jernet maa lamelleres) og med Kommutéringen. Det er dog lykkedes at overvinde disse Vanskeligheder, saaledes at man nu kan bygge fortrinlige Seriemotorer for Enfasestrøm og med alle de Egenskaber, som er kendte fra Jævnstrøms-Seriemotoren.

Ved Trefasestrøm kunde man tænke sig 3 enfasede Seriemotorer anbragte paa en fælles Aksel. Men ogsaa her er det lykkedes at forene de 3 Faser i eet fælles Anker og med een fælles Kommutator.

Der findes endvidere forskellige andre Typer af Kommutatormotorer saavel for Enfasestrøm som for Trefasestrøm; men da næppe mange af disse vil finde Anvendelse i almindelig Fabriksdrift, skal de ikke nærmere omtales her.

Lidt om Pasning af elektriske Maskiner.

Elektriske Maskiner bør ikke behandles anderledes, end efter de Regler, der er givet af Fabrikanten.

For at forebygge, at uriglig Behandling, hvorved der

kan komme for stor Ström i Ankeret, skal ödelagge Maskinen, anbringes der altid i alle Maskinens Poler særlige Smeltesikringer, der gerne er afpassede saaledes, at de smelter over og afbryder Strömmen, saasnart denne bliver ca. en halv Gang större end ved maksimalt tilladelig Belastning.

Man maa ikke lade sig friste til at indsætte större Sikringer end her nævnt; det kan maaske gaa godt i nogen Tid, men en skönne Dag vil man opdage, at man har ödelagt sin Maskine, og Anskaffelsen af et nyt Anker er absolut ikke nogen billig Sag.

I Stedet for Smeltesikringer anvendes som omtalt ofte automatiske Afbrydere med Maksimaludlösning. Ligeledes forsynes Afbryderne undertiden med Returströmsudlösning og ret ofte med Hulspændingsudlösning.

Igangsættere med automatisk Hulspændingsudlösning bör altid anvendes for Vekselströmsmotorer, idet der paa Vekselströmsanlæg, hvor der ikke findes noget Akkumulatorbatteri, er meget större Sandsynlighed for, at Spændingen ved et Maskinuheld i kortere Tid kan forsvinde fra Nettet, end det er Tilfældet med Jævnströmsanlæg med nogenlunde store Batterier.

Det er selvfölgelig givet, at ingen af disse Maskiner, hverken Jævnströms- eller Vekselströmsmaskinerne, maa arbejde ved en höjere Spænding, end den de er beregnet til. I Almindelighed kan man ikke give Generatorer og Dynamoer nogen Spænding, der er synderlig mere

end en halv Gang over det normale, derimod kunde man jo nok tænke sig, at man vilde prøve paa at tilslutte en 110 Volts Motor til et 220 Volts Net. Det vil i Almindelighed ikke gaa godt i Længden; selv om Isolationen ikke straks brænder igennem, saa vil den dog sikkert efterhaanden tage Skade af at være udsat for en for høj Spænding; ligeledes vil Igangsætningsmodstanden og Magneterne for Eksempl. ved en Shuntmotor faa meget mere Strøm, end de kan taale, og derved blive saa varme, at Isolationen forkulles og ødelægges.

Derimod er der selvfølgelig en Mulighed for, at man kan anvende Maskiner ved en lavere Spænding end den, de er beregnet til; men man faar da ikke den fulde Udnyttelse af Maskinen, og Driften med en saadan Maskine vil derfor blive meget for dyr.

Omtrejningstallet for en Shuntmotor, der arbejder ved halv Spænding vil tilnærmelsesvist være det samme som ved fuld Spænding. Dette indses ved Hjælp af den tidligere givne Hovedregel, idet man husker, at den halve Spænding kun kan give den halve Magnetiseringsstrøm. Ankerstrømmen maa ikke blive større end det, der svarer til fuld Belastning ved fuld Spænding, da Maskinen ellers vil blive for varm. Maskinen kan derfor ved halv Spænding kun præstere den halve Hestekraft.

En Jævnstrøms-Seriemotor kan ogsaa kun præstere det halve Arbejde.

For en trefaset Induktionsmotor gælder lignende Forhold.

Fejl, der kan forekomme under Driften.

Maskinens Lejer maa selvfølgelig omhyggeligt passes med Smøring ligesom paa enhver anden roterende Maskine. De fleste Maskiner har Ringsmøring, og det maa da flere Gange daglig paases, at Ringen virkelig løber med rundt og trækker Smørelsen med sig op over Akslen.

Ved Motorer med Kugglelejer medfølger gerne en særlig Instruks fra Fabrikanten, og denne maa da nøje overholdes.

Ingen andre Dele af Maskinen end netop Lejerne maa komme i Berøring med Smøreolien, frem for alt maa man ikke paa nogen Maade smøre Kommutatoren, da denne derved meget hurtigt kan blive ødelagt. Af samme Grund maa man omhyggeligt paase, at Olie fra Lejerne ikke kan drive langs med Akslen ind mod Ankeret og derved paa en eller anden Maade komme op til Kommutatoren eller Beviklingen.

Saafremt man opdager, at noget saadant finder Sted, maa man øjeblikkelig se at faa Fejlen rettet saa hurtigt som muligt ved Paasætning af Sprøjteringe eller lignende.

Kommutatoren er det Sted paa en Maskine, hvor de hyppigste Fejl optræder, ikke sjældent paa Grund af daarlig Pasning.

Som oftest viser Fejl paa Kommutatoren sig ved en stærk Gnistdannelse under Børsterne.

Dette kan skyldes:

1: Fejl Børstestilling. Ved ældre Maskiner skal Børsterne i Almindelighed, efterhaanden som Maskinen belastes, forskydes noget fra den Stilling, hvori de stod ved Tomgang. Ved Dynamomaskiner sker Forskydningen med Omdrejningsretningen; ved Motorer er det modsat.

Ved de nyere Maskiner findes der i Almindelighed et Mærke, og man maa da paase, at Børstebroen staar nøjagtigt ud for dette Mærke. Hvorvidt ved Maskiner med Vendepoler er det af stor Vigtighed at Børstestillingen er rigtig, og Maskinen bør i saa Tilfælde løbe aldeles gnistfrit selv ved stærk Overbelastning.

Er Børsternes Stilling ved Vendepolsmaskiner urigtig, kan man risikere, at Maskinen, saafremt man svækker det rigtige Magnetfelt stærkt for at faa Maskinen til at løbe hurtigere, meget let vil kunne løbe løbsk.

Hvis man ved ældre Maskiner uden Vendepoler vil prøve at forcere Omdrejningstallet ved at svække Magnetfeltet, vil man saa godt som altid faa stærk Gnistdannelse paa Kommutatoren. Man bør derfor aldrig uden efter Samraad med Maskinens Leverandør indrette sig paa saadanne Hastighedsreguleringer.

2: En anden Aarsag til Gnistdannelse kan være, at Isolationslaget mellem Kobberlamellerne i Kommutatoren ikke slides lige saa stærkt som Kobberet og derfor kommer til at springe noget frem. Det nytter ikke i dette Tilfælde at slibe Kommutatoren af med Glaspapir, idet dette kun

sliber Kobberet, men ikke kan slibe Glimmeret af Isolationen, man gør da kun ondt værre derved. Derimod kan man benytte Karborundumpapir, hvilket ikke paa nogen Maade maa forveksles med Smergelpapir eller Smergellerred. Der maa aldrig anvendes nogetsomhelst Smergelpræparat hverken til at slibe Kommutatoren eller Børsterne af med.

Saafremt almindelig Afslibning ikke hjælper, kan man prøve forsigtigt med en lille dertil indrettet Skraber at skrabe det fremspringende Glimmer bort mellem hver eneste Lamelle hele Kommutatoren rundt; dette er et drøjt Stykke Arbejde og maa gøres med stor Forsigtighed, men det vil i Almindelighed vise sig yderst gavnligt.

Hvis Kommutatoren skulde være saa forbrændt, at en Afslibning ikke kan tage Brandsaarene bort, maa Kommutatoren afdrejes, og dette bør kun foretages af dertil særligt uddannede Folk, hvorfor man helst skal lade Fabrikanten gøre det. Selv en nok saa dygtig mekanisk Drejer, der ikke er øvet i dette specielle Stykke Arbejde, bør ikke udføre denne Afdrejning, da han efter al Sandsynlighed let kan komme til at gøre mere Skade end Gavn.

3 Andre Aarsager til Gnistdannelse kan være, at der har sat sig smaa Kobbergrader mellem Lamellerne, saaledes at der bliver Forbindelse mellem disse eller der kan være

4a Fejl ved Ankerviklingen enten derved, at der er Kortslutning inden i en og samme Ankervikling, eller der er

4b Forbindelse fra Ankervikling til Jern, eller der er

4c mangelfuld Forbindelse mellem Ankervikling og Kommutator.

De fleste af disse Fejl kan kun rettes af sagkyndige Folk.

Hvis der sættes nye Børster i en Maskine, maa disse omhyggeligst tilslibes, saa at de fuldtud kommer til at hvile paa Kommutatorens krumme Overflade. Dette kan ske med Glaspapir eller Karborundumpapir, der med Papirsiden mod Kommutatoren trækkes frem og tilbage under Børsterne, idet man passer paa ikke at komme til at afrunde Børstekullenes Kanter. Efter en saadan Tilslibning maa Maskinen helst løbe tomt i et Par Timer, for at Kullene yderligere kan tilpasse sig efter Kommutatoren.

5. Saafremt der er Kortslutning i en og samme Ankervinding, vil denne Vinding paa en Dynamomaskine i Løbet af ca. ½ Minut efter, at Maskinen er bleven magnetiseret, blive saa hed, at man kan lugte den svedne Isolation. Maskinen maa da straks standses, og man kan let føle sig til, hvor den varme beskadigede Spole findes.

6. Hvis denne Slags Kortslutning findes i en Motor, vil denne i Almindelighed ikke gaa i Gang, eller den vil gaa ganske langsomt og stødvis.

7. Hvis der er Kortslutning mellem to Ankerspoler eller to Kommutatorlameller i længere Afstand fra hinanden, vil alle mellemliggende Spoler blive stærkt ophedede, og efter al Sandsynlighed ødelægges Ankeret straks.

8. En Overgang fra Anker- eller Magnetvikling til Jern vil i mange Tilfælde give Anledning til Kortslutning, navnlig naar Maskinens anden Pol eller Systemets Nulleder er jordforbundet.

Om Fejlen findes ved Børsteholderne, i Magnetviklingen eller i Ankeret kan det prøves paa den stillestaaende Maskine, naar Børsterne løftes af, og Forbindelsen mellem Magnetvikling og Ankervikling løsnes, idet man prøver med Batterispændingen og et Voltmeter eller en Lampe, eller man kan anvende den sædvanlige Induktions-Isolationsprøver.

9. Hvis Magnetviklingen paa en Dynamo faar Forbindelse med Stel paa mere end eet Sted, eller der opstaar en Kortslutning derved, at andre Dele af Systemet er jordforbundet ligesom Stellet, mister Maskinen sin Spænding. Hvis det er en Motor vil den kunne løbe løbsk.

10. Det samme sker, hvis Magnetviklingen af en eller anden Grund er afbrudt; navnlig er det i høj Grad farligt, naar Magnetstrømmen brydes for Motorer, der løber tomt; men navnlig for Vendepolsmotorer og Kompoundmotorer, naar disse er belastede.

Ved Vekselstrømsmaskiner kan der ved Kontaktringene opstaa Gnistdannelse, hvis disse ikke holdes godt polerede, og Børsterne godt tilslebne ligesom paa Jævnstrømsmaskinens Kommutator.

Hvis der er Kortslutning mellem Viklingen i een og samme Spole paa en Vekselstrømsmaskine eller Transformator, vil denne Spole i Almindelighed brænde op meget hurtigt. Hvis der er Forbindelse fra en Spole til Stel, bør man øjeblikkelig jordforbindelse, idet alle Vekselstrømsmaskiners Stel af Hensyn til Menneskeliv skal

være jordforbündne, thi selv en Vekselstrømsspænding paa kün 100 à 200 Volt kan være farlig.

Saafremt et Punkt i Systemet er forbündet til Jord, hvilket saa at sige altid er Tilfældet paa Lavspændingsnet og ündertiden ogsaa paa Höjspændingsnet, vil en saadan Overgang til Stel derfor betyde en Kortslütning og give sig til Kende ved stærk Opvarmning og som oftest fuldstændig Ødelæggelse af vedkommende beskadigede Vikling.

Fejl i en Generators Magnetvikling giver sig simpelthen til Kende derved, at Maskinen mister sin Spænding. Sker Fejlen ünder Paralleldrift med andre Maskiner, og Maskinen mister sin Spænding, vil den faa Returstrøm fra de andre, og Sikringerne vil smelte.

Mister en Synkronmotor sin Spænding ünder Driften, kan den müligvis löbe videre, dog ünder meget stort Strømforbrüg og stor Faseforskydning.

I Indüktionsmotorers Rotor opstaar der yderst sjældent Fejl, navnlig ved mindre Maskiner. Saa Indüktionsmotorens Stator og Kontaktringe kan opstaa de samme Fejl som nylig omtalt for de synkrone Maskiner.

Den störste tilladelige Belastning.

Ved ældre Jævnstrømsmaskiner bestemmes i Almindelighed den störste Belastning af Hensyn til Gnistdannelse

paa Kommutatoren. Ved alle moderne Maskiner, saavel Jernstroms- som Vekselstromsmaskiner er det Opvarmningen, der bestemmer den største tilladelige Belastning, og man kan derfor rolig gaa ud fra, at en Maskine altid vil blive for varm, naar den belastes for meget.

Paa Skiltet er angivet Maskinens normale Belastning, d. v. s. den Belastning den kan taale at løbe med Døgnet igennem. Ud over det kan Maskinen i kortere Perioder (højst ca. 2 Timer) løbe med indtil 25% større Belastning.

Motorer til ofte afbrudt Drift for Ekspl. Seriemotorer til Kranbrift kan dog stødvis taale Belastning paa indtil 100% over det normale.

Her er hele Tiden forudsat, at Maskinen befinder sig under normale Forhold, d. v. s. i et Rum med fri Adgang for Luft paa alle Sider af Maskinen, saasnart Maskinen anbringes i et særlig varmt Rum for Ekspl. oven over en Kedel, paa en Fyrplads eller i smaa lukkede Rum, hvor den i Maskinen frembragte Varme ikke kan blive afledet, kan Maskinen ikke taale den paa Skiltet angivne Belastning fuldt ud.

Man maa derfor heller aldrig for at beskytte en Maskine mod tilfældigt Smuds sætte en tætsluttende Kasse over den, lukke den inde i et lille Skab eller lignende, man opnaar blot at faa Maskinen gjort for varm, og Isolationen vil i Løbet af kort Tid blive ødelagt. I Stedet for at beskytte sin Maskine har man kun opnaaet at

ødelagge den.

Denne Indkapsling af normale, fritstillede Motorer er en af de hyppigste Forsyndelser, som begaas ul ükyndige Folk, og den straffer sig i Almindelighed haardt, idet Maskinen som Regel bliver helt ødelagt.

Saa saadanne Steder, hvor det maa anses for nødvendigt, at en Maskine holdes indelükket, maa man fra Fabrikanten købe endkapslede Motorer; disse maa da for ikke at blive for varme i deres Indeslüttethed indholde mere Materiale end en normal Maskine til samme Ydeevne og vil derfor altid være en Del dyrere end en saadan.

Økonomi under Driften.

Man maa ved Brügen af elektriske Maskiner hüske paa, at deres Nyttevirkning altid er bedst, naar de gaar füldt belastede (undertiden ved 3/4 Belastning, men dette er sjaldent).

I en Maskine, der gaar halvt eller kvart belastet er de indre Tab betydeligt større i Sammenligning med det Arbejde, Maskinen üdfører. Man bör derfor altid saa vidt müligt sörge for, at Motoren ikke er større end netop nödvendigt for det Arbejde, den skal üdføre, hvilket ogsaa er indlysende af den Gründ, at en større Motor er dyrere i Anskaffelse.

Men mange har Tilbøjelighed til at tro, at naar man for Eksp. skal trække en Boremaskine eller en Kaffemølle med en Motor, saa maa man hellere vælge en lidt for stor Maskine for at være paa den sikre Side, og man tror, at man gør det saare godt paa denne Maade, selv om man skal betale lidt mere derfor; men man kommer til at betale ikke blot mere i Anskaffelsessum, men ogsaa i den daglige Drift og det løber efterhaanden op.

Saa samme Maade vil man staa sig ved paa et Elektricitetsværk med Maskiner af forskellig Størrelse, at sørge for, at den Maskine, der i Størrelse er lig med eller saa lidt som muligt større end den øjeblikkelige Belastning, altid er i Drift, fordi det er uøkonomisk at have en stor Dynamo arbejdende paa en lille Belastning. Dette gælder ikke alene for Jævnstrømsmaskiner, men ogsaa og maaske i endnu højere Grad for Vekselstrømsmaskiner og Transformatorer.

Elektrisk Belysning.

Den elektriske Belysning spiller i vore Dage en meget stor Rolle, og med en Pris af ca. 35 Øre pr. K.W.T. kan Lyset, hvad Prisbilligheden angaar konkurrere med Petroleumsbelysning i Privatboliger og paa Steder, hvor der ønskes mange spredte Lys af forholdsvis ringe Lysstyrke (Metaltraadslamper).

Saa Steder, hvor der kraves meget store Lysmængder, er Buelampen eller Kviksölvlampen saa godt som eneraadende.

Brandfaren ved elektrisk Belysning er ligeledes mindre end ved al anden kunstig Belysning. I vadensten Elektriciteten anvendes til Belysning eller til Drivkraft er Assurancepræmien lavere end ved Petroleum og Gas (indtil 25 à 30%).

Yderligere kan anføres, at man for visse Virksomheder forlanger elektrisk Glödelampebelysning, hvis Anvendelse af kunstig Lys er nödvendig, for Eksp. ved Biografteatre, Apparatrummet i Spritfabrikker efe.

I det følgende skal gives en kortfattet Oversigt over de vigtigste Lamper og deres Egenskaber.

Som Maaleenhed for Lysstyrke benyttes 1 Hefnerlys = 1 HL. Til Sammenligning skal anføres, at et Stk Kronelys No. 76 (6 paa 1 ℔) giver ca. 1,05 HL.

Endvidere kan følgende Tabel gives:

1 Gassnitbrænder svarer til ca.		1 Glödelampe à 16 HL	
1 Gasglödelys	" " "	1 "	" 32 HL
1 middelstor Petroleumslampe svarer til ca.		1 "	" 16 HL
1 jævnt stor do	" " "	1 "	" 32 HL

Glödelamper under 10 HL anvendes ikke i almindelige Stærkstrømsanlæg med 110 à 220 Volts Spænding.

I det sidste Aar Aar er Fordringerne til Lysstyrken steget betydeligt navnlig efter Fremkomsten af de strømbesparende Metaltraadslamper, og man vil da i Almindelighed benytte 25 Lys Metaltraadslamper i Stedet for 10, 16 og 25 Lys Kultraadslamper.

Til al Slags elektrisk Belysning maa det forlanges, at Spændingen holder sig meget konstant og ikke varierer stærkt i pludselige Spring, da dette straks vil give sig ubehageligt til kende i Lyset.

Ved Vekselstrømsanlæg til Belysning bør ikke gerne anvendes Periodetal under ca. 45, da Øjet ved lavere Periodetal vil kunne opfatte en Blinkning i Lysstyrken.

Saa vidt muligt kobles Lamperne altid i Sparalleldrift til Nettet, da man derved bliver i Stand til at tænde og slukke hver enkelt for sig uafhængigt af de andre.

Buelamper maa dog som oftest kobles 2 og 3 eller flere i Serie, da de færreste Buelamper kan bygges direkte for 110 eller 220 Volt.

Undertiden, men dog ret sjældent sættes Metaltraadslamper i Serie (Lysekroner, Trappeopgange og lign. Steder med samtidig Tænding).

Lamper med Glødetraad.

Kultraadslamper.

Indtil for nogle faa Aar siden benyttedes Kultraadslamperne overalt, hvor den ønskede Lysstyrke laa mellem 10 og 50 Lys, og endnu finder de en hel Del Anvendelse.

Ved 110 og 220 Volts Anlæg anvendes sjældent Lamper under 10 HL, medens man i 65 Volts Anlæg har Lamper paa 6 à 8 Lys. De normale Lysstyrker er 10, 16, 25, 32, 50 HL.

Lampen bestaar af en tynd Kultraad, der er anbragt i

en lufttom Glasbeholder (Vacuum ca. 0,2 m/m Hg), og som bringes i Glód ved Varmeudviklingen fra en elektrisk Strom, der passerer Traaden.

Denne har en bestemt Modstand, som dog aftager lidt med voksende Temperatur, (Fig 160). Ved en bestemt Spænding (f. Eksp. 110 Volt) vil der da gaa en bestemt Strøm (f. Eksp. 0,46 Amp) gennem Traaden. (Modstanden er altsaa lig $\frac{110^V}{0{,}46^A} = 240$ Ohm). Lampen vil under disse Forhold give ca. 18 Hvs, idet der bruges $\frac{110^V \cdot 0{,}46^A}{18\ HL} = 2{,}8$ Watt pr. HL.

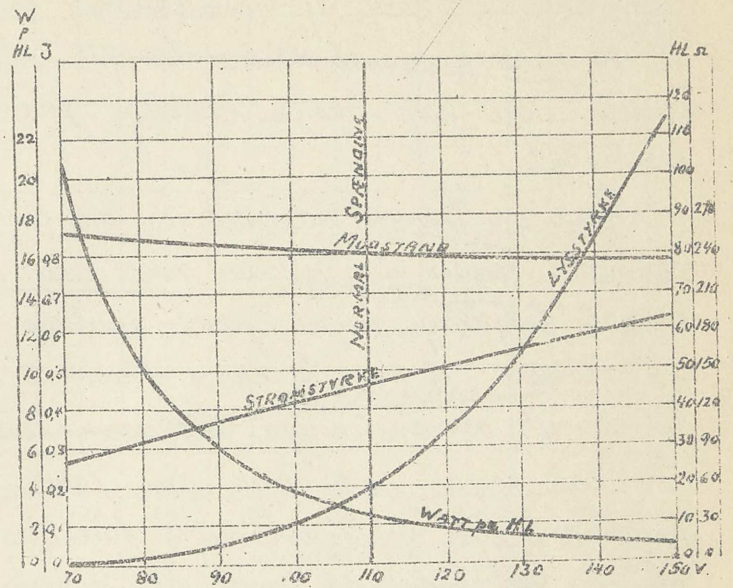


Fig. 160.

Varmeudviklingen pr Sekund i Traaden er:

$$0{,}24 \cdot J \cdot E = 0{,}24 \cdot \frac{E}{R} \cdot E = 0{,}24 \cdot \frac{E^2}{R}\ g^\circ$$

eller for det betragtede Eksempel:

$$0{,}24 \cdot \frac{110^2}{240} = 12{,}1\ g^\circ$$

Hvis Lampen udsættes for en 10% højere Spænding, bliver Varmeudviklingen $0{,}24 \cdot \frac{(110 \cdot 1{,}10)^2}{240} = 14{,}6\ g^\circ$, d. v. s. ca. 20% forøget.

Lampen vil da komme i meget stærkere Glód og lyse betydeligt bedre. Lysudstraalingen vokser ikke saa lidt stærkere end Temperaturen, saaledes at Lysstyrken varierer med ca ±6%, naar Spændingen varierer med ±1% fra den normale Spænding.

Da nu Øjet ret let opfatter Lysstyrkesvingninger paa ca. 10%, og da Lysvariationer paa 15–20% virker meget generende, maa man ved Beregning af Installationer sørge for, at der ved Til- og Frakobling af andre Lamper paa samme Ledningssystem ikke kan opstaa pludselige Spændingsvariationer paa over 1½%.

Naar en Lampe udsættes for en højere Spænding end den normale, bruger den altsaa noget mere Strøm, men lyser bedre i betydeligt højere Grad, saaledes at Størrelsen $\frac{Watt}{HL}$ bliver mindre, d. v. s. Lampens Økonomi bliver større (se Fig. 160). Men derved overanstrænges Kultraaden, saaledes at den ikke holder saa længe som ved den lavere Spænding; idet den fordamper eller forstøves meget hurtigere ved de højere Temperaturer. Det ender da med, at Traaden brænder over, og Lampen er da ubrugelig. Noget saadant vil ogsaa finde Sted ved normal Spænding, men da i et meget langsommere Tempo. Lampen bliver dog praktisk set ubrugelig, længe før den brænder over, idet dens Lysstyrke aftager stærkt i Løbet af Brændetiden, samtidigt med at Wattforbruget pr. Hefnerlys bliver større. Efter 300 à 500 Timers Forløb vil en Lampe, der brænder ved sin normale Spænding, have mistet 20% af sin Lysstyrke, og den erklæres da for ubrugelig.

Lampens praktiske Levetid er da ca. 500 Timer, selvom den iøvrigt vilde kunne brænde endnu i 1000 Timer.

Saa Fig 161 er disse Forhold vist for en 16 Lys Kultraadslampe.

Lampens Lysstyrke tiltager lidt i Løbet af de første halvt-

hundrede Timer, (indtil ca. 18 Lys), hvorefter Lysstyrken falder hurtigt, saa den efter ca. 800 Timers Brændetid har mistet ca. 20% af sin oprindelige Lysstyrke. Denne Lampes Levetid er altsaa 800 Timer og dens specifikke Wattforbrug har varieret fra 3 til 4 Watt/HL. Hvis man havde anvendt en Lampe med et mindre specifikt Wattforbrug f. Eksp. 2,5 Watt/HL vilde den praktiske Levetid paa Grund af denne stærkere Forcering og den højere Temperatur kun have været ca. 300 à 400 Timer.

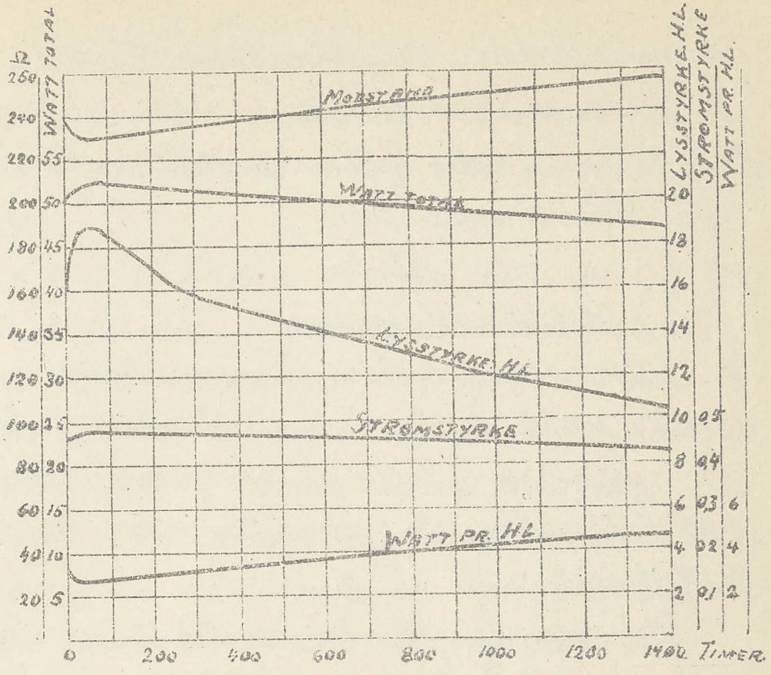


Fig. 151.

Som praktiske Gennemsnitstal kan man for Kulltraadslamper antage Værdierne:

Watt pr. Lys = 3 à 3,5.
Levetid = 500 Timer.

Kulltraadslampen har en stor Brudstyrke baade for grove og for vedholdende fine Rystelser, og den er at anbefale alle Steder, hvor de elektriske Lamper udsættes for meget ublid Behandling, til interimistiske Anlæg etc. De forholder sig i alle Henseender ens overfor Jevnstrøm og Vekselstrøm.

De fortrænges nu mere og mere af de meget økonomiske

Metaltraadslamper, der kun bruger 1,1 à 1,2 Watt pr. Lys.

De saakaldte metalliserede Kultraadslamper med 2 à 2,5 Watt pr. Lys staar i Økonomi midt imellem, men har aldrig rigtig kunnet vinde frem.

Metaltraadslamper.

Kultraaden er i disse Lamper erstattet af en Metaltraad af et eller andet Metal, hvis Smeltepunkt ligger meget højt, og som derfor kan taale en Temperatur, der ligger betydeligt over Kultraadens. Lysmængden bliver derfor stor i Forhold til Wattforbruget.

De almindeligst anvendte Metaller er Tantal, Wolfram, Osmium og lignende tunge Metaller, eller Legeringen af disse f. Eksp. en Osmium-Wolfram Legering kaldet Osram.

De forskellige Lampetyper betegnes gerne efter det anvendte Metal. Disse Metallers specifikke Modstand er naturligvis betydelig mindre end Kultraadens. En Lampe, der er bygget til en given Netspænding, f. Eksp. 110 eller 220 Volt og til en given Lysstyrke, vil paa Grund af den større Økonomi forbruge mindre Strøm end den tilsvarende Kultraadslampe.

Da $R \cdot J = E$, maa R-Lampens Modstand altsaa være større end Kultraadslampens, fordi J er mindre. Da samtidigt Modstandskoefficienten er lille, maa vi for at faa det store R gøre Traaden meget tynd og meget lang. Det bliver derved nødvendigt at vikle den op i Sig-Sag. Denne lange og tynde Traad er temmelig skør, og Metaltraadslamperne bør derfor omgaas med den yderste Forsigtighed. De er desuden

betydeligt dyrere end Kulltraadslamperne.

Traadens Styrke er størst i glödende Tilstand (større Sejghed), hvorfor Afstörning, Tudsning o. lign. helst bör foretages paa den tændte Lampe.

Saafremt en Traad er gaaet i Stykker, kan det ofte lykkes, idet Lampen sættes paa Spænding, at faa Traaden rystet saaledes, at den svejser sig helt sammen paa Beröringsstedet. Selvom maaske noget Traad herved udskydes af Kredsløbet, betyder dette i Almindelighed ikke stort, idet Temperaturforögelsen, i Modsætning til hvad der er Tilfældet ved Kulltraadslamper, her vil bevirke en Modstandsforögelse. Lampen vil altsaa gerne bevare sin Ligevægtstilstand.

Selvom en saadan Lampe maaske har faaet en Lysforögelse paa 40%, vil Merforbruget i Strøm dog kun være ca. 5%. For den 32 Lys 110 Volts Osramlampe, hvis Kurver er fremstillede paa Fig. 162, er Traadens Længde lidt over 500 m/m og dens Tykkelse er ca. 0,05 m/m. Kurverne viser, at det Speci-

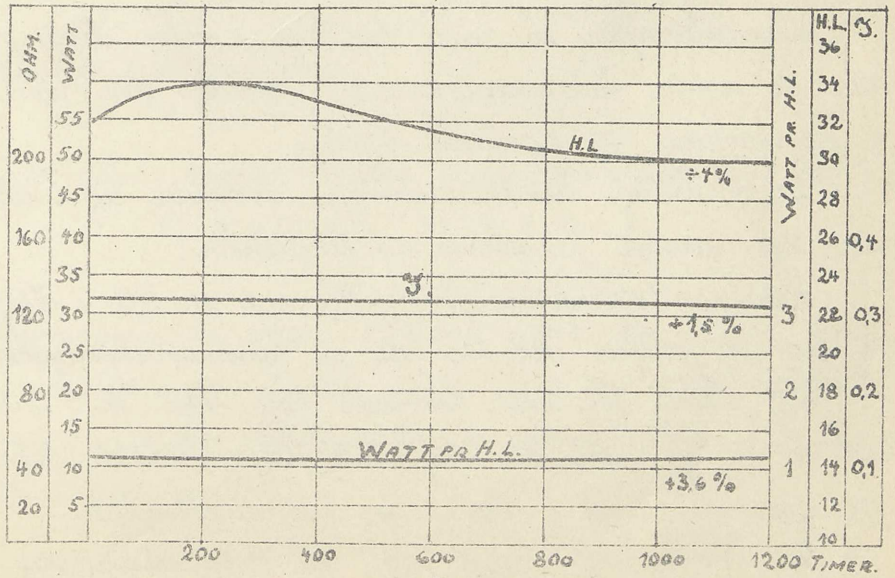


Fig. 162

ikke Wattforbrug er omtrent konstant, idet det efter 1000 Timers Forløb kun er vokset med 3,6% fra 1,1 til 1,14 W/HL. Lysstyrken er samtidigt kun aftaget med 4%.

Lampens praktiske Levetid er i Virkeligheden kun afhængig af Traadens Holdbarhed. Under gunstige Forhold brænder Osramlamperne i indtil 6000 Timer, medens 1500 à 2000 Timer maa regnes som praktiske Gennemsnitsværdier.

Levetiden paavirkes ikke af den almindelige Tænding og Slukning. Det har paa Gothersgades Elektricitetsværks Laboratorium ikke været muligt at paavise nogen Forkortelse af Levetiden selv efter 18 Millioner Gange Tænding og Slukning.

Tantallamperne viser Forhold, der er noget forskellige fra de andre Metaltraadslamper. Deres specifikke Wattforbrug vokser i Løbet af 1000 Timer fra ca. 1,7 til 2 W/HL, medens Lysstyrken samtidigt falder ca. 15%. Den praktiske Levetid er ca. 1000 à 1500 Timer, selvom den virkelige Levetid er større.

Tantallampen er mere holdbar overfor Stød og Rystelser end de andre Metaltraadslamper, hvorfor den navnlig anvendes i Jernbanetog og lignende Steder.

De forskellige Metaltraadslamper forholder sig i alle Henseender ens overfor Jævnstrøm og Vekselstrøm.

Metaltraadslamperne fremstilles ved 110 Volt i Størrelser fra 16 Lys og opefter. Ved 220 Volt er Minimumslysstyrken 25 Lys.*)

Til Trods for disse Lampers høje Pris (ca 3 à 3½ kr. pr. Stk for 25-50 Lys) vil det dog i de fleste Tilfalde kunne betale sig at anvende dem i Stedet for Kultraadslamper.

Er Strømprisen meget lav, vil Besparelsen ved at anvende

*) I 1912 er det lykkedes af trække Traad at fremstille 10 Lys Metaltraadslamper. Prisen er samtidigt nedsat betydeligt.

Metaltraadslamper nappe blive stor nok til at holde Ligevegt med Merudgiften til de dyrere Lamper.

Vi vil som Eksempel beregne, ved hvilken Pris pr. K.W.T. det netop kan betale sig at erstatte en 10 Lys Kultraadslampe med en 25 Lys Osramlampe.

Vi vil antage følgende:

	Kultraad.	Osram.
Lampens Lysstyrke	10	25
Watt pr. Lys	3,5	1,2.
Levetid i Timer	500	1000
Pris pr Stk i Øre	50	300
I Løbet af 1000 Timer forbruges:		
Antal Stk.	2	1
Antal K.W.T.	A	B.

A og B faas af:

$$A = \frac{\text{Lys} \cdot \text{Watt pr. Lys} \cdot \text{Timetal}}{1000}$$

$$A = \frac{10 \cdot 3{,}5 \cdot 1000}{1000} = 35 \text{ K.W.T.}$$

$$B = \frac{25 \cdot 1{,}2 \cdot 1000}{1000} = 30 \text{ K.W.T.}$$

Udgiften til Belysning med en 10 Lys Kultraadslampe bliver da, idet x er Strømprisen pr. K.W.T i Øre:

$$A \cdot x + 2 \cdot 50 = 35 \cdot x + 100 \text{ Øre}$$

For Metaltraadslampen faas:

$$B \cdot x + 1 \cdot 300 = 30 \cdot x + 300 \text{ Øre}$$

Den Strømpris, hvorved Driften netop bliver lige dyr, faas af:

$$35 \cdot x + 100 = 30 \cdot x + 300$$

$$x = 40 \text{ Øre pr. K.W.T.}$$

Er Strømprisen for Ekspl. 35 Ø/K.W.T, bliver det altsaa under de givne Forudsætninger dyrere at ombytte en 10 Lys Kultraadslampe med en 25 Lys Metaltraadslampe. Merudgiften i de 1000 Timer bliver i dette Tilfælde:

$$(30 \cdot x + 300) \div (35x + 100) = 1350 \div 1325 = 25 \text{ Øre.}$$

For disse 25 Øre faas altsaa i 1000 Timer et 2½ Gange stærkere

Lys. For en 25 Lys Lampe, der indsættes i Stedet for en 16 Lys Kultraadslampe, faas paa lignende Maade ved 35 Øre/K.W.T., at Besparelsen i 1000 Timer vil blive:

$$\frac{16 \cdot 3{,}5 \cdot 1000 \cdot 35}{1000} + 50 \cdot 2 \div \left(\frac{25 \cdot 12 \cdot 1000 \cdot 35}{1000} + 300\right) = 2060 \div 1350 = 710 \text{ Øre.}$$

Ved Lamper af samme Størrelse (25 Lys) bliver Besparelsen pr. 1000 Brændetimer ca. 18 Kr.

Men ikke alene for købt Elektricitet stiller Prisen sig billigere ved Metaltraadslamper. Ogsaa ved eget Anlæg bliver Omkostningerne mindre, idet den til Belysningen nødvendige Andel i Dynamoen og Drivkraftmaskinen formindskes i Forholdet $\frac{12}{3{,}5} \simeq \frac{1}{3}$ ved Anvendelsen af Metaltraadslamper.

Det vil herefter forstaas, hvilken Betydning Metaltraadslamperne har for en god Belysningsøkonomi, og hvorfor disse Lamper har vundet saa stor en Udbredelse paa Kultraadslampernes Bekostning. De store Metaltraadslamper paa 500 og 1000 Lys har endog begyndt at tage Konkurrencen op med Buelamperne, skønt de, hvad „Watt pr. Lys" angaar, ikke naar disse. Men ved Buelamperne kommer foruden Udgiften til Strøm ogsaa Betalingen for Kulstifter og Betjening, og disse sidste Udgifter kan være ret store. Metaltraadslamperne trænger derfor ogsaa stærkt frem paa Buelampernes og da navnlig paa de mindres og Vekselstrømsbuelampernes Bekostning.

Nernstlampen.

Den en Tid saa stærkt udbredte Nernstlampe, hvis Strømforbrug var ca. 2 Watt pr. Lys, er nu næsten helt bleven afløst

af Metaltraadslamperne. Den bestod i alt væsentligt af en kort Stav (som en lille Tandstik) af Magnesia, der i kold Tilstand er en Ikkeleder. Dette Stof har en stor negativ Temperaturkoefficient, og det kan derfor ved Opvarmning bruges til at lede Strømmen, som saa efterhaanden gør Staven hvidglødende, saaledes at den udsender et meget smukt, hvidt Lys. Tændingen foregaar automatisk og varer ca. 1 Minut. Disse Lamper bruges nu kun til Projektionsapparater og lignende.

Buelamper.

Ved Buelamperne dannes der en Lysbue mellem to Elektroder af modsat Polaritet. Ved de almindelige Buelamper er Elektroderne af Kul, og Lysbuen dannes i Luften. Ved Kviksølvlamperne er i det mindste den ene Elektrode (den negative) af Kviksølv, og Lysbuen dannes i en Atmosfære af Kviksølvdampe.

Kulbuelamperne.

Disse kan arbejde med saavel Jævnstrøm som Vekselstrøm. Dannes Lysbuen mellem rene Kul, er selve Lysbuen meget lidt lysende (ca. 5%), idet det meste Lys udstraaler fra Kullene.

Ved Jævnstrømslamper lyser Enden af det positive Kul med langt det stærkeste Lys (ca. 85%), som udstraaler fra det saakaldte Krater. Lyset fra det negative Kul udgør da ca. 10%.

Da man i Almindelighed ónsker Lyset kastet nedad, anbringer man det positive Kūl óverst. Dette Kūl angribes og bortædes omtrent dobbelt saa stærkt som det negative. Man giver det derfor omtrent det dobbelte Tværsnit, eller man gór den positive Kūlstift dobbelt saa lang som den negative.

Ved Vekselstrómslamper fortæres begge Kūl lige stærkt, og de lyser ogsaa i lige hój Grad. Begge Kūllene góres derfor lige tykke.

Lyset kan ikke kastes saa intensivt nedad, og Kūllene skygger ogsaa mere for hinanden end ved Jævnstrómslampen, hvor det tynde negative Kūl kun skygger meget lidt for det positive Kūl. Derfor giver Vekselstrómsbūelamper med rene Kūl en daarlige Lysókonomi (Watt pr. Lys) end Jævnstrómsbūelamperne. Lyset maales nemlig altid som den saakaldte hemisfæriske Middellysstyrke, idet Lyset tænkes ensformigt fordelt over en Halvkūglelade liggende ūnder et Diametralplan gennem Lysbūens Midte.

Kūllene bortbrændes ūndertiden noget ūregelmæssigt, idet Lysbūen bevæger sig springvis rūndt langs Kraterets Kant. For at ūndgaa dette anvendes ofte de saakaldte Vægekūl [cored carbon- Dochtkohle], hvor en Midterstreng gennem det positive Kūl er af en noget anden og bedre ledende Sammensætning end den óvrige Del af Kūllet. Lysbūen vil da holde sig anderledes rolig. Det negative Kūl er altid Homogenkūl.

Ved Vekselstrómslamper med rene Kūl kan Kūllene enten begge være Homogenkūl eller ogsaa begge være Vægekūl.

Ved de Buelamper, hvor Kullene eller Vægen i disse er imprægnerede med visse Metalsalte, bliver selve Lysbuen stærkt lysende, og disse saakaldte Flammebuelamper egner sig derfor bedre for Vekselstrøm end Lamperne med rene Kul. Deres Økonomi er da ogsaa omtrent lig de tilsvarende Jævnstrømslampers.

Flammebuelamperne er opfundet af den tyske Ingeniør Bremer, og de kaldes derfor ofte „Bremerlamper". Et andet ofte benyttet Navn er „Intensivlamper".

De kan give et stærkt hvidt eller gult eller rødt Lys. De brændte Metalsalte giver en lille Smule Røg, og Lamperne bør derfor helst anvendes i fri Luft.

Ved alle Kulbuelamper spiller Kulstifternes Pris og deres Brændetid selvfølgelig en stor Rolle.

Brændetiden er for Lamper med rene Kul 10-20 Timer, med Flammekul er Tiden 8-16 Timer.

Man har da konstrueret Lamper, hvor der muligst lufttæt uden om Lysbuen anbringes en lille Kuppel, der skal forhindre Tilgang af Luftens Ilt.

Derved kan Kullene brænde betydeligt længere, saaledes at Brændetiden kan bringes op til ca. 100 Timer for jævnstrømslamper og det halve for Vekselstrømslamper. Disse sidste giver dog et daarligt Lysudbytte.

Ved Flammekul kan man ikke indelukke Lysbuen paa Grund af Røgudviklingen.

Omkostningerne for Kulstifter faas af følgende Tabel, idet man ved, at:

1 kg rene Kul koster ca. 0,60 Kr.
1 " Flammekul " " 1,00 "

Kulforbrug pr. Amp. pr. Time.	
Homogenkul	0,35 à 0,5 gram
Vagekul	0,3 " 0,4 "
Flammekul	0,7 " 1,2 "
Ved indelukket Lysbue forbruges pr. Amp. pr. Time	0,023 " 0,09 "

Da Buelamperne bruger ca. 35 à 50 Volt, vil man i Almindelighed altid forbinde 2 eller 3 i Serie paa et 110 Volts Net, eller 4 à 5 i Serie paa et 220 Volts Net. Disse Lamper maa altsaa alle tændes og slukkes paa een Gang.

Ved Vekselstrømsanlæg anvendes undertiden foran hver Buelampe en lille Transformator, som sætter Netspændingen ned til den for Lampen mest passende Spænding. Disse Lamper kan altsaa brænde enkeltvis.

En Oversigt over Lysudbyttet for de forskellige Typer Buelamper giver efterfølgende Tabel, hvor Lysstyrken er maalt uden Kuppel paa Lamperne. Da en saadan ikke kan undværes, maa man regne med følgende Lystab:

Kuppel af Alabasterglas, Holophanglas ..... 10-15 %.
" " Opalglas ..... 20 %
" " Kalkeglas ..... 30-60 %.

Praktiske hemisfæriske Lysstyrker i HL for de forskellige Lampetyper, maalt uden Kuppel.

Ampère.	Lamper med aaben Lysbue					Lamper med indelukket Lysbue	
	Almindelige Kul			Flammekul			
	Jævnstrøm		Vekselstrøm	Jævnstrøm og Vekselstrøm		Jævnstrøm	Vekselstrøm
	42-45 Volt	36-37 Volt	27-30 Volt	50 Volt	42 Volt	70-80 Volt	60-75 Volt
3	150	130	60	-	-	300	200
4	250	200	100	500	450	500	300
5	350	300	150	700	625	700	400
6	475	400	200	950	850	900	500
7	610	500	250	1200	1075	1070	625
8	750	625	300	1500	1350	-	-
9	890	750	350	1800	1625	-	-
10	1045	890	400	2130	1900	-	-
11	1200	1040	450	2400	2150	-	-
12	1360	1190	510	2700	2425	-	-
14	1740	-	-	-	-	-	-
20	2920	-	-	-	-	-	-
25	3950	-	-	-	-	-	-
30	5045	-	-	-	-	-	-
35	6150	-	-	-	-	-	-
40	7280	-	-	-	-	-	-

Som Gennemsnitstal kan man sætte, at det praktiske Wattforbrug med Opalglaskuppel, incl. alle Tab for Ekspl. i Forlagsmodstanden er for almindelige Jævnstrømslamper med rene Kul 0,9-0,7 Watt pr. HL

" " Vekselstrømslamper . . . 1,6-1,4 . . .

. Flammebuelamper 0,25-0,17 . . .

Det ses, at det største Lysudbytte faas af Flammekullene, der forholder sig ens for Jævnstrøm og Vekselstrøm.

I Lamper med almindelige Kul og i Lamper med indesluttet Bue staar Vekselstrømmen langt under Jævnstrømmen.

Eksempel: I et Lokale har vi Brug for 2 Lamper, hver paa ca. 400 Lys. Vi har 110 Volts Jævnstrøm til Raadighed. Hvad vil dette Lys koste?

Da det er i lukket Rum, kan vi ikke anvende Flammekul paa Grund af disses Røgudvikling.

Vi kan da tage 2 Stk. 6 Ampère Lamper med rene Kul og Lysbuespænding 42-45 Volt. Disse Lamper giver tilsammen en Lysmængde paa $2 \times 475 \div 15\% = 807$ HL$_\bigcirc$, idet vi vælger Flabåsterkuppel. Energiforbruget er 110 Volt × 6 Amp. = 660 Watt for begge Lamper tilsammen, idet de $110 \div (2 \times 45) = 20$ Volt forbruges i den faste Forlagsmodstand for begge Lamperne.

Det specifikke Energiforbrug er $\frac{660}{807} = 0{,}82$ Watt pr. HL, altsaa gunstigere end ved Metaltraadslamperne.

I 1000 Timer bliver Udgifterne til Strøm (35 Øre pr. K.W.T.)

$1000^{T.} \cdot \frac{660}{1000} \cdot 0{,}35^{Kr.} = 231$ Kr.

I Løbet af de 1000 Timer forbruges ved en Brændetid af Kullene paa 20 Timer 50 Par Kulstifter til en Pris af ca. 20 Kr.

De samlede Udgifter excl. Betjening er altsaa ca. 250 Kr.

2 Stk. 400 Lys Metaltraadslamper, Pris pr. Stk. 20 Kr., med en Levetid paa 2000 Timer vilde i 1000 Timer koste:

$\frac{800^{HL} \cdot 1{,}2}{1000} \cdot 1000^{T.} \cdot 0{,}35^{Kr.} + 20$ Kr. $= 354$ Kr. Naar der ses bort fra Udgifterne til Betjening af Buelamperne, falder Sammenligningen altsaa ud til Fordel for disse.

Hovedstrømslampen eller Serielampen

Princippet er vist paa Fig 163. Strømmen J gaar gennem Magnetspolen M til det positive øverste Kul, dernæst gennem Lysbuen til det nederste negative Kul og endelig gennem en Forlagsmodstand R tilbage til Nettet.

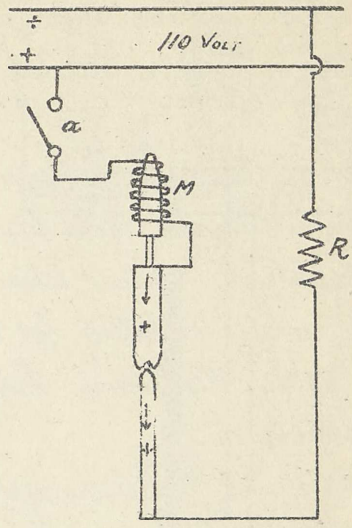


Fig. 163.

Naar Lampen skal tændes, lukkes Afbryderen a, og der vil nu gaa en Strøm igennem Lampen, idet det øverste Kul er gledet ned og hviler med sin Vægt paa det nederste Kul. Modstanden i Kullene er jo lille, idet den specifikke Modstand kan sættes til ca. 100 Ohm pr. m. og mm^2. For et Kul paa 15 cm. Længde og 16 m/m Diameter bliver Modstanden:

$$R = \rho \cdot \frac{l\ m}{q\ m/m^2} = 100 \cdot \frac{0{,}15}{\frac{\pi}{4} \cdot 16^2} = 0{,}075 \text{ Ohm}$$

Det er derfor nødvendigt, at Kredsløbet i Tændingsøjeblikket foruden Kullenes Modstand og den jo ringe Modstand i Magnetspolen indeholder en nogenlunde stor Forlagsmodstand. *) I dette Øjeblik trækker Magneten sin Kærne og dermed det øverste Kul opad, og der vil opstaa en Lysbue mellem de to Kul. Denne Lysbues Modstand bevirker, at Strømstyrken falder, og Magnetens Trækkekraft svækkes derved lidt.

Ved en bestemt Strømstyrke vil der indtræde en Slags Ligevægtstilstand for det øverste Kul. Efterhaanden som Kullene brænder bort, bliver Lysbuen længere, Strømmen bliver

*) Denne virker desuden dæmpende paa eventuelle Strømstød.

svagere, og Kullene nærmes igen til hinanden, idet Magneten giver efter. Kullene kan ikke komme for tæt til hinanden, idet Strømstyrken derved vokser, og Magnetens Tiltrækning forøges.

Denne Lampe regulerer altsaa paa konstant Strøm.

Denne Lampe kan principielt bruges baade til Jævnstrøm og Vekselstrøm, men selve den praktiske Konstruktion er selvfølgelig noget forskellig for de to forskellige Strømarter, blandt andet fordi Magnetens Trækkekraft er forskellig for Jævnstrøm og Vekselstrøm.

Lampens Reguleringsmekanik er ~~selvfølgelig~~ noget mere indviklet i Praksis end vist paa Tegningen, idet der blandt andet maa tages Hensyn til, at Lysbuen paa Trods af sin Bortbranding af Kullene, dog skal vedblive at være paa samme Punkt i Rummet.

Hovedstrømslamperne anvendes næsten aldrig i Tilslutning til større Net paa 110 à 220 Volt, idet disse Lamper ikke kan arbejde godt i indbyrdes Serieforbindelse.

De kan anvendes baade for Jævnstrøm og Vekselstrøm, saavel med rene Kul som med Flammekul.

Shuntlampen

Magneten til denne Lampes Reguleringsmekanisme faar sin Strøm gennem en Ledning, der ligger parallelt (som Shunt) til Lysbuen (Fig. 164).

Lad os antage, at Kullene ikke berører hinanden i det Øjeblik, Lampen skal tændes. Naar vi da lukker Afbryderen

a, vil der kun gaa en Strøm gennem Spolen S. Derved trækkes Jernkarnen M nedad, imod Virkningen af Fjederen F.

Den lodrette Del af Vinkelvægtstangen B bevæger sig da til venstre, hvorved Sparkhjulet r_3 (hvis Aksel er befæstet til Vægtstangen) vil komme fri af Anslaget C. Vægten af den positive Kulholder vil da nu være i Stand til at dreje Tandhjulene r_1, r_2, r_3, hvorved de to Kul kommer i Berøring med hinanden. I det Øjeblik, dette sker, gaar al Strømmen gennem Kullene og Spolen S bliver strømløs. Fjederen F vipper da Vægtstangen B over til højre, og Kullene rykkes lidt fra hinanden, samtidigt med at r_3 støder mod Anslaget C. Idet Lysbuen dannes, faar Spolen S igen en Strøm, der nu svarer til Spændingen i Lysbuen.

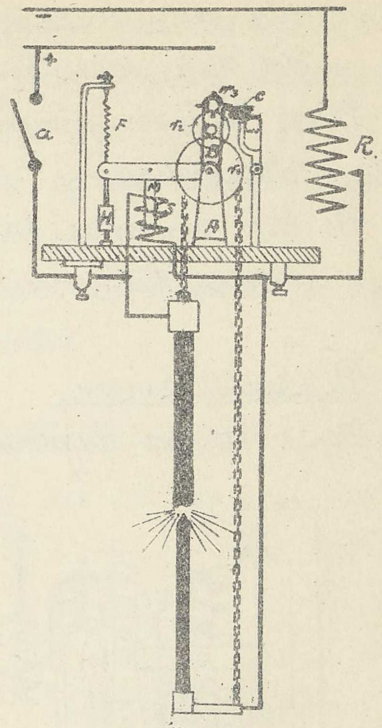


Fig. 164.

Saasnart Spændingsfaldet i Lysbuen bliver for stort, d. v. s. Buen bliver for lang, tiltrækkes M, r_3 glipper af C, og Kullene nærmer sig hinanden.

Denne Lampe regulerer altsaa paa konstant Lysbuespænding.

For at Reguleringen ikke skal ske for pludseligt og stødvist, er der anbragt en Luftbremse H.

Forlagsmodstanden R er ogsaa her nødvendig for at dæmpe

Strømstødet ved Tændingen, ligesom den bidrager til, at Lampen i det hele taget brænder roligere.

Disse Lamper anvendes i udstrakt Grad, og kan arbejde godt i Seriekobling.

De kan anvendes baade for Jævnstrøm og Vekselstrøm, saavel med rene Kul som med Flammekul.

Differentiallampen.

Denne Lampes Reguleringsmekanisme (Fig 165) er bygget omtrent som naa Shuntlampen, blot paavirkes Magnetkarnen M foruden af Shuntspolen S_2 ogsaa af en Spole S_1, der gennemløbes af den egentlige Lampestrøm. De to Spoler er anordnede saaledes, at de modvirker hinanden.

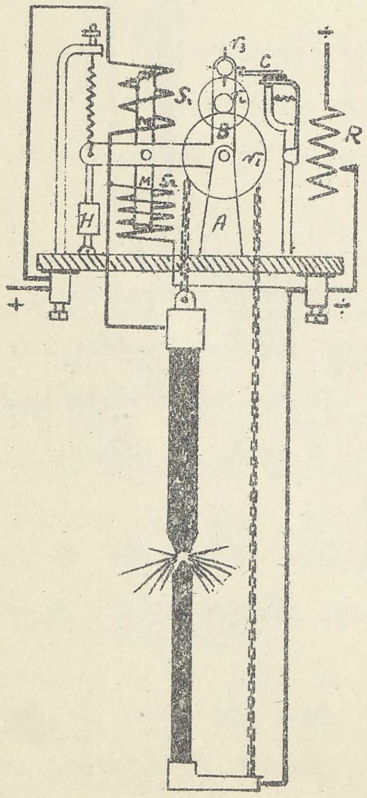


Fig. 165.

Naar Kullene efterhaanden brænder bort, og Lysbuen derved bliver længere, vil Strømmen svækkes, og S_2 trækker da stærkere end S_1. Vægtstangen B vipper til venstre og Kullene nærmes til hinanden.

Skulde Kullene komme for tæt sammen, bliver Lysbuespændingen lille, og Strømmen bliver stor. S_1 trækker da stærkere end S_2, og Kullene fjernes fra hinanden.

Disse Lamper regulerer altsaa baade paa konstant Strøm og paa konstant Spænding, d. v. s. paa konstant Modstand i Lysbuen. Reguleringen er overordentlig fin.

Lamperne finder stor Anvendelse og kan udmærket benyttes i Seriekobling.

De anvendes baade for Jævnstrøm og Vekselstrøm, saavel med rene Kul som med Flammekul.

Lamper uden Urværk.

En saadan Lampes Indretning ses af Fig. 166. Saa en fælles Stade isoleret fra denne er begge Kullene anbragt, det negative drejeligt og i en skraa Stilling. Det positive Kul hviler paa Spidsen af en smal Vinkelvægtstang, saa at det af sig selv vil glide nedad, efterhaanden som Spidsen brænder bort.

I ikke tændt Tilstand vil Vægten af Magnetkærnen gennem et Vægtstangssystem trykke det negative

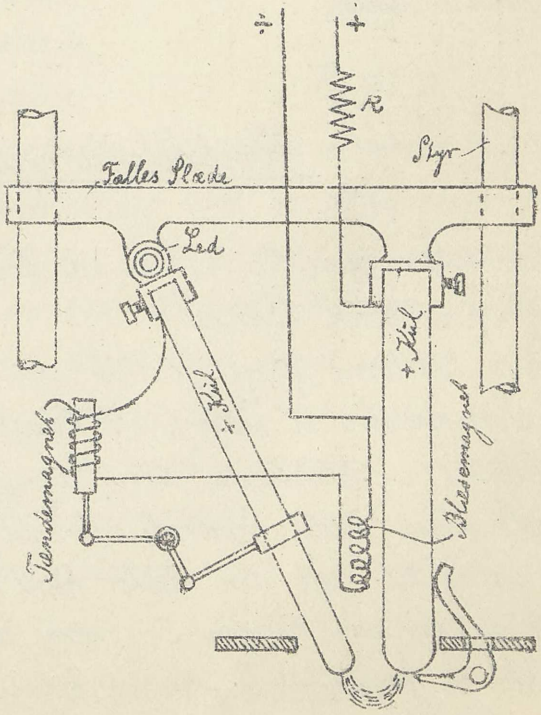


Fig. 166.

Kul over til højre, saaledes at det berører det positive Kul. Naar nu Strømmen sættes til, vil Magneten rykke Kærnen i Vejret, og det negative Kul trækkes derved bort fra det positive, hvorved Lysbuen dannes. Da denne paa Grund af sin Varme vilde have en vis Tilbøjelighed til at vandre opad, lader man Strømmen passere gennem en kraftig Magnetspole, den saakaldte Blæsemagnet, hvis Kraftlinier paavirker Strømmen i Lysbuen i en saadan Retning, at denne trykkes nedad. Forøvrigt sker Reguleringen ligesom ved Hovedstrømslamperne.

Lampen finder Anvendelse baade ved Jævnstrøm og Vekselstrøm, saavel med rene Kul som med Flammekul, dog mest med disse sidste.

Kviksølvlampen.

Kvartslampen (Fig 167) er en andret Type af den oprindelige Cooper Hewitt Lampe.

I et lufttomt drejeligt Rør, der for at kunne taale den høje Temperatur er udført af Kvarts, er ved hver Ende af Røret indsmeltet en Elektrode, som dypper i Kviksølv. De to Portioner Kviksølv rører under normale Forhold ikke hinanden. Idet Strømmen sættes til, vil den derfor kun kunne gaa gennem Kontakten K og gennem Spolen S_1, som derved bliver i Stand til at tiltrække et Jernanker A, der er befæstet til Røret. Dette vil da vippe lidt, og i et Øjeblik kommer de to Portioner Kviksølv i Berøring med hinanden. Strømmen foretrækker da at gaa

gennem Spolen S_2 og Røret, hvor der i dette Øjeblik jo kun er en meget ringe Modstand. S_2 vil nu tiltrække sit Anker a, og Kontakten K brydes, hvorved S_1 bliver strømløs. S_1 slipper derfor sit Anker A, og Røret vipper tilbage, saaledes, at Strømvejen gennem Kviksølvet brydes. Der opstaar da en Lysbue inde i Røret, som derved kommer til at lyse med en meget kraftig blaagrøn Farve. Lyset indeholder en Mængde ültraviolette Straaler, men næsten ingen røde. Alle Farver forvanskes derfor i høj Grad, for Eksempl. faar den menneskelige Hud et ühyggeligt grønligt-graat Udseende. At sætte en rød Skærm for Lampen nytter naturligvis intet, da en rød Skærm jo netop tilbageholder alle andre Straaler end de røde, som altsaa ikke findes. Tilsætning af forskellige Metaller eller Metalsalte til Kviksølvet hjælper noget, men ikke nok.*) Lampen anvendes derfor ikke i Butikker, Forsamlingssale, Hovedgader og andre Steder, hvor særlige Skønhedshensyn gør sig gældende. Derimod finder den efterhaanden udstrakt Anvendelse paa Lagre, i Fabrikslokaler, Tegnestuer, Havnekajer o. s. v., samt til fotografisk Brug.

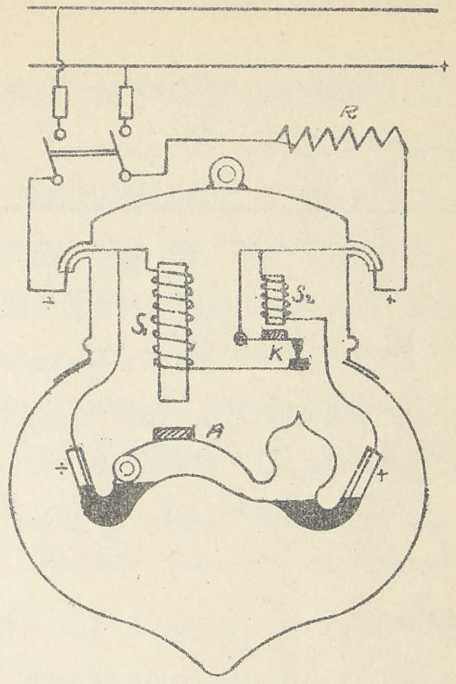


Fig. 167.

*) Der er nu konstrueret Skærme besmurt med fluorescerende Stoffer, der har den Egenskab at nedsætte Lysets Svingtal betydeligt. Man kan herved faa indblandet røde Lysstraaler.

Lamperne brænder i Enkeltkobling saavel paa 110 som paa 220 Volts Net.

De kan kun benyttes for Jævnstrøm.

Økonomien er god. En Lampe paa 110 Volt, 4 Amp. giver 1200 HL og bruger 0,37 Watt pr. Lys⌀. En Lampe paa 220 Volt, 3,5 Amp. giver 3000 HL og bruger 0,26 Watt pr. Lys⌀.

Kvartsrørenes Levetid garanteres til 1000 Brændetimer, men de holder i Almindelighed i 3 à 4000 Timer eller mere.

Fasningen af disse Lamper koster derfor næsten intet, hvilket er en stor Fordel i Sammenligning med Kulbuelamperne.

Elektriske Koge- og Varmeapparater

Elektriciteten kan naturligvis med største Lethed anvendes til elektriske Varmeapparater saasom Kakkelovne, Gryder, Strygejern etc., idet man lader den elektriske Energi udvikle sig som Varme i passende Modstande.

Nyttevirkningen af en elektrisk Kakkelovn er selvfølgelig altid lig 100%, idet al den udviklede Energi (eventuelt ogsaa Lys) nødvendigvis maa afgives til den omgivende Luft i Stuen.

Ved Kogeapparater er Anvendelsen af Varmeplader ikke at anbefale, thi Varmeoverføringen fra Plade til Kedel eller Gryde er forbundet med ret store Tab. De bedste Kogeapparater har Modstandslegemerne anbragt i selve Karret mellem dobbelte Vægge eller dobbelt Bund.

Virkningsgraden er ca. 35%, men selv ved en Strømpris paa 15 Øre pr. K.W.T. vil Prisen for Kogning blive ca. 4 Gange saa dyr som ved Gas à 3 Kr. pr. 1000 Kubikfod og Brandværdi 144 Kal. pr. Kbf. Man faar nemlig ved Gas 480 Kal. for 1 Øre og ved Elektricitet 58 Kal for 1 Øre; men Virkningsgraden for Gaskogning er kun 40% mod Elektricitetens 85%.

Et almindeligt elektrisk Strygejern vil ved 220 Volt bruge ca. 1,8 Amp. eller henholdsvis for 6 eller 14 Øre i Timen ved 15 eller 35 Øre pr. K.W.T. Den første Pris vil omtrent svare til Prisen for Gasstrygning.

Det vil efter ovenstaaende indses, at elektriske Koge- og Varmeapparater med de nugældende Elektricitetspriser her i Landet ikke vil kunne faa nogen stor Betydning. Ved Vandkraftværker med billige Takster og navnlig med billige Dagtariffer eller med Sautschaltarif er Forholdet mere til Gunst for de elektriske Varmeapparater.

Yderligere Oplysninger i „Elektroteknikeren" 1908 Hefte 20 i en Afhandling af Ingeniør Borchsenius.

Beregning af Ledninger

Det er ikke altid tilstrækkeligt at beregne Ledningernes Tværsnit under Hensyn til den tilladelige Opvarmning (se Tabellerne i denne Bog Side , samt Elektricitetskommissionens Regulativ § 28, 14). Det vil som oftest ogsaa være nødvendigt at beregne Ledningstværsnittet under Hensyn til, at

Spændingsfaldet ikke bliver for stort, fra det Sted hvor Strømmen tilføres Ledningen, og til det Sted hvor den afgives til Forbrugsapparaterne: Lamperne eller Motorerne etc.

Simple Ledninger.

Det simpleste Tilfælde kan skitseres som paa Fig 168.

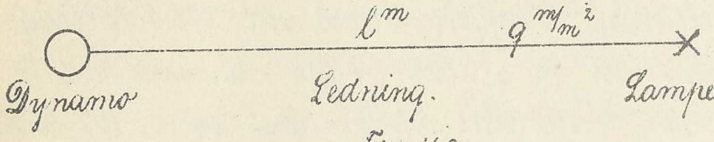


Fig. 168

Dette er betydeligt nemmere og hurtigere end følgende meget omstændeligere Tegning Fig. 169. Det maa dog ved den simplificerede Tegning erindres, at naar Afstanden angives som l^m, da er den elektriske Lednings Længde $L = 2\,l^m$.

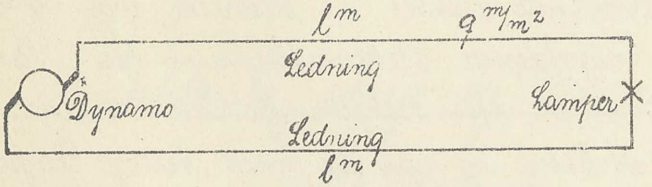


Fig. 169.

For en saadan Ledning gælder den sædvanlige Formel:

Spændingsfaldet i en Ledning = Strømmen × Ledningens Modstand

$$\Delta P = J \cdot R = J \cdot \rho \frac{L}{q} = \frac{\rho}{q} \cdot JL.$$

For et givet Ledningsmateriale, d. v. s. givet ρ og for et givet q vil Spændingstabet afhænge af Størrelsen $J \cdot L$ eller af Ledningens „Meterampères".

Dette nye Begreb vil nemlig komme os til Nytte ved de mere sammensatte Tilfælde af Ledningsberegning.

Vi tager først en lige Ledning af samme Tværsnit q og med en vel Rietke Tilslutninger (Fig. 170).

I Punktet F antager vi, at Centralen sørger for, at Spændingen er konstant. Et saadant Punkt kalder vi et Fødepunkt. Langs ad Ledningen afgaar fra Punkterne a, b, c, d, e de forskellige Strømme J_a, J_b, J_c, J_d, J_e. Vi begynder med at regne Spændingsfaldet ud mellem det yderste Afgreningspunkt og det nastyderste. Saa Strækningen $\overline{de}$ gaar kun Strømmen J_e. Spændingsfaldet paa denne Strækning bliver da

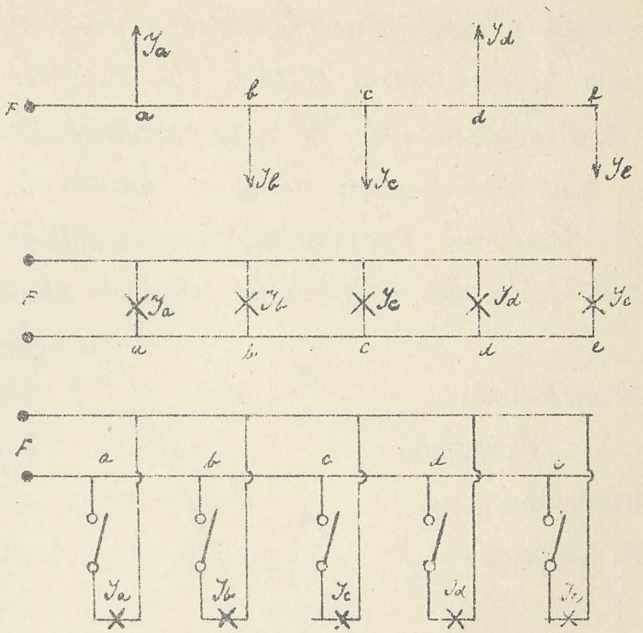


Fig. 170.

$$\Delta P_{e-d} = 2 \cdot \frac{\rho}{q} \cdot (J_e \cdot \overline{de})$$

Saa Strækningen c - d løber Strømmen $J_e + J_d$. Spændingsfaldet paa denne Strækning er da

$$\Delta P_{c-d} = 2 \cdot \frac{\rho}{q} \cdot (J_e + J_d) \cdot \overline{cd}$$

Saa samme Maade faas

$$\Delta P_{b-c} = 2 \cdot \frac{\rho}{q} \cdot (J_e + J_d + J_c) \cdot \overline{bc}$$

$$\Delta P_{a-b} = 2 \cdot \frac{\rho}{q} \cdot (J_e + J_d + J_c + J_b) \cdot \overline{ab}$$

$$\Delta P_{F-a} = 2 \cdot \frac{\rho}{q} \cdot (J_e + J_d + J_c + J_b + J_a) \cdot \overline{Fa}$$

Ved Addition faas det søgte Spændingsfald $\Delta P_{F-e} = \Sigma \Delta P =$
$2 \cdot \frac{\rho}{q} (J_e \cdot \overline{Fe} + J_d \cdot \overline{Fd} + J_c \cdot \overline{Fc} + J_b \cdot \overline{Fb} + J_a \cdot \overline{Fa}) = 2 \cdot \frac{\rho}{q} (\Sigma$ „Meterampères") idet

Længderne regnes fra Fødepunktet til Strømmenes Afgreningspunkter. Det ses, at Σ „Meterampères" ogsaa kan defineres som Summen af Strømmenes Momenter med Hensyn til F, idet Strømmene regnes som Kræfter, der angriber paa Bjælken F-e, der er last indspændt (d. v. s. konstant elektrisk Spænding) ved F.

Saa længe Tværsnittet er konstant, sker Beregningen meget let. Saafremt Tværsnittet varierer, vælges et af disse som Standard. Er nu Tværsnittet paa en anden Strækning dobbelt saa stort som det valgte Standardtværsnit: q, altsaa 2q, og er Længden af dette Stykke Ledning lig l, tegnes Diagrammet om, saaledes at vi giver det paagældende Stykke Tværsnittet $\frac{q}{2}$ og Længden $\frac{l}{2}$. Spændingsfaldet vil da være det samme.

Det virkelige Diagram.

Tværsnittene ikke angivet.

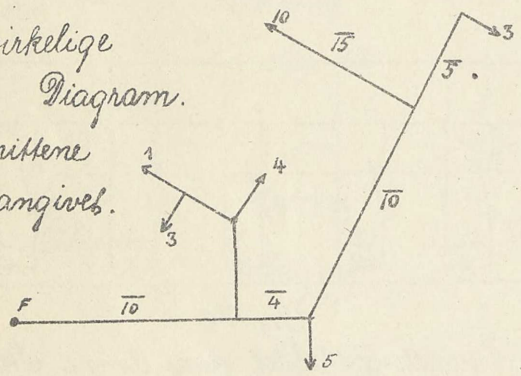


Fig. 171.

Det reducerede Diagram.

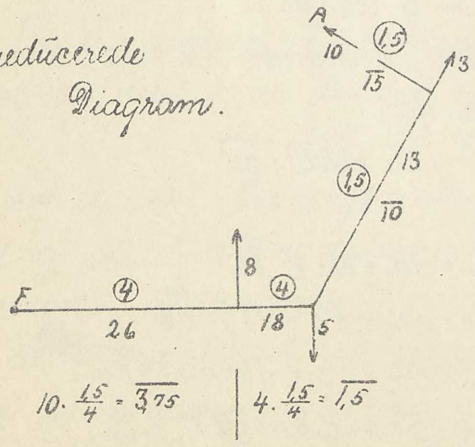


Fig. 172.

Eksempel:

Vi antager et Net som vist paa Fig 171.

Vi bestemmer Strømstyrkerne J i hvert enkelt Stykke l af Ledningerne og vælger fra Belastningstabellen i Regulativet § 28, 14 de nødvendige Tværsnit ⑨.

Vi vil nöjes med de to Tværsnit 4 mm² og 1,5 mm², idet Strømstyrken nærmest ved F kun er 26 Amp.

Det største Spændingsfald vil utvivlsomt optræde i Punktet A.

Vi bestemmer nu Længderne, idet 1,5 mm² valges til Standardtværsnit.

Fig. 172 viser det reducerede Skema.

Vi faar da Momenterne, idet vi begynder fra F af Hensyn til Langdeberegningerne:

$$8 \cdot 3{,}75 = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 30{,}0$$

$$5 \cdot (3{,}75 + 1{,}5) = 5 \cdot 5{,}25 = \ldots\ldots\ldots\ldots 26{,}25$$

$$3 \cdot (3{,}75 + 1{,}5 + 10) = 3 \cdot 15{,}25 = \ldots\ldots\ldots 45{,}75$$

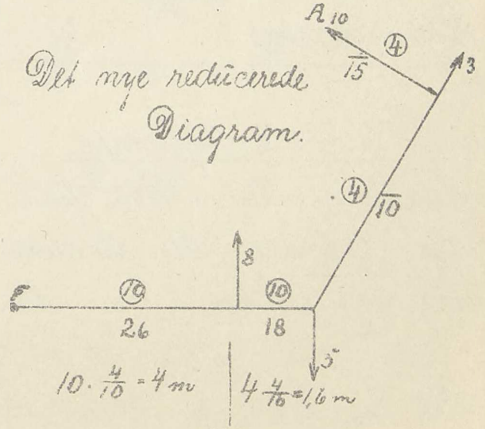
$$10 \cdot (3{,}75 + 1{,}5 + 10 + 15) = 10 \cdot 30{,}25 = \ldots\ldots 302{,}5$$

$$\Sigma(J \cdot l) = 404{,}50$$

$$\Sigma(J \cdot L) = 809.$$

$$\Delta P_{F-A} = \frac{0{,}0175}{1{,}5} \cdot 809 = 9{,}4 \text{ Volt.}$$

Saafremt det udelukkende er Motorer paa et 220 Volts Net, vil dette Spændingsfald paa ca. 4,35% meget vel kunne tillades. Hvis en Del af Belastningen er Lamper, vil man højst tillade 2% Fald, og Enhedstværsnittet maa derfor forhøjes til $1{,}5 \cdot \frac{4{,}35}{2} = 3{,}26\ ^{m}/_{m^2}$. De $4\ ^{m}/_{m^2}$ vil da blive til $4 \cdot \frac{4{,}35}{2} = 8{,}7\ ^{m}/_{m^2}$. Disse Tværsnit kan imidlertid ikke faas i Handelen, og vi maa derfor vælge 4 mm² og 10 mm².



Det nye reducerede Diagram.

Fig 173.

Regningen göres nu om, og man tager for Eksempl. 4 mm² som Enhedstværsnit.

Momenterne bliver:

$8 \cdot 4 = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 32$

$5 \cdot (4 + 1{,}6) = 5 \cdot 5{,}6 = \ldots\ldots\ldots\ldots 28$

$3 \cdot (5{,}6 + 10) = 3 \cdot 15{,}6 = \ldots\ldots\ldots 46{,}8$

$10 \cdot (15{,}6 + 15) = 10 \cdot 30{,}6 = \ldots\ldots 306$

$\Sigma(J \cdot l) = 412{,}8$

$\Sigma(J \cdot L) = 825{,}6$

$$\Delta P_{F\text{-}A} = \frac{0{,}0175}{4} \cdot 825{,}6 = 3{,}6 \text{ Volt.}$$

eller kun 1,64 % af 220 Volt.

Ved den sidste Del af Beregningen kan man ofte med Fordel benytte sig af en Tabel, der for forskellige Værdier af „Momentet" giver de til forskellige Værdier af ΔP svarende Tværsnit q. Saadanne Tabeller findes i de forskellige Haandbøger.

Naar man kender Antallet af Meterampère, kan man let af Tabellen vælge det Tværsnit, der giver det ønskede Spændingstab.

Lukkede Systemer.

Saafremt Ledningen faar Strøm fra to Fødepunkter, eller den Ledning, der udgaar fra et og samme Fødepunkt, danner en lukket Ring, saas de to Diagrammer paa Fig. 174.

Det ses let, at Ringen kan löres tilbage til Tilfældet med to Fødepunkter, idet Fødepunkterne F_1 og F_2 begge

holdes paa den samme Spænding.

Lad os antage, at det største Spændingsfald i Ledningen optræder i Punktet b. Vi tænker os da Jb opløst i de to Strømme x og y kommende henholdsvis fra F_1 og F_2.

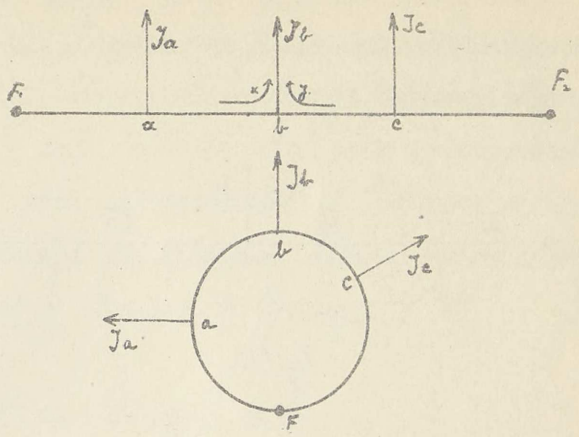


Fig. 174.

Da Spændingsfaldet i det betragtede Punkt maa være det samme, hvadenten vi regner fra F_1 eller F_2, maas Momenterne paa begge Sider lige store. Altsaa:

$$\Sigma M = x \cdot \overline{F_1 b} + Ja \cdot \overline{F_1 a} = y \cdot \overline{F_2 b} + Jc \cdot \overline{F_2 c}$$

$$x + y = Jb.$$

Heraf kan x og y findes, deraf ΣM og altsaa ogsaa $\Delta P = \frac{0{,}0175}{q} \cdot \Sigma M$.

Eksempel 1.

Hvor optræder det største Spændingsfald, i Punkt a eller b? (Fig 175)

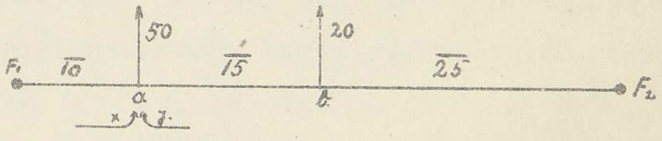


Fig. 175.

Lad os antage, at det var i a. Vi faar da:

$$x + y = 50.$$

$$x \cdot 10 = y(15 + 25) + 20 \cdot 25.$$

Deraf findes:

$$x = 50$$

$$y = 0.$$

Der gaar altsaa slet ingen Ström i Stykket a-b, og Spændingsfaldet er lige stort i a og i b.

Eksempel 2.

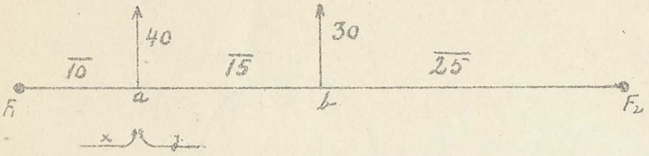


Fig 176.

Lad os antage, at det største Spændingsfald optræder i Punkt a (Fig. 176).

$x + y = 40.$

$$10x = y(15+25) + 30 \cdot 25$$

Heraf findes:

$$x = 51{,}67$$

$$y = \div 11{,}67$$

Der udgaar altsaa fra F_1 en Ström paa 51,67 Amp., hvoraf de 40 afgaar ved a og Resten nemlig 11,67 gaar videre til b. Punkt b modtager altsaa $30 \div 11{,}67 = 18{,}33$ Amp. fra F_2.

Til b löber der altsaa Ström fra begge Sider, og b maa altsaa være det Punkt, der har den laveste Spænding d.v.s. det Punkt, hvor Spændingsfaldet er störst.

Hvis vi vil tillade et $\Delta P = 2$ Volt, faas:

$$\Delta P = 2 = 2 \cdot \frac{0{,}0175}{q} \cdot (18{,}33 \cdot \overline{25})$$

Heraf findes $q = 8{,}0$ mm^2. Dette Tværsnit faas ikke i Handelen, vi maa derfor tage det nærmest höjere, nemlig 10 mm^2.

Dette Tværsnit maa imidlertid ifölge Regulativets § 28, 14 höjst löbe 43 Amp., men Strækningen F_1 a belastes jo med 51,67 Amp. Derfor maa Tværsnittet forøges til 16 mm^2, hvor

indtil 75 Amp. er tilladt.

Læg vel Mærke til, at naar en Ledning føres en 3 Gange saa lang Vej, saa bliver Spændingsfaldet 3 Gange saa stort. Naar vi kun vil tillade det samme Spændingsfald som før, maa vi gøre Tværsnittet 3 Gange saa stort. Ledningens Kobbervægt er altsaa bleven forøget med større Vej × større Tværsnit = 3 × 3 = 9 Gange.

Vekselstrømsledninger.

Ved Beregninger med Vekselstrøm maa der baade hvad Opvarmning og Spændingsfald angaar tages Hensyn til Faseforskydningen.

Motoren B (Fig 177) arbejder ved 500 Volt med en Faseforskydning cos φ = 0,9 og optager fra Nettet 20 K.W., d.v.s. den afgiver $\frac{20}{0,736} \cdot 0,85 = 23$ HK, idet Virkningsgraden antages 0,85.

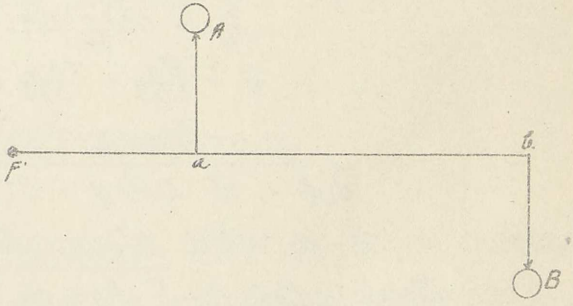
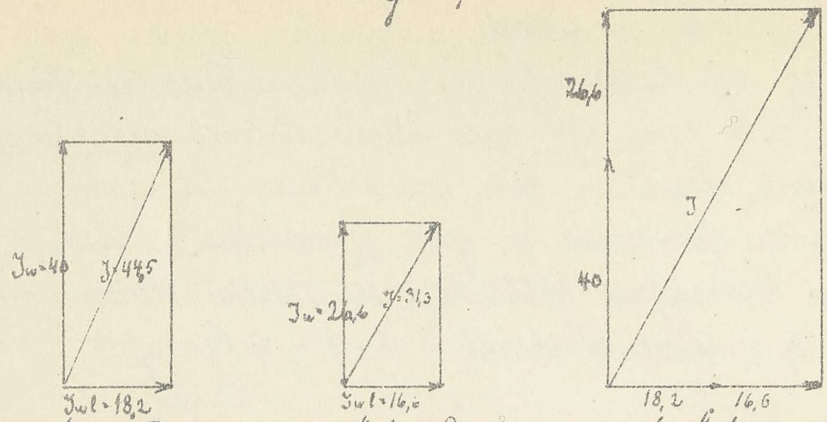


Fig. 177.

Vi kan nu tegne Motorens Diagram (Fig 178). $\frac{J}{W} = \frac{20 \cdot 1000}{500} = 40$ Amp. Netstrømmen J faas af $\frac{J_W}{J} \cdot 0,9$, altsaa: $J = \frac{J_W}{0,9} = \frac{40}{0,9} = 44,5$ Amp. Strækningen B b a skal derfor beregnes for en Strøm paa 44,5 Amp., og vi har her en Faseforskydning paa cos φ = 0,9. Naar cos φ = 0,9, bliver sin φ = 0,41, og den wattløse Strøm faas da af:

$$\frac{J_{wl}}{J} = \sin \varphi; \quad J_{wl} = 44,5 \cdot 0,41 = 18,2 \text{ Amp.}$$

Fig. 178.



Ved A findes en Motor paa 15 HK og $\cos \varphi = 0,85$. Denne Motor har en Virkningsgrad paa 0,83, og den optager da fra Nettet (Fig 178) $\frac{15 \cdot 0,736}{0,83} = 13,3$ KW. eller $\frac{15 \cdot 0,736}{0,83 \cdot 0,85} = 15,6$ KVA

$$J_W = \frac{13,3 \cdot 1000}{500} = 26,6 \text{ Amp.}$$

$$J = \frac{J_W}{\cos \varphi} = \frac{26,6}{0,85} = 31,3 \text{ Amp.}$$

$$\sin. \varphi = 0,53.$$

$$J_{wl} = J \cdot \sin \varphi = 31,3 \cdot 0,53 = 16,6 \text{ Amp.}$$

Strækningen A-a skal altsaa beregnes for Strømmen 31,3 Amp.

Saa Strækningen a-F har vi (Fig 178) dels Wattstrømmene 26,6 og 40 Amp. ialt en Wattstrøm paa 66,6 Amp.; dels de wattløse Strømme 16,6 og 18,2, ialt en wattløs Strøm paa 34,8 Amp.

Netstrømmen bliver da paa Strækningen A-F:

$$J_n = \sqrt{66,6^2 + 34,8^2} = 75,1 \text{ Amp.}$$

For denne Strøm skal altsaa dette Stykke Ledning beregnes.

Faseforskydningen paa Strækningen a-F faas af:

$$\cos \varphi = \frac{J_W}{J} = \frac{66,6}{75,1} = 0,89.$$

Ledningens Diagram bliver altsaa som vist paa Fig. 179. Det er af ovenstaaende Udvikling umiddelbart indlysende, at 31,3 + 44,5 i Almindelighed maa være forskellig fra 75,1.

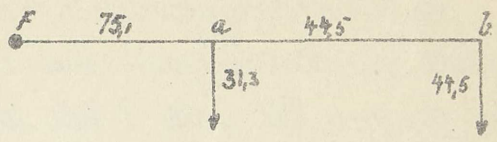


Fig. 179.

Energitabet (Varmetabet) i Ledningerne er prop. med J^2 og <u>ikke med J_W^2</u>. $J^2 = \left(J_W \cdot \frac{1}{\cos\varphi}\right)^2 = J_W^2 \cdot \frac{1}{\cos^2\varphi}$.

Varmetabet vokser altsaa med 2^{den} Potens af Faseforskydningen. (staar i Nævneren og er mindre end 1).

Ved jævnstrøm er $J_m = J_W$.

Ved Vekselstrøm er $J_m = J_W$, naar $\cos\varphi = 1$.

Flerledersystemer

Ved <u>Jævnstrøms - Treledernet</u> $2 \times P$ Volt bliver Spændingsfaldet regnet i Volt lig med ¼ af Spændingsfaldet i et 2 Ledernet med P Volt og med samme Kobbertværsnit.

Strømmen i Middellederen bliver lig 0, naar Belastningen er omtrent symmetrisk paa begge Sider (Fig. 180).

Det ser da ud, somom

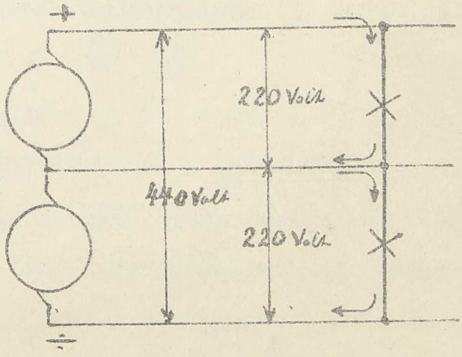


Fig. 180.

hele Strømmen gaar gennem Lamperne direkte fra + til ÷.

Er Spændingsfaldet i + Ledningen 4 Volt og ligesaa meget i ÷ Ledningen, saa er det samlede Spændingsfald for de 440 Volt ialt 8 Volt, eller 1,82 % af 440 Volt.

For hver Side af Nettet er Spændingsfaldet det halve nemlig 4 Volt, men regnet i % af 220 Volt faas ligeledes 1,82 %.

Energitabet er ved Jævnstrøm ligeledes 1,82 % af den overførte Energi.

Havde de to 220 Volts Net ikke haft en fælles Leder, saa havde vi i hvert Net haft 4 Volts Tab i baade Frem- og Tilbageføreren, ialt 8 Volt eller 3,64 % i hvert Net.

Havde vi i Stedet for 2 forskellige 220 Volts Net kun haft et eneste 220 Volts Net, maatte Strømmen i dette være dobbelt saa stor som før i hvert af Nettene, naar samme Energimængde skulde overføres. Med samme Kobbermængde som før bliver da Spændingsfaldet atter fordoblet nemlig 16 Volt eller 7,28 %, ialt 4 Gange saa meget som i Treledersystemet med samme Kobbermængde.

I Trefaseanlæg er Spændingsfaldet noget vanskeligere at beregne, selv om det i det simpleste Tilfælde med kun een Strømaftagning er ret overskueligt. Dette Tilfælde er vist paa Fig. 181.

Der afgives af Generatoren en Energi paa:

$$A = \sqrt{3} \cdot E_m \cdot J_m \cdot \cos \varphi.$$

Der modtages af Motoren en Energi paa:

$$A' = \sqrt{3} \cdot (E_m - \Delta P) \cdot J_m \cdot \cos\varphi.$$

Differensen herimellem giver Energitabet ΔA.

$$\Delta A = \sqrt{3} \cdot J_m \cdot \Delta P \cdot \cos\varphi.$$

Energitabet er imidlertid ogsaa lig 3 Gange Tabet i hver enkelt af Ledningerne for sig, eller

$$\Delta A = 3 \cdot J_m^2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{q}$$

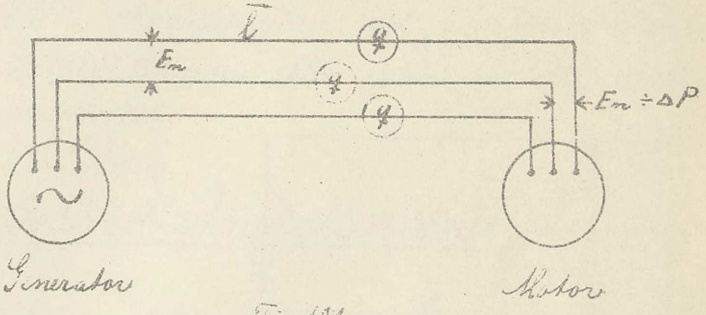


Fig. 121.

Heraf faas Spandingstabet maalt i Volt:

$$\Delta P = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot l \cdot J_m}{q \cdot \cos\varphi} = \frac{\sqrt{3}}{\cos\varphi} \cdot \rho \cdot \frac{l^m}{q} \cdot J_m.$$

Det erindres, at l er den simple Afstand mellem Generator og Forbrugssted, maalt i m.

Formlen viser tydeligt, at ΔP vokser med voksende Faseforskydning

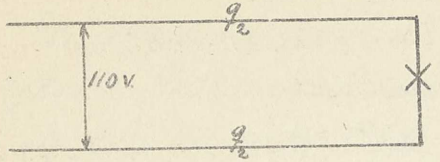
Saafremt man i Stedet for J_m indfører Wattstrømmen $J_w = J_m \cdot \cos\varphi$ faas:

$$\Delta P = \frac{\sqrt{3}}{\cos^2\varphi} \cdot \rho \cdot \frac{l}{q} \cdot J_w$$

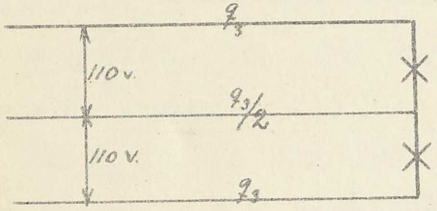
I Virkeligheden vokser altsaa ΔP med 2^{den} Potens af Faseforskydningen.

Bemærk, at ved Formlen Udledning har der ikke været forudsat nogetsomhelst om, hvorvidt Generator og Motor, den ene eller begge har været koblet i λ eller i Δ.

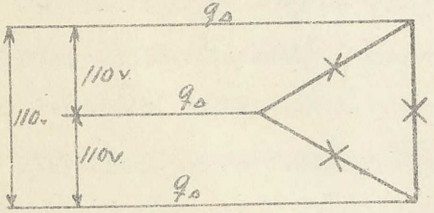
Af ovenstaaende Ligninger kan q i givet Tilfalde bestemmes, naar ΔP ikke maa overstige for Eksempl. 2% af E.



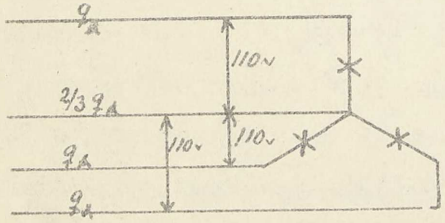
$Q_2 = 2 q_2$



$Q_3 = 5/2\, q_3$



$Q_\Delta = 3 q_\Delta$



$Q_\lambda = 11/3\, q_\lambda$

Fig. 132.

En Sammenligning, som ikke her skal udledes, mellem de forskellige Systemer, naar en og samme Energimængde skal overføres med samme Energitab ved en bestemt Lampespænding (for Eksempl. 110 Volt), giver, at Kobberforbruget Q forholder sig som: (se Fig 132).

$$Q_2 : Q_3 : Q_\Delta : Q_\curlywedge =$$

$$100 : 41 : 75 : 37{,}5.$$

Det ses heraf, at med Hensyn paa et billigt Ledningsnet staar et Trefasenet koblet i Stjerne og med Nulleder langt gunstigere end alle de andre Systemer. Derefter følger Jævnstrømstreledernet.

Da imidlertid Hensynet til Kobberforbruget ikke er det eneste afgørende med Hensyn til Valget af System, men adskillige andre Forhold spiller med ind for Eksempl. Hensynet til at kunne anvende Akkumulatorbatterier, vil i mange Tilfælde et andet System

kunne blive foretrukket, og heriblandt maa da særlig nævnes Jævnstrømstreleder Systemet, der anvendes ved en meget stor Del af Danmarks Elektricitetsværker.

Ved smaa Anlæg, paa en Fabrik, paa en Herregaard og lignende Steder vil i Almindelighed det simpleste System, nemlig Jævnstrømstoleder med eller uden Batteri være at foretrække.

Elektriske Installationer.

Om de forskellige elektriske Installationsmaterialier, Kabler Ledninger, Fittings etc. vil de fremviste Prøver, samt de i Elektricitetskommissionens Regulativ indeholdte Forskrifter give god Besked.

Angaaende selve Montagen skal gives et Par Oplysninger og gode Raad.

Ved Frileftsledninger, hvis Brudsikkerhed er beregnet under Forudsætning af, at Traaden er haardttrukken maa Lodning ikke anvendes saaledes, at Dele af Traaden, der er udsat for Brudbelastning derved blødgøres og svækkes. Saadan Traad samles bedst med Klemmer.

Ved Aluminiumsledninger i fri Luft maa Lodning eller Sammenskruninger med Klemmer af andet Materiale ikke anvendes, medmindre hele Samlingen kan beskyttes omhyggeligt med vejrbestandigt Lak eller lignende. Iværksættes denne Forsigtighedsregel ikke, kan der optræde elektrolytiske Virkninger, som ødelægger Traadene.

Der maa ikke som Flussmiddel ved nogensomhelst Lodning anvendes Syre eller syredannende og ætsende Stoffer (Stearin) men der maa kun benyttes Harpiks eller de særligt hertil beregnede, fedtagtige Flussmidler.

Ved Husinstallationer skal alle sammenskrūede Splejsninger paa Traadene loddes, thi en lös Splejsning kan give Anledning til Gnistdannelse og deraf følgende Ildebrand. Ingen splejset Traad maa trakkes ind i Rör, thi ved Gennemtrækningen kan de om Samlingen viklede Isolationsbaand blive skrabede af, og der kan da opstaa Jordslutning eller Kortslutning. For helt at undgaa Splejsninger paa Ledningerne anvendes ofte den saakaldte Slöjfning [looping in system — Schleifensystem], der er vist paa Fig. 183.

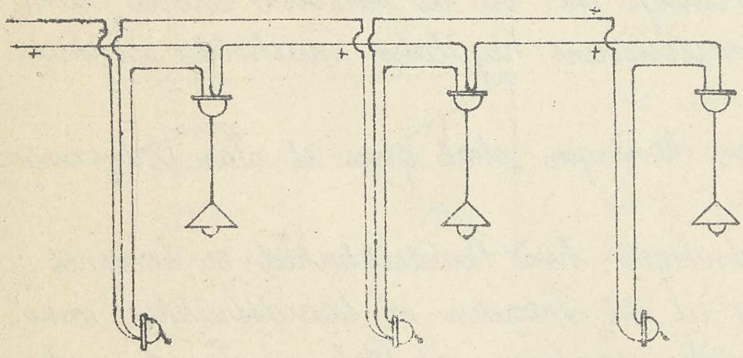


Fig 183.

Sikringer skal altid anbringes i Til- og Fraledningerne for elektriske Motorer og Generatorer, saaledes som vist paa adskillige tidligere viste Tegninger.

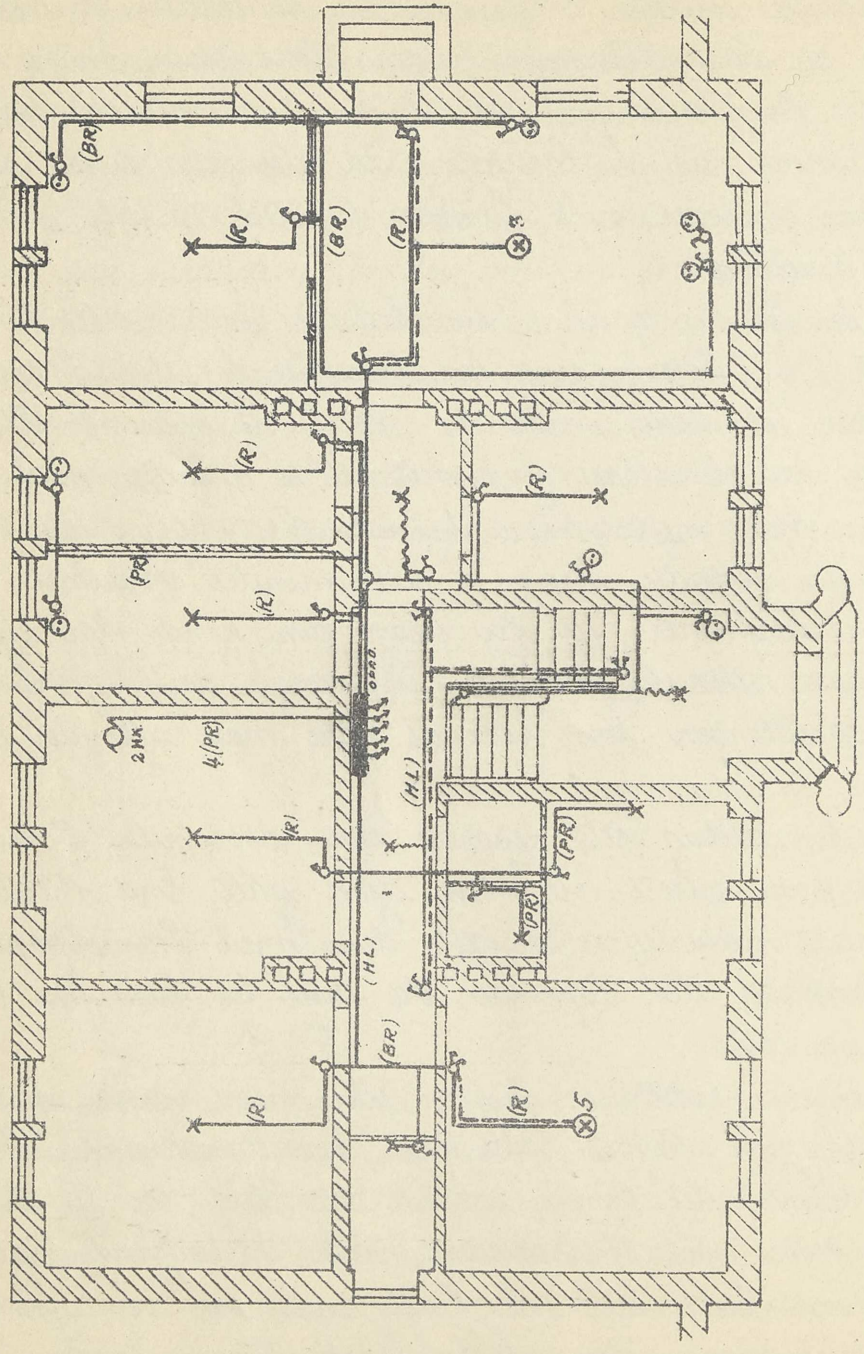
De fra en Hovedtavle udgaaende Gruppeledninger skal alle forsynes med Sikringer i hver enkelt Ledning. Sikringerne skal anbringes for alle Polerne, altsaa mindst 2 ved Jævnstrom og 3 ved Trefasestrom. I Almindelighed

sammenfattes indtil 15 Lamper til saakaldet Gruppe, der faar et Par Sikringer. Som oftest staar man sig dog ved Projekteringen ved kun at samle en halv Snes Lamper til en Gruppe, da der saa altid senere vil kunne tilføjes nye Lamper (indtil 15 ialt) til en saadan Gruppe.

Inden for en Gruppe bør Ledningstværsnittet holdes konstant, og Sikringerne bør beregnes for den Strøm, der svarer til dette Tværsnit. Saafremt man et Sted gaar over fra et større Tværsnit til et mindre, skal der paa selve Afgreningsstedet anbringes Sikringer, der svarer til den tilladte Strøm i det mindre Tværsnit. En Undtagelse herfra er, at der foran den tynde Magnetbevikling paa elektriske Maskiner ikke maa anbringes Sikring, da Magnetviklingen som bekendt ikke maa afbrydes under Strøm.

Man bør aldrig selv reparere sine afbrændte Sikringer, da dette som oftest vil blive gjort galt. End mindre maa man naturligvis erstatte dem med Staniolpapir, Strøm, Jerntraad eller lignende, da dette let kan føre til Brand.

Ledninger i Kedelhuse, fugtige eller meget varme Fabrikslokaler, lægges i Regelen bedst paa Porcellansknapper. I Kør vil der nemlig let kunne samle sig Dug, og dette kondenserede Vand vil efterhaanden virke ødelæggende paa Isolationen. Ledninger paa Kedelmurninger og lignende bør for at undgaa den alt for stærke Varme lægges i et



ETAGEPLAN.
110 Volt - 8 Gruppen & 1 Motor
Fig 184

Tør Tømmers Afstand fra Muren. Bedst vil det selvfølgelig være saa vidt muligt at undgaa en saadan Ledningsføring.

Før en elektrisk Installation udføres, bør der altid forud lægges en omhyggeligt gennemtænkt og velovervejet Plan (se Fig. 184, hvor de i Elektricitetskommissionens Forskrifter angivne Signaturer er benyttede).

Ledningsføringen bør optegnes, og det bør helst paa Stedet undersøges, hvor man eventuelt bedst kan komme frem med sine Ledninger. Det er altid tidsspildende og bekosteligt at rette paa Anlaget under eller efter Udførelsen.

Da der ved elektriske Lysinstallationer meget hyppigt anvendes de saakaldte Korrespondanceforbindelser, hvor en (eller eventuelt flere) Lamper kan tændes og slukkes fra 2 eller flere forskellige Steder, skal Princippet for disse Forbindelser gives ved Fig. 185 a, b. Afbryderne er saaledes indrettede, at de kun kan staa paa den ene eller paa den anden af de 2 Kontakter. Forøvrigt forklarer Tegningerne sig selv.

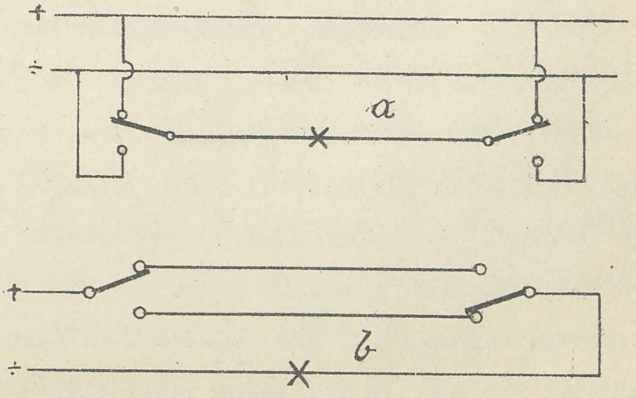


Fig. 185.

Fig. 185 a har den Fordel, at man fører begge Polarite-

lerne med sig helt hen til den fjerneste Afbryder, saaledes at man her yderligere kan fortsætte Installationen, hvilket ikke er muligt ved Fig. 185 b. Derimod har Fig. 185 a den Mangel i Sammenligning med Fig 185 b, at man let kan komme til at lave Kortslutning i Afbryderne for Eksempl. med en Skruetrækker eller lignende, fordi begge Polariteter føres ned i Afbryderen. Dette er udelukket ved den paa Fig. 185 b viste Anordning.

For den faste Lysinstallation (altsaa ekskl. alle Belysningslegemer og Lamper) kan man anslaa Omkostningerne til ca. 9 – 12 Kr. pr. Lampested, idet en Stikkontakt regnes lig 1 Lampe, og en Krone med Gruppetanding regnes lig 2 Lamper. I store Fabrikslokaler med vandtætte Fittings etc kan Prisen stige til 20 à 30 Kr.

Tavleinstrumenter og Maalere.

Med de elektriske Maaleinstrumenter kan man maale Spænding, Strøm, Watt, $\cos \varphi$, $\sim$ etc.

Man kan ligeledes maale den i en vis Tid udviklede eller forbrugte Energimængde altsaa K.W.T eller H.W.T. Eller hvor man for forudsatte konstant Spænding, kan man nøjes med at maale den i en vis Tid forbrugte Amperetimemængde. Ved Multiplikation med Spændingen og Division med 1000 faas da K.W.T.

De forskellige elektriske Indikatorinstrumenter kan

deles i følgende 2 Hovedgrupper:

1. Statiske Instrumenter.
2. Strømførende Instrumenter.

De statiske Instrumenters Virkning bestaar deri, at en eller flere drejelige 8-talsformede metalliske Skiver (Fig. 186), der forbindes med Maskinens ene Pol, af den statiske Tiltrækning bidrørende fra Spændingsdifferensen vil blive tiltrukket mere eller mindre til en eller flere andre, faste metalliske Skiver, der er sat i Forbindelse med den anden Pol. Drejningen vil være afhængig af Spændingsdifferensens Størrelse (prop. med 2den. Potens).

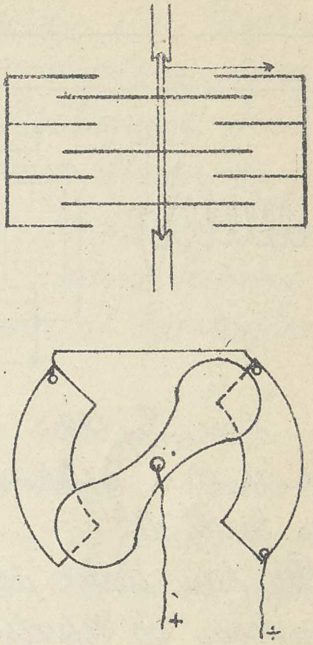


Fig. 186.

Saadanne Instrumenter kan benyttes til Voltmetre fra 220 Volt og op til de allerhøjeste Spændinger. De er meget paalidelige, bruger ingen Strøm og kan anvendes baade for Jævnstrøm og Vekselstrøm. De kan ikke benyttes til Ampèremetre og Maalere. De anvendes nærmest kun som Voltmetre for højere Spændinger. Til almindelig teknisk Maaling anvendes de ret sjældent.

De strømførende Instrumenter kan deles i følgende Grupper.

a. I de <u>Elektrodynamiske Instrumenter</u> (Fig. 187) ledes Strømmen gennem en fast Magnetspole og derefter gennem

en drejelig Spole, der bærer en Viser. Da Paavirkningen mellem Spolerne er proportional med J^2, vil disse Instrumenter (saafremt de ikke indeholder Jern) give samme Udslag for saavel Vekselstrøm som Jævnstrøm. Paavirkningen vil ved Vekselstrøm nemlig være prop. med $\frac{1}{T}\int_0^T i^2\,dt$, hvilket jo netop er den Effektivværdi J^2, som svarer til Jævnstrømmens Værdi J^2.

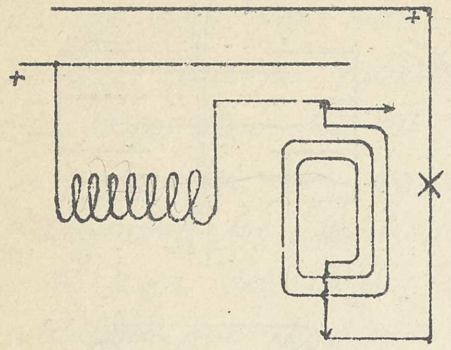


Fig. 187.

De kan derfor uden Korrektioner anvendes baade til Jævnstrøm og Vekselstrøm. Ved Anvendelsen af lamelleret blødt Jern og passende Form for Polskoen kan man opnaa, at Skalaen faar temmelig lige store Inddelinger. De nøjagtigste Instrumenter af denne Type bygges dog helst uden Jern.

b. I de saakaldte <u>Blødjernsinstrumenter</u> tiltrækker en fast Spole, hvorigennem Strømmen føres, et Stykke blødt Jern af særlig Facon. Tiltrækningen er afhængig af J i første Potens. Tiltrækningen ved Vekselstrøm vil derfor være $\frac{1}{T}\int_0^T i\,dt = J_{mid} = \frac{J_{eff}}{1{,}11}$.

Et saadant Instrument, der er justeret for Jævnstrøm, maa altsaa justeres om, naar det skal bruges for Vekselstrøm, idet Fejlen mindst er 11%; hvortil kommer yderligere Fejl hidrørende fra de særlige Tab, som opstaar

i Jernet paa Grund af Vekselstrømsmagnetiseringen.

c. De magneto-elektriske Instrumenter eller Drejespole-instrumenterne har en af Strømmen gennemløbet bevægelig Spole anbragt i et af en kraftig Staalmagnet frembragt Felt. Udslagene er proportionale med Strømmen i første Potens. De kan kun bruges for Jævnstrøm, idet de giver modsat Udslag for Strøm i modsat Retning; ved Vekselstrøm vil altsaa Middelværdien af Udslagene blive 0.

d. Varmetraadsinstrumenterne, hvor Varmeudvidelsen af en Traad er proportional med Strømmen i anden Potens, egner sig lige godt for Jævnstrøm og Vekselstrøm og kan benyttes til begge Dele uden nogen Art af Korrektioner.

e. Instrumenter efter Induktionsmotorprincippet (Ferraris Type) kan kun bruges til Vekselstrøm, og virker ved, at denne Vekselstrøm dels direkte, dels ved Hjælp af en Kortslutningsbevikling fremkalder Hvirvelstrømme i en Kobber- eller Aluminiumsskive. Ved Wattmeter og Maaler for Trefasestrøm er Kortslutningsbeviklingen selvfølgelig ikke nødvendig for at fremkalde Hvirvelstrømmene og Drejningsmomentet. Udslaget er proportionalt med Strømmens anden Potens.

Naar man ønsker at maale Spændingsdifferensen mellem to Ledere a og b (Fig 188), kan dette kun gøres ved at maale den Strøm, som denne Spænding formaar at sende gennem en given Modstand. Et af de

ovenfor nævnte strømvisende Instrumenter kombineres derfor med en passende stor Modstand, som gerne indbygges i selve Apparatet. Naar denne Modstand er konstant, (hvilket let kan opnaas ved Anvendelsen af et Modstandsmateriale hvis Temperaturkoefficient er meget nær ved 0) vil der til hver given Spænding svare en bestemt Strøm gennem Apparatet og altsaa ogsaa et bestemt Udslag. Skalaen kan da direkte inddeles i Volt, og Apparatet kaldes et Voltmeter.

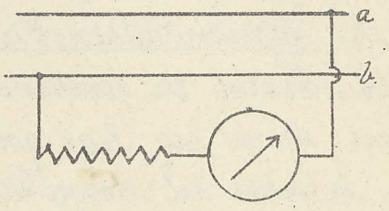


Fig 188.

Et Voltmeter bør helst have en høj Modstand og et deraf følgende ringe Strømforbrug, for at Energitabet ikke skal blive for stort. Den Strøm, der passerer Voltmeteret, unddrages jo nemlig de egentlige Forbrugsapparater.

Til <u>Strømmaaling</u> kan de ovennævnte strømførende Instrumenter alle anvendes. Ved større Strømme vilde Instrumenterne dog paa Grund af de paakrævede store Kobbertværsnit blive for uhandlelige og kostbare, ligesom det i mange Tilfælde vilde blive dyrt at føre de svære Ledninger hen til Apparaterne.

Man indskyder da i Ledningen x y en bestemt, justeret Modstand af ikke alt for stor Modstandsværdi, en saakaldet Shunt (Fig 189). Spændingsfaldet i denne Shunt vil da være prop. med Strømstyrken, idet Shunten bygges af Metalblade eller Rør med ringe Modstands-

koefficient. Et Voltmeter, der maaler dette iøvrigt meget ringe Spændingsfald vil da faa Udslag, der er prop. med Strømmen.

Shunt, Voltmeter og Forbindelsestraade bliver justereide sammen, og Forbindelsestraadene maa da ikke senere forandres.

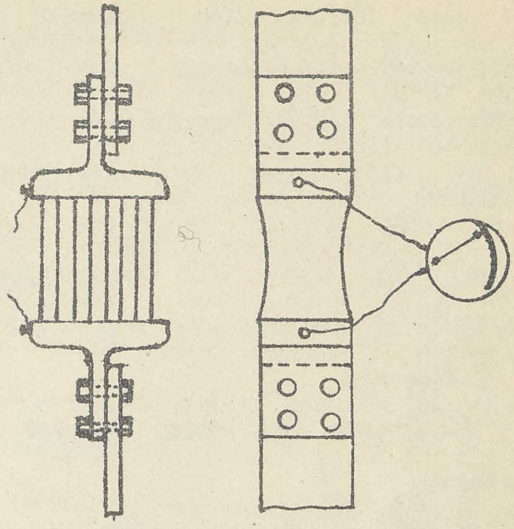


Fig. 189.

Om de elektriske Maalere skal jeg i Korthed bemærke, at de kan bygges som en Slags smaa Motorer, der driver et Tallerkverk, og som indsættes i Kredsløbet i Serie med Belastningen paa lignende Maade som Ampèremetrene.

Saafremt Magneten er en permanent Magnet, og Strømmen kun gaar gennem Ankeret, vil Maaleren vise Ampèretimer.

Saafremt Magneterne er Elektromagneter, der fødes med en Strøm, som er prop. med Netspændingen, og Ankeret stadig fører Belastningsstrømmen (eller en bestemt Brøkdel deraf) vil Maaleren vise Watttimer (eller K.W.T.).

Ved Vekselstrømsmaalere lader man oftest Strømmen frembringe Hvirvelstrømme i en drejelig Skive, som kan trække Tallerkverket.

Andre Maalere er saaledes indrettede, at de har to aldeles ens Urpendüler, hvoraf det ene paavirkes af elektromagnetiske Kraftlinier, der frembringes af en Spole, hvorigennem Belastningsstrømmen gaar. Jo kraftigere denne er, des mere vil det ene Pendül forsinkes i Forhold til det andet, og Gangdifferensen mellem Pendülerne vil da svare til Ampèretimerne. Paaprent Pendület ogsaa paavirkes af en Spændingsspole vil Maaleren vise Watttimer.

Pendülmaalerne kan brüges baade for Jævnstrøm og Vekselstrøm.

I atter andre Maalere er det den af en Elektrolyt üdfældede Metalmængde, der giver et Maal for Ampèretimemængden (Wrights elektrolytiske Kviksölvmaaler). Denne Maaler kan naturligvis kün brüges for Jævnstrøm.

De ved Jævnstrømsanlæg mest anvendte Maalere er Ampèretime-Motormaalere, idet man ikke ved disse har det permanente Energitab i Watttimemotormaalernes Spændingsspole paa Magneterne.

Ved Vekselstrømsanlæg anvendes mest Hvirvelstrømsmaalere.

Centralanlæg.

Drivkraftmaskinerne, ligegyldig af hvilken Type disse er byggede, maa med Hensyn paa det elektriske An-

lag opfylde visse Fordringer.

Maskinernes Uregelmassighedsgrad skal være saa lille som muligt, for at Dynamoerne kan gaa godt parallelt med hinanden. Den maa ikke gerne være større end 1/150 à 1/300. Den første Værdi gældende for Jævnstrømsdynamoer, den sidste for Vekselstrømsgeneratorer.

Maskinens Hastighedsstigning, naar den fulde Belastning pludselig afbrydes, maa ikke overstige højst 5%, da man ellers ved Belastningsvariationer under Driften vil faa for store Spændingsvariationer. (husk, at $E = k \cdot \Phi \cdot \underline{n}$).

Hastigheden skal af Hensyn til Parallelsætningen og Paralleldriften (navnlig i Vekselstrømsanlæg) kunne reguleres ± 5% fra det normale Omdrejningstal, saavel ved Tomgang som ved fuld Belastning.

Naar Maskinsættet skal afgive A Kilowatt og Dynamoens Virkningsgrad er η, da skal Dampmaskinen kunne præstere:

$$\frac{A}{0{,}736 \cdot \eta} \text{ eff. Hestekraft.}$$

Drivkraftmaskinens HK skal altsaa bestemmes ved Hjælp af Dynamoens K.W. og ikke af dens K.V.A.

Selve Dynamoen skal derimod (ved Vekselstrømsanlæg) bestemmes af dens K.V.A. Ved Jævnstrømsanlæg er K.V.A. = K.W.

Drivkraftmaskinens gode Reguleringsevne skal helst strække til op til 25 à 30% Overbelastning, idet Dynamoen skal kunne taale 15 à 25% Overbelastning i indtil 2 Timer alt efter Størrelsen.

Større <u>Dynamoer</u> skal helst være direkte koblede, hvor-

imod. mindre Dynamoer kan trokkes med Rem. Vekselstrømsgeneratorer bør saa vidt muligt altid være direkte koblede, navnlig hvor flere Generatorer skal arbejde i Saralleldrift; en eventuel Glidning af Remmen for en af Generatorerne vilde nemlig øjeblikkelig ødelægge Saralleldriften.

Det bør her erindres, at de langsomtgaaende direkte koblede Dynamoer og Generatorer er dyrere end de hurtiggaaende.

De Fordringer, der kan stilles til de forskellige Dynamotyper, er omtalt i det foregaaende og skal derfor ikke gentages her.

Akkumulatorbatteriet. [storage battery – Sammler].

Saralleli til Dynamoerne arbejder i Jævnstrømsanlæggene næsten altid et Akkumulatorbatteri. Batteriet er saa at sige altid af den sædvanlige Type med Blyplader, hvoraf hveranden er +, og hveranden er ÷. Der er altid en Minusplade mere end de positive. Pladerne er indrettede til at optage en Fyldmasse bestaaende af forskellige Blyilter. Vædsken er fortyndet Svovlsyre med Vægtfylden 1,14 i afladet Tilstand af Batteriet og 1,18 à 1,2, naar Batteriet er fuldt opladet.

Naar en Battericelle lige er opladet, har den en Spænding paa 2,7 Volt, og naar den ikke kan taale at ladet mere, er dens Spænding faldet til 1,8 Volt. I et 110 Volts Anlæg vil der af fuldt opladede Celler altsaa kun behøves $\frac{110}{2,7} = 41$ Stk. i Serie, men naar Cellerne er

omtrent afladede, behöves der $\frac{110}{1,8} = 61$ Stk. i Serie.

Da nu Centralens Spænding ofte holdes 8 à 10% höjere end i Födepunkterne, faar Stambatteriet $\frac{110 \cdot 1,08}{1,8} = 66$ Celler i Serie. Man maa altsaa efter Behov enkeltvis kunne ind- og udskyde $66 \div 41 = 25$ Celler. Hertil benyttes en saakaldet Celleskifter.

Da Strömmen ikke maa afbrydes i Celleskifteren, men da paa den anden Side en Celle heller ikke maa kortsluttes ved at en enkelt bred Glidebörste berörer 2 Kontakter paa samme Tid, saa deles den brede Börste i to smallere B og B_1 (Fig 190), som er indbyrdes forbundne med en Modstand R, der er dimensioneret til at taale den fulde Ström, og som er saa stor, at Cellen ikke kortsluttes. Hjælpeborste og Modstand er kun momentvis indskudte under Overgangen fra den ene Kontakt til den næste. Der er altsaa intet permanent Energitab i Modstanden.

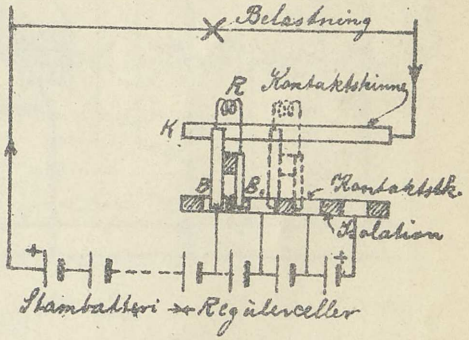


Fig. 190.

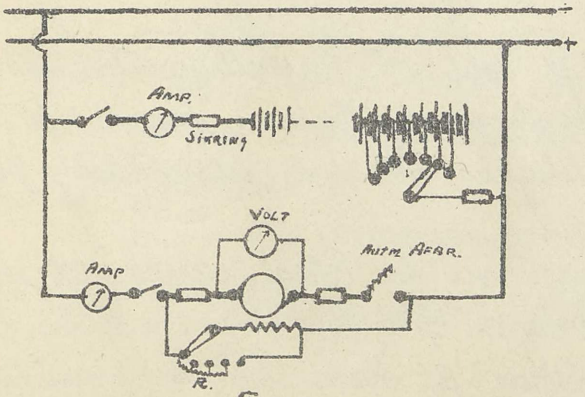


Fig. 191.

Med den paa Fig. 191 viste Ordning kan Batteriet ikke lades fra Samleskinnerne, idet Samleskinnespændingen af Hen-

syn til Lamper o.s.v. jo ikke kan forhøjes, - medmindre man da under Opladning kan koble hele Nettet fra (f. Eks paa Fabriker og lign. Steder). - Man har forskellige Anordninger til at undgaa en saadan Frakobling under Opladningen. En af disse bestaar i Anvendelsen af en saakaldet Dobbeltcelleskifter (Fig 192). Dynamoen forsynes med Omskifter, saa den dels kan arbejde paa Samleskinnerne, dels paa Ladesiden af Celleskifteren. Batteriet kan da stadigt (ogsaa under Opladningen) afgive Strøm til Nettet gennem Celleskifterens Afladeside.

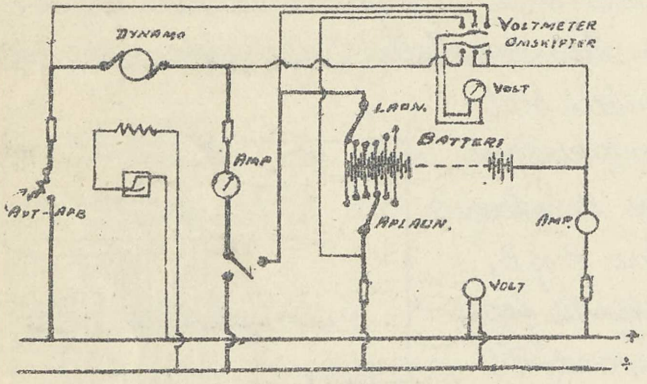


Fig. 192.

Naar Batteriet benyttes som Spændingsdeler i et Frelederanlæg, maa der anvendes Celleskifter baade i + og i ÷ Siden. (Se Fig. 193).

Der findes forøvrigt et Utal af forskellige Skemaer for Parallelarbejde mellem Maskiner og Batteri, hvorom de fleste Haandbøger i Almindelighed vil give tilstrækkelig fyldig Besked.

Batteriets Kapacitet angives for Eksempl. derved, at det kan afgive 100 Amp. i 3 Timer eller 300 Amp. i 1 Time. I begge Tilfælde siges Batteriet at have 300 Ampèretimers Kapacitet.

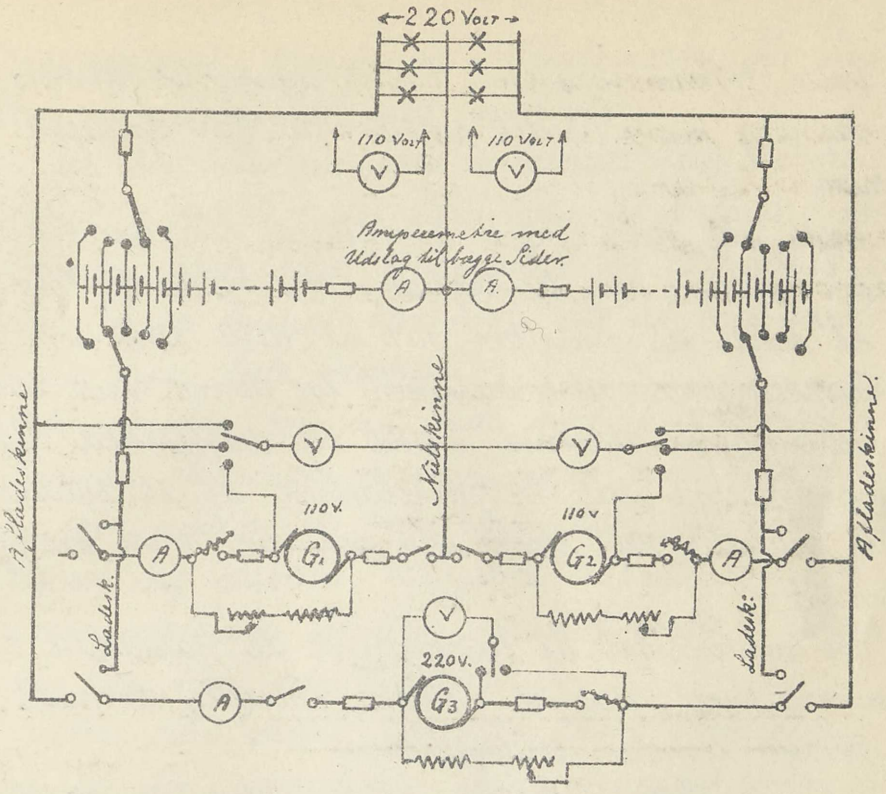


Fig. 193.

Men Batterierne bygges lidt forskelligt, eftersom de er beregnet til 1 eller 3 Timers Afladning, idet den 1 Times Afladning giver en betydelig Forcering af Materialet, der ikke kan udnyttes saa godt som ved den langsommere Afladning. Det 1 Times Batteri vil derfor altid blive noget dyrere end det 3 Timers Batteri med den samme Ladeevne i Amperetimer.

Et Batteris Nyttevirkning kan udtrykkes ved to forskellige Tal:

$$\text{Virkningsgraden} = \frac{\text{afgivne Amperetimer}}{\text{indladede Amperetimer}} = \text{ca. } 0{,}90.$$

$$\text{Virkningsgraden} = \frac{\text{afgivne KWT}}{\text{indladede KWT}} = 0{,}70 \text{ à } 0{,}75.$$

Det første Virkningsgradstal har Interesse for Driften (Batteriets Ladning o.s.v.), det sidste Tal har Interesse for Økonomien.

Meget ofte købes større Blybatterier paa den Maade, at Køberen forpligter sig til - foruden den kontante Købesum - aarlig at betale til Fabriken 10% af dette Beløb som en Slags Assurancepræmie, idet Fabriken for denne Pris paatager sig at vedligeholde Batteriet i god og driftssikker Stand. Omkostningerne ved Vedligeholdelsen af et saadant Batteri er saaledes ret store selv ved den mest omhyggelige Ladning.

En anden Art af Batterier er de saakaldte Edison-Akkumulatorer, der til enkelte specielle Formaal har visse Fordele fremfor Blybatterierne.

Edison-Cellerne bestaar af forniklede Jernplader, der bærer Gitre af ligeledes forniklet Jernblik fyldt med aktivt Materiale i Pulverform. Elektrolyten, som er Kalilud fortyndet med Vand, deltager tilsyneladende ikke i Processen.

Cellerne kan til stationært Brug ikke maale sig med Blyakkumulatorer, hvorimod de paa Steder, hvor de udsættes for meget stærke Stød og Rystelser, sikkert vil være mere holdbare end disse; saaledes som Tændebatteri paa Motorvogne og Cykler samt til Haandlygter.

Edison-Cellerne taaler i Modsætning til Blycellerne fuldstændig Afladning til yderste Grænse, Henstand i Maaneder uden Ladning og lignende Mishandling, som kan være Fordele under visse Driftsforhold.

Apparatanlaget [switchboard - Schaltanlage] bör udføres saa klart og overskueligt som muligt.

Der bør paa Tavlerne ikke anbringes flere Instrumenter end strengt nødvendigt for Tasningen af Anlaget. Skinner og Ledninger skal lægges omhyggeligt og ordentligt, saaledes at man let og hurtigt kan finde ud af hver eneste Ledningsføring paa hele Tavlen

Instrumenterne bør saa vidt muligt anbringes i Højde med Øjnene. Sikringer bør anbringes saa langt borte fra Øjnene som muligt og helst helt nede ved Gulvet eller paa Væggen bag Tavlen. Afbrydere, Haandhjul til Magnetregueleringsmodstande og lign. bør anbringes i bekvem Manøvrehøjde (ca. 1 m. over Gulvet).

I fugtige eller meget støvfyldte Rum anbringes i Tilslutning til den vandtætte Ledningsinstallation ofte vandtæt anordnede Instrumenter og Modstande for Motorer. Saadanne vandtætte (og ligeledes ogsaa eksplosionssikre) Apparatkasser findes i Handelen.

Hvor Olietransformatorer og Olieafbrydere opstilles, bør man sørge for saa stor Brandsikkerhed som muligt, da man har haft enkelte Eksempler paa, at Olien i saadanne Apparater er kommen i Brand.

Alle Højspændingsapparater bør holdes i et aflaaset Rum for sig selv, og de bør være saaledes konstruerede og anordnede, at under normale Forhold ingen Betjening af de spændingsførende Dele er nødvendig. Betjeningspersonalet bør altsaa til daglig ikke have noget at gøre i

Højspændingsrummene. Al Ström- og Spændingsmaaling sker derfor ved Hjælp af Transformatorer, hvis Lavspændingstraade føres ud til Maaleinstrumenter uden for Højspændingsrummene. Oliefrydere og lign. Apparater maa betjenes udefra ved Hjælp af mekaniske Vægtstangsforbindelser eller Kæder, eller ogsaa ved elektrisk Fjernstyring med Motorer eller Elektromagneter.

Det maa atter fremhæves, at der bør vises den yderste Forsigtighed overfor alle Højspændingsledninger, Apparater og Maskiner. Ingen Del af et Højspændingsanlæg maa nogensinde berøres, før det omhyggeligt er lagt til Jord, eller Faserne er kortsluttede og lagt til Jord.

Et tilsyneladende dødt Kabel kan indeholde en farlig statisk Ladning fra den Gang, det stod under Spænding.

En arbejdende stjerneforbundet Generators saakaldte Nulpunkt kan have en ret høj Spænding paa Grund af elektriske Usymmetrier eller ogsaa paa Grund af visse Oversvingninger i Kurveformen.

En endnu ikke magnetiseret roterende Generator kan paa Grund af Remanensen have en ret høj Spænding.

Først naar en Vekselstrømsmaskine staar stille, maa man kortslutte dens Klemmer og forbinde dem til Jord, hvorefter den tør berøres.

Ved parallelførte Ledninger kan der induceres Spænding fra den ene til den anden. o.s.v. o.s.v.

Mod alle saadanne Farer sikrer man sig kun ved

Kortslutning og Jordforbindelse for Berøringen.

Alt ikke spændingsførende Metal bør ved Højspændingsanlæg jordforbindes. Hertil regnes Maskinstel, Transformatorjern, Beskyttelsesgitre, Gulvbjælker i Højspændingsrum etc. Jordforbindelsen skal udføres med en mindst 10 mm² tyk Kobbertraad. Se iøvrigt desangaaende Reglativet og specielt §§ 62-63-64.

Ved Jærnstrømsanlæg er en saadan omhyggelig Jordforbindelse ikke paakrævet, ja undertiden isolerer man endog Jernstellet paa Jærnstrømstavler fra Jord, idet man derved sikrer Sig imod, at en Kortsning med en Skruenøgle eller et lignende Uheld, naar der arbejdes paa Anlaget under Spænding, skal foraarsage en Jordslutning.

De forskellige elektriske Maalemethoder og de særligt dertil benyttede Maaleapparater kan ikke finde Omtale inden for den givne Tid; men med de i disse Forelæsninger meddelte Oplysninger vil de, der faar Brug derfor, let kunne skaffe sig yderligere Belæring gennem Haandbøgerne.

Oversigt over de benyttede Bogstavbetegnelser.

a	Det halve Antal Strømforgreninger i Ankeret; Afstand.	av_ℓ	Antal av pr. cm. Vej i Luftmellemrum.
$A.$	Arbejdsmængde i K.W.T el. HKT.;		
	Arbejdsydelse i KW el. HK.	$b.$	Ankerbredde; Polbredde i cm.
$AV.$	Amperevindinger.	B	Induktion.
$av.$	do. pr. 1 cm. Kraftlinievej.	B_a	" i Anker
AV_a	Samlede Antal AV i Anker	B_{aa}	" " Aag
AV_{aa}	" " " " Aag.	B_m	" " Magnetjern.
AV_m	" " " " Magneter	B_ℓ	" " Luftmellemrum.
AV_ℓ	" " " " Luftmellemrum		
av_a	Antal av pr. cm. Vej i Anker		
av_{aa}	" " " " " Aag.	$C.$	Kapacitet i Farad.
av_m	" " " " " Magneter		

D	Ankerdiameter i cm; · Drejningsmoment i mkg.
D_o	Drejningsmoment ved Tomgang i mkg
e	Spændingens Momentanværdi i Volt.
E	Spændingens Effektivværdi
$E_{eff.}$	
E_{max}	" Maksimalværdi.
$E_{mid.}$	" Middelværdi.
EMK	Elektromotorisk Kraft.
E	En Maskines EMK.
E_o	" " " ved Tomgang.
E_s	Selvinduktionens EMK.
E_n	Netspænding = Yderspænding.
E_f	Fasespænding.
E_z'	En Transformators reducerede EMK paa Sekundersiden
H	Den magnetiske Feltstyrke.
H_l	" " " ved Endefladen af en Solenoide.
HK	Hestekraft
HKT	Hestekrafttime.
HL	Hefnerlys.
HL_o	Den sfæriske Middellysstyrke
HL_v	Den hemisfæriske Middellysstyrke.
i	Strømmens Momentanværdi i Amp.
J	" " Effektivværdi.
J_{eff}	
J_{max}	" Maksimalværdi.
J_{mid}	" Middelværdi.
J_o	En Transformators Tomgangsstrøm.
J_μ	" " Magnetiseringsstrøm (wattløs Strøm ved Tomgang).
J_h	En Transformators Wattstrøm ved Tomgang (Jerntabene).
i_a	En Maskines Ankerstrøm.
i_m	" " Magnetiseringsstrøm
J_w	Wattstrøm.
J_{wl}	Wattløs Strøm.
J, J_n	Netstrøm
J_f	Fasestrøm
J_z'	En Transformators reducerede Sekundærstrøm.
k_v	Viklingsfaktor for en Vekselstrøms- " maskine.
K	Antallet af Kollektorlameller; Trækkekraften i kg.

KW	Kilowatt.	ΔP	Spændingsfald.
KWT	Kilowatttimer	P_2'	En Transformators reducerede Spænding paa Sekundærsiden.
KVA	Kilovoltampère.		
l	Ankerets Jernlængde i cm.; Afstand.	q.	Traadtværsnit i m/m^2.
L	Selvinduktionskoefficienten i Henry; Ledningslængden frem og tilbage.	Q_a.	Tværsnit af Anker
		Q_{aa}	" " Aag
		Q_m	" " Magnet
		Q_l.	" " Luftmellemrum
m.	Antal Faser i et Flerfasesystem; Magnetisk Masse.	Q_2	Samlet Kobbertværsnit for simpel Jævnstrøm eller Enfasesystem.
		Q_3	Samlet Kobbertværsnit for Jævnstrøms Treledersystem.
n, N.	Antal Vindinger i en Spole.	Q_Δ	Samlet Kobbertværsnit for Trekant-forbindelse ved Trefasestrøm.
N.	Arbejdsmængde pr. Sekund i HK.	$Q_\curlywedge$	Samlet Kobbertværsnit for Stjerneforbindelse med Nulleder ved Trefasestrøm.
n	Antal Omdrejninger pr. Minut.		
n_1	Drejefeltets Omløbstal for en Induktionsmotors Stator.		
n_2	Omløbstallet for en Induktionsmotors Rotor.	R, r	Modstand i Ohm.
		r_a	Modstand af Ankerviklingen.
		r_m	-"- af Magnetviklingen.
p.	Antallet af Polpar.	R_x	Udligningsmodstand
P	Klemspænding; Netspænding i Volt; Trækkraften for en Elektromagnet i kg.	r	Igangsætningsmodstand
		R'	Den tilsyneladende Modstand.
		R_m	Magnetregulerings-modstand.

s	Strømtæthed = Amp/mm².
T, t	Tid i Sek.; Temperatur i °C.
T	Tiden for en hel Periode.
$\ddot{u}$	En Transformators Omsætningsforhold.
v	Hastighed i m/sec.
V	Antal Vindinger i Serie pr. Fase
Z	Samlede Antal Traade paa Ankeret.
z	Antal Traade i Serie paa Ankeret.
$\sim$	Periodetallet
$\sim_1$	Drejefeltets Periodetal i en Induktionsmotors Stator.
$\sim_2$	Periodetallet for Strømmen i en Induktionsmotors Rotor.
α	Fasevinklen; Temperaturkoefficienten.
δ	Luftmellemrummet ml. Anker og Polsko; Blikstykkelse.
ΔP	Spændingsfald.
ε	Dielektricitetskonstant.
η	Virkningsgrad
μ	Jernets Permeabilitet.
ϱ	Modstandskoefficienten.
ϱ_t	- do. - ved t °C
σ	Spredningskoefficienten; Slippet.
τ	Poldeling.
φ, Φ	Kraftlinieantal
φ	Faseforskydningsvinkel
ψ	Vinkelafvigelse mellem Magnetfelt og Drejefelt.
w	Vinkelhastighed = $2\pi\sim$.

Indholdsfortegnelse.

Side 1. Indledning.
" 5. Maalenhederne.
" 7. Elektromagnetismen.
" 12. Det magnetiske Kredsløb i en Maskine.
" 16. En Elektromagnets Bæreevne.
" 18 Vekselstrøm.
" 22. Maaling af Vekselstrøm.
" 26. Vekselstrømmens Periodetal.
" 27. Addition af Vekselstrømme.
" 29. Faseforskydning.
" 35. Wattmeteret.
" 36. Selvindüktionens elektromotoriske Kraft.
" 38. Kapacitet.
" 40. Kredsløb, indeholdende R, L og C i Serieforbindelse.
" 45. Den fuldstændige Ohms Lov.
" 46. Resonnans.
" 49. Kredsløb med R, L og C i Parallelforbindelse.
" 50. De fuldstændige Kirkhoffske Love.
" 51. Sammensatte Vekselstrømme (Trefasestrøm).
" 55. Vekselstrømsmagneters Bæreevne.
" 57. Foücaültstrømme (Hvirvelstrømme).
" 58. Ledningsmaterialierne.
" 58 - Modstandsforhold.
" 62. - Belastningsforhold.
" 66. - Forskellige Lederes Belastningsevne (samme Tværsnit).

Side 67. - Ækvivalente Tværsnit (samme Ström)
" 69. Isolationsmaterialierne.
" 69. - Almindelige isolerende Egenskaber.
" 75 - De vigtigste Isolationsstoffer
" 79. - Isolatorernes dielektriske Egenskaber.
" 81 - En Kondensators potentielle Energi.
" 82. Magnetiske Materialier (Jernet).
" 82 - Den potentielle magnetiske Energi.
" 85. - Jerntabene ved varierende Magnetisme.
" 88. Spændingsforhøjelse, naar Strømmen afbrydes i et Kredsløb.
" 90. Elektriske Maskiner.
" 93 Jævnstrømsmaskinens Ankerviklinger.
" 104. Jævnstrømsmotoren og dens Omdrejningsretning.
" 106. Ankerreaktionen.
" 113. Beregning af en Jævnstrømsmaskines Magnetisering og elektromotoriske Kraft.
" 119. Virkningsgraden.
" 122. En jævnstrømsmotors Drejningsmoment og Igangsætningsstrøm.
" 127. Seriemaskinen som Dynamo.
" 129. Seriemotoren.
" 131. Shuntdynamoen.
" 135. Shuntmotoren.
" 140. Kompoundsdynamoen.
" 142. Kompoundmotoren.
" 143. Vekselstrømsmaskiner og Transformatorer
" 144 - Transformatorer.

Side 161. En Vekselstrømsmaskines EMK.
" 163. En Vekselstrømsmaskines Beregning.
" 165 Den synkrone Enfasedynamo.
" 172 Den synkrone Enfasemotor.
" 174 Den synkrone Trefasegenerator.
" 179. Den synkrone Trefasemotor.
" 180. Den trefasede Indüktionsmotor.
" 190. Særlige Vekselstrømsmotorer.
" 191. Lidt om Tasning af elektriske Maskiner.
" 194. Fejl, der kan forekomme ünder Driften.
" 201. Økonomi ünder Driften.
" 202 Elektrisk Belysning.
" 204 Lamper med Glödetraad.
" 204 - Kültraadslamper.
" 208. - Metaltraadslamper.
" 212. - Nernstlamper.
" 213 Büelamper.
" 219. - Hovedstrømslamper
" 220 - Shüntlamper
" 222. - Differentiallamper.
" 223. - Lamper üden Urværk.
" 224. - Kviksölvlamper.
" 226. Elektriske Koge- og Varmeapparater.
" 227. Beregning af Ledninger.
" 228. - Simple Ledninger.
" 232. - Lükkede Systemer.
" 235. - Vekselstrømsledninger.

Side 237. - Flerledersystemer.
" 241. Elektriske Installationer.
" 246 Tavleinstrumenter og Maalere.
" 252. Centralanlæg.
" 252. - Drivkraftmaskinerne.
" 253. - Dynamoerne.
" 254. - Batteriet
" 259. - Tavleanlægget.

Fig. 3.

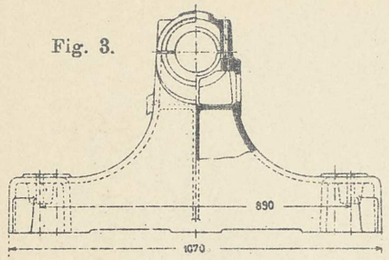


Fig. 4.

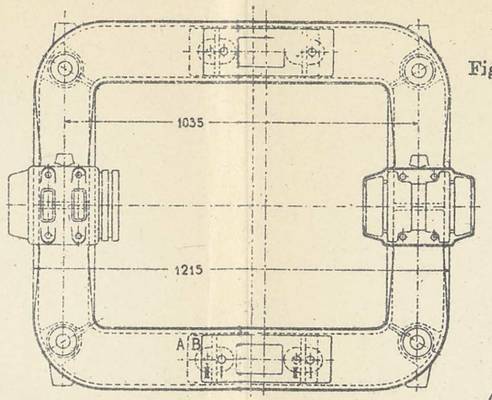
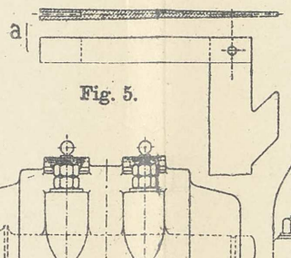


Fig. 5.



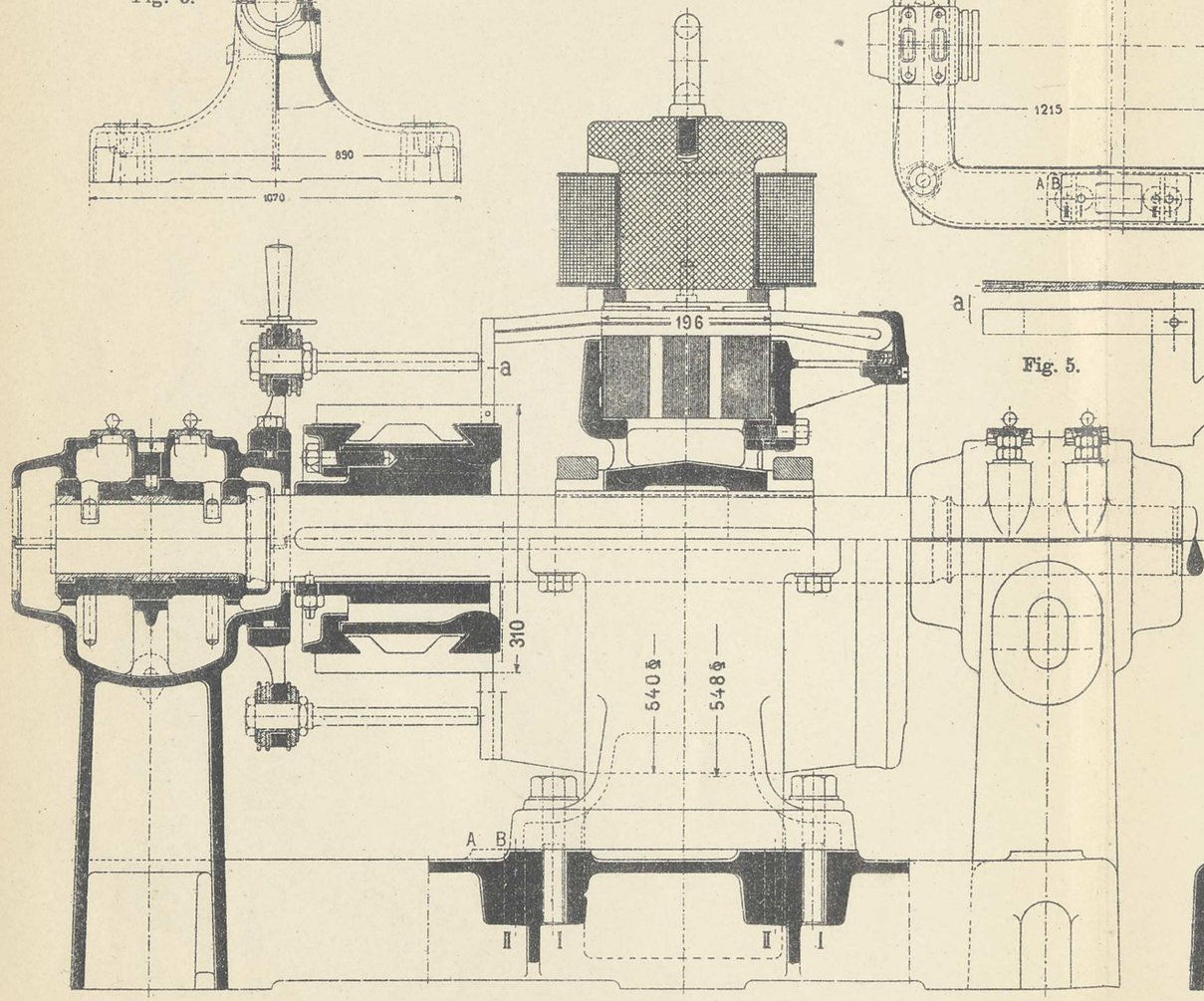


Fig. 1

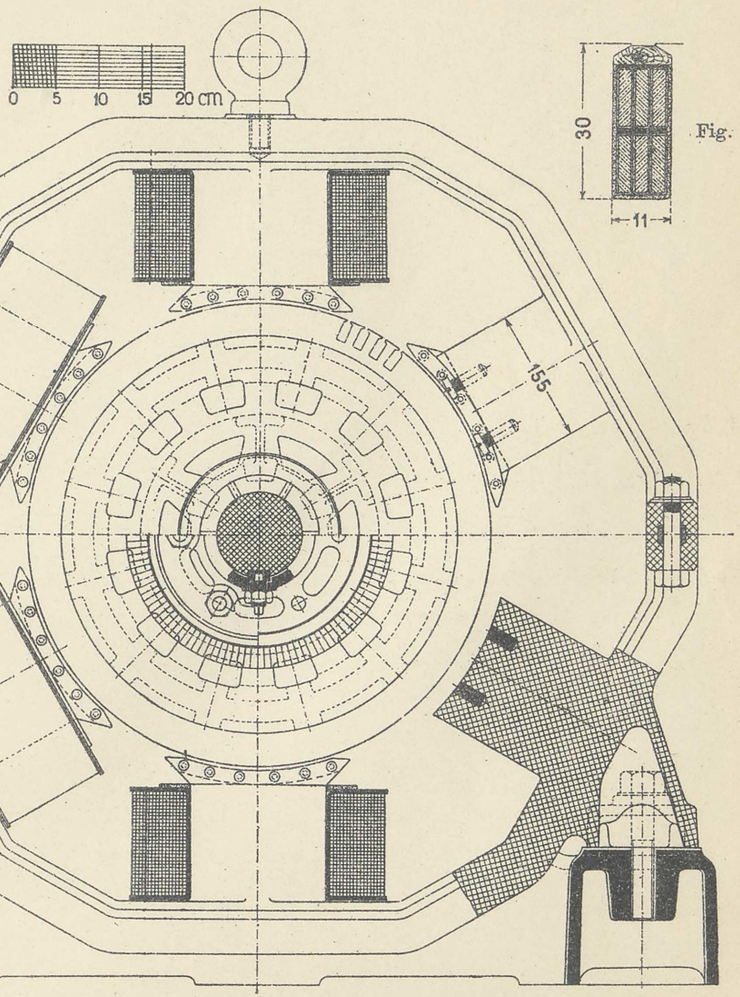


Fig. 2.

Fig. 6.

Vereinigte E.-A.-G., Wien.

55 KW. Shuntdynamo. 120 Volt, 460 Amp., 610 Omdrejninger. Fig. 1. Maskinen set fra Siden, delvis i Snit. Fig. 2. Maskinen set forfra, delvis i Snit. Fig. 3 og 4. Fundamentrammen. Fig. 5. Forbindelsesstykke mellem Vikling og Kommutator. Fig. 6. En Not indeholdende 6 Ledere og en Trækile.