

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*

EKSPERIMENTEL ELEKTROTEKNIK

AV

H. RIDDERVOLD

OVERLÆRER VED KRISTIANIA TEKNISKE MELLEMSKOLE



KRISTIANIA

FORLAGT AV H. ASCHEHOUG & CO. (W. NYGAARD)

1918

6213 (024)

470

Industribiblioteket

Grp: ~~114~~ Forfatter: H Riddervold

Titel: Eksperimentel Elektricitet

Bind: Udgave: Trykkaar: 1918

Industribiblioteket

6213(024)

P

EKSPERIMENTEL ELEKTROTEKNIK

AV

H. RIDDERVOLD

OVERLÆRER VED KRISTIANIA TEKNISKE MELLEMSKOLE



KRISTIANIA

FORLAGT AV H. ASCHEHOUG & CO. (W. NYGAARD)

1918

UNIVERSITETSBIBLIOTEK

DET MALLINGSKE BOGTRYKKERI

FORORD

I nærværende arbeide har jeg søkt at vise de almindelige elektrotekniske maalemetoder og deres utførelse. Det er herved blit nødvendig at medta adskillig teori, baade den teori som hører til de beskrevne maaleapparater, og den som grænser til de omraader forsøkene omhandler. Det har derimot ikke været mulig at medta den elektrotekniske teori i sin helhet, saa boken forutsetter kjendskap til den almindelige elektroteknik.

Mens arbeidet i første række er bestemt til skolebruk og for dem som befatter sig med elektrotekniske maalinger i et prøverum eller har anledning til at eksperimentere i et laboratorium, tænker jeg mig at det ogsaa kan tjene til veiledning for dem som ved selvstudium søker at sætte sig ind i maaleinstruments, dynamoers o. s. v. egenskaper og anvendelse.

Av forsøkene og deres beskrivelse vil man se at ikke alle gaar ut paa at belyse de maalinger og maalemetoder som anvendes i praksis. Endel forsøk skal ogsaa tjene til at belyse den teoretiske elektroteknik, f. eks. de indledende vekselstrømsmaalinger.

Det er ikke hensigten at beskrive specielle maaleapparater. For oplysninger om disse henvises til specialliteraturen.

Kristiania i august 1918.

Forfatteren.

INDHOLD

A. Strøm- og spændingsmaalinger.		Side
1.	Galvanometret	3
2.	Ampere- og voltmetre	6
3.	Instrumenttyper	9
4.	De forskjellige instrumenttypers anvendelse	13
	Forsøk nr. 1. Bestemmelse av et galvanometers konstant	15
	— 2. Justering av amperemetre	17
	— 3. Justering av voltmetre	18
	— 4. Justering av et ballistisk galvanometer med en kondensator	18
5.	Princippet for spændingsmaaling ved kompensasjon	19
	Forsøk nr. 5. Sammenligning av elektromotoriske kræfter ved inddelt maaletraad og konstant hjelpespænding	20
B. Motstandsmaalinger.		
6.	Indledning	21
7.	Motstandsmaaling ved Wheatstones bro	21
8.	Motstandsmaaling ved spændingstap og strøm	22
9.	Motstandsmaaling ved voltmeter	23
10.	Maaling av meget smaa motstander. Thomsons dobbeltbro	26
11.	Motstandsmaaling ved Wheatstones bro med vekselstrøm	27
	Forsøk nr. 6. Motstandsmaaling ved Wheatstones bro	28
	— 7. Motstandsmaaling ved spændingstap og strøm	29
	— 8. Maaling av store motstander ved voltmeter	30
	— 9. Motstandsmaaling ved Thomsons dobbeltbro	30
	— 10. Maaling av en spoles temperatur ved motstandsøkning	30
12.	Motstandsmaalingers nøiagtighet	31
C. Maaling av elektrisk effekt og arbeide.		
13.	Wattmetret	32
	Forsøk nr. 11. Justering av wattmetre av dynamometertypen	34
14.	Watt-timemaaleren for likestrøm	35
15.	Watt-timemaaleren for enfaset vekselstrøm	37
	Forsøk nr. 12. Justering av en elektricitetsmaaler for likestrøm	39
	— 13. Justering av en elektricitetsmaaler for vekselstrøm	40
16.	Vippemaaleren	40
	Forsøk nr. 14. Indregulering av en vippemaaler	41
	— 15. Virkningsgraden av en elektrisk kokeplate	41

VI

D. Undersøkelse av dynamoer for likestrøm.		Side
17.	Indledning. Om kurvearbeider	42
18.	Likestrømsdynamoers karakteristiske kurver	43
	Forsøk nr. 16. Tomgangskarakteristikken for en likestrømsdynamo	50
	— 17. Belastningskarakteristikken for en shunt-dynamo	50
	— 18. Den ytre og indre karakteristikk for en seriedynamo	51
	— 19. Den ytre og indre karakteristikk for en shunt-dynamo	51
	— 20. Den ytre og indre karakteristikk for en kom-pounddynamo	52
	— 21. En shuntgenerators reguleringskurve	53
19.	Likestrømsdynamoen som motor	53
20.	Bestemmelse av en likestrømsmotors virkningsgrad ved bremseforsøk	55
	Forsøk nr. 22. Bremsforsøk paa en seriemotor	56
	— 23. Bremsforsøk paa en shuntmotor	57
	— 24. En shuntmotors hastighet ved forskjellige magnetiseringer	57
	— 25. Compoundmotorens hastighet	57
21.	Virkningsgradbestemmelser ved indirekte metoder!	58
22.	De enkelte effekttap i likestrømsdynamoer	59
23.	Bestemmelse av effekttapene ved tomgangsforsøk og motstandsmaaling	62
24.	Beregning av virkningsgraden naar effekttapene kjendes	63
	Forsøk nr. 26. Bestemmelse av en generators virkningsgrad ved tomgangsforsøk	67
	— 27. Bestemmelse av en shuntmotors virkningsgrad ved tomgangsforsøk	67
25.	Bestemmelse av effekttap ved hjelpemotor	67
26.	Virkningsgradbestemmelse ved differentialgang	69
	Forsøk nr. 28. Bestemmelse av shunt-dynamoers virkningsgrad ved differentialgang	70
27.	Belastningsprøver	71
	Forsøk nr. 29. Belastningsprøve paa en generator eller motor	72
 E. Undersøkelse av akkumulatorbatterier. 		
28.	Maaling av blyakkumulatorbatteriers kapasitet og virkningsgrad	73
	Forsøk nr. 30. Kapasitetsprøve paa et akkumulatorbatteri	74
 F. Indledende vekselstrømsmaalinger. 		
29.	Bestemmelse av ohmske og induktive motstander ved spændingstap og strøm	74
30.	Konstruksjon av spændingstriangler ved tre voltmeteravlesninger	77
31.	Paralelkoblede impedanser. Geometrisk sammensætning av strømmer	78
	Forsøk nr. 31. Bestemmelse av impedanser, ohmske og induktive motstander ved spændingstap og strøm	80
	— 32. Konstruksjon av spændingstriangler	81
	— 33. Maalinger ved paralelkoblede impedanser	81
	— 34. En reaktansspoles strømforbruk	82
32.	Effektmaaling i trefaset	82

33. Maaling av elektrisk arbeide i trefasenet 87
 Forsøk nr. 35. Effektmaaling og opstilling av strøm- og spændingsdiagrammer for trefasenet 87

G. Undersøkelse av synkrone dynamoer.

34. Synkronmaskinenes karakteristiske kurver 88
 Forsøk nr. 36. Tomgangs- og kortslutningskarakteristik for en vekselstrømsmaskin 90
 — 37. Den ytre karakteristikk for en vekselstrømsmaskin 91
 — 38. Belastningskarakteristikken for en vekselstrømsmaskin 92
 — 39. En vekselstrømsmaskins reguleringskurve. 92
 35. Paralleldrif av vekselstrømsgeneratorer 93
 Forsøk nr. 40. Øvelser i parallelkobling av vekselstrømsgeneratorer 95
 36. Maaling av effekttap i dynamoer ved hjelpemotor 95
 Forsøk nr. 41. Effekttap og virkningsgrad av en vekselstrømsdynamo bestemt ved hjelpemotor 98
 37. Synkronmotorens strømforbruk ved konstant polspænding og varierende magnetstrøm 99
 38. Igangsætning og drift av synkronmotorer 99
 Forsøk nr. 42. Synkronmotorens „V-kurver“ 100

H. Transformatormaalinger.

39. Indledning 101
 40. Virkningsgradbestemmelse ved belastning 101
 41. Virkningsgradbestemmelse ved tomgangs- og kortslutningsprøver 102
 42. Andre undersøkelser 106
 43. Maaletransformatorer 107
 Forsøk nr. 43. En transformators virkningsgrad maalt ved belastning 108
 — 44. En transformators virkningsgrad bestemt ved tomgangs- og kortslutningsforsøk 109

I. Prøvning av induktionsmotorer.

44. Indledning 110
 45. Bremsforsøket. Stroboskopisk slipmaaling 110
 46. Virkningsgradbestemmelse ved tomgangsforsøk, motstandsmaaling og slipmaaling 111
 47. Virkningsgrad og slip bestemt ved asynkronmotorens diagram 113
 Forsøk nr. 45. Bremsforsøk paa en asynkronmotor 118
 — 46. Asynkronmotorens strømndiagram bestemt ved tomgang og fastbremsset rotor 118
 — 47. Asynkronmotorens virkningsgrad bestemt ved indirekte metode 118
 — 48. Drift av asynkronmotorer ved unormale spændinger 119

Indledning.

Den eksperimentelle elektroteknik gaar ut paa at bestemme egenskaper hos apparater anvendt i elektroteknikken og at belyse de forskjellige fænomener i elektricitetslæren og den teoretiske elektroteknik. Skal et forsøk sættes i verk, bør det ledsages av et indgaaende studium av det omraade det strækker sig over, forsøkets hensigt, den tilhørende teori, hvilke resultater man kan vente. De koblinger som skal utføres, maa paa forhaand være skissert. Er forsøket vel planlagt, vil det som oftest forløpe rigtig og sikkert og kunne gjøres paa kort tid. Et daarlig planlagt forsøk vil ofte gi ubrukbare resultater. Efterat forsøket er utført, bør man straks prøve de fundne resultater, og det før den opstillede kobling er tat fra hverandre; er resultatene urimelige, kan man i mange tilfælder straks finde feilen og saaledes nyttiggjøre sig det som er maalt. Er koblingen tat fra hverandre, vil maaleverdier som gir urimelige resultater, maatte tages om igjen.

Elektrotekniske maalinger vil som regel kræve avlæsninger paa forskjellige maaleapparater, f. eks. volt- og amperemetre etc. Ethvert maaleapparat og enhver maaling er beheftet med feil. Den som utfører maalingene, maa ha oversigt over de feilkilder som kan optræde, hvor store de feil er han faar ved sine maalinger, og med hvilken nøiagtighet han kan garantere de resultater han finder.

Likesaavel som maaleinstrumentene gir anledning til feil under eksperimentelle arbeider, maa man ogsaa regne med at gale resultater kan komme ind ved feil fra eksperimentatorens side. Under-

tiden er avlæsningene gale, eller beregningene ikke rigtige. Ved systematiske vel overveiede arbeidsmetoder hænder dette ikke ofte.

Er man stillet overfor en opgave av eksperimentel natur, maa man gjøre alt hvad man kan for at naa sit maal. Skal man f. eks. maale motstanden i en ledningstraad, vil man ikke kunne garantere et resultat fundet av en eneste maaling, ti man risikerer at der er kommet ind feil av en eller anden art under maalingen. Man maa da søke resultatet ved flere maalinger, helst ved forskjellige metoder. De fundne værdier vil som regel være forskjellige; men den indbyrdes forskjell i værdiene — maalt procentvis — gir et vink om hvor nøiagtig man har fundet resultatet. Stemmer de fundne værdier f. eks. overens inden 1%, er det et tegn paa at middeltallet av alle værdier gir det virkelige resultat med en feil som ligger under 1% av den søkte motstands størrelse. Som regel forlanger man at et resultat fundet ved maaling skal være fremkommet ved mindst tre bestemmelser av den størrelse man har at maale.

Naar man vet at ethvert maaleresultat er mer eller mindre feilagtig, ligger det nær at angi nøiagtighetsgraden naar resultatet foreligger. Nøiagtighetsgraden angives altid i procent av den søkte størrelse, og den bør angives umiddelbart efter resultatet. Naar man angir resultatet av en maaling, skal man ikke i dette ta med flere gjældende sifre end man har oversigt over. Har man f. eks. ved at ta middeltallet av en del maalinger fundet værdien av en motstand at være 27,432 ohm, maa ikke alle disse sifre angives i resultatet, om man mener at værdien er riktig inden grænsene $\pm 0,5\%$. I dette tilfælde er 27,4 ohm vort resultat. At stille op 27,432 ohm er at faa læseren til at tro at man kan ha oversigt over alle disse sifre.

Man vil undertiden støte paa det tilfælde at av en række værdier for en størrelse som skal maales, stemmer alle paa én nær godt overens, mens denne ene værdi avviker betydelig fra de øvrige. I saa fald bør den ene avvikende værdi ikke medregnes naar man søker gjennemsnittet av de fundne værdier. Man betrakter den altsaa som gal; en feilavlæsning kan f. eks. være grunden. Paa samme maate om de maalte værdier skal fremstilles som kurve. Har man opstillet punktene paa kurvepapir, vil man undertiden finde at alle punkter passer indi kurven undtagen ett. Kurven trækkes da efter beliggenheten av de øvrige punkter,

mens man ikke tar hensyn til det ene punkt, som forutsættes feilagtig.

Ved alle eksperimentelle arbeider er det av stor vigtighet at der utarbeides en rapport om arbeidet, saa man ved senere anledninger — gjerne lang tid efter at arbeidet er utført — kan sætte sig ind i dette og se hvad man har gjort. Av vigtighet er det saaledes at kunne faa nøiagtig besked om den anvendte fremgangsmaate, f. eks. de koblinger man har opstillet under det eksperimentelle arbeide, de apparater man har anvendt etc. En rapport bør saaledes bl. a. indeholde følgende:

- a) Arbeidets formaal og teori; i korthet hvad arbeidet gaar ut paa og det teoretiske grundlag for dette.
- b) Arbeidets utførelse, bl. a. koblingsskisser som viser de forbindelser som har været utført. Paa koblingsskissene bør der angives hvilke apparater og maaleinstrumenter man har anvendt. Apparater uten bestemt inndeling (regulermotstander o. l.) behøver ikke at angives med nummer.
- c) Maaleresultater og deres beregning. Alle avlæste værdier med utregning skal opstilles mest mulig i tabelform. Skal der opstilles kurver, bør der brukes millimeterpapir og betegnelser og maalestok skrives paa begge akser.

A. Strøm- og spændingsmaalinger.

1. Galvanometret.

Et galvanometer er et apparat som anvendes til at maale meget svake elektriske strømmer. Er apparatet uten bestemt inndeling, kan det brukes til at vise hvorvidt der er strøm i en ledning eller ei, og kaldes da galvanoskop. Vi skal se at ogsaa galvanoskoper kan brukes ved flere maalinger.

Et galvanometer har en bevægelig og en stillestaaende del. De ældste og enkleste galvanometre har et svingende magnetsystem omgitt av en fast spole, se fig. 1. Magnet-systemet bestaar av et saakaldt astatisk naalepar; magneten *NS* er forbundet med magneten *ns*, og *NS* har noget sterkere poler end *ns*; magnetsystemet vil saaledes indstille

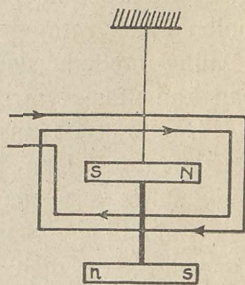


Fig. 1. Galvanoskop.

sig i jordmagnetismens plan. Strømmen i spolen vil paavirke NS sterkt, men ns svakt (høirehaandsregelen), og vil drive nordpolen ind mot papirets plan naar strømretningen er som paa figuren. Da jordmagnetismens indvirkning paa naaleparret blir mindre jo mindre forskjel der er paa de magnetiske momenter hos NS og ns , kan man faa et betydelig utslag paa naalen selv ved svake strømmer.

Galvanometret med svingende magnetsystem har flere mangler. Det maa indstilles i jordmagnetismens meridian, dets utslag avhænger av magnetfeltets styrke og retning og forstyrres saaledes sterkt av fremmede magnetfelter. Galvanometrets inndeling er

ikke proportional, og til mange formaal er det ikke følsomt nok.

Et følsomt og godt galvanometer har man i det saakaldte vridspoleinstrument (Deprez-D'Arsonvals system), se fig. 2.

Mellem polene av en hesteskoformet staalmagnet NS er der anbragt en cylindrisk kjerne av bløtt jern, se fig. I luftmelletrummet mellom disse er der ophængt en aluminiumsramme, hvorpaa der er viklet en spole med mange tynde vindinger saaledes at den kan svinge frit. Ved hjælp av spiralfjærer paa over- og undersiden kan man sende

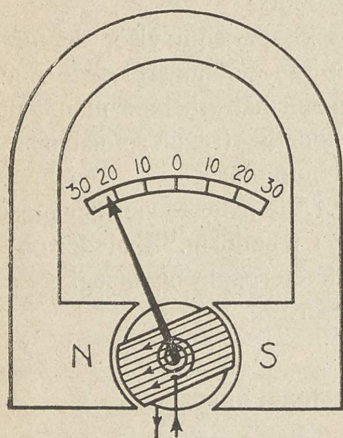


Fig. 2. Galvanometer efter D'Arsonvals konstruktion.

den strøm som skal maales, gjennom spolen. Er der ingen strøm i spolen, vil spiralfjærene stille viseren paa nulpunktet, som paa fig. er tænkt midt paa skalaen. Sendes en svak strøm gjennom spolen i den retning som er antydnet paa fig., faar man en kraftvirkning mellom staalmagneten og spolen, spolen vil vri sig, og man kan maale størrelsen av utslaget paa skalaen.

Denne type instrumenter er vore mest fuldkomne maaleinstrumenter. Den bevægelige del gjøres saa let som mulig og magnetfeltet saa sterkt som mulig, saa man faar en nøiagtig og rask indstilling. Staalmagneten maa bibeholde sin magnetisme uforandret, da man i motsat fald ikke faar den rigtige kraftvirkning og dermed ikke det rigtige utslag paa galvanometret.

Hvis galvanometret gjør et utslag α streker paa skalaen, vil man i mange tilfælder spørre efter den virkelige strøm gjennom galvanometret. Den strømstyrke som gir et utslag av en strek paa galvanometret eller strømstyrken pr. skalastrek, kaldes galvanometerkonstanten. Er denne k , findes strømstyrken gjennom galvanometret:

$$J = k \cdot \alpha.$$

Et følsomt galvanometer vil ha en konstant paa omkring 10^{-10} amp. pr. strek.

Galvanometret anvendes naar man vil maale meget svake strømmer eller undersøke om der er strøm i en ledning eller ei. Vi skal senere se at det ogsaa er den viktigste del av instrumenter til maaling av strøm og spænding.

For at opnaa en saa stor nøiagtighet som mulig kan der anlægges et speil s paa galvanometrets svingende del, se fig. 3. I en avstand a cm. fra speilet er der opstillet en kikkert k og en skala S med centimeterinddeling. Gjør galvanometret et utslag β grader (se fig.), vil man i kikkerten faa se en skalastrek i en avstand fra midtpunktet av l cm. bestemt ved ligningen

$$\operatorname{tg} \cdot 2\beta = \frac{l}{a}$$

Vinkelen er i almindelighet saa liten at man kan sætte tangens lik buen. Galvanometrets konstant angives for en skalaavstand av $a = 100$ cm.; er konstanten git for en anden avstand mellem skalaen og speilet, kan man ved omregning finde den for $a = 100$ cm.

Man staar undertiden overfor den opgave at maale elektricitetsmængder som utlader sig paa kort tid; hertil benyttes et ballistisk galvanometer. Dette er indrettet som et andet galvanometer, men der er den forskjjel, at det ballistiske galvanometer har stort træghetsmoment. Hvis f. eks. en kondensator hvis kapacitet er 1 mikrofarad, lades til en spænding av 10 volt, faar man

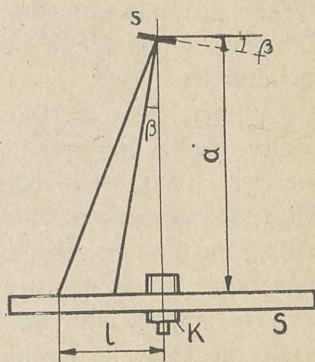


Fig. 3. Speilavlæsning.

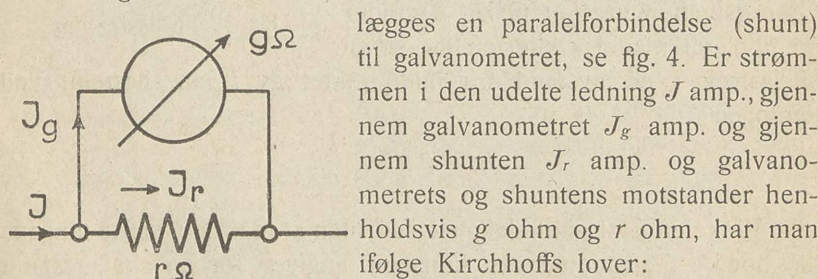
10 mikroculomb opsamlet paa kondensatoren. Lar man denne elektricitetsmængde utlade sig gennem et ballistisk galvanometer, vil den utlade sig i meget kort tid; galvanometret vil begynde at svinge ut, indtil naalen vender tilbage igjen. Man læser av det største utslag galvanometernaalen gjør. Er dette f. eks. 25 skalastreker, blir galvanometrets ballistiske konstant $k = \frac{1}{25} = 0,4$ mikroculomb pr. skaladel. Ballistiske galvanometre bygges enten med bevægelig magnetsystem eller med bevægelig spole.

2. Ampere- og voltmetre.

Man vil ofte staa overfor nødvendigheten av at maale strømstyrken gjennom en ledning eller spændingsforskjellen mellem to ledninger. I det første tilfælde anvendes et amperemeter, i andet et voltmeter.

Vi maa først merke os om den strøm (spænding) som skal maales, stadig er rettet til samme side eller om dens retning stadig veksler. I det første tilfælde har man at gjøre med likestrøm, i sidste med vekselstrøm. Har man vekselstrøm, vil strømmen veksle retning mange ganger i hvert sekund, og man maa benytte særegne typer av maaleinstrumenter.

Vi har set at man ved hjelp av et galvanometer kun kan maale meget svake strømmer. For at maale sterke strømmer an-



lægges en paralelforbindelse (shunt) til galvanometret, se fig. 4. Er strømmen i den udelte ledning J amp., gjennom galvanometret J_g amp. og gjennom shuntens motstander henholdsvis g ohm og r ohm, har man ifølge Kirchhoffs lover:

Fig. 4. Galvanometer med shunt. $J = J_g + J_r$ $J_g \cdot g = J_r \cdot r$.

Av disse ligninger kan man beregne hvor stor motstand shuntens maa ha, naar man med et visst galvanometer vil maale strømmer op til J amp. Av særlig interesse vil det være at kunne maale en strøm i den udelte strømkreds, som er 10, 100, 1000 o. s. v. ganger saa stor som den galvanometret kan maale. Man maa isaaftald parallelkoble henholdsvis $\frac{1}{9} g$, $\frac{1}{99} g$, $\frac{1}{999} g$ o. s. v. I disse tilfælder behøver man nemlig bare at gradere instrumentets

skala f. eks. i milliampere. Ved maalinger med shunter multipliserer man de avlæste værdier med den rigtige dekadiske enhet.

Et voltmeter forbindes mellem begge poler av det batteri, den dynamo o. s. v. hvis spænding skal maales. Strømmen gennem voltmetret er tapt for andre formaal og maa være liten; voltmetrets motstand altsaa stor.

Vi gjør et galvanometer brukbart til spændingsmaaling ved at anlægge motstand av manganin paa serie med instrumentet, se fig. 5. Har galvanometret, der som oftest vil være gradert som voltmeter for lave spændinger og derfor kaldes millivoltmeter, en motstand g ohm, og kan man med instrumentet alene maale spændinger op til e volt, vil det kunne brukes til at maale høiere spændinger, op til E volt, naar der anlægges en motstand R ohm paa serie med apparatet, se fig. 5. Til beregning av R har man:

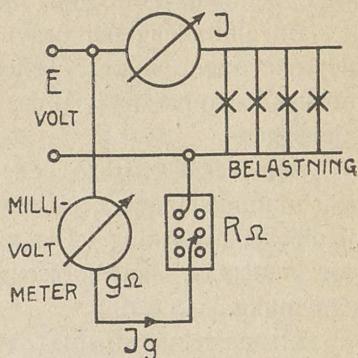


Fig. 5. Millivoltmeter med seriemotstand.

$$J_g = \frac{E}{g + R} \quad E = J_g \cdot g = \frac{E \cdot g}{g + R}$$

Skal man saaledes utvide instrumentets maaleomraade fra e til E volt, maa motstanden i instrumentets strømkreds økes fra g til $(g + R)$ ohm. Ofte vil man til ett og samme instrument kunne koble forskjellige seriemotstander, saa man kan utvide instrumentets maaleomraade til det 10-, 100-, 1000-dobbelte o. s. v.

Eksempel. Et firmas millivoltmetre bygget efter vridspoletypen har en motstand 4,5 ohm, og ved fuldt utslag er spændingsforskjellen 45 millivolt mellem dens klemmer (strømforbruket er ved dette utslag 0,01 amp.). Anvendt som amperemeter kan forskjellige maaleomraader opnaaes ved anlæg av passende paralelmotstander, f. eks. de som er angit i tabellen:

Maaleomraade i amp.	0,01	0,1	1	10	100
Shuntens motstand i ohm	∞	0,5	0,04545	0,0045045	0,000450

Skal apparatet benyttes som voltmeter for de maaleomraader som er angit i tabellen nedenfor, anlægges seriemotstander av følgende størrelse:

Maaleomraade i volt	0,045	1,5	15	150	300
Seriemotstandens størrelse i ohm	0	145,5	1495,5	14995,5	29995,5

Ofte vil seriemotstanden arrangeres saaledes at der anordnes forskjellige uttak, se fig. 5. Værdien av motstanden mellem uttakene blir differensen mellem maaleomraadets seriemotstand og det næst lavere maaleomraades seriemotstand; for vort tilfælde 145,5 henholdsvis 1350, 13500 og 15000 ohm.

En almindelig feil begyndere vil gjøre er at koble ind et millivoltmeter som ampere- eller voltmeter uten shunt eller seriemotstand. Apparatet vil, naar strømmen sættes paa, overlastes og ødelægges.

Som regel vil man ved volt- og amperemetre finde at serie- og shuntmotstanden er indebygget i instrumentet, som da graderes til direkte avlæsning. Det vil indsees at mens voltmetret skal ha stor motstand, skal motstanden av amperemetret være saa liten som mulig.

Et maaleinstruments skala maa være inddelt saa at den er saa enkel og grei som mulig, saa feilavlæsninger undgaes. Instrumenter bestemt til bruk ved maalinger vil ofte ha en skala inddeling som ikke tillater direkte avlæsning av det antal volt eller ampere man vil finde. Skalaen er inddelt i et antal, f. eks. 100 eller 125 o. s. v., skalastreker. For at finde det antal volt eller ampere man skal maale, avlæses antal skalastreker og noteres. Senere omregnes dette til volt eller ampere ved at multiplisere med instrumentets konstant som er værdien av en skalastrek (ampere pr. skalastrek, volt pr. skalastrek o. s. v.). Eksempelvis kan nævnes at Weston Electric Instrument Co. fabrikerer præcisionsvoltmetre for 250 volt likestrøm, som har en skala inddelt i 125 streker. Instrumentets konstant er i dette tilfælde 2.

Skal man foreta maalinger med instrumenter med konstant forskjellig fra 1, føres det avlæste antal skaladelar op i en særskilt rubrik med tilføielse av instrumentets konstant. Først i næste rubrik skrives værdien beregnet som utslag ganger konstant. Hvis man under selve maalingene for at spare den første rubrik foretar multiplikationen i hodet og nedskriver strøm- eller spændingsværdien etc. direkte, faar man i mange tilfælder feilagtige værdier paa grund av den knappe tid som staar til disposition naar man skal ta en række avlæsninger. Der maa derfor advares mot denne fremgangsmaate.

Har apparatet korreksjon, opføres en egen rubrik herfor. Avlæsninger paa den underste del av instrumentets skala er beheftet

med store feil (maalt i procent av den avlæste værdi). Man bør saaledes altid sørge for at avlæsningene foretages med ikke for litet utslag.

Tekniske instrumenter, f. eks. til bruk ved koblingsbret etc., søker man altid at gradere direkte, selv om man derved kan risikere feiltagelser ved avlæsningen.

De fordringer man stiller til et godt maaleinstrument, er en sikker og hurtig indstilling. For at faa en sikker indstilling bør trøghetsmomentet av den svingende del være litet og den indstillende kraft være stor. Instrumentets svingetid bør saaledes være kort. For at faa en rask indstilling maa instrumentet være dæmpet, d. v. s. ikke svinge frem og tilbake om sin likevegtsstilling, men viseren skal straks stille sig ind. Man maa saaledes sørge for at den levende kraft hos viseren i indstillingsøyeblikket blir ødelagt. Man forbinder derfor ofte et vindfang eller et litet stempel til viseren. Dette bevæger sig i en næsten lufttæt cylinder. Denne slags dæmpning kaldes luftdæmpning. En anden slags dæmpning er hvirvelstrømdæmpningen. Ved denne sætter man paa samme akse som den bevægelige del en skive av aluminium, som svinger mellom polene av en staalmagnet. Ved svingningene induceres strømmer i skiven som motsætter sig bevægelsen. Er et instrument saa godt dæmpet at viseren stiller sig ind uten at svinge over sin likevegtsstilling, kaldes det aperiodisk (fuldstændig dæmpet).

3. Instrument-typer.

a) Vridspoleinstrumenter med staalmagnet er vore bedste instrumenter, men er bare brukbare for likestrøm. Deres indretning er den samme som det ovenfor beskrevne galvanometers. Man behøver ved disse ikke særskilt dæmpningsanordning, da den aluminiumsramme hvorpaa spolen er viklet, svinger med spolen i det sterke magnetiske felt og overskjærer kraftlinjer. Paa denne maate fremkalder spolens bevegelser hvirvelstrømmer i rammen, som gjør instrumentet aperiodisk. Skal ballistiske galvanometre bygges efter dette system, vikles spolen op paa en ramme av ben eller anden isolator, da disse instrumenter bør være udæmpede.

b) Elektromagnetiske instrumenter beror paa kraftvirkningen mellom et stykke jernblik og en magnetiserende spole. De første instrumenter av dette system var indrettet saaledes at den strøm

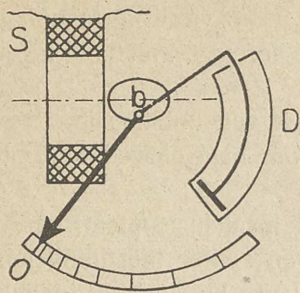


Fig. 6. Elektromagnetisk maaleapparat efter Siemens og Halskes konstruktion.

som skal maales, sendes gennem en spole hvori der er ophængt en jerntraad som blir trukket mer eller mindre ned i spolen efter strømstyrken i spolen. Til jerntraaden er fæstet en viser og en motvegt. Disse instrumenter fabrikeres endnu, men senere er man begyndt at erstatte motvegten med spiralfjærer.

Siemens og Halskes konstruktion sees av fig. 6. Den strøm som skal maales, gaar gennem spolen *S*, hvorved blikket *b* tiltrækkes mer eller mindre, saa viseren gjør et utslag som svarer til strømstyrken. Der er anordnet en luftdæmpning *D*. Viseren drives tilbage til nulstillingen ved spiralfjærer. Som ved alle elektromagnetiske instrumenter er de brukbare baade for likestrøm og velselstrøm. I mange tilfælder maa man dog ha særskilt skalainndeling for de to strømarter.

En anden konstruktion, utført av Hartmann og Braun, Weston m. fl. sees av fig. 7. Den strøm som skal maales, sendes gennem en spole. Indi denne er der anbragt et rør *r* av umagnetisk metal, hvorpaa der er loddet jernstykket *s*. Den bevægelige del bestaar av det krumme jernblik *b* hvortil viseren og luftdæmperen (ikke vist paa fig.) er fæstet. Sendes der strøm gennem spolen, faar *S* og *b* samme slags magnetisme, de frastøter hverandre, og viseren gjør et utslag.

Elektromagnetiske maaleinstrumenter er billige, men egner sig ikke til præcisionsmaalinger, da de ikke er nøiagtige nok. Vi har set at instrumentene ofte gives to inndelinger paa skalaen, én for likestrøm og én for vekselstrøm. Men ogsaa med likestrøm alene vil man for en og samme strømstyrke gjennom spolen faa forskjellige utslag eftersom strømmen straks i forveien har været lavere eller høiere end i avlæsningsøieblikket. Jernblikket som skal magnetiseres, er nemlig utsat for hysteresevirkning. Ved de

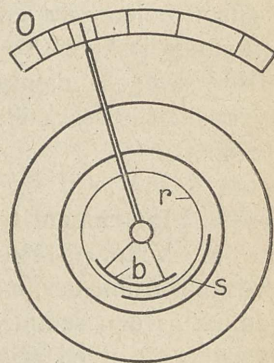


Fig. 7. Elektromagnetisk maaleapparat efter Hartmann og Braun, Weston m. fl.s konstruktion.

bedste fabrikater vil forskjellen ikke være over 1% av skalaværdien ved fuldt utslag; men ved mindre gode, ældre fabrikater kan forskjellen bli stor. Jernblikket bør være saa tyndt og let som mulig, da blir hysteresevirkningen mindre.

c) Elektrodynamiske instrumenter (dynamometre) har én eller to spoler S (fig. 8) hvorigjennem den strøm som skal maales, gaar. Herved opstaar et magnetisk felt proportionalt strømmen gjennom S . Indi S er ophængt den bevægelige spole s forbundet til en viser. Denne er parallelkoblet S og en liten seriemotstand. Sendes strøm gjennom S , faaes et moment mellem de to spoler som motvirkes av to spiralfjærer som tillike tjener som strømtilførsel. Disse instrumenter er kostbare, men gir nøiagtige resultater og er de viktigste præcisionsapparater for vekselstrøm. Skal instrumentet utføres som amperemeter for smaa strømstyrker eller som voltmeter, kobles spolene S og s paa serie.

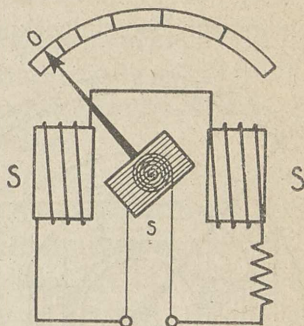


Fig. 8. Elektrodynamisk amperemeter.

d) Hetetraadsinstrumenter har ingen magnetfelter som de andre typer maaleinstrumenter. Den strøm som skal maales (eller en del av den), sendes gjennom en utspændt traad AB (se fig. 9) av en legering av ædle metaller (sølv, platina eller iridium). Herved oppvarmes traaden og blir længere. For at overføre denne forlængelse paa en viser er traaden CD anbragt saa den stadig holder AB spændt. Sender man strøm gjennom AB , vil punktet C synke litt, paa samme maate vil punktet E bevæge sig mot venstre og bevirke at viseren gjør et utslag. Traadene holdes stadig spændt ved en spiralfjær. Da hetetraadsinstrumentet beror paa den elektriske strøms varmekvirkning, er det brukbart for likestrøm og vekselstrøm av hvilkensomhelst frekvens. Det kan justeres med likestrøm og derpaa brukes til

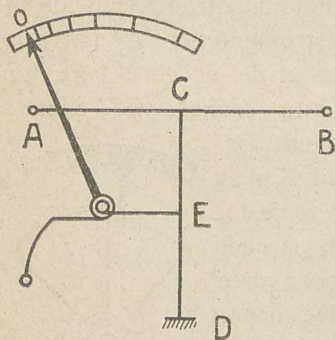


Fig. 9. Hetetraads amperemeter eller voltmeter.

er det brukbart for likestrøm og vekselstrøm av hvilkensomhelst frekvens. Det kan justeres med likestrøm og derpaa brukes til

at justere vekselstrømsinstrumenter. Hetetraadsinstrumenter er ikke billige, men er nøiagtige; de forsynes ofte med sikring, da hetetraaden ved overlastninger har let for at brænde av. Instrumentene benyttes uten shunt som amperemetre for smaa strømstyrker; ved større strømstyrker anlægges shunt.

e) Ferraris instrumenter (induktionstypen) beror paa et roterende magnetfelts indvirkning paa en aluminiumstrømmel. Fig. 10 viser Siemens og Halskes konstruktion.

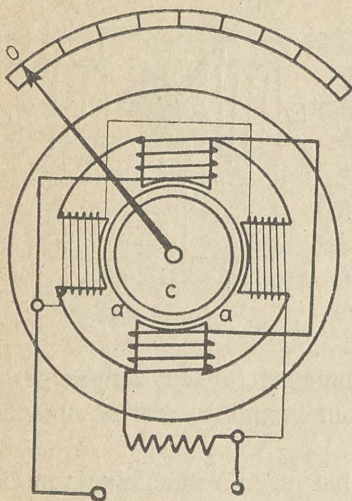


Fig. 10. Ferraris amperemeter.

Indi et firepolet magnetsystem er der anbragt en cylinder *c* av bløtt jern. I mellemrummet er der anbragt en aluminiumstrømmel *a*. Av de fire magnetkerner er de to magnetisert av én strømkreds, de to andre (motstaaende) av en anden med den første parallelkoblet strømkreds. Strømstyrken i begge er proportional den strøm som skal maales. Den ene har stor selvinduktion, den anden ikke, saa man faar en faseforskjel i de to strømkredser paa 90° . Vi faar saaledes et tofasat roterende magnetfelt, som forsøker at vri aluminiumstrømmelen desto

sterkere jo større strømmen gjennom instrumentet er. Av Ferraris instrumenters virkemaate vil man forstaa at de er ubrukbare for likestrøm. For vekselstrøm kan de kun brukes ved eller i nærheten av den frekvens de er bestemt for.

f) Elektrostatiske voltmetre brukes til at maale høie spændinger. Det bestaar av to faste, tynde plater *f* paa hver side, anbragt paralelt nær hverandre, mellem hvilke en bevægelig plate *b* paa hver side kan svinge (fig. 11). De to poler mellem hvilke spændingen skal maales, tilknyttes *f* og *b*, som saaledes faar motsatte ladninger og tiltrækker hverandre, og spændingsforskjellen mellem *f* og *b* vil angives av viseren. Hvis voltmetret tilknyttes en likespænding, bruker det ingen strøm, og det blir saaledes at anvende,

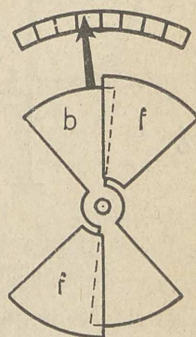


Fig. 11. Elektrostatisk voltmeter.

naar man skal maale potentialforskjellen mellem to punkter, naar man ikke har adgang til at ta ut den strøm som et andet voltmeter kræver. Anvendt paa en vekselspænding faar man gennem voltmetret en liten kondensatorstrøm. Det elektrostatiske voltmeter har fundet anvendelse ved maaling av elektriske anlægs isolationsmotstand mot jorden.

4. De forskjellige instrumenttypers anvendelse.

Efterat vi har lært de vigtigste maaleinstrumenters konstruktion at kjende, vil vi anstille en liten sammenligning mellem de forskjellige typers egenskaper og anvendelighet.

Spørsmålet om hvilke typer maaleinstrumenter skal anvendes for et bestemt anlæg, avhænger først og fremst av strømmarten. Ved likestrømsanlæg kan alle slags maaleinstrumenter anvendes undtagen Ferraris type, ved vekselstrømsanlæg alle undtagen vridspoleinstrumenter med staalmagnet. Vi ser herved bort fra de elektrostatiske voltmetre, som kun blir anvendt i spesielle tilfælder.

I likestrømsanlæg vil man som oftest anvende vridspoleinstrumenter med staalmagnet. Vistnok er disse adskillig dyrere end elektromagnetiske instrumenter, men til gjengjæld er de meget nøiagtigere. I adskillige tilfælder vil man dog ved arbeider med likestrøm finde anvendt elektromagnetiske instrumenter paa grund av deres prisbillighet. Derimot vil man ikke anvende elektrodynamiske eller hetetraadsinstrumenter, da disse er dyrere og mindre nøiagtige end vridspoleinstrumenter. De kan selvfølgelig anvendes.

I de fleste anlæg for vekselstrøm vil man finde anvendt elektromagnetiske maaleinstrumenter. Disse er ikke præcisionsinstrumenter. Men instrumenter levert fra gode fabrikker kan dog gi noksaa nøiagtige værdier. Derimot kan man ikke stole paa hvilket som helst fabrikat. Skal man ha vekselstrømsinstrumenter til præcisionsmaalinger, bør dynamometret anvendes, og ved siden av dette de nyere hetetraadsinstrumenter. De sidste kan benyttes ved hvilken som helst frekvens og paavirkes ikke av fremmede magnetfelter, f. eks. av nærliggende ledninger som fører sterk strøm. Paa den anden side ansees dynamometre som nøiagtigere. Ferraris instrumenter paavirkes litet av fremmede magnetelter og forandrer sin angivelse litet i tidens løp, men kan kun

benyttes for den frekvens de er bestemt for. Man kan i almindelighet si at elektrodynamiske instrumenter er dyrere end andre typer maaleinstrumenter.

Den nøiagtighet hvormed et maaleinstrument indstiller sig, avhænger av den bevægelige dels indstillingskraft og vegt. Med hensyn til indstillingskraften er vridspoleinstrumentet med staalmagnet overlegent over alle andre typer, da den spole hvorigjennem strømmen som skal maales sendes, befinner sig i et sterkt magnetfelt. Momentet paa en enkelt traad er nemlig proportionalt strømstyrken og magnetfeltets kraftlinjetal. Meget ugunstigere er i denne retning dynamometret, som har et svakt magnetfelt, hvori der ikke findes jern. Dynamometrets angivelse vil paavirkes sterkt av fremmede magnetfelter, hvad man let kan vise ved at nærme en staalmagnet til et instrument hvorigjennem man sender strøm. Elektromagnetiske instrumenter har et svakt magnetfelt, hvori et jernblik befinner sig. Disse instrumenter vil ogsaa ha forholdsvis liten indstillingskraft og tilsvarende liten nøiagtighet. Det eneste vekselstrøminstrument som har et sterkt magnetfelt, er Ferrariinstrumentet.

Skal et maaleinstrument gi utslag for vekselstrøm, maa kraftvirkningen paa den bevægelige del være proportional med kvadratet paa strømstyrken gjennom instrumentet i hvert enkelt tidsøieblik, altsaa med kvadratet paa vekselstrømmens momentanværdier. Er kraftvirkningen paa den bevægelige del proportional første potens av strømmen i hvert enkelt øieblik, vil instrumentet ikke gi utslag for vekselstrøm, ti kraftvirkningen vil stadig veksle retning. Av et instruments skala kan man se hvorvidt det er brukbart for likestrøm alene eller ikke. I første fald vil skalaen ha jevn inndeling helt ned til nulpunktet, i sidste tilfælde vil inndelingen ha mer eller mindre kvadratisk utseende.

Alle maaleinstrumenter med undtagelse av de elektrostatiske voltmetre vil, naar de er indkoblet, forbruke mer eller mindre effekt. Vi saa at voltmetre for almindelige spændinger ikke er andet end et voltmeter for lav spænding med tilkoblet seriemotstand. Vi ser saaledes at et voltmeter vil bruke mer effekt, jo høiere spænding det er bestemt for. Effektforkonsumet av voltmetre av forskjellige typer og fabrikat er meget forskjellig. I almindelighet kan vi si at vridspoleinstrumentene bruker mindst effekt. Hos mange voltmetre for ca. 300 volt vil man finde et effekt-

forbruk av kun 1—2 watt. Andre typer bruker mere. Saaledes kan man hos voltmetre for ca. 300 volt finde effektforbruk av over 10 watt. Ved maaling av smaa effektbeløp maa man ta hensyn hertil.

Amperemetre bruker meget mindre effekt end voltmetre, da amperemetrene som regel er voltmetre for lav spænding med tilkoblet paralelmotstand. Ved de aller fleste maalinger vil derfor amperemetrenes effektforbruk kunne sættes ut av betragning.

Forsøk nr. 1. Bestemmelse av et galvanometers konstant.

Forsøket gaar ut paa at bestemme et galvanometers konstant ved hjelp av et element hvis elektromotoriske kraft kjendes, samt to reostater. Som strømkilde kan, naar man ikke fordrer særlig stor nøiagtighet, et Daniells element anvendes, hvis elektromotoriske kraft kan sættes lik 1,14 volt. Har man et meget følsomt galvanometer at justere, kan et normalelement anvendes, men da maa motstanden i den ytre strømkreds være mindst 100000 ohm. Strømmen sendes fra elementet (se fig. 12) gjennom kommutatoren K , saa man kan faa utslag paa galvanometret til begge sider. Herved elimineres nulpunktsfeil hos galvanometret. R og r er propreostater. Ved indkobling bør R være saa stor og r saa liten som mulig. Man maa ved maalingerne passe paa ikke at benytte for smaa værdier av disse, da man i saa fald faar større feil ind i resultatene.

Under forsøket vælger man saadanne værdier av R og r at utslagene paa galvanometret ikke faaes paa den undre fjerdedel av skalaen. Man bør ta 4—5 forskjellige R og r , idet begge varieres hver gang, og med utslag paa begge sider av nulpunktet ved hver indstilling. Som ved enhver maaling bør alle avlæste og beregnede værdier oppstilles i en tabel, som skal være avfattet saaledes at den kan oppstilles og beregnes uten at man benytter andre hjelpemidler end regnestav. Mellemløpninger maa saaledes føres ind i tabellen.

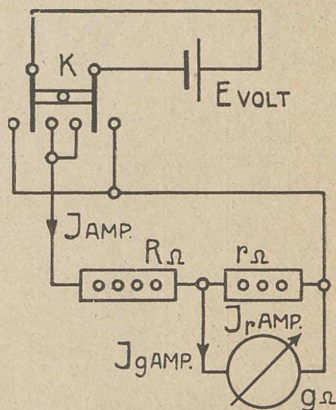


Fig. 12. Kobling for bestemmelse av et galvanometers konstant.

Vi vil nu for at kunne stille op en hensigtsmæssig tabel for forsøket udvikle dets teori. Strømstyrken i den udelte strømkreds er (se fig. 12)

$$J = \frac{E}{R + \frac{r \cdot g}{r + g}}$$

Strømstyrken gennem galvanometret J_g findes av ligningene

$$g \cdot J_g = r \cdot J_r; \quad J_g + J_r = J.$$

Herav findes

$$J_g = \frac{J \cdot r}{r + g}$$

Konstanten beregnes som forholdet mellem strømstyrken gennem galvanometret og utslaget α . Til dens beregning kan man benytte følgende tabel, hvor α_h betegner utslag til højre, α_v utslag til venstre:

Git : $g = \dots \dots \dots$ ohm $E = \dots \dots \dots$ volt.

R	r	α_h	α_v	α	$r + g$	$\frac{r \cdot g}{r + g}$	$R + \frac{r \cdot g}{r + g}$	J	J_g	$K = \frac{J_g}{\alpha}$

Gjennemføres disse maalinger og beregninger for f. eks. 5 forskellige sæt motstander, erholdes fem forskellige værdier av konstanten. Stemmer disse godt overens (inden maalefeilene), tages middeltallet av dem; viser derimot en av dem en betydelig afvikelse, kontrolleres først beregningene, og findes der ikke feil i disse, maa denne ene værdi sættes ut av betragtning ved bestemmelse av middeltallet.

Den nøiagtighet man opnaar ved dette forsøk, kan kun anslagsvis bestemmes. Nøiagtigheten avhænger av de anvendte reostatets nøiagtighet og av hvor nøie man (procentvis) kan avlæse galvanometrets indstilling. Er galvanometret av mindre god kon-

struktion kan det ogsaa ha friktion eller andre feil, som kan paa-
virke dets utslag. De fundne enkelte værdier gir ogsaa et vink
om hvor nøiagtig middelværdien er fundet, uten at man kan op-
stille nogen almenyldig regel for dette, saa man maa nøie sig med
et skjønsmæssig overslag.

Forsøk nr. 2. Justering av amperemetre.

Man skal bestemme korreksjonen for amperemetre av for-
skjellige typer for 6 à 8 forskjellige utslag ved hvert instrument.
Ved et instruments korreksjon forstaaes det antal ampere (skala-
streker) som man maa lægge til instrumentets angivelse for at faa
den virkelige værdi av strømstyrken. Korreksjonen blir snart
positiv og snart negativ, og den gir et maal for instrumentets nøi-
agtighet. Instrumentets nøiagtighet regnes som regel at være den
største korreksjons talværdi uttrykt i procent av instrumentets
største utslag. Er saaledes korreksjonen for et 25 amp. ampere-
meter størst naar instrumentet viser 15 amp., og er den ved dette
utslag 0,5 amp., blir instrumentets feil 2% av instrumentets største
angivelse.

Ved justering av likestrømsapparater bør man som normal-
instrument benytte et præcisions-millivoltmeter med shunt, fig. 13.

De amperemetre som skal justeres, kobles paa serie med dette. Ved
hjælp av lampereostaten vælges pas-
sende strømstyrker. Skal veksel-
strømsinstrumenter justeres, bør man
som normalinstrument benytte et ap-
parat av dynamometertypen eller et
hetetraadsinstrument, som kort tid i
forveien er justert ved likestrøm.

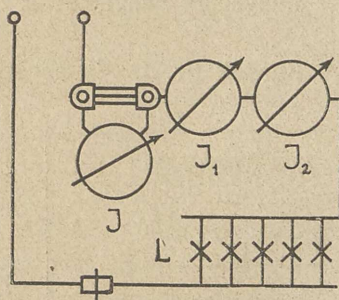


Fig. 13. Justering av amperemetre.

Av maalingene bør korreksjo-
nen for forskjellige strømstyrker be-
stemmes. For maaleresultatene bør der oppstilles en tabel som
angit nedenfor, hvor der er antat at det anvendte præcisions-
amperemeter har en konstant forskjellig fra enheten, mens man
ved de tekniske amperemetre som skal justeres, har direkte av-
læsning.

Præcisions- amperemeter nr. K =	Virkelige amp. J	Teknisk amperemeter nr. K = 1	Korrektion i amp.	Teknisk amperemeter nr. K = 1	Korrektion i amp.

Før undersøkelsen av amperemetrene bør man ha oversigt over hvilken type av maaleinstrumenter man har for sig, og hvilke egenskaper vedkommende typer har. Ved siden av den egentlige justering bør især følgende spørsmåal vies opmerksomhet:

- Hvor store er maaleinstrumentenes største feil maalt i procent av deres maaleomraade?
- Er de justerte instrumenter aperiodiske eller har de mindre god eller slet ingen dæmpning?
- Har fremmede magnetfelter indflydelse paa instrumentenes angivelse?
- Viser instrumentene forskjellige værdier, om strømmen kort før avlæsningsøieblikket har været større eller mindre? (Blir angivelsen paavirket av hysteres?)

Forsøk nr. 3. Justering av voltmetre.

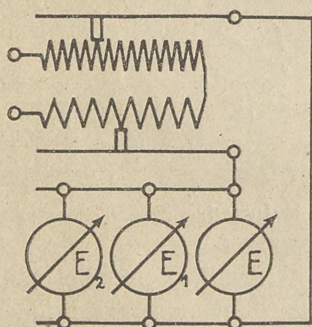


Fig. 14. Justering av voltmetre.

For at justere voltmetre bør man benytte sig av en „Russtraht“-motstand med fire klemmer, hvorved man kan faa de spændinger man ønsker. Alle voltmetrene parallekoples. Forøvrig henvises til forsøk 2 og fig. 14.

Forsøk nr. 4. Justering av et ballistisk galvanometer med en kondensator.

I almindelighet vil et ballistisk galvanometer ikke være forsynt med inddeling som viser hvor mange coulomb man har for et givet utslag. Justeringen vil saaledes gaa ut paa at finde instrumentets ballistiske konstant.

Et galvanometers ballistiske konstant avhænger av motstanden i den strømkreds hvori det er indskutt. Er motstanden liten, er f. eks. galvanometret lagt i shunt til en spole med liten motstand, vil galvanometret bli sterkt dæmpet, og utslaget blir for en viss utladning gjennom instrumentet ikke saa stort som det vilde været, om den samme elektricitetsmengde var sendt gjennom, naar motstanden i kredsen var uendelig stor. I første tilfælde vil vi nemlig under den første svingning faa inducirt elektromotoriske kræfter, og disse foraarsaker strømmer i viklingen som formindsker utslaget. Et galvanometers ballistiske konstant maa saaledes brukes med forsigtighet.

Fig. 15 viser koblingen for forsøket. E er en bekjendt elektromotorisk kraft, f. eks. ett eller to tør-elementer, hvis spænding kjendes. C er en præcisionskondensator, som bør kunne varieres noget, og $B.G.$ det ballistiske galvanometer. Kobles paa 1, lades kondensatoren. Kobles paa 2, er strømkilden frakoblet og kondensatoren utlades. Man tar om mulig flere maalinger med forskjellige spændinger og størrelser av kondensatoren.

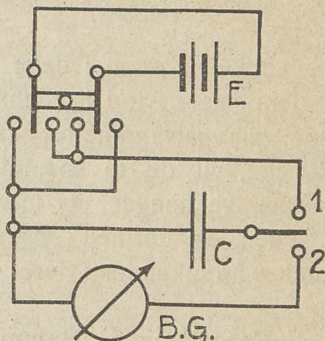


Fig. 15. Justering av et ballistisk galvanometer.

Av interesse vil det være at undersøke om en motstand indskutt i det ballistiske galvanometers strømkreds har nogen indflydelse paa utslagets størrelse. Man vil finde at først en meget stor motstand vil bevirke nogen mindskning i utslaget. Hele den elektricitetsmengde som er opsamlet paa kondensatoren maa nemlig i ethvert fald utlades, og en indskutt motstand kan alene forsinke utladningen. En meget stor seriemotstand forsinke utladningen i den grad, at den ikke er helt tilendebragt før naalen begynder at svinge tilbake; det største utslag blir herved formindsket.

5. Princippet for spændingsmaaling ved komensation.

Et akkumulatorbatteri sender en konstant strøm gjennom den regulerbare motstand R og gjennom den inndelte maaletraad AB , som vi tænker os inddelt i 100 cm., se fig. 16. Der er paa traaden anlagt en flytbar kontakt C . Indkobles tre forskjellige elek-

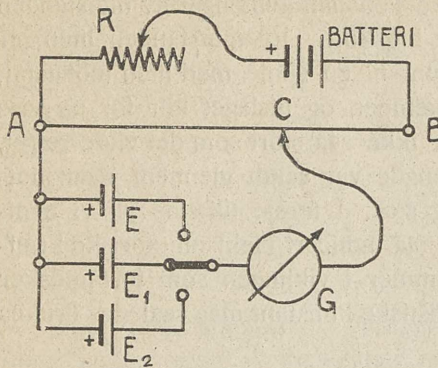


Fig. 16. Princippet for sammenligning av spændinger ved kompensering.

tromotoriske kræfter som vist paa fig. og i serie med disse et galvanometer G , kan vi paa en enkel maate sammenligne de tre spændinger.

La os tænke os E kjendt. Forbindes E med galvanometret og C , vil galvanometret vise strøm i ledningen hvis spændingen hos E er forskjellig fra spændingstapet mellem A og C . Er disse to spændinger derimot like, vil galvanometret ikke gi utslag. La

os tænke os at vi i dette tilfælde læser av længden $AC = 60$ cm. Nu kobles E_1 ind istedenfor E . Vi finder da et nyt sted for C , som gir galvanometret uten strøm. Er den nye længde $AC = 40$ cm., vil de to spændinger forholde sig til hverandre som de respektive længder av maaletraaden man har grepet ut, da strømstyrken og dermed spændingsfaldet pr. cm. paa maaletraaden under forsøket har været konstant.

Forsøk nr. 5. Sammenligning av elektromotoriske kræfter ved inddelt maaletraad og konstant hjælpespænding.

Opgaven gaar ut paa at finde den elektromotoriske kraft av elementer tilkoblet en maaletraad som vist ovenfor. Som normalelement kan et Daniells element benyttes, hvis spænding kjendes. Med dette sammenlignes andre elementer, Leclanchés, Bunsens o. s. v. Man bør faa mindst tre av hverandre uavhengige bestemmelser av de ukjendte spændinger ved at variere strømstyrken i hjelpebatteriets strømkreds.

Den ved forsøket opnaadde nøiagtighet vil være meget stor, naar man har et følsomt galvanometer. Er galvanometret litet følsomt, vil stedet for den flytbare kontakt ved C (fig. 16) ikke bli bestemt med stor nøiagtighet, da der kræves en viss spændingsforskjel mellem galvanometrets klemmer for overhodet at kunne faa et utslag. Galvanometrets følsomhet prøves bedst paa den maate, at man efter indstilling paa strømløst galvanometer forandrer indstillingen paa den bevægelige kontakt saa meget, at

man faar et litet utslag paa galvanometret. Denne forandring maalt i procent av den avlæste længde gir et maal for den opnaadte nøiagtighet. Gir f. eks. $AC = 60$ cm. (fig. 16) strømløst galvanometer og $AC_1 = 61$ cm. et netop merkbart uslag paa galvanometret, vil nøiagtigheten ved indstillingen og dermed ved resultatet være én sekstiendedel eller 1,67 %.

B. Motstandsmaalinger.

6. Indledning.

De motstander som i praksis skal maales, er undertiden meget lave, undertiden meget store. Skal man f. eks. maale motstanden av en traad til en luftledning for en sporveislinje, og man faar tilstillet 2 meter av ledningen med et tversnit 50 kvadratmillimeter, vil motstanden av det tilstillede stykke være ca. 0,0007 ohm. Motstanden i ankeret av en mindre likestrømsmotor kan være tusen ganger større. Et anlægs isolationsmotstand mot jorden kan være nogen millioner ohm. Da motstander kan ha saa yderst forskjellige værdier, vil man forstaa at man maa benytte maalemetoder avpasset efter motstandens størrelse. De hensyn som bestemmer maalemetoden, er saaledes først og fremst motstandsværdien. Dernæst den nøiagtighet som fordres, om motstanden taaler sterk strøm eller ikke, om der optræder polarisationsspændinger, naar man sender likestrøm gjennom motstanden o. s. v. Motstandsmaalinger beror som regel paa undersøkelse av det spændingstap som foraarsakes ved at en strøm gaar gjennom motstanden. Blandt de talrike maalemetoder skal vi nævne de følgende:

7. Motstandsmaaling ved Wheatstones bro.

Vi tænker os fire motstander (se fig. 17) hvorav de tre a , b og c er kjendt, mens x er ukjendt, og kobler dem sammen som fig. viser med et galvanometer G og et element E . Strømmen kan brytes og sluttes ved nøkkelen N . Sluttes strømmen ved N , vil vi i almindelighet faa et utslag paa galvanometret; men er a , b og c regulerbare, kan vi regulere disse saa-

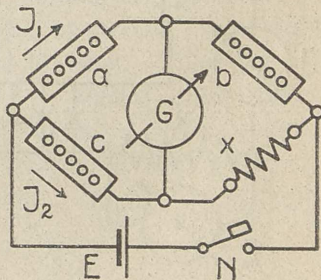


Fig. 17. Wheatstones bro.

ledes, at galvanometret ikke gjør utslag. I saa fald er spændingstapet paa a lik spændingstapet paa c , og strømstyrkene gjennom a og b like store, og likesaa gjennom c og x . Man har da, se fig.

$$a \cdot J_1 = c \cdot J_2 \text{ og } b \cdot J_1 = x \cdot J_2.$$

Divideres de to ligninger med hverandre, faaes

$$a : c = b : x$$

hvorav x findes:

$$x = \frac{b}{a} \cdot c$$

Denne for praksis overmaade vigtige maalemetode brukes for middelsstore motstander, fra omkring 1 ohm til nogen tusen ohm. Metoden gir bedst resultater, om de fire motstander ikke er altfor forskjellige fra hverandre. Der findes i handelen mange anordninger av maalebroer. For bekvemhets skyld gjør man bare én av motstandene saa at den kan finreguleres, i dette tilfælde b eller c , men ikke a . De to motstander a og b kan ogsaa anbringes paa maalebroen som en utspændt maaletraad, og forholdet $b : a$ vil da ved en passende skalainndeling kunne avlæses direkte, mens man for c anbringer et antal bifilart viklede spoler lik 1 ohm, 10 ohm o. s. v.

8. Motstandsmaaling ved spændingstap og strøm.

Motstanden av en ledning er definert som forholdet mellem spændingen paa dens klemmer og strømstyrken gjennom den.

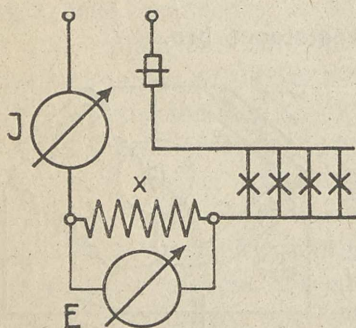


Fig. 18. Maaling av smaa motstander ved spændingstap og strøm.

Motstandsværdien kan følgelig findes av den kobling som fig. 18 viser; lederens motstand findes her lik forholdet mellem spændingstapet paa dens klemmer, som maales ved voltmeter, og strømstyrken gjennom den, som maales ved amperemeter. Denne maalemetode kræver saaledes enkle hjelpemidler, og er den mest benyttede metode, særlig ved maaling av smaa motstander.

I almindelighet utføres motstandsmaalingen med flere forskjellige strømstyrker og dertil hørende spændingstap. Man faar saaledes flere værdier, hvorav man kan ta middeltallet. Man maa ikke lede saa sterk strøm gjennom motstanden, at den blir saa meget opvarmet, at dens motstand forandrer sig merkbart. Er motstanden i x stor, vil strømstyrken gjennom voltmetret ikke kunne sættes ut av betragtning ved siden av strømmen gjennom x . Amperemetret maaler nemlig baade strømmen gjennom x og gjennom voltmetret. I saa fald maa man korrigere for voltmetrets strømforbruk. Letvintere kan ofte maalingen gjøres uten korreksjon ved koblingen vist paa fig. 19. Her maaler voltmetret tillike spændingstapet paa amperemetret, men har x stor motstand, vil man ikke faa stor feil ved denne kobling.

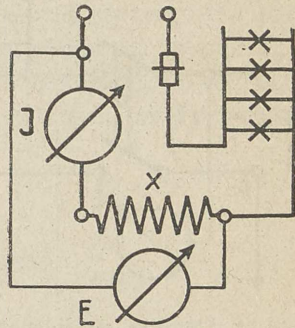


Fig. 19. Maaling av middelsstore motstander ved spændingstap og strøm.

Er motstanden som skal maales, meget lav, maa man anlægge kontaktene for voltmetret i den for sterkstrømskontaktene og bruke den første kobling. I dette tilfælde kan nemlig overgangsmotstandene ved den ukjendte motstands klemmer forårsake et stort spændingstap paa klemmene.

9. Motstandsmaaling ved voltmeter.

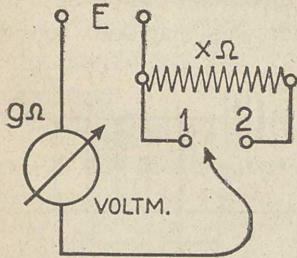


Fig. 20. Maaling av store motstander ved voltmeter.

Skal man maale meget store motstander, fra ca. 10000 ohm og opover, kan man benytte en kobling som vist paa fig. 20. E er en spænding paa f. eks. 220 volt, og voltmetret skal være bestemt for denne spænding, la os kalde dets motstand g ohm. Tilkobles voltmetret punktet 1, maales klemmespændingen E . Kobles paa 2, er den ukjendte motstand x seriekoblet med g , og man faar et spændingstap paa voltmetret e volt. Vi har da ligningen.

$$E : (g + x) = e : g$$

altsaa

$$x = \frac{E - e}{e} \cdot g$$

Er x en meget stor motstand, f. eks. en million ohm, blir utslaget e meget litet og den procentuale feil i x meget stor. For at faa e saa stor som mulig bør voltmetermotstanden være saa stor som mulig.

Skal man undersøke et elektrisk anlægs isolation, gjøres dette ved at maale dets motstand mot jord. Kan anlægget sættes ut av drift, kobles efter fig. 21.

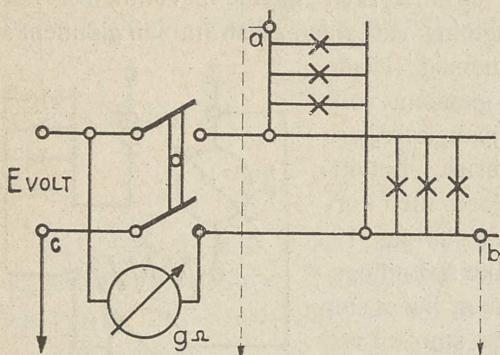


Fig. 21. Maaling av isolationsmotstanden av et anlæg sat ut av drift.

Som jordforbindelse brukes vandrør, gasrør o. s. v. Finder man en isolationsfeil i anlægget, søker man feilens beliggenhet ved at frakoble deler av anlægget indtil feilen er fundet.

Vekselstrømsanlæg kan undersøkes paa samme maate, idet man benytter voltmetre for vekselstrøm, men da disse har lav motstand og er litet følsomme for smaa strømmer, anvendes ofte som strømkilde et batteri av tørrelementer, saa man kan benytte vridspoleinstrumenter. I alle tilfælder bør man prøve anlægget ved den normale driftsspænding.

Isolationsmotstanden av dynamoer, motorer o. s. v. sat ut av drift undersøkes efter den metode som fig. 20 viser.

Er et anlæg ikke jordforbundet kan man maale dets isolationsmotstand mens det er i drift efter skemaet paa fig. 22. Voltmetret er

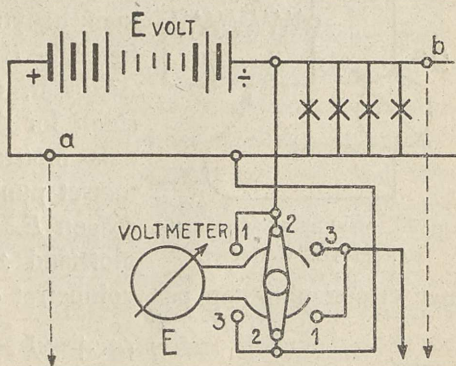


Fig. 22. Maaling av isolationsmotstanden av et anlæg i drift.

tilkoblet en vender med seks kontakter. Kobles paa 2, angir voltmetret driftspændingen E . Kobles paa 1, vil en eventuel isolationsfeil etsteds paa den positive pol (f. eks. ved punktet a i fig. 22) gi anledning til en strøm til jorden, som for at komme til den negative pol maa passere voltmetret, som angir spændingstapet e_1 volt. Sætter man venderen over paa kontakt 3, gaar strømmen fra den positive pol gjennom voltmetret til jorden, hvorpaa den søker til den negative pol gjennom eventuelle isolationsfeil paa den negative pol (paa fig. antydnet ved b); voltmetret vil da angir spændingstapet e_2 volt. Vi har følgelig isolationsfeilene ved den positive henholdsvis negative pol git ved størrelsen av de respektive motstander mot jord:

Paa den positive pol

$$x_1 = \frac{E - e_1}{e_1} \cdot g \text{ ohm}$$

Paa den negative pol

$$x_2 = \frac{E - e_2}{e_2} \cdot g \text{ ohm}$$

Et ohmmeter er et voltmeter med høi motstand bestemt til isolationsprøvning. Det har en skala som viser anlæggets isolationsmotstand i ohm. Anlæggets driftsspænding maa ha en bestemt, paa instrumentet angit værdi. Undertiden er instrumenter utstyrt med saavel volt- som ohmskala, og da vil nulstreken paa voltinddelingen svare til uendelig motstand paa ohminddelingen, driftsspændingen paa voltskalaen svare til nulstreken paa ohminddelingen o. s. v. Vi belyser bedst dette ved et eksempel.

Et voltmeter for 250 volt har en motstand $g = 40000$ ohm og skal ved siden av sin voltskala paasættes en ohmskala for direkte at kunne avlæse isolationsmotstanden av et anlæg for 220 volt. Vi vil bestemme ved hvilke delstreker paa voltinddelingen ohmskalaens streker skal staa. Vi løser først den opstillede ligning med hensyn paa e :

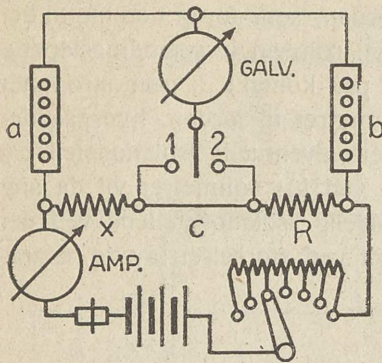
$$e = \frac{E \cdot g}{g + x}$$

Vælges isolationsmotstanden x f. eks. lik 10000, 20000 o. s. v., findes hvilket utslag e vil svare til den antatte isolationsmotstand. Ved denne værdi skal alt-saa ohmskalaens strek anbringes. Regningen fremgaar av følgende tabel:

Antat værdi av x	0	10	20	30	40	60	100	150	250	∞	$\times 1000 \Omega$
skal anbringes ved delstrek	220	176	146,7	125,7	110	88	62,9	46,3	30,3	0	

10. Maaling av meget smaa motstander, Thomsons dobbeltbro.

Skal man maale en meget lav motstand, kan man benytte den kobling som er angit i fig. 23.



Her er x den ukjendte motstand og R en normalmotstand. Gjennem disse ledes sterkstrøm, a og b er propreostater, hvorav mindst én kan finreguleres, c er motstanden mellem svakstrømskontaktene paa x og R . Kobles vælgeren paa 1, kan vi ved at regulere paa a og b faa galvanometret uten strøm. Vi har i dette tilfælde

Fig. 23. Maaling av meget smaa motstander med omkoblingsbroen.

$$x : a_1 = (c + R) : b_1$$

Kobles over paa 2, kan vi ved nye værdier av a og b faa galvanometret uten strøm, og vi har:

$$(x + c) : a_2 = R : b_2$$

Av disse to ligninger kan den ukjendte c elimineres og x findes:

$$x = \frac{a_1 (a_2 + b_2)}{b_2 (a_1 + b_1)} \cdot R$$

Denne maalemetode gir meget nøiagtige værdier naar man vælger en passende, ikke for svak, sterkstrøm gjennom x og R , og dertil passende værdier for a og b . Motstanden c bør være saa liten som mulig. Maalingen kan gjøres med forholdsvis enkle midler. Metoden er dog litet brukt i praksis, da beregningen av maaleresultatene er forholdsvis tungvint.

Thomsons dobbeltbro tillater en let beregning av maaleresultatene. Akkumulatorbatteriet B (fig. 24) av lav spænding sender sterkstrøm gjennom den ukjendte motstand x og normalmotstanden R ikke altfor forskjellig fra x , mens a , b , c og d er regulerbare motstander for svak strøm. G er et galvanometer. Vi bygger a og b sammen, saa at de reguleres samtidig og til enhver tid er like store, likesaa c og d . Sendes der strøm gjennom x og R

og reguleres a , b , c og d saaledes, at galvanometret ikke viser strøm, har vi ifølge Kirchhoffs lover:

$$J \cdot x = J_1 \cdot a - J_2 \cdot b;$$

$$J \cdot R = J_1 \cdot d - J_2 \cdot c$$

Som ovenfor nævnt reguleres motstandene saa at

$$a = b \quad c = d$$

Indsættes dette og divideres ligningene med hverandre, faaes:

$$x : R = a : c$$

hvorav x findes:

$$x = \frac{a}{c} \cdot R$$

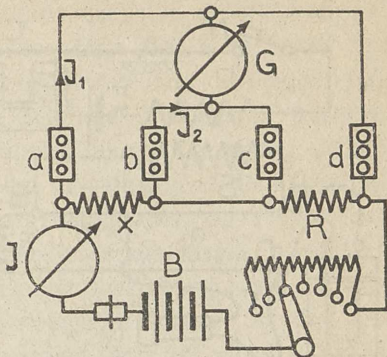


Fig. 24. Thomsons dobbeltbro.

Thomsonbroen kan ogsaa bygges med regulerbar R . Den har fundet adskillig anvendelse paa grund av maalingenes enkle beregning og deres nøjagtighed.

11. Motstandsmaaling ved Wheatstones bro med vekselstrøm foretages, naar der kan optræde polarisation ved de motstander man sender strøm igjennem. Skal man f. eks. maale motstanden i væsker, kan ikke den sedvanlige Wheatstonebro med likestrøm og indskutt galvanometer benyttes, ti der vil optræde polarisationsspændinger, som vil addere sig til spændingstapet paa motstanden man skal maale, og den fundne motstandsværdi vilde da bli for høi. Anvendes derimot vekselstrøm, helst fra en induktionsrul, blir polarisationen ubetydelig, og en indskutt telefon vil gi lyd saalænge motstandsværdiene ikke staar i det rigtige forhold, men derimot ikke gi lyd naar motstandsværdiene er proportionale.

Fig. 25 angir koblingen for Wheatstones bro med vekselstrøm. Batteriet E sender, naar nøkkelen N er indkoblet, en strøm gjennem primærviklingen P paa induktionsapparatet. Strømmen brytes og sluttes stadig ved C . I induktionsapparatets sekundærvikling S vil der da induceres en vekselspænding, som sendes i den egentlige Wheatstonebro. Vi tænker os den ukjendte motstand $x\Omega$ at

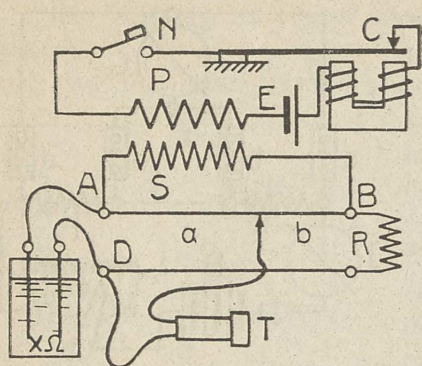


Fig. 25. Wheatstones bro med vekselstrøm.

være motstanden f. eks. mellem to plater i en væske. R er en fast motstand, f. eks. 10 ohm; AB en manganintraad av konstant tversnit, og naar telefonen ikke gir lyd, findes længdene a og b cm. mellem kontaktstedet og traadens endepunkter. Man har da følgende proportion:

$$a : b = x : R$$

altsaa

$$x = \frac{a}{b} \cdot R$$

Viktig er det at kunne bestemme motstanden mellem jordplater og jorden. Jordplater anlægges i sterkstrømsanlæg, forat spændingen mot jorden ikke skal gaa over en viss værdi paa noget punkt i nettet, og som sikkerhet mot overspændinger. I svakstrømsanlæg finder de anvendelse naar jorden skal tjene som leder for strømmen. Motstanden mellem jordplater og jorden er høist forskjellig; er platen anbragt i fugtig jord, blir motstanden meget liten, mens derimot en jordplate anbragt i tør sand vil gjøre liten eller ingen nytte, da sandet byr den elektriske strøm en meget stor motstand. Skal man bestemme en jordplates motstand, forbindes platen med punktet A (fig. 25). Punktet D skal forbindes med en saa paalidelig jordledning som mulig, f. eks. vandrør, gasrør o. l.; kan man anse rørets motstand mot jorden forsvindende liten, maales jordplatens motstand alene. Findes der ikke en paalidelig jordforbindelse, kan man benytte to andre jordplater, maale motstanden mellem to og to og saaledes erholde tre værdier av summen av motstandene to og to og derpaa beregne hver enkelt.

Forsøk nr. 6. Motstandsmaaling ved Wheatstones bro.

Der foreligger motstander med eller uten selvinduktion hvis størrelse skal maales ved Wheatstones bro. Foruten motstandsmaalingen skal man angi hvor nøiagtig resultatene er fundet.

For at faa oversigt over feilkildene maa man anslaa propo-
statenes feil i procent av deres værdi. Man bør ikke bruke for
smaa motstandssatser, da disse har de største feil. En anden feil
gir galvanometret anledning til, om det ikke er særdeles følsomt,
den nemlig, at meget svake strømmer ikke vil gi synlig utslag.
For at finde hvor stor feil vi faar ind i maalingen av denne grund,
vil vi først indstille paa strømløst galvanometer, og derpaa for-
andre den motstand, som kan finreguleres saa meget, at vi faar
et litet utslag paa galvanometret. Denne forandring regnet i pro-
cent av motstandens værdi, vil gi nøiagtighetsgraden av den en-
kelte maaling. Findes motstandsværdien som et resultat av en
række maaling, blir selvfølgelig nøiagtigheten større.

Som eksempel paa en motstandsmaaling ved Wheatstones bro vil vi op-
stille en tabel for maaling av motstanden i en magnetkveil (cfr. fig. 17). R er
den motstand vi maa forøke c med for at faa et netop synlig utslag paa galvano-
metret.

Nr.	Motstand	a	b	c	$x = \frac{b}{a} \cdot c$	R	Nøiagtighet i pct.
1	Magnetkveil	200	200	354,2	354,2	2,4	0,68
2	„	300	400	264,5	352,7	2,1	0,8
3	„	200	100	702	351	7,2	1,0
4	„	500	500	351	351	3,0	0,86
5	„	400	700	302	528	2,7	0,89

Middel: $x = 352$ ohm. Nøiagtighet mindst 0,5 %.

Av de fire første maaling er tages middeltallet, mens den femte maaling
sættes ut av betragtning, da den antages feilagtig.

Forsøk nr. 7. Motstandsmaaling ved spændingstap og strøm.

Forsøkets teoretiske del er forklaret ovenfor. Der maales
f. eks. to forskjellige motstander, hvorav den ene er lav, f. eks.
mindre end 1 ohm, og den anden større, f. eks. over 50 ohm.
Man maa være opmerksom paa at avlæsninger paa den nederste
del av skalaen paa maaleinstrumentene gir anledning til store feil.

Man bør være klar over om der er tat hensyn til voltmeter-
strømmen eller spændingsfaldet i amperemetret ved beregningen,
og hvor store feil i resultatet man vil faa om man ikke tar hen-
syn hertil.

Forsøk nr. 8. Maaling av store motstander ved voltmeter.

Forsøket gaar ut paa at bestemme store motstander, isolationsmotstanden av dynamoer o. l., eller isolationsmotstanden av anlæg i drift og sat ut av drift. Desuten skal man bestemme en gradering av et voltmeter som ohmmeter.

Forsøket utføres som beskrevet ovenfor. Graderingen som ohmmeter foretages paa den maate, at voltmeters skala optegnes, og paa denne sættes tillike en ohmskala, idet driftsspændingen antages.

Forsøk nr. 9. Motstandsmaaling ved Thomsons dobbeltbro.

Forsøket gaar ut paa at bestemme f. eks. motstanden av en kobbertraad av stort tversnit. Istedetfor Thomsonbro kan „omkoblingsbroen“ benyttes. Nøiagtighetsgraden bestemmes for forskjellige strømstyrker gjennom de lave motstander. Av maalingene kan ledningsevnen av kobberet i traaden beregnes ved længde- og tversnitsbestemmelse.

Forsøk nr. 10. Maaling av en spoles temperatur ved motstandsøkning.

Sender man strøm gjennom en spole, f. eks. gjennom magnetviklingen paa en dynamo, vil man for hvert watt.sek. man har tilført spolen faa frigjort en varmemængde 0,00024 cal. Spolens temperatur vil derved tilta; straks efterat strømmen er indkoblet har spolen den omgivende lufts temperatur, og den utviklede varmemængde opvarmer spolen; efterhvert stiger spolens temperatur, og den utviklede varmemængde vil delvis avgives til omgivelsene. Har strømmen gaat i lang tid, opnaar spolen sin endelige temperatur derved at den avgivne varmemængde blir lik den tilførte. Denne endelige temperaturstigning er av stor interesse, da den sætter en grænse for den strøm man kan sende gjennom spolen. Denne grænse er ved avbrutt drift høiere end ved stadig drift. Bomuldsisolation vil i almindelighet kunne taale at opvarmes til 75—85° C. uten at ta skade.

Ved dette forsøk skal man maale en spoles temperatur med visse mellemrum, f. eks. hvert 10. min., mens man sender strøm gjennom den. Før forsøket maales dens motstand ved Wheatstones bro. Derefter leder man strøm gjennom spolen og maaler dens motstand hvert 10. min. ved spændingstapmetoden uten at

avbryte strømmen. Nu kan de respektive temperaturer beregnes. For kobber har man følgende ligning mellem motstanden ved 15° C. R_{15} og motstanden R_t ved hvilken som helst temperatur t ° C.

$$R_t = R_{15} (1 + 0,004 (t - 15))$$

Av maalingen med Wheatstones bro findes spolens motstand ved den temperatur rummet har. Er denne f. eks. 20° C., kan man av den fundne motstand ved 20° C. finde spolens motstand ved 15° C. Dernæst sendes strøm gennem spolen som ovenfor angit, idet man maaler motstandene ved de ukjendte temperaturer t . Disse temperaturer findes ved at løse ligningen ovenfor med hensyn paa t :

$$t = \frac{R_t - R_{15}}{R_{15}} \cdot 250 + 15$$

Spolens temperatur kan nu optegnes grafisk med tiden som abscisser. Strømmen bør ledes gennem spolen saa længe, at temperaturen er blit konstant. Den tid som fordres hertil er ved store magnetspoler lang, flere timer; ved mindre og tyndere magnetspoler mindre. Kan man ikke sende strøm gennem spolen saa længe, at man faar konstant temperatur, kan man av kurven for temperaturen i flere tilfælder finde spolens endelige temperatur ved ekstrapolation.

12. Motstandsmaalingers nøiagtighet.

Av beskrivelsene av de forskjellige metoder til at maale ukjendte motstander vil vi forstaa at det vil bero paa motstandens størrelse hvilken metode vi skal vælge. Ved meget lave motstander maa man benytte Thomsons dobbeltbro, omkoblingsbroen, eller helst begge disse metoder. Man maa ha for øie at skal en motstand findes, maa man ogsaa gjøre sig op en mening om hvor nøiagtig den er maalt, og dette maa angives i resultatet. Derfor maa de nævnte „nøiagtighetsprøver“ foretages.

Hvis man ikke forlanger stor nøiagtighet, anvendes spændingstapmetoden ved smaa og middelsstore motstander. Ved de sidste gir dog Wheatstones bro væsentlig bedre resultat. Ogsaa her maa nøiagtighetsprøver foretages. Ved meget store motstander vil voltmetermetoden anvendes. Undertiden kan ved prøv-

ning av isolasjonsstoffer voltmetret erstattes av et følsomt speilgalvanometer.

Ved beregning av middelværdier maa man kun ta hensyn til de værdier som antages fremkommet ved rigtige avlæsninger. En værdi som avviker betydelig, sættes ut av betragtning.

C. Maaling av elektrisk effekt og arbeide.

13. Wattmetret.

Et wattmeter er et apparat til at bestemme den effekt som forbrukes i en strømkreds. Vi vet at i strømkredsen som fører likestrøm, er effekten lik strøm ganger spænding. I vekselstrømkredser er effekten lik strøm ganger spænding ganger effektfaktoren. Da man i likestrømkredser kan finde den forbrukte effekt ved avlæsninger paa volt- og amperemetre, har wattmetrene kun i vekselstrømkredser fundet anvendelse som effektmalere.

Man har to almindelig anvendte typer av wattmetre, dynamometertypen og Ferraris type. Da et wattmeters utslag skal være proportionalt strøm og spænding, maa instrumentet ha fire klemmer, to for anlæggets strøm og to for dets spænding. Vi har i instrumentet to spoler, strømspolen og spændingsspolen.

Dynamometertypen ansees som de nøiagtigste wattmetre. I bygning ligner de de tilsvarende amperemetre. Anlæggets strøm føres gjennom faste spoler, og en bevægelig spole og

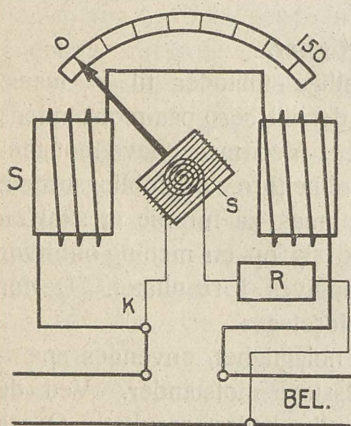


Fig. 26. Principet for et wattmeter av dynamometertypen.

en seriemotstand er tilknyttet driftsspændingen. Fig. 26 viser skematisk wattmeters virkemaate. Belastningsstrømmen ledes gjennom strømklammene *K* og strømspolene *S*, mens en strøm proportional anlæggets spænding føres gjennom spændingspolen *s* ved spændingsklemmene. Ved strømmens gang gjennom strømspolene *S* frembringes et magnetisk felt proportionalt strømstyrken, og er wattmetret tilkoblet en strømkreds som fører vekselstrøm, blir magnetfeltet i fase med strømmen, d. v. s. faar nulværdi, maksimum o. s. v. sam-

tidig med anlæggets strøm. Dette magnetfelt paavirker spændingspolen s med et visst vridningsmoment. Strømmen gjennom spændingsspolen er proportional spændingen i anlægget og i fase med denne, da seriemotstanden R (fig. 26) er biflart opviklet. Vridningsmomentet og dermed viserens utslag er i hvert enkelt øieblik proportional produktet av strømstyrken og spændingen, og fører strømkredsen likestrøm, kan man saaledes uten videre avlæse forbrukte watt. Fører strømkredsen vekselstrøm, vil momentet i hvert enkelt øieblik bli proportional strømmens og spændingens momentanverdier og saaledes stadig veksle. Den bevægelige dels trægheitsmoment er saa stort, at viseren stiller sig ind paa et midlere utslag, som svarer til gjennomsnittsværdien av momentet. Men denne gjennomsnittsværdi er netop det antal watt som forbrukes i vekselstrømkredsen.

Ofte deles strømspolen op i to eller fire deler, som efter behag kan parallel- eller seriekobles. Anordner man dertil spændingsspolen saa at man har flere uttak, eller anvendes løse seriemotstander, kan wattmetret benyttes for de forskjelligste strømmer og spændinger. Dynamometertypens wattmetre kan justeres med likestrøm og benyttes ved vekselstrøm, og deres angivelse er uavhengig av vekselstrømmens frekvens.

Ferraris wattmetertype er bygget i likhet med Ferraris amperemetre. Anlæggets strøm føres gjennom strømklemmene K (fig. 27) forbundet til strømspolene S , som omgir de to motstaaende poler paa instrumentets firepolede stillestaaende del. En strøm proportional anlæggets spænding føres gjennom spændingsklemmene k til spændingsspolene s lagt paa serie med selvinduktionen L . Selvinduktionen i denne strømkreds er saa stor, at strømstyrken er 90° forskjøvet

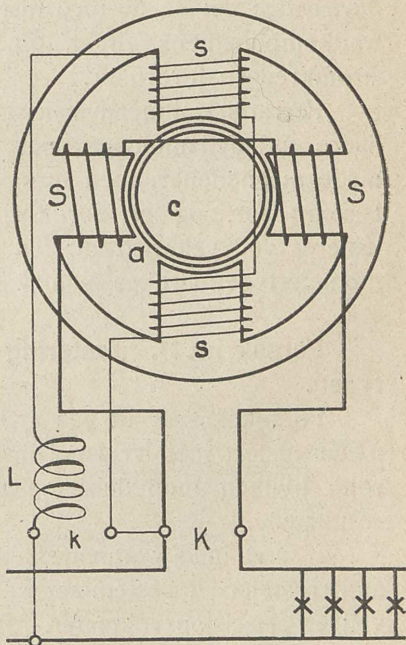


Fig. 27. Ferraris wattmeter.

i forhold til den spænding som virker. Er der fase­likhet i an­lægget, blir strømmen i strøm- og spændingsspølen forskjøvet 90° i forhold til hverandre, idet spændingsspølenes strøm opnaar maksimalværdier o. s. v. 90° senere end strømspølenes. Man har da et tofas­et roterende magnetfelt, som søker at trække alu­miniumstrømmelen *a* (fig. 27) med sig, og momentet, som motvirkes av spiralfjærer, er proportionalt produktet av strømmen i de to spøler, altsaa proportionalt wattforbruket i an­lægget. Er fasevin­kelen i an­lægget derimot 90° , fører det altsaa ingen wattstrøm, vil strømmen i strømspølene *S* og i spændingsspølene *s* være i fase med hverandre, da strømmen i spændingsspølene er 90° baktefter spændingen i an­lægget. I wattmetret faar vi i dette til­fælde intet roterende, men kun et pulserende magnetfelt, som intet moment vil gi paa alu­miniumstrømmelen *a*. Er fasevinkelen i an­lægget mellem 0 og 90° , vil strømmens wattkomponent foraa­rsake et roterende felt i wattmetret og utøve et moment paa alu­miniumstrømmelen, mens strømmens magnetiseringskomponent skaffer et pulserende felt og intet moment. Momentet paa instrumentets bevægelige del og dermed instrumentets angivelse blir proportional wattkomponentens effekt, og apparatet angir det antal watt som strømkredsen forbruger.

Ferraris wattmeter har stor anvendelse, da det er noget bil­ligere end dynamometertypen. Det er litet følsomt overfor frem­mede magnetfelter, men maa kun brukes ved den frekvens det er bestemt for, og er ubrukbart for likestrøm. Det maa saaledes justeres ved vekselstrøm. Til justering kan et wattmeter av dyna­metertypen brukes, som i forveien er justert med likestrøm.

Forsøk nr. 11. Justering av wattmetre av dynamometer­typen.

Forsøket gaar ut paa at bestemme korreksjonen for et watt­meter justert med vridspøleinstrumenter. Man skal tillike under­ søke hvilken indflydelse spændingsspølenes effektforbruk har paa resultatene.

I serie med wattmetrets strømspøle an­lægges et præcisions­ amperemeter til bestemmelse av strømstyrken. Spændingen maales ved et præcisionsvoltmeter. Begynd med den største belastning. Har wattmetret flere maaleomraader justeres hvert omraade for sig. Der tages en række av­læsninger for hvert omraade ved fuld

driftsspænding. Om mulig undersøkes jordmagnetismens indflydelse paa wattmetrets angivelse ved at der anlægges en kommutator, som vender strømmen i wattmetret uten at vende det i volt- og amperemetret.

Følgende spørsmåal bør undersøkes: 1) Hvorledes skal spændingspolen kobles, skal dens strøm gaa gjennom strømspolene eller ikke, og hvor stor blir forskjellen i avlæsningene for de to koblingsmaater? 2) Hvor stor er wattmetrets største feil maalt i procent av dets angivelse ved fuld strømstyrke?

14. Watt-timemaaleren for likestrøm.

En elektricitetsmaaler eller watt-timemaaler maaler det arbeide som en strømkreds forbruker i en viss tid. Den er efter sin indretning en liten elektromotor uten jern.

Maalerens indretning og virkemaate sees av fig. 28. Hele anlæggets strøm ledes gjennom strømspolene *S*, som skaffer et magnetisk felt proportionalt strømstyrken. I dette felt roterer ankeret *A*, hvorigjennem man sender en strøm proportional driftsspændingen.

Det har faa spoler, en kommutator med faa segmenter, hvorpaa børstene *b* slæper. I ankerets strømkreds (spændingskredsen) er der indskutt en seriemotstand *R* samt kompensasjonsspolen *K*. Vridningsmomentet paa ankeret blir nu proportionalt anlæggets strøm og spænding, altsaa blir ankerets hastighet proportional den effekt som forbrukes. Forat ikke hastigheten skal bli for stor, er der anlagt en hvirvelstrømdæmpning *D*, som bestaar av en kobber- eller aluminiumsskive anbragt mellem polene av en staalmagnet *NS*. Derved blir hastigheten saa liten, at maalerens elektromotoriske motkraft blir liten og friktionsmomentet omtrent konstant. Imidlertid — friktionen selv faar man

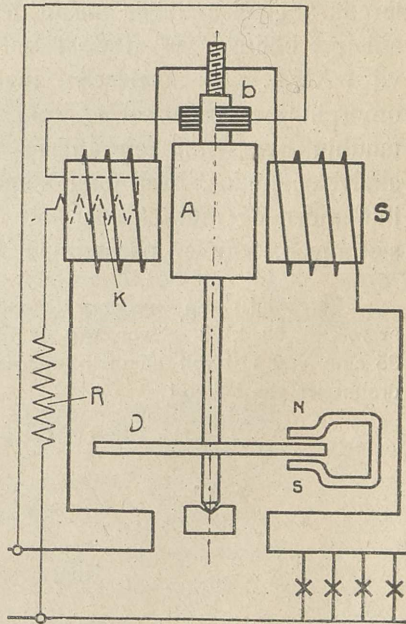


Fig. 28. Watt-timemaaleren for likestrøm.

ikke bort. For saavidt mulig at eliminere dens virkning er kom-pensationsspolen K anlagt. Denne skaffer et tillæg i kraftlinjer saa stort, at maaleren saavidt skal begynde at gaa naar belastningen er nul. Maalerens rotation overføres ved en snekkeskrue til et tælleverk med visere eller sifre, som viser maalerens „stand“ til enhver tid. Er maalerens stand f. eks. den 1. mars 576,2 kWh. og den 1. april 593,8 kWh., er der i mars maaned forbrukt 17,6 kWh.

En elektricitetsmaaler gir naturligvis ingen ubegrænset nøi-agtighet, men dens angivelse paavirkes av maalerens feil, som er saa store, at man i mange tilfælder regner en maaler for brukbar, naar dens konstant ikke avviker over 5% fra enheten. For at justere en maaler kan man gjennom maaleren sende et bekjendt antal kilowatt-timer maalt med volt- og amperemeter og ur. Av-læses maalerstanden før og efter, faaes maalerens angivelse, og dens konstant er det virkelig forbrukte antal kilowatt-timer dividert med maalerens angivelse. Imidlertid vil denne fremgangsmaate kræve stor effekt og ta lang tid, særlig naar maaleren skal justeres for forskjellige strømstyrker. Man vil derfor for at bestemme maa-lerens angivelse heller maale den tilførte effekt i saa lang tid som ankeret behøver til et visst antal omdreininger. I almindelighet vil 1 kWh. paa maalerens angivelse svare til et bestemt antal omdreininger av ankeret, f. eks. 10, 20, 100 o. s. v., og saa længe tandhjuloversætningen antages at være i orden, kan maalerens angivelse findes, naar man kjender det antal omdreininger ankeret har gjort og multipliserer det med konstanten for tandhjulover-sætningen, som er paastemplet maaleren.

Eksempel: En maaler er paastemplet at 500 omdreininger av ankeret svarer til én kWh. Hvor stor er maalerens konstant, naar man maatte lede 35 amp. ved 110 volt gjennom maaleren i 6 min. 30 sek. for at faa 200 om-dreininger paa ankeret?

$$\text{Svar: Tilført kWh.} = \frac{35,110 \cdot 390}{3600 \cdot 1000} = 0,417$$

$$\text{Angit kWh.} = \frac{200}{500} = 0,4$$

Konstanten blir 1,042.

En omhyggelig justering av maaleren ved de forskjellige strømstyrker vil gi opplysning ikke bare om størrelsen av dens

feil, men ogsaa hvilke disse er. En almindelig feil ved maaleren er at bremsemagneten er for sterk eller for svak. Dette vil vise sig ved at konstanten ved alle strømstyrker er for stor eller for liten. Magneten maa i saa fald flyttes længere ut eller ind paa aluminiumsskiven. En anden feil er at kompensasjonsspolen er for sterk eller for svak. Er den for sterk, vil maaleren gaa ganske langsomt ogsaa naar belastningen slaaes av, er den for svak, kan man sette paa en viss liten belastning før maaleren begynder at gaa. Konstanten vil i første tilfælde ved smaa belastninger bli lav, i sidste bli høi. Disse forhold maa ved justeringen undersøkes. Undersøkelse av tandhjuloversætningen vil som regel ikke være nødvendig, men en saadan kan let foretages ved at la maaleren gaa en viss tid, f. eks. en time, notere dens stand før og efter, og i denne tid fra tid til anden maale dens hastighet ved at tælle det antal omdreininger ankeret gjør i f. eks. 1 minut. Av denne maaling findes hvor mange omdreininger der gaar paa 1 kWh.

Skal man justere en maaler, maa man stadig ha for øie hvilke feilkilder man har i selve justeringen. Foresætter man sig at feilene ved justeringen ikke skal være over en halv procent, maa ikke bare maaleinstrumentene, men ogsaa tidsmaalingen gi denne nøiagtighet, likesom det antal omdreininger man tæller, maa bestemmes like nøiagtig.

Til slutning vil vi nævne at vi ogsaa har andre typer av elektricitetsmaalere. De saakaldte urmaalere (Arons pendelmaalere) er nu gaat av bruk. Ved særskilte maalere kan man maale den elektricitetsmengde som gaar gjennom maaleren. Disse kaldes coulombmaalere eller amperetimemaalere, og har størst betydning i elektrolytiske anlæg; men de kan ogsaa brukes i almindelige anlæg til at bestemme den forbrukte effekt, naar man antager spændingen konstant.

15. Watt-timemaaleren for enfaset vekselstrøm.

Til at maale det forbrukte arbeide i et net som fører enfaset vekselstrøm, kan man benytte den ovenfor beskrevne likestrømsmaaler med kommutator. Rotationen vil komme istand ganske paa samme maate, magnetismen i strøm- og spændingsspolen vil nemlig ved faselikhet i den ytre strømkreds vendes paa samme tid, saa momentet stadig blir rettet til samme kant. Er effektfaktoren i nettet mindre end 1, blir momentet det ene øieblik positivt,

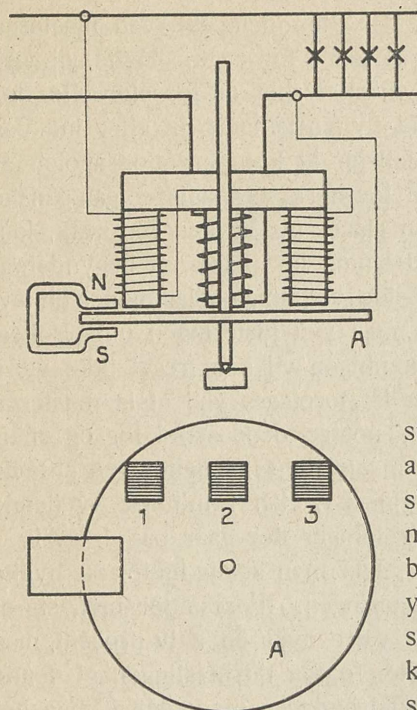


Fig. 29. Watt-timemaaleren for en-faset vekselstrøm.

det næste negativt, proportional den udviklede effekt i hvert enkelt øieblik, og maalerens hastighet blir proportional den forbrukte effekt i nettet. Imidlertid finder vi ikke kommutormaalere brukt i vekselstrømnet, da induktionsmaaleren efter Ferraris princip er bedre og billigere end kommutormaaleren.

Induktionsmaalerens konstruktion og virkemaate fremgaar av fig. 29. Over en aluminiumsskive *A* er anbragt en magnet med tre ben. Det midterste av benene bærer strømspolen, de to ytterste bærer spændingsspole, som er motsat viklet og seriekoblet. Spændingsspole har stor selvinduktion. Ved faseforskjell i nettet vil man faa 90° faseforskjell mellem strømmene i strøm- og spændingsspole. Ved disse spoler vil der skaffes et roterende magnetfelt, som søker at trække aluminiumsskiven med sig, og det desto sterkere, jo større effekt man bruker i nettet. Det roterende magnetfelt fremgaar av tidsdiagrammet i fig. 30. La strømspolens magnetfelt fremstilles ved sinuskurven 2, spændingsspole vil da fremstilles ved kurvene 1 og 3. Er fasevinkelen i nettet 90° , altsaa effektfaktoren nul, vil kurve 2 falde sammen med 1 eller 3, vi har da et pulserende, men intet roterende felt, og vi faar intet moment. Ved en effektfaktor mellem 0 og 1 kan vi dekomponere feltet i to komponenter, idet strømmens wattkomponent vil frembringe et roterende felt og følgelig et moment, mens magnetiseringskompo-

det næste negativt, proportional den udviklede effekt i hvert enkelt øieblik, og maalerens hastighet blir proportional den forbrukte effekt i nettet. Imidlertid finder vi ikke kommutormaalere brukt i vekselstrømnet, da induktionsmaaleren efter Ferraris princip er bedre og billigere end kommutormaaleren.

Induktionsmaalerens konstruktion og virkemaate fremgaar av fig. 29. Over en aluminiumsskive *A* er anbragt en magnet med tre ben. Det midterste av benene bærer strømspolen, de to ytterste bærer spændingsspole, som er motsat viklet og seriekoblet. Spændingsspole har stor selvinduktion. Ved faseforskjell i nettet vil man faa 90° faseforskjell mellem strømmene i strøm- og spændingsspole. Ved disse spoler vil der skaffes et roterende magnetfelt, som søker at trække aluminiumsskiven med sig, og det desto sterkere, jo større effekt man bruker i nettet. Det roterende magnetfelt fremgaar av tidsdiagrammet i fig. 30. La strømspolens magnetfelt fremstilles ved sinuskurven 2, spændingsspole vil da fremstilles ved kurvene 1 og 3. Er fasevinkelen i nettet 90° , altsaa effektfaktoren nul, vil kurve 2 falde sammen med 1 eller 3, vi har da et pulserende, men intet roterende felt, og vi faar intet moment. Ved en effektfaktor mellem 0 og 1 kan vi dekomponere feltet i to komponenter, idet strømmens wattkomponent vil frembringe et roterende felt og følgelig et moment, mens magnetiseringskompo-

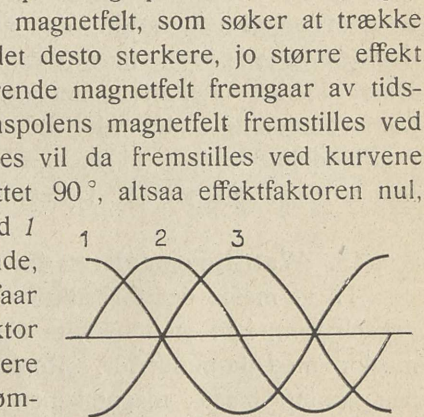


Fig. 30. Tidsdiagram for magnetismen i watt-timemaaleren efter Ferraris princip.

menten vil frembringe et pulserende felt og intet moment. Maalerens hastighet blir altsaa proportional effekten i nettet. Dæmpningen foregaar ved magneten *NS*, se fig. 29.

Justeringen av vekselstrømsmaalerne foregaar paa lignende maate som av likestrømsmaalerne. Man indkobler et wattmeter til maaling av den indsendte effekt. Av interesse er justeringen ved lav effektfaktor og unormal frekvens; en lav effektfaktor bevirker større feil i maaleren, og ved unormale frekvenser avviker konstanten betraktelig fra enheten.

Forsøk nr. 12. Justering av en elektricitetsmaaler for likestrøm.

Opgaven gaar ut paa at man skal gjøre sig bekjendt med maalerens konstruktion og virkemaate, samt finde dens konstant for forskjellige strømstyrker efterat bremsemagnetten er indstillet saaledes at maalerkonstanten er saa nær enheten som mulig ved liten last.

Begynd forsøket med denne indstilling av bremsemagnetten. Derefter justeres maaleren ved forskjellige strømstyrker (7 à 8), idet man begynder med en belastning litt større end den paa-stemplede fulllast. Av maalingene ordnet i tabelform beregnes konstanten for alle strømstyrker. Man bør ved denne justering kunne opnaa en nøiagtighet av ca. 0,5 %. Dette maa man ha for øie ved valg av maaleapparater, og naar man bestemmer hvor mange omdreininger man skal la maaleren gaa.

Eksempel. Man skal justere en elektricitetsmaaler bygget for 30 amp. ved en driftsspænding av 220 volt, forfølgende værdier av strømstyrken: 40, 30, 20, 10, 5, 2 og 1 ampere. Feilen ved justeringen bør ikke overstige 0,5 %.

Til forsøket anvendes ved strøm- og spændingsmaalingene præcisions vrid-spoleapparater med staalmagnet, hvis skala er inddelt i f. eks. 150 streker. Naar apparatene er garantert en nøiagtighet av $\pm 0,2$ skalastrek, er man indenfor den fastsatte nøiagtighetsgrænse, naar utslaget paa apparatene er mindst 40 skalastreker. Ved hver justering lar man maaleren gaa mindst 200 sekunder, idet man antar at tidsmaalingen kan foretages med en nøiagtighet av 1 sek.

Ved lave strømstyrker, naar maalerens hastighet er liten, kan man angi det tidspunkt den paa aluminiumsskiven anbragte strek viser sig foran bremsemagnetten, med en nøiagtighet av 0,1 omdreining, hvorfor man ved de laveste strømstyrker lar maaleren gaa mindst 20 omdreininger. Ved de høieste strømstyrker sættes denne nøiagtighet til 1 omdreining, hvorfor man i dette tilfælde maa la maaleren gaa mindst 200 omdreininger. Der oppstilles følgende tabel:

Voltn. nr. . . Konst. = . .	E	Amp.m. nr. . . Konst. = . .	J	Omdr. paa skiven n	Begyndt	Sluttet	Tid i sek.	Maale- ren angir kWsek.	Virkelig kWsek.	Konst.

En almindelig feil hos elektricitetsmaalere er at kompensations-
spolen ikke er riktig indregulert. For at undersøke om den virker
for sterkt eller for svakt, undersøkes følgende spørsmål: 1) Gaar
maaleren ved tomgang (naar der ikke forbrukes effekt i nettet),
og hvordan forklares i tilfælde dette? 2) Kan man hvis dette ikke
finder sted, koble en viss belastning paa før maaleren begynner
at gaa?

Forsøk nr. 13. Justering av en elektricitetsmaaler for vekselstrøm.

Justeringen av vekselstrømsmaaleren foregaar paa lignende
maate som av likestrømsmaaleren, kun maa man bestemme den
tilførte effekt ved et præcisionswattmeter. Av interesse er det at
gjennomføre en justering ved en lav effektfaktor. Da vil nemlig
maalerens feil bli betydeligere paa grund av at strømmen i spæn-
dingsspolen ikke er nøiagtig 90° efter klemmespændingen.

Begynd med den høieste last og gjennomfør justeringen for
7 à 8 strømstyrker ved lampebelastning og derefter for nogen
strømstyrker ved lav effektfaktor. Forresten henvises til forsøk
nr. 14.

16. Vippemaaleren.

Hvis en kraftkonsument ønsker at sikre sig en viss elektrisk
effekt til enhver tid, oppstilles en vippemaaler (strømbegrenser) hos
ham. Denne vil koble hans strømkreds ut og ind hvis den strøm-
styrke for hvilken vippet er indregulert, overskrides. De stadige
blaff i lyset vil faa konsumenten til at slukke de overtallige lam-
per. Den almindeligst anvendte type av vipper for vekselstrøm
har to elektromagneter, hvorav en er koblet i serie med strøm-
kredsen. Overskrides maksimalstrømmen, tiltrækkes et anker,
som kan indstilles saa kraftlinjene faar længere eller kortere vei

gjennem luft. Længden av kraftlinjene gjennem luft bestemmer den strømstyrke som vil tiltrække ankeret. Er først ankeret tiltrukket, blir en anden magnet magnetisert, som bryter hovedstrømmen. Kort efter blir den atter strømløs, og hovedstrømmen kobles atter ind. Den hele frem- og tilbakegaaende bevægelse er dæmpet ved et stempel.

Forsøk nr. 14. Indregulering av en vippemaaler.

Man skal ved dette forsøk indregulere vippemaaleren og studere dens virkemaate. Begynd med at iagttå hvilken strøm vil tiltrække ankeret naar det er skrudd saa langt fra magneten som mulig. Gjennemfør derefter en indregulering for 3 à 4 forskjellige strømstyrker, og undersøk herved hvor nøiagtig vippet vil funktionere.

Forsøk nr. 15. Virkningsgraden av en elektrisk kokeplate.

Den varmemængde som en strøm J amp. utvikler i t sek., er uttrykt ved ligningen

$$Q = 0,00024 E \cdot J \cdot t$$

naar E er spændingstapet i strømkredsen. Man skal ved hjælp herav maale virkningsgraden av en kokeplate, idet man opvarmer en bestemt vandmængde.

Forsøket utføres ved at man tilfører apparatet en konstant spænding og iagttår strømstyrken med visse mellemrum. Mens traadene i apparatet er kolde, er motstanden betydelig mindre end naar de er opvarmet. Av denne grund avtar strømstyrken raskt de første minutter. Man maa de første minutter avlæse strømstyrken ofte, senere sjeldnere, f. eks. hvert 5 min. Virkningsgraden er defnert som forholdet mellem den varmemængde som apparatet har avgitt til vandet, og den varmemængde som den elektriske strøm har utviklet. Den sidste beregnes av middelverdier av avlæsninger paa volt- og amperemetret.

Er den tilførte strømstyrke og spænding maalt f. eks. hvert minut i de første fem minutter og senere hvert femte minut, beregnes bedst virkningsgraden paa følgende maate. For det første, andet, tredje o. s. v. minut beregnes den i apparatet utviklede varmemængde uttrykt i kalorier. Likesaa i de følgende perioder paa fem minutter. Strømstyrken og spændingen kan passende

sættes til middelværdien av strømmen og spændingen ved begyndelsen og enden av hver periode. Paa denne maate beregnes den samlede i apparatet udviklede varmemængde ved addition. Den til vandet afgivne varmemængde bestemmes ved termometeravlesninger, og virkningsgraden findes lik

$$\eta = \frac{\text{Avgit varmemængde til vandet}}{\text{Utviklet varmemængde i apparatet}}$$

D. Undersøkelse av dynamoer for likestrøm.

17. Indledning. Om kurvearbeider.

Er en dynamo færdig fra fabrikkens side, maa man ved forsøk søke at finde ut, om den er tjenlig for sit formaal, og om den opfylder de garantier som fabrikken har paatat sig at oprettholde, da den overtok leverancen. I almindelighet vil dynamofabrikken selv være interessert i at faa sit fabrikat prøvet, og den vil foreta prøver i verkstedet før avleveringen, efterat kjøperen er tilkaldt. Hvis maskinene ikke formaar at opfylde de krav man har stillet til dem, er det fabrikantens sak at skaffe nyt fabrikat som opfylder de fordringer man har sat. I motsat fald maa kjøperen motta maskinene til den omforenede pris.

Dynamoers egenskaper og virkemaate illustreres bedst ved grafiske fremstillinger. Forat kurver skal gi bedst mulige opplysninger, maa man vedta visse regler for deres oppstilling. Ved enhver grafisk fremstilling skal en eller flere størrelser søkes i avhengighet av en anden størrelse. De størrelser som søkes, skal altid være ordinator. Skal man f. eks. tegne op virkningsgraden av en motor ved forskjellige belastninger som kurve, skal virkningsgraden være ordinator og belastningen abscisser; ti det er virkningsgraden ved en viss belastning vi skal finde, og ikke belastningen ved en viss virkningsgrad. Det sidste har som regel mindre interesse end det første.

Forat en kurve skal kunne benyttes, maa maalestocken paa begge akser være enkel og grei. Kurvenes utstrækning i aksenes retning bør være mellem 10 og 20 cm., og der bør benyttes millimeterpapir til deres optegning. Paa hver hele centimeter bør maalestocken skrives, og som værdi for 1 cm. kan vælges 1, 2, 5 eller undertiden 25 enheter, om fornødent multi-

plisert med 10, 100, 0,1, 0,01 o. s. v. Vi faar altsaa som værdier for 1 cm.: a) 1, 10, 100 o. s. v., 0,1, 0,01 o. s. v. Denne inddeling er den enkleste og bedste. b) 2, 20, 200 o. s. v., 0,2, 0,02 o. s. v. c) 5, 50 o. s. v., 0,5, 0,05 o. s. v. d) Undertiden anvendes 25, 250 o. s. v., 2,5, 0,25 o. s. v. Denne inndeling er litt vanskeligere at benytte. At gjøre værdien av 1 cm. lik et tal delelig med 3 maa ikke forekomme.

Skal man tegne op kurver, maa man først vælge maalestocken. Derefter lægger man ind de iagttatte eller beregnede værdier med spidsen av en haard blyant og omgir dem med en liten ring. Nu kan kurvene optegnes paa frihaand. Ved optrækningen tegnes først punktene ind som smaa cirkler med nulpasseren, derefter trækkes de paa frihaand tegnede kurver op med tusch, idet man anvender kurvelinjal, dog saaledes at kurvene ikke gaar tvers igjennem de smaa cirkler. Er der flere kurver paa ett akse-system, maa der skrives betegnelser paa kurvene.

At tegne op den rigtigste kurve paa basis av mere eller mindre feilagtige maaleresultater er i mange tilfælder en vanskelig sak. Kurvene skal lægges saaledes at man faar omtrent like mange punkter over som under kurven paa et bestemt omraade. Kurven skal saaledes ikke gaa gjennem alle punkter. Man bør paa forhaand kjende til kurvens sandsynlige forløp. En kurve maa aldrig tegnes op med et forløp som man vet er galt. Kommer et punkt helt utenfor de andre punkters omraade, ansees det fremkommet ved en feilobservation og sættes ut av betragtning, dog først efterat man har forvissnet sig om at der ikke forligger skrive- eller regnefeil.

Paa kurvepapiret skal der altid være angit hvilken dynamo (apparat) kurvene gjælder, desuten andre forhold av betydning, f. eks. maskinens hastighet o. l.

18. Likestrømsdynamoers karakteristiske kurver.

Er en likestrømsdynamo i drift, kan den faa sin magnetiseringsstrøm fra en strømkilde utenfor maskinen eller levere den selv. I første tilfælde er dynamoen fremmedmagnetisert, i sidste selvmagnetisert. Den vil vise forskjellige egenskaper i de to tilfælder.

Tomgangskarakteristikken er den elektromotoriske kraft maskinen gir naar den gaar tom med konstant hastighet,

men med forskjellige magnetiseringsstrømmer. Den kan maales ved at man driver maskinen magnetisert fra fremmed strømkilde, uten at man tar ut anden strøm end til et voltmeter. Maskinens elektromotoriske kraft blir da lik dens polspænding. Av ligningen for den elektromotoriske kraft

$$E_i = \frac{N \cdot n \cdot \Phi}{60 \cdot 10^8} \cdot \frac{p}{a} \text{ volt}$$

sees at den for en bestemt maskin blir proportional kraftlinjetallet Φ i maskinen. Tomgangskarakteristikken blir paa denne maate ogsaa maskinens magnetiseringskurve. Den vil bli noget forskjellig eftersom den magnetiserende strøm før avlæsningsøieblikket har været høiere eller lavere, da vi faar hysteresevirkning.

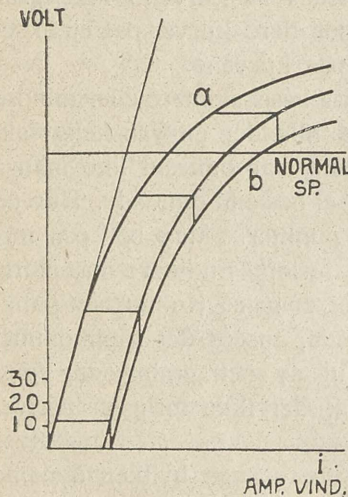


Fig. 31. Tomgangs- og belastningskarakteristikken for en likestrømsdynamo.

Vi regner tomgangskarakteristikken som den elektromotoriske kraft naar strømmen gjennom magnetviklingen i forveien har været lavere end i avlæsningsøieblikket. Paa fig. 31 viser kurve *a* tomgangskarakteristikken av en maskin. Den forløper for lave magnetiseringer som en ret linje, men bøier senere av (magnetiseringsknæet). Trækkes tangenten til kurven fra nulpunktet, faaes den magnetiseringsstrøm (amperevindinger) som er nødvendig til at magnetisere luftrummet. Kjender man maskinens bygning, kan luftrummetts længde herav beregnes.

Ved dimensionering av en dynamo vil man altid beregne tomgangskarakteristikken for derved at beregne magnetviklingen. Det er av vigtighet at maale den naar maskinen er færdigbygget. Den gir besked om det magnetiske kredsløp er i orden, specielt om magnetviklingene er rigtig utført, om luftrummetts længde og om der findes feil i polene og rammen. Det kan senere bli spørsmal om den samme type maskiner kan brukes ved noget høiere eller lavere spændinger. Tomgangskarakteristikken vil gi besked om det kan gjøres.

Belastningskarakteristikken har mindre betydning. Den viser maskinens polspænding ved forskellige magnetstrømmer naar den gaar som generator med en viss last (fuld last) med konstant hastighet, fremmed magnetisert eller selvmagnetisert. Dens forløp sees av kurve *b* paa fig. 31. Hvis man til ordinatene paa kurve *b* adderer spændingstapet i ankeret, faaes den inducerte elektromotoriske kraft ved belastning (den midterste kurve, se fig.). Denne vil som regel paa grund av ankerreaktionens av- og tvermagnetiserende indflydelse falde noget under tomgangskarakteristikken. Er maskinen ikke forsynt med kommuteringspoler, blir denne forskjel ikke ubetydelig.

Den ytre karakteristik er dynamoens polspænding som generator avhængig av belastningsstrømmen. Den er forskjellig for de forskjellige maater hvorpaa dynamoer kan magnetiseres.

a) Den fremmed magnetiserte dynamos polspænding vil avta naar dens belastning stiger. Hvis man til ordinatværdiene adderer spændingstapet i ankeret, børstene og kommuteringspolene, faaes den indre karakteristik, som vil avta litt naar belastningen stiger, da ankerreaktionen nedsætter kraftlinjetallet i maskinen.

b) Den selvmagnetiserte shunt-dynamos ytre karakteristik vil være en kurve som forløper steilere end den fremmedmagnetiserte dynamos. Vi maa forstaa den ytre karakteristik som polspændingen, naar shuntregulatoren staar i samme stilling, mens belastningen varierer, eller rettere sagt, motstanden i shuntviklingens kreds er konstant, hvilket vil finde sted naar viklingen har driftstemperatur. Skal man finde den ytre karakteristik av en færdig maskin, maa man huske paa at shuntviklingens motstand tiltar med dens temperatur; under prøven vil saaledes opvarmningen av shuntviklingen kunne bevirke feilagtige resultater.

Polspændingen hos den selvmagnetiserte shuntgenerator vil ved voksende belastning avta av tre grunder: Spændingstapet i ankeret vil tilta og dermed formindske polspændingen. Kraftlinjetallet gjennom ankeret vil avta, da ankerreaktionens virkning vokser, og derved synker polspændingen endda mere. Endelig vil strømstyrken gjennom shuntviklingen avta med polspændingen, formindske den magnetmotoriske kraft og dermed polspændingen.

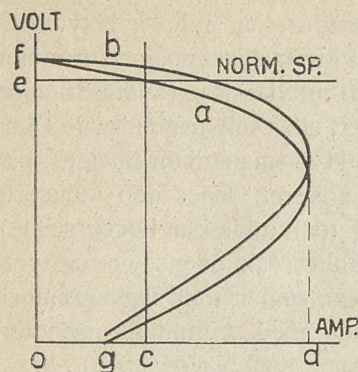


Fig. 32. Den ytre og indre karakteristikk for en shunt-dynamo.

Fig. 32, kurve *a*, viser forløpet av den ytre karakteristikk av en selvmagnetisert shunt-dynamo. Polspændingen synker i førstningen efter en ret linje, senere krummer kurven mot abscisseaksen. Tilslut naaes den kritiske strømstyrke O_d , som er den største strøm generatoren kan levere ved denne stilling av shuntregulatoren. I nærheten av og nedenfor den kritiske strømstyrke er der ustabil likevegt med hensyn til spænding og strøm.

Den kritiske strøm vil ved generatorer aldrig naaes ved vanlig drift. Den vil være flere ganger større end den normale strømstyrke ved fuld last O_c .

Den ytre karakteristikk av den selvmagnetiserte shunt-generator viser at den ikke vil brænde op ved fuldstændig kortslutning mellem polklemmene. Ti i saa fald overskrides den kritiske strømstyrke, spændingen synker, og man faar bare den strøm O_g som den remanente magnetismes felt vil formaa at sende gjennom det kortsluttede anker.

Vi har ved denne betragtning forutsat at maskinens shunt-regulator er indstillet saa at den gir normal spænding ved fuld last. Gaar maskinen med fuld last O_c amp. og slaaes belastningen pludselig av, stiger spændingen fra O_e volt til O_f volt. Spændingsforskjellen ef volt uttrykt i procent av den normale driftspænding O_e kaldes spændingsreguleringen, og det er av betydning at kjende denne ved hver enkelt maskin. Skal nemlig to maskiner arbeide paralelt, maa de ha omtrent samme spændingsregulering. Er maskinen ved normal gang godt magnetisert, arbeider den altsaa over magnetiseringsknæet, blir spændingsreguleringen liten, da en større forandring i strømstyrken gjennom magnetviklingen vil foraarsake en liten forandring i spændingen; en liten spændingsregulering foretrækkes ved dynamoer for lysdrift, hvor spændingen reguleres for haanden. Ved automatisk regulering av spændingen vil man derimot foretrække en mindre magnetisert maskin, da man derved sparer paa kobber i magnetviklingen. Spændingsreguleringen blir ved disse maskiner høi.

Hvis man til ordinatværdiene paa den ytre karakteristik adderer spændingstapet i ankerets strømkreds, faaes den indre karakteristik, kurve *b*, se fig. 32. Denne viser den inducerte elektromotoriske kraft i maskinen og gir et maal for kraftlinjetallet. Den indre karakteristik falder naar strømstyrken stiger, da ankerreaktionen nedsætter kraftlinjetallet i maskinen, og shuntstrømmen avtar naar belastningen stiger.

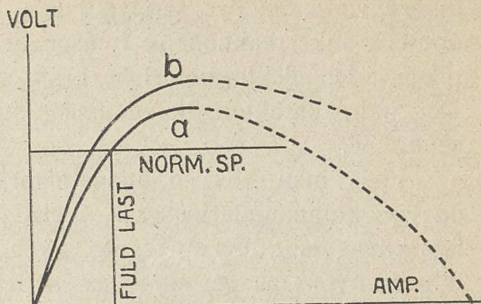


Fig. 33. Den ytre og indre karakteristik for en seriegenerator.

c) Seriegeneratorens ytre karakteristik viser at dens polspænding tiltar naar belastningen økes, kurve *a*, se fig. 33. Økes belastningen mer og mer, tiltar spændingen langsommere, for tilslut at naa et maksimum, som ved vanlige typer først vil naaes ved høi belastning, flere ganger den normale. Maskinen er da mættet med magnetisme. Tilslut vil spændingstapet i ankeret etc. samt ankerreaktionen forårsake at spændingen synker. Vi ser av kurven at ved fuldstændig kortslutning av en seriegenerators klemmer vil den brænde op, da strømstyrken vil faa en værdi lik det mangedobbelte av den normale.

Hvis man til ordinatværdiene paa den ytre karakteristik adderer spændingstapet i ankeret, børstene, kommuteringspolene og seriefeltet, faaes den indre karakteristik, kurve *b*, se fig. 33. Denne vil stige med stigende belastning.

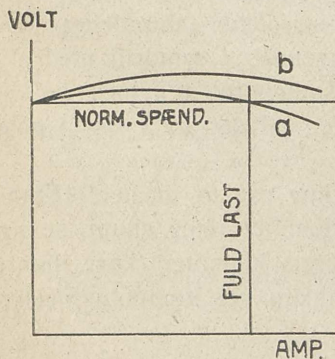


Fig. 34. En komponddynamos ytre og indre karakteristik.

d) Kompoundgeneratorens ytre karakteristik vil være en kurve som er buet mot abscisseaksen. Fig. 34, kurve *a*, viser den ytre karakteristik av en flatt kompondert maskin. Ved kompondering kan man opnaa at maskinen gir samme spænding ved to strømstyrker, f. eks. ved tomgang og fuld belastning. Men ved mellem-liggende strømstyrker vil polspæn-

dingen være høiere. Serieviklingens magnetiserende kraft skal dels ophæve ankerreaktionens avmagnetisering, dels skaffe et saa stort tillæg i den elektromotoriske kraft, at polspændingen holdes oppe. Den indre karakteristik vil derfor stige med belastningen, kurve *b*, se fig. 34.

Hvis man hos en dynamofabrik bestiller en generator med en viss komponderingsgrad, f. eks. flatt kompondert, vil der fra fabrikkens side forutberegnes hvor mange amperevindinger og følgelig hvor mange vindinger seriefeltet maa ha. Beregningen vil dog ikke slaa helt til, og for at være sikker vil fabrikkens lægge flere vindinger paa seriefeltet end strengt nødvendig, og naar maskinen er færdigbygget, anlægge en shunt til seriefeltet, saa strømstyrken i feltet blir saa stor, at man faar den komponderingsgrad man vil ha. Størrelsen av denne shunt findes ved forsøk. Fig. 35

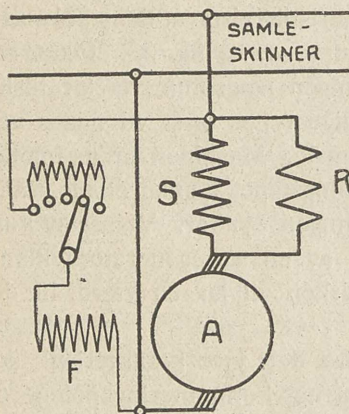


Fig. 35. En komponddynamos kobling.

viser koblingen av en komponddynamo med anlagt shunt til seriefeltet.

Kompondgeneratoren vil ved fullstendig kortslutning likesom seriegeneratoren være utsat for oppbrænding, idet da seriefeltet vil faa en overordentlig stor magnetiserende kraft.

Undertiden anvendes motkomponderte kompondgenerators, som vil ha en sterkt faldende karakteristik. I disse motvirker seriefeltet shuntfeltet. De kan anvendes i samdrift med akkumulatorbatterier for ved sterke belastningsstøt at tvinge belastningen over paa batteriet. Spændingen vil dog avta sterkt naar belastningen stiger.

Man kan forbinde shuntfeltets vikling paa to maater. Enten forbindes den mellem maskinens polklemmer (lang shunt, se fig. 35), eller man forbinder den paa ankerets klemmer (kort shunt). Der er ikke stor forskjjel i karakteristikken hos kompondmaskiner med lang og med kort shunt.

Man kan forbinde shuntfeltets vikling paa to maater. Enten forbindes den mellem maskinens polklemmer (lang shunt, se fig. 35), eller man forbinder den paa ankerets klemmer (kort shunt). Der er ikke stor forskjjel i karakteristikken hos kompondmaskiner med lang og med kort shunt.

Reguleringskurven hos en shuntgenerator er den strømstyrke man maa sende gjennom magnetviklingen ved forskjellige

belastninger, naar man skal holde spændingen konstant. Hastigheden er forudsat konstant.

Paa grund av ankerreaktionen og spændingstapet i ankeret maa man øke magnetstrømmen naar lasten tiltar. For belastninger op til fuld last vil reguleringskurven være omtrent en ret linje. Ved store belastninger vil den bøie litt opover. Det er av betydning at kjende en shunt-dynamos reguleringskurve, da denne er bestemmende for hvor stor motstanden maa være i shuntregulatoren. Denne maa være saa stor at maskinen kan gi den normale klemmespænding naar den gaar tom og feltet er koldt. Motstanden i shuntviklingen maa derimot være saa liten at maskinen kan gi fuld klemmespænding ved den høieste belastning, mens shuntviklingen er varm (65—85° C.). Hvis man kjender reguleringskurven, finder man den største og mindste shuntstrøm og følgelig den mindste og største motstand i shuntviklingens strømkreds. Hvis man fra denne største motstand trækker den mindste motstand magnetviklingen kan ha (i kold tilstand), faaes den motstand man maa ha i shuntregulatoren.

Eksempel. Ved belastning av en 50 kW 440 volt shuntgenerator er strømstyrken i shuntviklingen ved tomgang 2 amp. og ved 50% overbelastning 2,6 amp., idet maskinens polspænding og hastighet var normal. Magnetviklingens motstand er 120 ohm ved 15° C. Generatoren skal kunne gi normal spænding ved tomgang naar shuntviklingens temperatur er 0° C. Man skal beregne hvor stor motstand man maa ha i shuntregulatoren.

Løsning: Vi beregner først shuntviklingens motstand ved 0° C.:

$$R_0 = R_{15} \cdot 0,94 = 112,8 \text{ ohm.}$$

Den mindste strøm som kan forekomme i shuntviklingen, er 2 amp., følgelig maa man kunne skaffe en motstand i shuntviklingens strømkreds lik

$$\frac{440}{2} = 220 \text{ ohm}$$

Shuntregulatoren maa følgelig indeholde $220 - 112,8 = 107,2$ ohm.

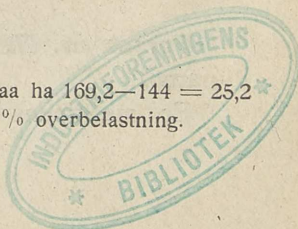
Gaar generatoren ved 50% overbelastning, er motstanden i shuntviklingens strømkreds

$$\frac{440}{2,6} = 169,2 \text{ ohm}$$

Antages shuntviklingens høieste temperatur under drift at være 65° C., er dens motstand ved denne temperatur

$$120 \cdot 1,2 = 144 \text{ ohm}$$

Ved denne temperatur av shuntviklingen maa man altsaa ha $169,2 - 144 = 25,2$ ohm i shuntregulatoren, naar generatoren gaar med 50% overbelastning.



Forsøk nr. 16. Tomgangskararakteristikken for en likestrømsdynamo.

Forsøket gaar ut paa at bestemme tomgangskararakteristikken for en likestrømsdynamo og tegne en kurve for denne ved at maale dynamoens polspænding, naar den gaar tom ved ca. 12 forskjellige strømstyrker gjennom magnetviklingen.

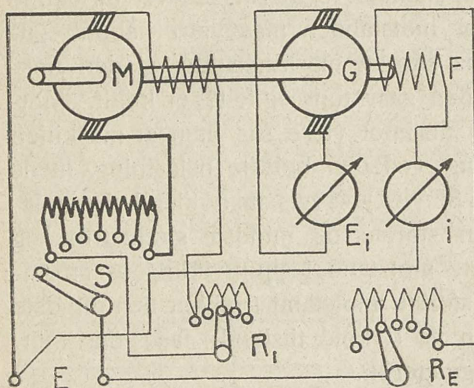


Fig. 36. Kobling for maaling av en dynamos tomgangskararakteristik.

For forsøket fremstilles en kobling som vist i fig. 36. Dynamoen G skal undersøkes. Man kobler magnetviklingen til en konstant spænding E . Strømstyrken i gjennom den kan reguleres ved reostaten R_E og avlæses ved indskutt amperemeter. Dynamoens polspænding ved tomgang maales ved voltmetret angitt paa fig., og den drives med konstant hastighet ved hjelp av shuntmotoren M ,

sat igang ved igangsætteren S . Dens hastighet kan reguleres ved shuntregulatoren R_1 . Hastigheten maales bedst ved et tachometer.

Begynd maalingene uten strøm i magnetviklingen. Vi faar da en liten spænding paa grund av den remanente magnetisme. Derefter økes magnetstrømmen, idet man ved hver avlæsning passer paa at magnetstrømmen umiddelbart i forveien har været mindre end den er i avlæsningsøieblikket. Hastigheten bør være konstant, men skal for hver maaling avlæses og noteres. Smaa avvikelser kan man ta hensyn til ved at korrigere den avlæste spænding til riktig hastighet, idet man multipliserer den avlæste spænding med forholdet mellem den rigtige og avlæste hastighet. Derefter skal man undersøke hvor meget høiere spændingskurven ligger naar magnetstrømmen i avlæsningsøieblikket har været avtagende.

Forsøk nr. 17. Belastningskarakteristikken for en shunt-dynamo.

Er maskinens tomgangskararakteristik ikke bekjendt, optages

først denne. Derefter optages belastningskarakteristikken, helst ved fuld belastning. Man benytter bedst fremmed magnetisering. For dynamoens og driftsmotorens kobling henvises til fig. 36, idet man parallelt til voltmetret lægger belastningen, f. eks. en lampereostat.

De to karakteristikker optegnes som kurve. Derhos beregnes den inducerede elektromotoriske kraft i ankeret, optegnes som kurve og ankerreaktionens avmagnetiserende indflydelse beregnes for maskinens normale spænding.

Forsøk nr. 18. Den ytre og indre karakteristikk for en seriedynamo.

Ved seriedynamoen er ankeret, magnetviklingen og belastningen koblet paa serie (fig. 37). Som belastning anvendes glødelamper eller manganimotstander.

Seriegeneratorens ytre karakteristikk bør findes for ca. 10 forskjellige belastninger op til ca. 50% overbelastning og optegnes som kurve. Derefter maales motstanden i ankeret, børstene, kommuteringspolene og hovedpolene ved spændingstapmetoden. Ved større maskiner maa seriefeltets motstand maales for sig og ankerets for sig; ved smaa maskiner kan man holde ankeret fast; i intet tilfælde maa ankeret tillates at rotere, da man i saa fald faar elektromotorisk motkraft. Man maa ogsaa huske paa at tillates ankeret at rotere frit, vil dets hastighet vokse enormt. Er motstanden beregnet, skal spændingstapet adderes til den ytre karakteristikk for at finde den indre karakteristikk. Spændingstapet bør da optegnes paa det samme kurvepapir og i samme maalestok som den ytre karakteristikk, som en ret linje beregnet f. eks. ved strømstyrken for fuld last. Man finder da ved addition av ordinatene den indre karakteristikk for et passende antal belastninger, saa en kurve for denne kan optegnes.

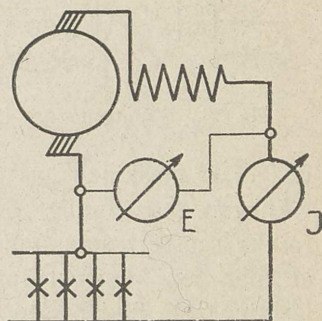


Fig. 37. Seriegeneratorens kobling.

Forsøk nr. 19. Den ytre og indre karakteristikk for en shunt-dynamo.

Forsøket gaar ut paa at bestemme den ytre karakteristikk av

en selvmagnetisert shuntgenerator for to forskjellige stillinger av shuntregulatoren, og for den ene av disse bestemme den indre karakteristikk.

Den kobling som maa anordnes for forsøket, sees av fig. 38. Ved amperemetre maales belastningsstrømmen J og strømmen

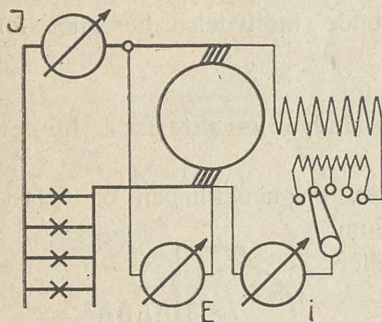


Fig. 38. Shuntgenerator i drift.

gjennom magnetviklingen i , samt generatorens polspænding E . Belastningsmotstanden bør kunne varieres inden vide grænser og kunne kortsluttes.

Vi har forklaret ovenfor at motstanden i shuntviklingens strømkreds skal være konstant under den hele række avlæsninger. For at opnaa dette er det at anbefale før forsøket at bringe feltviklingen paa driftstemperatur

ved at la maskinen gaa en tid med saa stor strøm gjennom shuntviklingen som mulig, og derefter gjennomføre hver avlæsningsrække saa fort som mulig. Man indstiller shuntregulatoren, saa at man faar normal spænding ved normal hastighet og fuld belastning, og finder den ytre karakteristikk, idet vi begynder med en passende overbelastning, 25—50 %, og derefter gradvis mindsker belastningen indtil tomgang. Derefter optages en lignende række avlæsninger med shuntregulatoren indstillet saa at man har normal spænding ved tomgang. Forsøk om i dette tilfælde den kritiske strømstyrke kan naaes. For at lære maskinen at kjende bør foruten de to ytre karakteristikker for den førstes vedkommende ogsaa den indre karakteristikk bestemmes og optegnes som kurve. Man maa derfor maale ankerets motstand.

Av de opstillede kurver besvares: 1) Hvor stor er spændingsreguleringen? 2) Hvor meget strøm gir dynamoen ved kortslutning?

Forsøk nr. 20. Den ytre og indre karakteristikk for en komponddynamo.

Har man at gjøre med en overkompondert dynamo, bør man før den ytre karakteristikk bestemmes, søke at faa den flatt kompondert ved at man paralelt med serieviklingen kobler tra-

der eller baand av nysølv eller manganin, cfr. fig. 35. For at finde den rigtige paralelmotstand indstiller man først shuntregulatoren, saa man har normal spænding ved tomgang. Derpaa slaaes belastningen paa, hvorved spændingen stiger, og længden av nysølvtraadene avpasses saa at man faar normal spænding ogsaa ved fuld belastning. Derpaa optages den ytre karakteristik, som tegnes op som kurve, hvorpaa den indre karakteristik beregnes og tegnes op som kurve, idet motstanden i ankeret og seriefeltet maales.

Av kurven undersøkes følgende spørgsmål: Hvor meget avviker klemmespændingen fra den normale ved belastninger mellem tomgang og 25 % overbelastning?

Forsøk nr. 21. En shuntgenerators reguleringskurve.

Forsøkets hensigt er at finde en shuntgenerators reguleringskurve, bestemme hvor stor motstanden i shuntregulatoren skal være, samt at vise at man ved godt magnetiserte dynamoer maa variere strømstyrken inden videre grænser end man maa ved lavt magnetiserte, naar man vil holde spændingen konstant. Vi benytter herved den kobling som er vist i fig. 38.

Er motstanden i shuntviklingen ikke kjendt, maa den maales. Derpaa drives maskinen med normal hastighet, og reguleringskurven findes for normal spænding ved at bestemme ca. 10 punkter paa den mellem tomgang og 25—50 % overbelastning. Derpaa findes reguleringskurven for en høiere spænding, bedst for den som gir fuld belastning ved helt utskutt regulator.

Man kan nu beregne: 1) Hvor stor motstand en shuntregulator for vedkommende maskin skal ha, og 2) hvor stor variationen i shuntstrømmen er mellem tomgang og fuld last for de to anvendte spændinger.

19. Likestrømsdynamoer som motor.

En likestrømsdynamo gaar som generator, naar den inducerte elektromotoriske kraft i ankeret er større end polspændingen paa dynamoens klemmer. I motsat fald gaar den som motor. Motorer vil, likesom generatorer, oftest bygges for de gjængse spændinger 110, 220 eller 440 volt. Seriemotorer for sporveisdrift bygges for høiere spændinger.

Likesom ved likestrømsgeneratorer vil de eksperimentelle

arbeider med likestrømsmotorer gaa ut paa at studere maskinenes egenskaper som motor saavel som deres bygning. Mens vi ved generatorer udelukkende behandlet deres egenskaper, vil vi her se litt paa feil ved maskinene, opstaat ved fabrikationen eller under driften. Vi ser bort fra mekaniske feil, daarlige lagere, daarlig centrert anker o. s. v.

I magnetfeltets vikling, ankerviklingen og kommutatoren kan man ha den feil at der er forbindelse til maskingodset. En saadan feil findes let ved motstandsmaaling med voltmeter (cfr. forsøk nr. 8); for at finde isolasjonsfeil i en fart kan man istedenfor voltmeteret benytte en glødelampe. Andre feil ved magnetfeltets vikling, kortslutningsforbindelser, gal viklingsretning, brudd o. s. v., kan man ogsaa let finde. I ankerviklingen kan man ha kortsluttede spoler eller brudd. Kortsluttede spoler findes ved at lede strøm gjennom ankeret, og med et voltmeter for lav spænding undersøke spændingsfaldet fra segment til segment. Et meget litet spændingsfald mellem to segmenter tyder paa kortslutning i ankeret eller mellem to kommutatorsegmenter. Brudd i ankeret vil sees av at spændingsfaldet er større end man skulde ha ventet. Paa kommutatoren kan man ha kortslutning mellem segmenter, ujevn overflate etc. I begge tilfælder vil man under gang faa gnistdannelse paa kommutatoren, hertil kan ogsaa gal børstestilling bidra. Kortslutning mellem to nabosegmenter kan likesom kortslutning i ankerspolene ha slemme følger for maskinen, idet den kortsluttede spole, som roterer i et sterkt magnetfelt, vil føre meget sterk strøm og ophetes sterkt.

Av likestrømsmotorenes egenskaper vil vi først studere hvordan hastigheten og virkningsgraden av en motor forandrer sig ved forskjellige belastninger, naar man antar polspændingen konstant.

Med hensyn til hastighetsvariationer forholder shunt- og seriemotorene sig forskjellig. Mens shuntmotoren trygt kan avlastes helt, kan man ikke avlaste seriemotoren, da dens hastighet der ved vil komme op i flere ganger normal hastighet og motoren vil ødelægges, hvilket ogsaa medfører fare for de omkringstaaende personer. Den medkompounderte komppoundmotors hastighet vil avta, naar belastningen stiger, mens man ved avlastning ikke risikerer at den ruser. Den motkompounderte motors hastighet vil være konstant eller tilta, naar belastningen stiger alt efter komppoundingens graden. Er motorens seriefelt sterkt, kan man faa

pendling, d. v. s. motorens hastighet avtar og tiltar avvekslende, indtil motoren ved sterk ankerstrøm ruser. Motkompounderte motorer vil man sjelden finde anvendt.

Er en motor færdigbygget, vil man i mange tilfælder undersøke dens hastighet ved forskjellige belastninger, men med konstant polspænding og konstant strømstyrke gjennom magnetviklingen. Ved mindre shuntmotorer uten kommuteringspoler, vil hastigheten ved overgang fra tomgang til fuld belastning avta 5—10%, ved større motorer med kommuteringspoler holder hastigheten sig mere konstant. Skal motoren kunne gaa med forskjellige hastigheter, opnaaes som regel dette ved regulering av strømstyrken gjennom shuntviklingen; av interesse er det i saa fald at maale hastigheten ved forskjellige strømstyrker i shuntviklingen ved tomgang. Ved seriemotorer bør hastigheten findes ved forskjellige belastninger, ved store belastninger er motoren sterkt magnetisert og hastigheten varierer ikke særdeles meget, hvormot hastigheten ved smaa belastninger vokser enormt.

20. Bestemmelse av en likestrømsmotors virkningsgrad ved bremseforsøk.

Pronys bremse gir en bekvem og god belastning for motorer. Dens virkemaate sees skematisk av fig. 39. Bremseskiven *S* fæstes paa motorens aksel, avkjøles med kaldt vand og utøver et moment paa bremseklodsen. Til maaling av momentet er der anbragt en kniv paa bremsen i en avstand fra bremseskivens centrum av *a* meter, ved en vekt kan trykket *P* kg. maales. Har bremsen en dødvægt *p* kg. findes det moment, som motoren utvikler

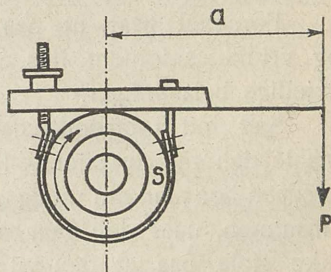


Fig. 39. Pronys bremse.

$$M = (P-p) \cdot a \text{ meter-kilogram}$$

og den effekt som motoren avgir paa bremseskiven

$$\frac{M \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 75} \text{ hk.} = \frac{M \cdot 2\pi \cdot n}{60} \cdot 9,82 \text{ watt.}$$

Ved Pronys bremse kan man maale en motors avgivne effekt

ved de forskjelligste belastninger. Da den tilførte effekt let kan maales ved et volt- og et amperemeter, findes motorens virkningsgrad ved følgende ligning

$$\eta = \frac{\text{Avgit effekt}}{\text{Tilført effekt}} = \frac{M \cdot 2\pi \cdot n}{60} \cdot 9,82}{E \cdot J}$$

Virkningsgraden angives enten som et tal eller oftest uttrykt i procent av enheten.

Bestemmelser av virkningsgraden av motorer ved bremseforsøk foretages med motorer av størrelse op til 50—100 hk. Da vi ved bremseforsøket belaster motoren, kan man ved dette finde ikke alene virkningsgraden, men ogsaa hastighetskarakteristikken etc. Virkningsgrad-bestemmelser ved bremseforsøk medfører dog ulemper. Det er vanskelig at opnaa nøiagtig bestemmelse av virkningsgraden, da den avgivne effekt ikke kan maales nøiagtig. Her til kommer at bremsning av store motorer forlanger stor effekt og tilsvarende bremseanordninger. Man foretrekker derfor ofte at bestemme virkningsgraden ved tomgangsforøk.

Forsøk nr. 22. Bremseforsøk paa en seriemotor.

Forsøket gaar ut paa at bestemme virkningsgrad, hastighet og vridningsmoment hos en seriemotor ved et antal (ca. 10) forskjellige belastninger.

Sæt ind i strømkredsen volt- og amperemeter for at kunne maale den tilførte effekt. Pas paa at ikke motoren ruser; i strømkredsen bør man om mulig sætte ind en minimalbryter, som bryter strømmen, naar den gaar under en viss grænse. Man kan dog ikke stole paa at den vil koble ut i ret tid, hvorfor man stadig bør staa færdig til at bryte strømmen om det skulde være nødvendig. Til bestemmelse av den avgivne effekt anvendes bedst Pronys bremse. Begynd med den høieste belastning, 25 à 50 % overlaster, og ta de fornødne avlæsninger ved hver maaling, indtil man naar en saa stor hastighet hos motoren som man kan gaa til.

Der beregnes og tegnes op kurver for virkningsgrad, moment, hastighet og strømforbruk, mens avgivet effekt i hestekræfter er abscisser.

Forsøk nr. 23. Bremsforsøk paa en shuntmotor.

Man gjennomfører et bremsforsøk paa en shuntmotor paa lignende maate som beskrevet i det foregaaende forsøk, dog saaledes at strømstyrken gjennom shuntviklingen under forsøket holdes konstant, og denne indreguleres saaledes at man ved fuld belastning faar motorens normale hastighet. Forøvrig utføres forsøket som angit i forsøk nr. 22.

Forsøk nr. 24. En shuntmotors hastighet ved forskjellige magnetiseringer.

For at studere hastighetsreguleringen hos shuntmotorer vil vi drive en motor i tomgang a) med normal polspænding, b) med en lavere eller høiere spænding og herunder iagtta hvordan motorens hastighet varierer med strømstyrken gjennom magnetviklingen. Er motoren ikke utrustet med kommuteringspoler, maa man være opmerksom paa at børstestillingen er riktig, og motorens hastighet lar sig heller ikke variere særdeles meget uten gnistdannelse paa kommutatoren. Gjennomfør avlæsninger for 8 à 10 forskjellige hastigheter ved hver polspænding, fra den laveste hastighet ved den største magnetstrøm indtil den høieste hastighet man kan gaa til. Sæt et amperemeter ogsaa ind i ankerets strømkreds og iagtta hvordan ankerstrømmen varierer. Strømstyrken gjennom ankerviklingen og hastigheten kan nu oppstilles som kurver, idet shuntstrømmen er abscisser.

Forsøk nr. 25. Kompoundmotorens hastighet.

Hensigten ved forsøket er at vise hvordan hastigheten hos en kompoundmotor varierer naar belastningen forandrer sig, samt at vise kompoundviklingens betydning ved med- og motkompounding.

Vi belaster bekvemmest motoren med en generator og optar først en kurve for hastigheten ved forskjellige tilførte strømstyrker, idet seriefeltet er utkoblet. Shuntstrømmen skal under forsøket være saa stor, at man har normal hastighet ved fuld last. Denne kurve vil for de fleste motorer falde av noget ved stigende last, og viser at shuntmotorens hastighet avtar naar belastningen stiger. Derpaa gjennomføres en lignende række avlæsninger med indkoblet seriefelt, som skal forsterke shuntfeltet — altsaa medkompounding — og vi finder en kurve som falder sterkere mot

abscisseaksen. Tilslut optages en lignende avlæsningsrække ved motkompounding. Er kompoundingen ikke for sterk, kan man faa konstant hastighet ved alle belastninger. Ved sterk motkompounding tiltar hastigheten med belastningen, og man kan faa pendling. Er motoren sterkt compoundert, maa man passe paa at ikke hastigheten stiger over den tillatte grænse. I mange tilfælder vil en stor tilvekst i hastigheten føre med sig at strømstyrken stiger sterkt; at anbefale er det derfor at motorens sikringer kobler ut strømmen ved en strømstyrke som ikke ligger synderlig over motorens normale.

Man vil i praksis sjelden finde anvendt motkompounderte motorer, da deres gang ikke er saa stabil som shuntmotorenes; i de færreste tilfælder vil man ha bruk for en absolut konstant hastighet. Derimot har medkompounderte motorer endel anvendelse, da de ved sterke belastningsstøt utvikler et stort moment uten at ta op en strøm gjennom ankeret som er proportional vridningsmomentet, hvilket shuntmotoren gjør. Sammenlignet med seriemotoren har de den fordel at de ikke ruser ved fuldstændig avlastning.

21. Virkningsgradbestemmelser ved indirekte metoder. **Indledning.**

Vi definerer virkningsgraden av et apparat, som forholdet mellem den avgivne effekt og den tilførte effekt. Den avgivne effekt hos en generator kan let bestemmes, hvorimot den tilførte mekaniske effekt kun kan bestemmes tilnærmet og med vanskelighet, men man kan beregne den tilførte effekt hos en generator, naar man kjender tapene ved vedkommende belastning. Vi faar nemlig uten videre at den tilførte effekt er lik den avgivne effekt plus effekttapene i maskinen. Ved motorer kan man let maale den tilførte effekt, mens den avgivne effekt maa maales ved mindre fuldkomne metoder, blandt hvilke bremsemetoden er den oftest anvendte. Paa lignende maate som ved generatorer beregnes den avgivne effekt hos motorer, som differensen mellem den tilførte effekt og effekttapene i maskinen ved vedkommende belastning. Bestemmelse av virkningsgraden av en generator eller motor tilbakeføres saaledes til beregning eller maaling av de effekttap som optræder ved vedkommende belastning.

22. De enkelte effekttap i likestrømsdynamoer.

Vi kan inndeile de viktigste effekttap i en generator eller motor i tre hovedgrupper, mekaniske tap, magnetiske tap og elektriske tap.

De mekaniske tap er friksjonstapene, som vi har naar maskinen roterer. De største friksjonstap finder vi i lagerne, samt paa kommutatoren (ved børstene). Luftfriksjonen vil ogsaa forarsake effekttap, særlig ved høie hastigheter. De mekaniske tap er ved store, langsomtgaende maskiner omkring 1% av maskinens effekt ved fuld last, ved mindre, mere hurtiggaende maskiner 2—3%, ved ganske smaa motorer kan de bli betydelige. Motorer med kulelagere har liten lagerfriksjon. De mekaniske tap er uavhengig av maskinens belastning og avhænger kun av hastigheten. I mange tilfælder har man fundet at de er omtrent proportionale med 1,5te potens av omdreiningshastigheten. Forøvrig er de meget forskjellige for de forskjellige typer av maskiner og avhænger av lagernes konstruktion, den anvendte olje og dens temperatur, børstenes antal og deres tryk paa kommutatoren o. s. v.

De magnetiske tap er den effekt som gaar tapt i ankerjernet ved dets stadige ommagnetisering. De bestaar av hysteresetap og hvirvelstrømtap. Hysteresetapene er proportionale med antal ommagnetiseringer pr. sekund, altsaa maskinens hastighet, proportionale med 1,6te potens av magnetiseringen, proportional den mængde jern som ommagnetiseres, samt avhænger av de jernplater som er anvendt. Hvirvelstrømtapene er proportionale anden potens av antal ommagnetiseringer pr. sekund (hastigheten), anden potens av magnetiseringen og proportional første potens av den mængde jern som ommagnetiseres. Desuten er de proportionale kvadratet paa platenes tykkelse og avhænger av deres kvalitet. I litteraturen finder vi ofte angit følgende formel for de magnetiske tap (ogsaa kaldt jerntapene):

$$W_j = \sigma_h \cdot \frac{\nu}{100} \cdot \left(\frac{B}{1000}\right)^{1,6} \cdot V + \sigma_v \left(\Delta \cdot \frac{\nu}{100} \cdot \frac{B}{1000}\right)^2 \cdot V \text{ watt}$$

hvor σ_h er konstanten for hysteresetapene — for gode plater er den mindre end 1. ν er frekvensen (det halve antal ommagnetiseringer pr. sek.), B er induktionen i det jern som ommagnetiseres, og Δ er platenes tykkelse i millimeter. V er volumet i kubik-

decimeter av det jern som ommagnetiseres, og σ_v er en konstant for hvirvelstrømtapene for vedkommende jernsort, der som regel i likestrømsmaskiner kan sættes omkring 10. Denne konstant er dog meget forskjellig, ogsaa for en og samme jernsort, idet sløvt verktoei ved stansningen av platene, ujevnheter og grad i høi grad forøker den. Hertil kommer at massive jernmasser paa ankeret tillike vil øke hvirvelstrømtapene, f. eks. uisolerte ankerbolter, tykke plater for enden av ankeret o. s. v.

Vi ser av vor formel at de magnetiske tap i en og samme maskin avhænger av kraftlinjetallet i maskinen, samt av omdreiningshastigheten. Derimot er de uavhengig av strømstyrken gjennom ankeret, d. v. s. av belastningen. Frekvensen i ankeret er lik

$$\nu = \frac{p \cdot n}{60}$$

hvor p er antal polpar. Forat ikke jerntapene skal bli for store, bør derfor frekvensen være lav. Er man ved konstruktion av maskinen nødt til at vælge en høi frekvens, maa induktionen i ankeret være lav. Store jerntap vil nemlig føre til at ankeret blir sterkt opvarmet, saa den grænse hvortil man kan belaste maskinen ved stadig drift, sænkes. Desuten fører de til spild av energi.

De elektriske tap optræder i ankerets og magnetfeltets vikling og som tap ved strømmens overgang fra kommutatoren til børstene.

Vi vil først søke et uttrykk for ankerviklingens motstand. Har vi N ledere paa ankeret, og er længden av en halv vinding l_a cm., faar vi en samlet længde av ankerets kobberledning paa $N \cdot l_a$ cm. Vi antar at der er $2a$ veier fra børste til børste og at viklingens tversnit er q_a mm², og vi faar motstanden av ankerviklingen ved 15° C.

$$\frac{N \cdot l_a}{100 \cdot 2a} \cdot \frac{0,0175}{2a \cdot q_a} = \frac{N}{(2a)^2} \cdot l_a \cdot \frac{0,0175}{100 \cdot q_a} \text{ ohm.}$$

Tapene i ankerviklingen angives altid ved driftstemperatur, i almindelighet ved 55° C.; ved denne temperatur blir ovennævnte motstand at multiplisere med 1,16.

Overgangsmotstanden mellem børstene og kommutatoren lar sig vanskelig forutberegne nøiagtig. Den forandrer sig sterkt med strømtætheten under børstene. I flere tilfælder har man saaledes

fundet at den er omvendt proportional strømtætheten. Da denne motstand som regel er meget mindre end motstanden i ankerviklingen, pleier man at regne med samme overgangsmotstand ved alle belastninger; den feil man paa denne maate faar ind i de samlede tap i maskinen, blir liten. Naar man skal maale overgangsmotstanden, pleier man at benytte spændingstapmetoden og maale den ved stillestaaende anker. Den derved fundne overgangsmotstand er noget større end den virkelige overgangsmotstand, naar maskinen er i gang. Denne sidste er vanskelig at maale. Den feil i de samlede tap og virkningsgraden som man faar ind ved at regne med overgangsmotstanden ved stilstand istedenfor ved gang, blir dog liten.

For bekvemhets skyld sammenfatter vi ankerviklingens motstand, overgangsmotstanden og motstanden i kommuteringspolenes vikling og kalder den motstanden fra pol til pol R_a , og de effekttap de foraarsaker kobbertapene i ankerets strømkreds W_k , ogsaa kaldt de kvadratiske tap, da de tiltar proportional med kvadratet paa strømstyrken gjennom ankeret. For en shuntgenerator blir

$$W_k = (J + i)^2 \cdot R_a \text{ watt}$$

og for en shuntmotor

$$W_k = (J - i)^2 \cdot R_a \text{ watt}$$

naar J er linjestrømmen og i strømmen gjennom shuntviklingen. Kobbertapene vil ved langsomtgaende maskiner være forholdsvis større end ved hurtiggaende.

I magnetviklingen vil motstanden foraarsake effekttap lik motstanden ganger strømstyrkens kvadrat. For en seriemaskin faaes de lik

$$W_m = J^2 \cdot R_m.$$

Ved shuntmaskiner spør vi som regel efter effekttapene i magnetviklingens strømkreds, ikke bare i viklingen selv, men ogsaa i magnetregulatoren. Disse samlede effekttap til magnetisering blir lik

$$W_m = i \cdot E$$

hvor E er polspændingen.

Tapene ved magnetisering vil hos seriemaskinen være proportional kvadratet paa strømstyrken, og sammenfattes saaledes

bedst med de kvadratiske tap i ankerets strømkreds. Ved shunt generatoren som ved konstant hastighet gir konstant spænding, vil de stige litt eftersom belastningen økes, idet man ved fuld belastning maa ha litt større shuntstrøm end ved tomgang (cfr. reguleringskurven). En shuntmotor som skal gi konstant hastighet ved konstant polspænding, vil som regel kræve litt mindre strøm gjennom shuntviklingen ved fuld belastning end ved tomgang, saa disse tap vil avta litt naar belastningen stiger. Alt ialt kan vi si at magnetiseringstapene hos shuntmaskinen holder sig nogenlunde konstant ved alle belastninger.

23. Bestemmelse av effekttapene ved tomgangsforsøk og motstandsmaaling.

Vi skal nu se paa hvordan man bestemmer tapene i en maskin eksperimentelt. Det kan foregaa paa to maater, enten drives den maskin som skal undersøkes, som motor i tomgang, eller den forbindes ved en rem til en hjølpemotor som driver den. Den første metode er den viktigste.

Vi lar den maskin hvis effekttap skal undersøkes, gaa tom som motor og sørger for at dens hastighet er normal. Vi lar motoren faa en saa stor spænding som den normalt inducerte elektromotoriske kraft i maskinen. Har vi at gjøre med en generator, skal vi altsaa la den gaa som motor med en polspænding ca. 5% høiere end generatorens normale polspænding. Har vi en motor, vælges polspændingen ved tomgangsforsøket ca. 5% lavere end den normale polspænding. Vi maaler nu den effekt vi tilfører ankeret. Denne gaar med til at dække de mekaniske og magnetiske tap. En meget liten del gaar med til at dække kobbertapene; de blir ved tomgang saa smaa at vi kan sætte dem ut av betragtning. Da hastigheten og den inducerte elektromotoriske kraft og dermed magnetiseringen ved tomgangsforsøket er den samme som den vi har ved vanlig drift ved belastning, vil den effekt vi tilfører ankeret ved tomgangsforsøket, være lik de mekaniske og magnetiske tap ved vanlig drift.

Det staar nu tilbake at bestemme de elektriske tap. Kobbertapene ved en viss forutsat strømnstyrke er kjendt saasnart man kjender motstanden fra pol til pol R_a , og kobbertapene ved hvilken som helst belastning bestemmes saaledes ved motstandsmaaling.

Effekttapene i magnetviklingen hos en seriemaskin faaes ogsaa ved motstandsmaaling. For at finde magnetiseringstapene hos shuntmaskinen, maa man kjende strømstyrken gjennom shuntviklingen ved de forskjellige belastninger, ved generatorer altsaa reguleringskurven. Da man i mange tilfælder ikke har anledning til at belaste maskinen, nøier man sig med at regne med samme shuntstrøm ved alle belastninger. Man antar at en generator ved alle belastninger bruker en saa stor strøm gjennom shuntviklingen som den man fandt ved tomgangsforsøket, altsaa den shuntstrøm som ved normal hastighet skaffer en inducert elektromotorisk kraft omkring 5% høiere end den normale polspænding. Har man en motor, gaar man frem paa samme maate. Ved tomgangsforsøket gav man maskinen en saa stor shuntstrøm at man fik normal hastighet, naar den inducerte elektromotoriske kraft (som er lik polspændingen) er omtrent 5% mindre end motorens normale polspænding under drift. Man regner nu med at motoren bruker denne shuntstrøm ved alle belastninger. Det er klart at man ved disse antagelser faar feilagtige magnetiseringstap, men de feil man bringer ind, blir saa smaa at man ialfald for beregning av virkningsgraden av maskiner kan sætte dem ut av betragtning.

24. Beregning av virkningsgraden naar effekttapene kjendes.

Virkningsgraden av en generator eller motor kan nu bestemmes ved hvilkensomhelst belastning. La os anta at man skal bestemme virkningsgraden av en generator som gir J amp. linjestrøm ved E volt polspænding. Ved tomgangsforsøket var strømstyrken gjennom ankeret J_0 amp., gjennom shuntviklingen i amp., mens den anvendte spænding var E_0 volt. Motstanden fra pol til pol ved 55° C. er maalt til R_a ohm. Virkningsgraden blir da

$$\eta_G = \frac{E \cdot J}{E \cdot J + E_0 \cdot J_0 + E \cdot i + (J + i)^2 \cdot R_a}$$

Paa lignende maate bestemmes virkningsgraden av en motor, som ved E volt polspænding optar en linjestrøm av J amp. Ved tomgangsforsøket tilførtes der ankeret J_0 amp., og shuntviklingen i amp. ved en spænding av E_0 volt, som i dette tilfælde er ca. 5% lavere end motorens normale polspænding. Er motstanden

fra pol til pol ved 55° C. maalt til R_a ohm, har man motorens virkningsgrad

$$\eta_M = \frac{E \cdot J - [E_o \cdot J_o + E \cdot i + (J - i)^2 \cdot R_a]}{E \cdot J}$$

Den effekt i hestekræfter motoren avgir, findes let av tælleren i ligningen. Virkningsgraden for generatorer eller motorer ved forskjellige belastninger findes ved at indsætte den værdi av J man vil utregne virkningsgraden for. Mens man ved generatorer paa denne maate kan finde virkningsgraden for nøiagtig fjerdedels last, halv last o. s. v., lar dette sig ved motorer ikke gjøre uten videre, da den avgivne effekt først findes naar regningen er tilendebragt. Man bør saaledes ved motorer beregne en kurve for virkningsgraden, og herav finde virkningsgraden for de belastninger man vil ha.

Eksempel 1. For en 100 kW. 500 volt shuntgenerator hvis normale hastighet er $n = 450$ omdr. pr. min., skal virkningsgraden bestemmes ved tomgangsmetoden for følgende belastninger: $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{1}$, $1\frac{1}{4}$ og $1\frac{1}{2}$ ganger normal belastning.

Utførelse: Motstanden fra pol til pol maalt ved stillestaaende anker ved spændingstapsmetoden (fig. 18). Man anvendte strømstyrker omkring motorens normale. Det rum hvori dynamoen var opstillet, hadde en temperatur av 19° C., og viklingene i ankerets strømkreds antoges at ha denne temperatur. Man avlæste de i tabellen avgivne strømstyrker J_1 , og de tilhørende spændingstap ved stillestaaende anker E_1 , hvorav motstanden beregnes:

K = 1. E ₁	K = 1. J ₁	R _a = $\frac{E_1}{J_1}$	
20	155	0,129 Ω	
24	182	0,132 „	
28,5	224	0,127 „	Middel: R _{a19°} = 0,129 Ω ved 19° C.
33,3	258	0,129 „	

Av den fundne værdi for motstanden ved 19° C. beregnes motstanden fra pol til pol ved 15° C.

$$R_{a15^\circ} = \frac{R_{a19^\circ}}{1 + 0,004 \cdot 4} = \frac{0,1293}{1,016} = 0,127 \Omega$$

Ved en driftstemperatur av 55° C. har motstanden fra pol til pol følgende værdi:

$$R_a = R_{a15^\circ} (1 + 0,004 \cdot 40) = 0,127 \cdot 1,16 = 0,147 \Omega$$

Spændingstapet blir ved fuld belastning

$$0,147 \cdot \frac{100000}{500} = 29,4 \text{ volt.}$$

Man lot nu maskinen gaa tom som motor med normal hastighet $n = 450$, og en polspænding lik den inducerte elektromotoriske kraft i ankeret ved fuld belastning og driftstemperatur (55°C.), altsaa med en polspænding av 530 volt. Efter ca. 1 times gang avlæste man strømstyrken gennem ankeret J_0 , og gennem shuntviklingen i samt polspændingen E_0 (se fig. 40):

$$J_0 = 7,8 \text{ amp.} \quad i = 3,65 \text{ amp.}$$

$$E_0 = 530 \text{ volt.}$$

Beregning.

De mekaniske og magnetiske tap blir

$$W_0 = J_0 \cdot E_0 = 7,8 \cdot 530 = 4130 \text{ watt.}$$

De elektriske tap i shuntviklingens strømkreds blir ved vanlig drift

$$W_m = i \cdot E = 3,65 \cdot 500 = 1825 \text{ watt.}$$

De elektriske tap i ankerviklingens strømkreds er $(J + i)^2 \cdot R_a$ og sees av den efterfølgende tabel.

Vi forutsætter nu at generatoren gaar med de ovenfor nævnte belastninger og opstiller en tabel for effekttapene ved disse belastninger samt beregner virkningsgraden (tabel nr. 1, side 66).

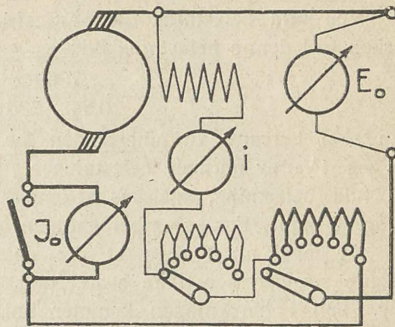


Fig. 40. Bestemmelse av en shunt dynamos effekttap ved tomgangs forsøk.

Eksempel 2. Man skal bestemme virkningsgraden ved forskjellige belastninger av en 10 hestekræfter shuntmotor bygget for 220 volt. Dens normale hastighet er $n = 1000$ omdr. pr. min.

Utførelse: Motstanden fra pol til pol maales ved samme fremgangsmaate som i forrige eksempel og beregnedes til driftstemperaturen 55°C. Man fandt:

$$R_a = 0,45 \Omega.$$

Da strømstyrken ved fuld belastning ikke kjendes, maa man bestemme spændingstapet anslagsvis, eksempelvis til 5% av driftsspændingen. For at bestemme de mekaniske og magnetiske tap lot man motoren gaa tom med en spænding $220 - 11 = 209$ volt. Man avlæste efter ca. $\frac{1}{2}$ times gang:

$$J_0 = 2,2 \text{ amp.} = \text{tomgangsstrømmen gjennom ankeret}$$

$$i = 0,8 \text{ ,,} = \text{strømmen gjennom shuntviklingen}$$

$$E_0 = 209 \text{ volt.}$$

Beregning.

De mekaniske og magnetiske effekttap blir

$$W_0 = 2,2 \cdot 209 = 460 \text{ watt.}$$

De elektriske tap i shuntviklingens strømkreds blir ved vanlig drift

$$W_m = i \cdot E = 0,8 \cdot 220 = 176 \text{ watt.}$$

De elektriske tap i ankerviklingens strømkreds er $(J - i)^2 \cdot R_a$, og sees av tabel nr. 2 nedenfor.

Ved opstilling av denne tabel kan man ikke efter at ha forutsat bestemte værdier av belastningen finde strømstyrken direkte, da motorens virkningsgrad endnu ikke er kjendt. Man maa derfor forutsætte visse værdier av den til motoren tilførte strømstyrke, for disse bestemme effekttapene og derpaa finde den avgivne effekt og virkningsgraden.

Ved fuld belastning sættes anslagsvis virkningsgraden til 84%. Strømstyrken ved denne belastning blir

$$J = \frac{7360}{0,84 \cdot 220} = 39,8 \text{ amp.}$$

Man skal beregne virkningsgraden for belastninger omtrent lik $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{4}$ og $1\frac{1}{2}$ av normale belastninger. Da virkningsgraden ventes at bli bedst ved fuld belastning, anslaaes strømforbruket til henholdsvis 12, 22, 30, 39,8, 50 og 60 amp. For selve beregningen oppstilles tabel nr. 2.

Av tabel nr. 2 sees at det antal hestekræfter som avgives ved de antagne strømstyrker, ikke svarer nøiagtig til $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ o. s. v. av normal belastning. Feil i beregningen kommer imidlertid ikke ind av denne grund, da de fundne værdier av virkningsgraden gjælder ved de antagne strømstyrker.

Tabel nr. 1. Beregning av en shuntgenerators virkningsgrad ved forskjellige belastninger.

Belastning	Avgitt effekt kW.	Belastningsstrøm amp.	Shuntstrøm amp.	Ankerstrøm amp.	Tomgangstap i ankeret kW.	Tap i magnetviklingens strømkreds kW.	Elektr. tap i anker-vikl. kW.	Samlede effekttap kW.	Tilført effekt kW.	Virkningsgrad
$\frac{1}{4}$	25	50	3,65	53,65	4,13	1,825	0,425	6,38	31,38	79,7%
$\frac{1}{2}$	50	100	3,65	103,65	4,13	1,825	1,58	7,535	57,535	87,0 „
$\frac{3}{4}$	75	150	3,65	153,65	4,13	1,825	3,46	9,415	84,415	88,8 „
1	100	200	3,65	203,65	4,13	1,825	6,10	12,055	112,055	89,2 „
$1\frac{1}{4}$	125	250	3,65	253,65	4,13	1,825	9,45	15,405	140,405	89,0 „
$1\frac{1}{2}$	150	300	3,65	303,65	4,13	1,825	13,5	19,455	169,555	88,4 „

Tabel nr. 2. Beregning av en shuntmotors virkningsgrad ved forskjellige belastninger.

Forutsatt belastningsstrøm amp.	Shuntstrøm amp.	Ankerstrøm amp.	Tomgangstap i ankeret kW.	Tap i magnetviklingens strømkreds kW.	Elektr. tap i anker-vikl. kW.	Samlede effekttap kW.	Tilført effekt kW.	Avgitt effekt kW.	Virkningsgrad	Avgivne hestekræfter
12	0,8	11,2	0,46	0,176	0,056	0,692	2,64	1,948	73,8%	2,66
22	0,8	21,2	0,46	0,176	0,202	0,838	4,84	4,002	82,7 „	5,43
30	0,8	29,2	0,46	0,176	0,384	1,02	6,60	5,58	84,5 „	7,58
39,8	0,8	39,0	0,46	0,176	0,686	1,322	8,76	7,438	84,9 „	10,1
50	0,8	49,2	0,46	0,176	1,086	1,722	11,00	9,278	84,3 „	12,6
60	0,8	59,2	0,46	0,176	1,575	2,211	13,20	10,989	83,3 „	14,93

Forsøk nr. 26. Bestemmelse av en generators virkningsgrad ved et tomgangsforsøk.

Forsøket gaar ut paa at beregne og opstille kurver for: a) de mekaniske og magnetiske tap, b) magnetiseringstap, c) kobbertap, d) samlede tap og e) virkningsgrad hos en shuntgenerator.

Begynd med at maale motstanden fra pol til pol og beregne den for 55° C. Derpaa sættes maskinen igang som motor med de rigtige maaleinstrumenter indskutt i strømkredsen (cfr. fig. 40). Da amperemetret i ankerkredsen maa kunne maale smaa strømstyrker, blir det let overlastet ved igangsætning. Beskyt det ved at forbinde det i shunt til en bryter, som ved igangsætning er lukket og saaledes fører hele strømmen. Naar man skal læse av, aapnes bryteren. La maskinen gaa i ca. en halv time med høi hastighet før avlæsningen foretages, forat oljen i lagerne skal ha driftstemperatur.

Ved beregning av virkningsgraden bør man, hvis maskinens reguleringskurve er kjendt, benytte de herav fundne magnetstrømmer. Tapene og virkningsgraden maa beregnes for et tilstrækkelig antal belastninger, op til 25 à 50 % overbelastning.

Forsøk nr. 27. Bestemmelse av en shuntmotors virkningsgrad ved tomgangsforsøk.

Paa lignende maate som ved foregaaende forsøk, skal man bestemme og tegne op kurver for tap og virkningsgrad hos en shuntmotor, idet man som abscisser benytter den avgivne effekt i hestekræfter. Forøvrig henvises til foregaaende forsøk.

25. Bestemmelse av effekttap ved hjelpemotor.

Den anden metode, bestemmelse av tapene i en maskin ved en hjelpemotor, benyttes naar man ikke har den spænding som skal tilføres motoren ved tomgangsforsøket, likesom metoden ogsaa forresten har adskillig anvendelse. Paa fig. 41 er D den dynamo, hvis effekttap skal undersøkes, og M hjelpemotoren. M behøver ikke at være større end at den kan dække tapene i D . Drives M med saa stor hastighet at D har normal hastighet, vil M paa remmen avgi den effekt som skal til for at dække tapene i D . Er D umagnetisert, blir disse kun de mekaniske tap, magnetiseres D , faaes ogsaa magnetiske tap i D .

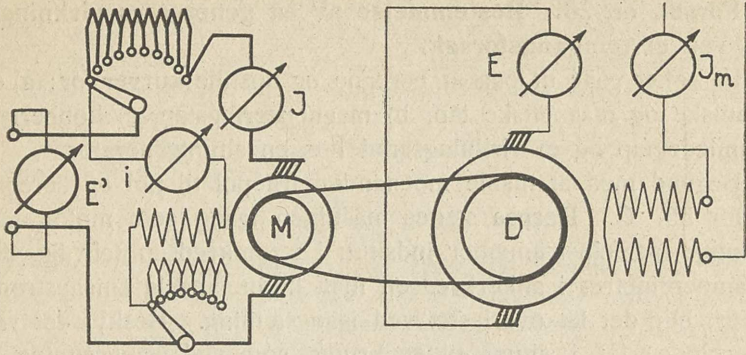


Fig. 41. Effekttap og virkningsgrad bestemt ved hjelpemotor.

Som regel gaar man frem paa følgende maate: 1) M driver D med normal hastighet og en bestemt magnetisering. Vi maaler den effekt A vi sender ind i M 's anker. 2) M driver D med normal hastighet og uten magnetisering. Vi maaler den effekt B vi nu sender ind i M 's anker. 3) Remmen tages av og M drives med samme hastighet som den hadde under 1) og 2). Vi maaler den effekt C vi sender ind i M 's anker. Strømstyrken i M 's shuntvikling skal under alle tre forsøk være den samme, saa jern- og friktionstapene i M blir likestore i alle tre forsøk. Sættes kobbertapene i M ut av betragtning, hvad man kan gjøre, naar M ikke er for liten, gir $(A-C)$ de mekaniske og magnetiske tap i D , og $(B-C)$ de mekaniske tap i D ; remmen bør være bøielig, saa man faar smaa effekttap i denne. De magnetiske tap alene, faaes følgelig lik $A-B$. Ved at ta 1) ved forskjellige strømmer gjennom D 's shuntvikling, faaes de magnetiske tap ved forskjellige magnetiseringer.

Denne metode har den fordel fremfor den forrige, at man kan finde friktionstapene og jerntapene hver for sig, likesom man kan finde jerntapene ved forskjellige magnetiseringer, og ved en kurve faa en nøiagtigere bestemmelse av jerntapene ved den magnetisering man vil ha. Paa den anden side maa man anvende en ekstra driftsmotor. Metoden har størst betydning ved undersøkelse av vekselstrømsgeneratorer, hvorfor vi vil henvise til nærmere utredning av denne i punkt 36.

Der kan ogsaa optræde andre effekttap end de ovenfor nævnte i en likestrømsdynamo, og disse kan ved uheldig konstruktion av maskinen bli betydelige. Vi kan nævne hvirvelstrømmer i anker-

lederne, særlig ved store ankertversnit, lagt paa flaten i sporene, hvirvelstrømmer i massive polsko ved aapne spor, hvirvelstrømmer i tændene forårsaket ved ankerstrømmenes vekselfelt, hvirvelstrømmer i store kollektorsegenter, kobbertap i ankerlederne forårsaket ved cirkulerende strømmer i flerpoledede ankere med sløifevikling o. s. v. Ved tomgangsforsøk maaler vi ikke alle disse tap. De kan kun findes ved belastningsprøver. I godt konstruerte, vel gjennomarbeidede dynamotyper fra ansete fabrikker er disse tap som regel ikke store.

26. Virkningsgradbestemmelse ved differentialgang.

Vi skal nu betrakte en virkningsgradsprøve og belastningsforsøk som kan foretages, naar man har to eller flere ens byggede maskiner.

Paa fig. 42 er M og G to like byggede shuntmaskiner, som er direkte kuplet eller forbundet ved rem.

Den elektriske kobling utføres som paa fig. Naar man har sat igang maskinene, som maa ha ensbenævnte poler forbundet sammen, magnetiseres G sterkere end M , og aggregatet bringes paa normal hastighet. G vil da

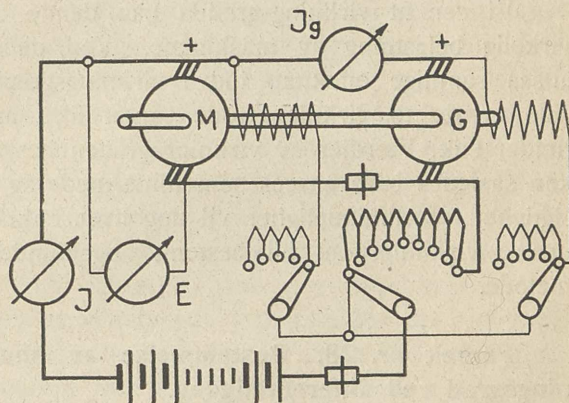


Fig. 42. Differentialgang.

arbeide som generator, sende sin strøm til M som gaar som motor, og den strøm J som aggregatet optar fra nettet, dækker tapene i de to maskiner. Ved at variere strømstyrken i G 's og M 's feltvikling kan man saaledes finde tapene hos aggregatet, naar G avgir J_g amp. og motoren optar $(J + J_g)$ amp. Vi kan saaledes ved at utta en forholdsvis liten strøm fra nettet drive belastningen av G og M op i hvilkensomhelst størrelse. Paa denne maate kan belastningsprøver paa ens byggede maskiner foretages, uten at man tar for meget effekt ut av nettet.

Vi kan ved dette forsøk ogsaa finde aggregatets virkningsgrad.

G avgir $E \cdot J_g$ watt, mens motoren optar $E (J_g + J)$ watt. Vi kan si at ved disse belastninger blir aggregatets virkningsgrad

$$\frac{E \cdot J_g}{E (J_g + J)} = \frac{J_g}{J_g + J}$$

I almindelighet beregnes virkningsgraden for hver enkelt maskin saaledes, at begge maskiners virkningsgrad ansees like store, og den angives ved middelværdien av generatorens og motorens belastning under prøven. Man har da:

$$\eta_g = \eta_m = \sqrt{\eta} = \sqrt{\frac{\frac{J_g + J_m}{2}}{\frac{J_g + J_m}{2} + J}} = \sqrt{\frac{J_g + J_m}{J_g + J_m + 2J}}$$

Vi ser at virkningsgraden paa denne maate er fundet ved virkelig belastning av maskinene. Ved denne metode kommer altsaa samtlige effekttap ind i virkningsgraden. Paa den anden side er de to virkningsgrader antat like, hvad selvfølgelig ikke holder stik. Værdier av virkningsgraden bestemt paa denne maate kan saaledes bare ansees som tilnærmede og maa brukes med forsigtighet. I almindelighet vil dog hver enkelt dynamos maksimale virkningsgrad bli bestemt nogenlunde nøiagtig ved denne metode.

Forsøk nr. 28. Bestemmelse av shunt-dynamoers virkningsgrad ved differentialgang.

Man skal ved dette forsøk maale og tegne op kurver for virkningsgraden av en maskin og effekttapene i aggregatet, maalt ved differentialmetoden, idet middelværdien av de to maskiners strømstyrke vælges som abscisser.

Ved sammenkoblingen maa man passe nøie paa den rigtige polaritet av maskinene. Sikringer bør anlægges baade for den strøm som tages fra nettet, og for den strøm som sirkulerer mellem maskinene. For at faa en sikker kurve for virkningsgraden og effekttapene bør man anvende mindst 8 forskjellige strømstyrker fordelt mellem tomgang og 25 à 50% overbelastning, og maskinene bør være bragt paa driftstemperatur før maalingene foretages.

27. Belastningsprøver.

Den grænse hvortil en generator eller motor kan belastes, avhænger av maskinens opvarmning. Likestrømsmotorer gir det moment man forlanger av dem, og for shuntgeneratorer kan man si at de gir den strømstyrke man vil ta ut, forsaavidt den kritiske strømstyrke ikke overskrides. Mens man saaledes kan ta ut praktisk talt en hvilken som helst effekt av en generator eller motor, vil maskinen ved for store overlastninger bli saa opvarmet at den blir beskadiget. Det er av stor vigtighet at prøve opvarmingen i de forskjellige dele av maskinen ved overlastninger av kortere og længere varighet.

Maskinens opvarmning vil være forskjellig naar man har kontinuerlig (stadig) drift eller intermitterende (avbrutt) drift. Ved kontinuerlig drift tænkes maskinen at gaa uavbrutt; den varmemængde som effekttapene utvikler, maa avgives like hurtig som den opstaar. Har en maskin gaat i lang tid, vil den utvikle varmemængde gi de forskjellige deler av maskinen en viss temperaturforhøielse (overtemperatur), en temperatur et visst antal grader høiere end den omgivende lufts temperatur. Denne overtemperatur maa maales efterat maskinen har været i drift saa lang tid at dens temperatur er blit konstant. Anderledes stiller saken sig ved intermitterende drift. Da er maskinen sterkt belastet kortere tid ad gangen, og i mellemtiden litet belastet, ubelastet eller utkoblet. Et eksempel paa intermitterende drift er sporveismotorer. Den varmemængde som utvikles naar motoren er belastet, avgives tildels i den tid da den er utkoblet eller ubelastet. Den grænse hvortil man kan belaste en maskin ved intermitterende drift, er saaledes høiere end belastningsgrænsen ved kontinuerlig drift.

Har en dynamofabrik paatat sig at levere dynamoer, vil den i almindelighet ogsaa garantere at temperaturstigningen ved bestemte belastninger ikke skal gaa over en viss grænse. I ankerviklingen og ankerjernet garanteres en temperaturstigning paa ikke over 40 à 50° C., i magnetviklingen 40—60° C. og paa kommutatorens overflate 70—80° C. Før avleveringen av maskiner kan kjøperen tilkaldes for at overvære de belastningsprøver som arrangeres av fabrikken. Maskiner for kontinuerlig drift maa gaa belastet i lang tid, før de opnaar sin endelige overtemperatur, ved smaa maskiner 3—6 timer, ved store maskiner 12 timer eller

mere. Ved særlige avtaler om overbelastning i kortere tid maa naturligvis dette prøves.

Skal man anordne belastningsprøve paa en generator eller motor, maa man sørge for at maskinen kan faa den belastning den skal ha. Har man flere ens byggede maskiner, bør differentialgang anvendes. Temperaturstigningen i lagerne, i magnetviklingen og i ankeret, bør maales ved termometre anbragt paa forskellige steder, hvor temperaturstigningen antages at bli størst. Paa steder hvor man ikke kan anbringe termometrene under gang, f. eks. paa ankerjernet, maa man nøie sig med at maale temperaturen straks efterat maskinen er sat stille. Man lægger da termometrene med kulen mot det sted, hvor temperaturen skal maales, og anbringer utenpaa kulen et lag pudsegarn 1 à 2 cm. tykt. Termometret vil da stige litt efter litt, for tilslut at begynde at synke. Man noterer den maksimale temperatur. Foruten termometermaalinger paa ankerjernet, magnetviklingen, polspidsene o. s. v. bør temperaturen ogsaa maales ved motstandsøkning. I magnetviklinger er dette let at arrangere under driften (cfr. forsøk nr. 10). I ankeret maa man maale dets motstand straks maskinen er sat stille. Temperaturforhøielser maalt ved motstandsøkning findes som regel 30—50% høiere end maalt ved termometer.

Av interesse er det at finde hvorvidt maskinen arbeider uten gnistdannelse paa kommutatoren ved stor overbelastning, f. eks. den dobbelte av den normale. Som regel vil maskiner med kommuteringspoler greie dobbelt last for kort tid.

Forsøk nr. 29. Belastningsprøve paa en generator eller motor.

Forsøket gaar ut paa at finde overtemperaturen hos en maskin som gaar med en bestemt belastning i en viss tid. Man skal derhos finde en kurve for temperaturen i maskinens feltvikling under gang.

Om mulig anvendes differentialgang. Den fastsatte belastning slaaes paa, holdes saavidt mulig konstant, og avlæses med visse mellemrum. Shuntstrømmen og spændingstapet paa shuntviklingen maales saa motstanden kan beregnes, f. eks. hvert 10 min. Motstanden i feltviklingen i kold tilstand maa da være maalt. Luftens temperatur maa ogsaa maales fra tid til anden. Straks efterat maskinen er stanset, foretages termometermaalinger. Skal anker-

motstanden bestemmes ved driftstemperatur, maa man maale motstanden u n d e r børstene og beregne temperaturen herav, da overgangsmotstanden mellem børstene og kommutatoren ikke tiltar med temperaturen paa samme maate som kobberviklingens motstand gjør. Om mulig skal man undersøke kommutationen ved stor overbelastning, f. eks. dobbelt last i kort tid (nogen sekunder).

Temperaturforhøielsen i maskinens forskjellige deler beregnes i almindelighet som differensen mellem vedkommende maskindels virkelige temperatur og den omgivende lufts temperatur i sidste fjerdedel av driftsperioden. Ved generatorer av indebygget type som tilføres kjøleluft utenfra, maales desuten den indstrømmende og utstrømmende lufts temperatur.

Av interesse er det at finde en kurve for temperaturen i feltviklingen maalt ved motstandsøkning.

E. Undersøkelse av akkumulatorbatterier.

28. Maaling av blyakkumulatorbatteriernes kapacitet og virkningsgrad.

Ved et akkumulatorbatteris kapacitet forstaaes den elektricitetsmængde (maalt i ampere-timer) som man kan ta ut av det fuldt opladete batteri, naar ladningen avbrytes naar spændingen pr. element er gaat ned til 1,83 volt. Da kapaciteten blir mindre jo fortere utladningen gaar for sig, maa man foruten kapaciteten altid angi utladetiden. Er batteriet bestemt til at anvendes ved lysdrift, bestemmes oftest kapaciteten ved 3 timers utladning. Da batteriets kapacitet nedsættes ved overlastninger, paafylldning av uren svovelsyre o. s. v., er det av vigtighet at ha kjendskap til hvor stor batteriets kapacitet er til enhver tid.

En av aarsakene til at kapaciteten synker, er at enkelte elementers positive og negative poler ikke er vel isolert fra hverandre. Dette kan foraarsakes ved bundfald eller ved at der danner sig utvekster paa de negative plater. I saa fald vil disse elementer under utladningen bli tidligere utladet end de øvrige. Naar de er tomme, blir de ladet med motsatte poler. Dette maa man under utladningen passe paa. Har de skiftet poler, kan man under den videre utladning forhindre den skadelige ladning av disse elementer ved en kort og tyk kobbertraad anbragt mellem polene, saa de

enkelte elementer kortsluttes. Straks utladningen ophører, maa den fjernes.

Under utladningen synker elementspændingen fra litt over 2 volt til 1,95 volt, og synker derefter langsomt indtil batteriet er omtrent utladet ved 1,83 volt. Samtidig synker svovelsyreens specifikke vekt fra 1,21 til 1,19. Er syrevekten ved fuld opladning rigtig, kan man av denne slutte sig til batteriets ladetilstand.

Et akkumulatorbatteris virkningsgrad maales efter ampere-timer eller efter watt-timer. Efter ampere-timer er den forholdet mellem den elektricitetsmængde man kan ta ut av et fuldt opladet batteri, og den man har sendt ind under den tilsvarende ladning. Efter watt-timer er den forholdet mellem det uttatte og indsendte elektriske arbeide.

Forsøk nr. 30. Kapacitetsprøve paa et akkumulatorbatteri.

Ved dette forsøk skal man foreta en utladning at et akkumulatorbatteri og maale spændingen og syrevekten med visse mellemrum, idet man tar ut av batteriet den største tillatte strømstyrke. Man skal tillike undersøke om enkelte elementer blir tomme før de andre, og notere det tidspunkt de skifter poler.

Er batteriet netop opladet, vil der findes gasblærer paa plattene som forhøier spændingen. Denne polarisationsspænding forsvinder i løpet av faa minutter efterat utladningen er begyndt. I de første minutter av utladningen bør derfor spændingen maales ofte, senere vil hvert 20. min. være tilstrækkelig.

Av avlæsningene bør der opstilles kurver for den gjennemsnitlige spænding pr. element og av syrens specifikke vekt i et bestemt element med utladetiden som abscisse. Batteriets kapacitet beregnes, og der angives om noget element har skiftet poler før utladningens slutning, og naar dette har foregaaet.

F. Indledende vekselstrømsmaalinger.

29. Bestemmelse av ohmske og induktive motstander ved spændingstap og strøm.

Hvis en elektrisk strøm som gaar gjennom en motstand, ikke frembringer nævneværdige kraftlinjefelter, siger man at motstanden er induktionsfri eller ohmsk; i motsat fald maa vekselspændingen foruten ledningsmotstanden tillike overvinde selvinduk-

tionen i motstanden. Selvinduktionen motarbeider at strømmen stadig skifter retning, idet den utvikler en elektromotorisk kraft; vi siger at vi har en induktiv motstand i strømkredsen. Den induktive motstand, som ogsaa kaldes reaktansen eller induktansen, maales i ohm.

Har en spole N vindinger som omslutter Φ kraftlinjer, opstaat ved at en strøm J ampere er sendt gjennom den, er spolens selvinduktionskoefficient bestemt ved ligningen

$$L = \frac{N \cdot \Phi}{J} \cdot 10^{-8} \text{ henry}$$

Spolens induktive motstand er

$$X = L \cdot \omega = L \cdot 2\pi\nu$$

hvor ν er frekvensen og ω er vinkelhastigheten. Reaktansen er saaledes proportional frekvensen, vindingstallet og det kraftlinjetal som en viss strømstyrke frembringer gjennom spolen. Den er størst for spoler som omslutter en jernkjerne.

Hvis man sender strøm gjennom en strømkreds indeholdende R ohm induktionsfri og X ohm induktiv motstand, maa man anvende en polspænding

$$E = J\sqrt{R^2 + X^2} = J \cdot Z$$

hvor Z er strømkredsens impedans. I strømkredsen vil man faa faseforskyvning, og fasevinkelen φ er bestemt ved ligningen

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

Fig. 43 viser det saakaldte motstandstriangel for en saadan strømkreds. R og X avsættes som kateter i et retvinklet triangel, hvor impedansen er hypotenusen. Fasevinkelen φ er vinkelen mellem R og Z .

Indskytes i strømkredsen et watt-

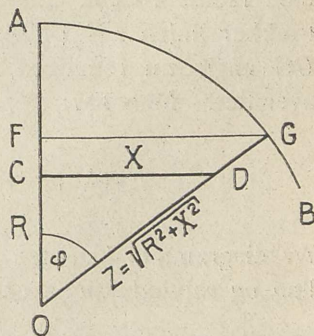


Fig. 43. Motstandstriangel for en strømkreds indeholdende ohmsk motstand og selvinduktion.

meter, maales det antal watt W som strømkredsen forbruger. Wattforbruket er lik

$$W = E \cdot J \cdot \cos \varphi$$

hvor $\cos \varphi$ kaldes effekt faktoren.

Skal man bestemme en spoles reaktans eller selvinduktionskoefficient, benyttes oftest spændingstapsmetoden. Man maaler spændingen mellem spolens endepunkter, strømstyrken gjennom spolen samt wattforbruket. Er strømstyrken liten, kobles voltmetret og wattmetrets spændingsspole saaledes, at amperemetret og wattmetrets strømspole ikke maaler disses strømforbruk (cfr. fig. 19). Man har (cfr. fig. 43):

$$Z = \frac{E}{J} \quad ; \quad R = Z \cdot \cos \varphi = \frac{E \cdot \cos \varphi}{J} = \frac{W}{J^2}$$

$$X = Z \cdot \sin \varphi = L \cdot 2 \pi \nu = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$L = \frac{X}{2 \pi \nu} = \frac{Z \cdot \sin \varphi}{2 \pi \nu}$$

Beregningen av de tre størrelser R , X og Z kan gjennomføres helt analytisk efter de ovenfor opstillede ligninger, eller man kan ta den grafiske metode til hjelp, idet man oppstiller motstandstrianglet. Man vælger først retningen av vektoren for den ohmske motstand R . Av maalingene beregnes størrelsen av Z , R og $\cos \varphi$. Man optegner bedst motstandstrianglet paa millimeterpapir, avsetter $OC = R$ (fig. 43) og slaar om O som centrum en cirkelbue AB med radius 10 cm. Linjen OA inddeles i 10 tiendedeler, og man trækker linjen $FG \perp OA$ saaledes at OF gjøres lik effekt faktoren. OG angir nu retningen av impedansen Z , saa $OD = Z$ nu kan avsettes. Man har:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{OC}{OD} = \frac{OF}{OG} = \frac{OF}{OA}$$

Av diagrammet kan den induktive motstand X findes ved utmaaling og selvinduktionskoefficienten beregnes.

Eksempel. I en strømkreds er spændingen 110 volt, frekvensen 50, strømstyrken 12 amp. og wattforbruket 600 watt. Find den ohmske og induktive motstand samt selvinduktionskoefficienten.

Løsning:

$$\cos \varphi = \frac{600}{110 \cdot 12} = 0,455 \quad Z = \frac{110}{12} = 9,17 \, \Omega \quad R = 9,17 \cdot 0,455 = 4,17 \, \Omega$$

$$X = \sqrt{9,17^2 - 4,17^2} = 7,52 \, \Omega \quad L = \frac{7,52}{2 \pi \cdot 50} = 0,024 \text{ henry.}$$

Vi maa være opmærksom paa at ved spoler som indeholder jern, vil en paa denne maate maalt ohmsk motstand ikke være den samme som den man finder naar man maaler viklingens motstand ved likestrøm. Den ohmske vekselstrømsmotstand er et maal for wattforbruket i strømkredsen, og vil foruten de elektriske tap i viklingen rette sig efter de effekttap som kommer istand ved jernkjernens stadige ommagnetisering. Den ohmske vekselstrømsmotstand er derfor større end viklingens motstand maalt ved likestrøm.

30. Konstruktion av spændingstriangler ved tre voltmeter-avlæsninger.

Vi tænker os at vi fremstiller den kobling som er vist i fig. 44. R er en ohmsk motstand, mens spolen D tænkes at indeholde saavel ohmsk motstand som selvinduktion. Ved amperemetret maales strømstyrken, og voltmetret er anordnet med „løse ender“, saa vi kan maale spændingstapet mellem A og B , mellem B og C eller mellem A og C . Vi leder nu en strøm J ampere gennem strømkredsen. Paa den ohmske motstand R ohm faaes et spændingstap $E_R = J \cdot R$ volt, og dette spændingstap er i fase med strømmen gennem R . Paa reaktansspolen D , hvis ohmske motstand vi kalder R_1 ohm og induktive motstand $X = 2\pi\nu L$ ohm faaes et spændingstap E_D , hvis størrelse likesom E_R maales ved voltmetret, som ogsaa maaler den samlede spænding E mellem punktene A og C .

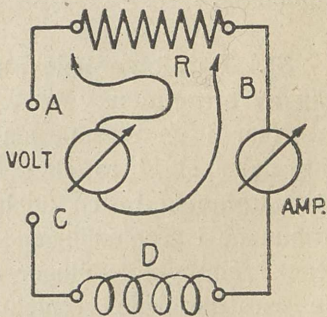


Fig. 44. Ohmsk motstand og reaktans paa serie.

I fig. 45 er dette anskueliggjort. Vi vælger strømvektorens retning AJ . Spændingstapet paa R er i fase med strømmen og avsættes i en viss maalestok lik AB . Den geometriske sum av spændingstapene paa R og D er lik spændingen E mellem punktene A og C . De tre

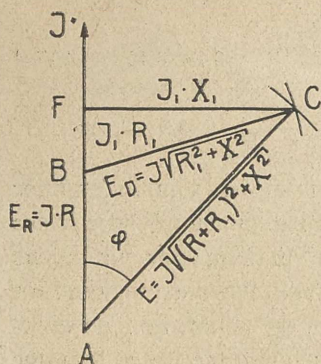


Fig. 45. Spændingsdiagram for ohmsk motstand og impedans paa serie.

spændinger danner følgelig et triangel, hvis tre sider er kjendt. Om B slaes en bue med radius E_D og om A en bue med radius E , og skjæringspunktet C gir det tredje hjørne i spændings-trianglet.

Vi nedfældér perpendicularøren $CF \perp AJ$ og har CF lik det induktive spændingstap i D , mens BF er det ohmske. Maales disse størrelser ut av diagrammet, kan de respektive motstander bestemmes og selvinduktionskoefficienten i reaktansspolen D bestemmes. Effektfaktoren $\cos \varphi$ i hele strømkredsen kan findes grafisk eller analytisk; vi har (fig. 45)

$$\cos \varphi = \frac{AF}{AC} = \frac{R + R_i}{\sqrt{(R + R_i)^2 + X_i^2}}$$

Bestemmelse av ohmske og induktive motstander ved tre voltmetermaalinger er i praksis litet benyttet. Metoden har derimot teoretisk interesse, da maalingene paa en glimrende maate viser at den samlede spænding AC er mindre end den algebraiske sum av spændingene AB og BC — sammensætningen maa ske geometrisk.

31. Paralelkoblede impedanser. Geometrisk sammensætning av strømmer.

Naar i en strømkreds som fører vekselstrøm, en strømledning deler sig i to eller flere grenledninger, er i almindelighet ikke strømmen i den udelte ledning lik den algebraiske sum av strømmene i grenledningene. Dette vil kun finde sted, hvis strømmene i alle grenledninger er i fase med hverandre, naar f. eks. alle paralelkoblede grenledninger indeholder udelukkende induktionsfri motstand. I alle tilfælder hvor forholdet mellem den induktionsfri og induktive motstand er forskjellig i de forskjellige paralelkoblede ledninger, maa man for at finde strømmen i den udelte ledning sammensætte grenledningenes strømmer geometrisk, d. v. s. man opstiller vektordiagram for strømmene, vælger ret-

ningen for spændingen i strømkredsen og diagrammets rotationsretning og indtegner de strømme som skal adderes, i rigtig størrelse og retning. Den udelte strøms størrelse og retning findes da ved sammensætning av de enkelte strømme. Algebraisk kan den udelte strøm findes ved at opløse grenstrømmene i deres aktive og reaktive komponenter (wattkomponenter og magnetiseringskomponenter), og summen av de aktive komponenter gir den udelte strøms aktive komponent, mens summen av de reaktive komponenter gir dens reaktive komponent.

For ved eksperiment at studere strømforholdene i parallelkoblede impedanser utføres en

kobling som vist i fig. 46. De ohmske og induktive motstander i de to impedanser er henholdsvis $R_1 X_1$ og $R_2 X_2$. Er forholdet $R_1 : X_1$ væsentlig forskjellig fra forholdet $R_2 : X_2$, blir strømmen i den udelte ledning J mindre end den algebraiske sum av begge grenstrømmene J_1 og J_2 . Ved de to wattmetre W_1 og W_2 maales effektforbruket i begge impedanser. Kaldes fasevinklene i de to grenstrømme φ_1 og φ_2 samt i den udelte ledning φ har man

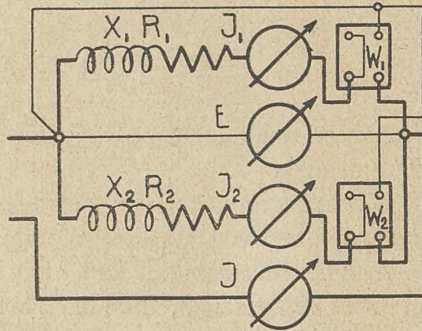


Fig. 46. Parallelkoblede impedanser.

$$\cos \varphi_1 = \frac{W_1}{E \cdot J_1} \quad \cos \varphi_2 = \frac{W_2}{E \cdot J_2} \quad \cos \varphi = \frac{W_1 + W_2}{E \cdot J}$$

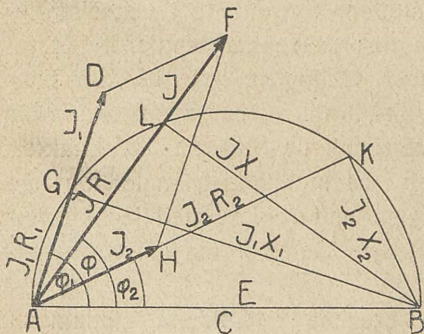


Fig. 47. Cirkeldiagram for parallelkoblede impedanser.

Grafisk sees strømmene og spændingene i en saadan strømkreds i diagrammet i fig. 47. Linjen AB angir spændingen E . Efter maaleresultatene kan $AD = J_1$, $AH = J_2$ og $AF = J$ indtegnes i diagrammet i rigtig størrelse og retning. Rigtigheden av den geometriske sammensætning av strømmene kan sees ved at tegne ind parallelogrammet $ADFH$ og undersøke

om $AD \perp HF$ og $AH \perp DF$; dette skal stemme inden visse grænser, som er avhængig av maalefeilene.

Ved at indtegne halvcirkelen $AGLKB$ kan man finde de ohmske og induktive spændingstaps størrelse og retning. Vi vet at de to spændingstap staar lodrette paa hinanden i vektordiagrammet, og at det ohmske spændingstap er i fase med strømmen gennem vedkommende impedans. Følgelig maa, da den geometriske sum av de tre spændingstap paa $X_1 R_1$, $X_2 R_2$ og den udelte strømkreds' impedans XR alle er polspændingen E , top-punktene av de rette vinkler ligge paa cirkelbuen $AGLKB$ og vi faar (fig. 47)

$$\begin{array}{lll} AG = J_1 R_1 & AL = J \cdot R & AK = J_2 R_2 \\ GB = J_1 X_1 & LB = J \cdot X & KB = J_2 X_2 \end{array}$$

De enkelte spændingstaps størrelse og retning kan saaledes findes ved utmaaling.

Cirkeldiagrammet har faat adskillig betydning til studium av transformatorers og asynkronmotorers virkemaate.

Av cirkeldiagrammet kan man finde ut at man i strømkredser som fører vekselstrøm, ikke kan beregne de „reducerte“ motstander mellem to forgreningspunkter efter den metode man benytter ved strømkredser for likestrøm. Den reducirte ohmske og induktive motstand findes her ved andre metoder, som vi ikke skal gaa nærmere ind paa.

Forsøk nr. 31. Bestemmelse av impedanser, ohmske og induktive motstander ved spændingstap og strøm.

Skal forsøket tjene til at studere forholdene i vekselstrømkredser, bør der til forsøket benyttes en reaktansspole, hvis jernkjerne kan tages ut og som har en vikling av ikke for litet tverrsnit. I strømkredsen indskytes volt-, ampere- og wattmeter. Man maaler spænding, strøm og wattforbruk og beregner effektfaktor, ohmske og induktive motstander, saa motstandstriangelen kan opstilles (cfr. fig. 43). Maalingene gjennomføres a) med jernkjernen indsat og b) med jernkjernen uttat. Derefter maales viklingens motstand med likestrøm.

Av de to sæt maalinger beregnes forholdene mellem de ohmske motstander ved vekselstrøm og den ved likestrøm. Man vil se at vekselstrømsmotstanden, naar jernkjernen er uttat, ikke

er meget forskjellig fra likestrømsmotstanden; ved indsat jernkjerne vil den derimot være større end likestrømsmotstanden.

Ved maaling av motstandsværdier i spoler som f. eks. skal kobles paa serie med buelamper eller andre apparater, maa man erindre at motstandene forandrer sig med strømstyrken. Sterk magnetisering av jernet vil saaledes føre med sig at selvinduktionskoefficienten synker (cfr. forsøk nr. 34), mens massiv eller daarlig lamellert jernkjerne i høi grad øker den ohmske motstand.

Forsøk nr. 32. Konstruktion av spændingstriangler.

Forsøket gaar ut paa at vise den geometriske sammensætning av spændinger i en strømkreds hvor der er koblet en ohmsk og en induktiv motstand paa serie.

Til forsøket fremstilles der en kobling som vist i fig. 44. Ved et voltmeter skal man maale spændingen paa hver enkelt del av strømkredsen saavel som polspændingen. Paa grundlag av de foretagne voltmeteravlæsninger skal spændingstriangler opstilles for forskjellige værdier av den ohmske og induktive motstand. Endelig skal motstandene maales ved likestrøm.

Forsøket bør utføres paa den maate, at spændingstapene paa strømkredsens to deler ikke blir altfor forskjellige. Til spændingsmaalingene kan der anvendes et voltmeter med „løse ender“ eller med voltmeteromkobler.

Diagrammer opstilles i maalestok. Av diagrammene skal de ohmske motstander og selvinduktionskoefficientene for hver enkelt del av strømkredsen beregnes. Likesaa skal effektfaktoren og fasevinkelen findes. Følgende spørmaal undersøkes: Hvor stort er forholdet mellem de fundne ohmske motstander ved vekselstrømsmaalingene og motstandene ved likestrøm, og hvordan forklares forskjellen i de to værdier?

Forsøk nr. 33. Maalinger ved paralelkoblede impedanser.

Forsøket gaar ut paa at vise at strømmer i paralelkoblede strømkredser som fører vekselstrøm, ikke skal adderes aritmetisk, men geometrisk, samt paa at studere cirkeldiagrammet.

Skemaet for den kobling som skal benyttes ved forsøket, er vist i fig. 46, dog bør der istedenfor tre amperemetre benyttes et omkoblingsbret og et eneste amperemeter. Vi tar først et sæt maalinger med en ohmsk motstand paralel med en reaktansspole

med liten ohmsk motstand, derpaa en maaling med to impedanser. For at vise sammensætningen av strømmene paa en tydelig maate bør strømstyrken gjennom de to impedanser ikke være altfor forskjellige, mens der bør være stor faseforskjel paa strømmene. Man læser av de tre værdier av strømstyrken, spændingen mellem forgreningspunktene og wattforbrukene. Av disse værdier be- regnes effektfaktoren for strømkredsens deler.

I diagrammet avsættes spændingsvektoren i vilkaarlig retning, derpaa strømvektorene under de rigtige vinkler.

Der konstrueres cirkeldiagrammer for de to sæt strømmer og spændinger. De ohmske og induktive spændingstap utmaales og angives.

Forsøk nr. 34. En reaktansspoles strømforbruk.

Man skal ved dette forsøk tilføre en reaktansspole med jern- kjerne forskjellige spændinger og maale strømstyrken og effekt- faktoren.

Ved en reaktansspole med mange vindinger vil den induktive motstand som regel være stor i forhold til den ohmske motstand. Den induktive motstand er bestemt ved ligningen

$$X = 2\pi\nu L = 2\pi\nu \cdot \frac{N \cdot \Phi}{J} \cdot 10^{-8} \text{ ohm.}$$

Vi ser herav at ved konstant frekvens maa reaktansen avta naar magnetiseringen i jernkjernen stiger, saa kraftlinjetallet Φ ikke længere tiltar saa raskt som magnetiseringsstrømmen J . Dette vil være tilfælde naar vi kommer ovenfor magnetiseringsknæet. Ved høie magnetiseringer avtar reaktansen og strømstyrken stiger sterkt.

Begynd forsøket med lave spændinger og strømstyrker. Man skal maale strømforbruket og wattforbruket i spolen ved 10 à 15 forskjellige spændinger, hvorav flere skal gi lave strømstyrker og magnetiseringer. Der tegnes op kurver for strømforbruket og spolens ohmske motstand som ordinator, mens den anvendte spænding er abscisser.

32. Effektmaaling i trefasenet.

Den samlede effekt som forbrukes i et stjerne- eller delta- koblet trefasesystem, blir at maale paa forskjellig maate eftersom nettet har nulledning eller ei. Et trefasenet med nulleder kan

betragtes som tre enfasenet, hvis fælles tilbageledning nullelederen er, og den forbrukte effekt kan maales ved indkobling av tre wattmetre, hvis strømspoler er koblet i hver sin fase, mens spændingspolene er tilknyttet de respektive fasespændinger, se fig. 48. Det samlede wattforbruk blir summen av de tre wattmetres angivelser, hvordan end belastningen er fordelt paa de tre faser. Er belastningen like fordelt paa fasene, kan man nøie sig med et wattmeter og multiplisere dets angivelse med 3. Ved ren motorbelastning vil dette kunne gjøres.

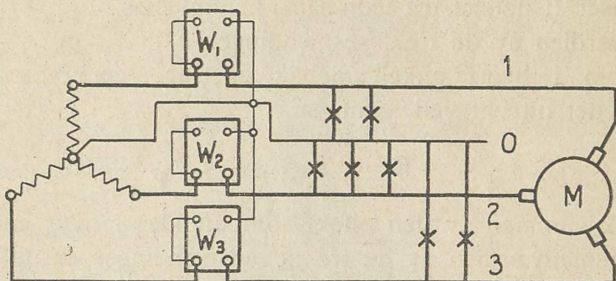


Fig. 48. Effektmaaling i trefasenet ved tre wattmetre.

Har man symmetrisk belastning, og er nulpunktet ikke tilgjengelig, kan man maale effekten i én fase ved at an-

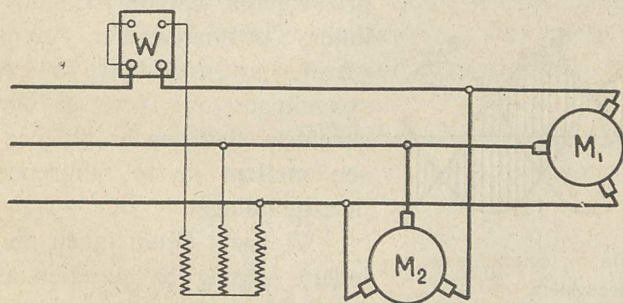


Fig. 49. Effektmaaling i trefasenet ved ett wattmeter.

lægge kunstig nulpunkt, se fig. 49. Den samlede motstand (incl. wattmetrets spændingspoler) mellom ytterledningene og nulpunktet skal

være like stor i alle tre grener. I stedetfor motstander kan reaktansspoler anvendes.

I et trefasenet som avgir strøm f. eks til belysning, vil i almindelighet ikke belastningen være like fordelt paa de tre faser, og i de fleste tilfælder er nullelederen ikke ført ut. Isaafald anvendes som oftest den saakaldte to-wattmeter-metode ved maaling av den effekt nettet forbruker. Det teoretiske grundlag for denne metode vil fremgaa av følgende betragtning:

Vi tænker os at en stjernekoblet generator leverer effekt til et net, hvis nulleleder ikke er ført ut fra generatorens samleskinner. Betegnes momentanværdiene av strømmene i generatorens tre faser (*i* nettets tre ledninger) henholdsvis i_1 , i_2 og i_3 , og momentanværdien av de tre fasespændinger e_{0-1} , e_{0-2} og e_{0-3} er den effekt, som i hvert enkelt øieblik opstaar i generatoren og ledes ut i nettet uttrykt ved ligningen

$$W = i_1 e_{0-1} + i_2 e_{0-2} + i_3 e_{0-3}$$

lik summen av den effekt som utvikles i hver enkelt fase. Momentanværdien av de tre hovedspændinger er differensen mellem momentanværdiene av de tilhørende fasespændinger i hvert enkelt øieblik. Betegnes de tre hovedspændinger med de to fasers indekser de hører til, har vi

$$e_{1-2} = e_{0-2} - e_{0-1}$$

$$e_{1-3} = e_{0-3} - e_{0-1}$$

$$e_{2-3} = e_{0-3} - e_{0-2}$$

I fig. 50 er dette forhold belyst. De tre fasespændinger re-præsenteres ved de tre sinuslinjers ordinatværdier, mens værdien av en av de tre hovedspændinger, e_{1-2} sees av den skraferte flate og er differensen mellem de to tilhørende fasespændinger.

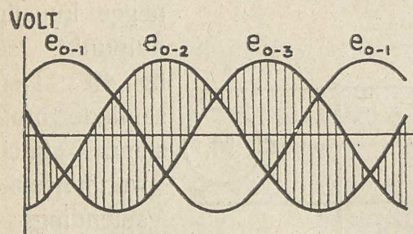


Fig. 50. Tidsdiagram for spændingene i et trefasesystem.

Vi har i nettet ingen nulleleder, følgelig er summen av de tre strømmers momentanværdier algebraisk regnet i hvert enkelt øieblik lik nul, og vi har

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad ; \quad i_1 = -i_2 - i_3$$

Vi indfører denne værdi for i_1 og indfører de to hovedspændinger e_{1-2} og e_{1-3} og finder den i nettet forbrukte effekt i hvert enkelt øieblik lik

$$W = i_2 e_{1-2} + i_3 e_{1-3}$$

Vi har ved denne betragtning forutsat at generatoren var stjernekoblet. Da utviklingen gjelder for net hvor nulleledningen

ikke tænkes anlagt, maa den gjælde for hvilket som helst net, hvad enten generatoren er stjernekoblet eller deltakoblet.

Av den sidste ligning sees at to wattmetre indkoblet i nettet paa en bestemt maate vil kunne maale wattforbruget i et net uten nulleder, belastningen fordelt paa hvilkensomhelst maate mellem de tre ledninger. De to wattmetres strømspoler sættes ind i to av de tre tilførselstraader — likegyldig hvilke — og deres spændingspoler tilknyttes de respektive strømspoler og den tredje tilførselstraad (fig. 51). I hvert enkelt øieblik paavirkes wattmetrenes svingende deler av en kraft proportional produktet av momentanværdien av strømmen i strømspolen og momentanværdien av spændingen i den tilknyttede spændingspoler, og hele nettets wattforbruk er summen av begge wattmetres angivelser.

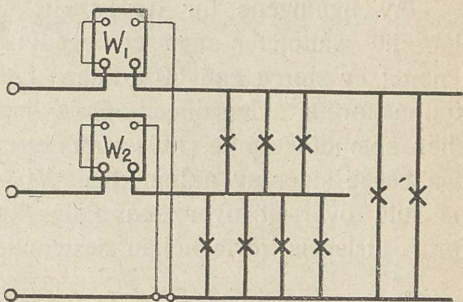


Fig. 51. Effektmaaling ved to-wattmetermetoden.

To-wattmetermetoden har fundet utstrakt anvendelse ved maa-ling av effektforbruget i trefasenet. Av særlig interesse er det imidlertid at studere de to wattmetres angivelse i symmetrisk belastede net.

Fig. 52 viser vektordiagrammet for et saadant net. De tre

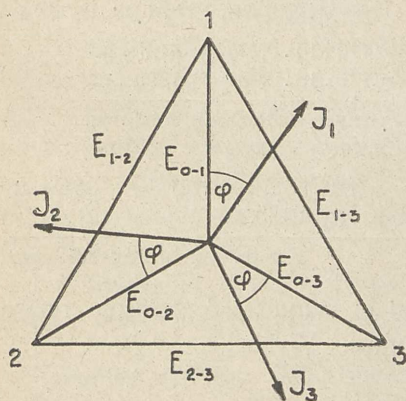


Fig. 52. Vektordiagram for et symmetrisk belastet trefasenet.

linjestrømmer J_1 , J_2 og J_3 er forskjøvet en viss vinkel φ i forhold til fasespændingene E_{0-1} , E_{0-2} og E_{0-3} . Indkobles to wattmetre som angit i fig. 51, viser det ene wattmeter

$$W_1 = E_{1-3} \cdot J_1 \cos (30^\circ + \varphi) \text{ watt}$$

idet vinkelen mellem strøm- og spændingsvektoren blir $(30 + \varphi)$ grader (cfr. fig. 52). Det andet wattmeter angir

$$W_2 = E_{2-3} \cdot J_2 \cos (30^\circ - \varphi) \text{ watt}$$

Det samlede wattforbruk blir, naar de tre hovedspændinger og de tre linjestrømmer er like store og betegnes med henholdsvis E og J

$$W = W_1 + W_2 = E \cdot J [\cos (30 + \varphi) + \cos (30 - \varphi)] \text{ watt}$$

Utvikles uttrykkene inde i parentesene, faaes

$$W = E \cdot J \cdot \sqrt{3} \cos \varphi$$

Av ligningene for de enkelte wattmetres angivelser sees at det ene wattmeter angir et negativt antal watt, naar fasevinkelen i nettet er større end 60 grader. I dette tilfælde maa man for at kunne foreta avlæsninger vende strømmen i wattmetrets strøm- eller spændingsspole, hvis wattmetret ikke er utrustet med skala paa begge sider av nulpunktet. Vi maa saaledes ved maalingen ha fuld oversigt over den rigtige koblingsmaate av wattmetrene, forat utslagets fortegn kan bestemmes med sikkerhet (cfr. fig. 51).

Eksempel. I et symmetrisk belastet trefasesystem er hovedspændingen 110 volt og strømstyrken 15 amp. pr. traad. Hvor meget vil to wattmetre indkoblet efter to-wattmetermetoden vise ved følgende værdier av effektfaktoren:

a) $\cos \varphi = 1$ b) $\cos \varphi = 0,7$ c) $\cos \varphi = 0,3$

Løsning:

a) $\varphi = 0$ $W_1 = 110 \cdot 15 \cdot \cos 30^\circ = 1430 \text{ watt}$
 $W_2 = 110 \cdot 15 \cdot \cos (-30^\circ) = 1430 \text{ ,,}$

Samlet wattforbruk 2860 watt

b) $\varphi = 45^\circ 30'$
 $W_1 = 110 \cdot 15 \cdot \cos (75^\circ 30') = 110 \cdot 15 \cdot 0,250 = 412 \text{ watt}$
 $W_2 = 110 \cdot 15 \cdot \cos (15^\circ 30') = 110 \cdot 15 \cdot 0,964 = 1590 \text{ ,,}$

Samlet wattforbruk 2002 watt

c) $\varphi = 72^\circ 30'$
 $W_1 = 110 \cdot 15 \cdot \cos (102^\circ 30') = 110 \cdot 15 \cdot (-0,216) = -354 \text{ watt}$
 $W_2 = 110 \cdot 15 \cdot \cos (42^\circ 30') = 110 \cdot 15 \cdot 0,737 = 1217 \text{ ,,}$

Samlet wattforbruk 863 watt

Av to wattmetres angivelser i et symmetrisk belastet trefase-system kan effektfaktoren bestemmes. Vi har:

$$W_1 = E \cdot J \cdot \cos (\varphi + 30^\circ)$$

$$W_2 = E \cdot J \cdot \cos (\varphi - 30^\circ)$$

Divideres ligningene med hverandre, faaes

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{\cos(\varphi + 30^\circ)}{\cos(\varphi - 30^\circ)}$$

Utvikles uttrykkene for cosinusfunktionene, findes

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3} \frac{W_2 - W_1}{W_2 + W_1}$$

hvorav fasevinkelen φ kan beregnes og effekt faktoren $\cos \varphi$ findes.

33. Maaling av elektrisk arbeide i trefasenet.

For at maale det antal kilowatt-timer som er forbrukt i et trefasenet, maa man benytte sig av de ovenfor beskrevne elektricitetsmaalere. I trefasenet uten nulleleder vil to maalere koblet ind i strømkredsen som wattmetre tilsammen vise det forbrukte arbeide. Ofte forenes de to maalere til én, idet man lar to magneter med tre ben arbeide paa ett og samme roterende system, saa momentet paa dette blir summen av de to magneters moment.

Fig. 53 viser skema for en saadan maaler. Vi ser derav at maaleren har seks klemmer. De to midterste er kortsluttet og tjener alene til at tilføre spændingen.

I høispændingsnet maa maalerens spændingsspole — i likhet med wattmetrenes spændingsspoler — tilkobles sekundærviklingen av spændingstransformatorene, mens strømspolene som wattmetrenes strømspoler tilknyttes sekundærviklingen av strømtransformatorene (cfr. pkt. 47).

I trefasenet med nulleleder maa elektricitetsmaalere indkobles som wattmetre efter tre-wattmeter-metoden.

Forsøk nr. 35. Effektmaaling og opstilling av strøm- og spændingsdiagrammer for trefasenet.

Ved dette forsøk skal man studere effektmaaling i trefasenet

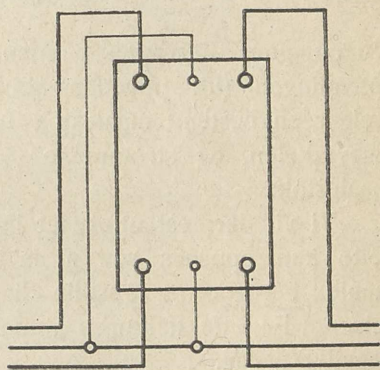


Fig. 53. Skema for de ytre forbindelser av en elektricitetsmaaler for trefaset vekselstrøm.

ved to-wattmeter-metoden og opstille diagrammer for strømmene og spændingene.

Vi vil først utføre forsøket med et symmetrisk belastet tre-fasesystem med høi effektfaktor. For at faa dette kan en belastet induktionsmotor benyttes. Begge wattmetre vil da gi positivt utslag. Man maaler tilført strøm, spænding, effekt og beregner herav effektfaktoren og fasevinkelen. Av summen av begge wattmetres angivelser W beregnes først effektfaktoren:

$$\cos \varphi = \frac{W}{E \cdot J \cdot \sqrt{3}}$$

Til kontrol kan tillike effektfaktoren beregnes av hvert enkelt wattmeters angivelse:

$$\cos (30 + \varphi) = \frac{W_1}{E \cdot J} \quad \cos (30 - \varphi) = \frac{W_2}{E \cdot J}$$

Nu optegnes diagrammet. Man slaar en sirkel med radius lik fase-spændingen (lik hovedspændingen dividert med $\sqrt{3}$), idet man vælger en bestemt maalestok for spændingen. Derpaa avsættes fasevinkelen, og strømmene J_1 , J_2 og J_3 indtegnes i en bestemt maalestok.

Vi vil dernæst utføre et lignende forsøk med lav effektfaktor; dette kan opnaaes ved at la induktionsmotoren gaa tom, og nu maale, beregne og opstille diagram for de ovenfor nævnte størrelser. Er effektfaktoren mindre end 0,5, gir det ene wattmeter negativt utslag.

G. Undersøkelse av synkrone dynamoer.

34. Synkronmaskinenes karakteristiske kurver.

Den synkrone vekselstrømsmaskin er altid magnetisert fra fremmed strømkilde. Magnetiseringsstrømmen faaes fra magnetiseringsmaskinen, anbragt paa synkronmaskinens aksel eller drevet ved egen driftsmaskin. For at lære synkronmaskinen nærmere at kjende, vil vi studere dens karakteristiske kurver.

Tomgangskarakteristikken er den elektromotoriske kraft maskinen gir, naar den gaar tom med konstant hastighet og forskjellige magnetiseringsstrømmer. Den forløper paa samme

maate som likestrømsdynamoens tomgangskararakteristik, til hvilken vi vil henvise.

Kortslutningskararakteristikken er den strømstyrke maskinen gir ved forskjellige magnetiseringsstrømmer, naar dens polklemmer er kortsluttet ved ett (ved trefasemaskiner tre) ampere-meter. Den vil for de fleste maskiner forløpe som en næsten ret linje, svakt krummet mot abscisseaksen. Paa fig. 54 viser kurve *a* tomgangskararakteristikken, kurve *b* kortslutningskararakteristikken.

Under kortslutning vil hele den inducerte elektromotoriske kraft medgaa til det ohmske og induktive spændingstap i ankerviklingen, og da en synkronmaskins reaktans er flere ganger saa stor som dens ohmske motstand, er vinkelen

mellem inducirt elektromotorisk kraft og strømstyrke ikke langt fra 90° . Følgen herav er at ankerstrømmene vil virke avmagnetiserende paa magnetfeltet, nedsætte kraftlinjetallet og bevirke at maskinen ved kortslutninger av kort varighet ikke let er utsat for at brænde op. Ved større synkronmaskiner regner man at ankerstrømmen vokser til 3 til 5 ganger den normale værdi naar kortslutning indtræder ved normal magnetisering.

Kan man av maskinens bygning beregne hvor mange amperevindinger ankerreaktionens avmagnetisering for en viss strømstyrke repræsenterer, kan man beregne den inducerte elektromotoriske kraft og dermed ankerviklingens reaktans paa følgende maate. Sæt at ved en viss ankerstrøm *CF* (fig. 54) er magnetiseringsstrømmen *OC* amp. Hvis ankerstrømmenes avmagnetisering svarer til *DC* amp. magnetiseringsstrøm, blir altsaa *OD* den magnetiseringsstrøm som anvendes til at skaffe den nødvendige elektromotoriske kraft, og *DE* volt blir inducirt ved denne belastning. Herav kan reaktansen beregnes.

Belastningskararakteristikken er maskinens polspænding ved forskjellige magnetstrømmer, naar den ved en viss hastighet leverer en viss strømstyrke ved en bestemt effektfaktor.

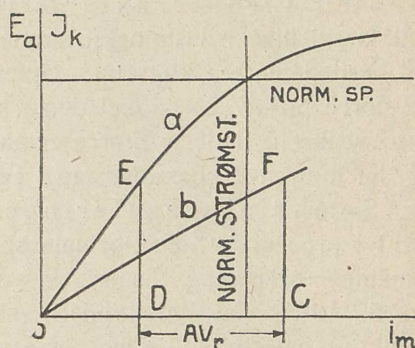


Fig. 54. Tomgangs- og kortslutningskarakteristik for en synkrodynamo.

Mens ankerreaktionen ved induktionsfri belastning kun virker tvermagnetiserende, faar vi ved lav effektfaktor stor avmagnetisering. Desuten blir det induktive spændingstap i maskinen betydelig. Jo lavere effektfaktor desto lavere vil belastningskarakteristikken for en viss strømstyrke forløpe. Forresten henvises til likestrømsdynamoers belastningskarakteristik.

Den ytre karakteristik er dynamoens polspænding ved forskjellige belastningsstrømmer, naar magnetiseringsstrømmen og hastigheten er konstant. Spændingen er størst ved tomgang. Jo større positiv fasevinkel desto steilere vil kurven falde av mot abszisseaksen, ti desto større er ankerstrømmenes avmagnetisering og det induktive spændingstap i maskinen.

Spændingsreguleringen er spændingens stigning uttrykt i procent av den normale spænding, naar den fuldbelastede dynamos belastning slaaes av. Spændingsreguleringen er liten, ca. 5—10% ved induktionsfri belastning, betydelig større for induktiv belastning. Den er mindst ved sterkt magnetiserte maskiner.

Reguleringskurven er kurven for den strømstyrke man maa sende gjennom magnetviklingen ved forskjellige avgivne strømstyrker, henholdsvis forskjellige belastninger i *k. V. A.*, naar hastigheten og polspændingen holdes konstant. Tiltar belastningen, maa man øke magnetstrømmen for at holde spændingen konstant. Av stor interesse er reguleringskurven ved den laveste effektfaktor en generator er bestemt til at arbeide ved. Den viser nemlig det største strømforbruk magnetviklingen kan kræve. Ved den laveste effektfaktor og den største forekommende last har vi de ugunstigste driftsbetingelser for generatoren med hensyn til feltviklingens opvarmning.

Forsøk nr. 36. Tomgangs- og kortslutningskarakteristik for en vekselstrømsmaskin.

Ved dette forsøk skal man bestemme en kurve for tomgangskarakteristikken ved maaling av maskinens polspænding i tomgang ved 10 à 15 forskjellige strømstyrker i magnetviklingen, idet hastigheten holdes konstant. Ved flerfasemaskiner maales spændingen i alle faser, saa man faar se om viklingen er utført symmetrisk. Pas paa at ha tiltagende magnetisme kort før avlæsningsøieblikket (cfr. forsøk 16). Den for forsøket nødvendige

kobling sees av fig. 36, men man anvender bedst voltmeter med „løse ender“.

For at finde en trefasedynamos kortslutningskarakteristik benytter man bedst den kobling som er vist paa fig. 55. Strømstyrken gennem magnetviklingen F maa kunne holdes lav, forat ikke kortslutningsstrømmene skal bli for store. Disse bør maales ved tre amperemetre av lav motstand, like bygget, og tilledningstraadene bør være omtrent like lange. Man bør kunne finde kortslutningskarakteristikken for 10 à 15 forskellige strømstyrker, op til f. eks. den dobbelte av maskinens normale strøm, idet man passer paa at ankerviklingen ikke blir for varm. Da ved trefasedynamoer kortslutningsstrømmene kan være ikke litet forskellige i de forskellige faser, maa man ta middeltallet av de tre avlæsninger ved hver magnetstrøm.

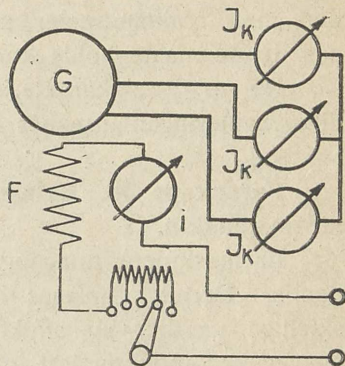


Fig. 55. Maaling av en trefasedynamos kortslutningskarakteristik.

Tomgangs- og kortslutningskarakteristikken optegnes som kurve. Følgende spørsmål er av interesse:

- Hvor stor magnetstrøm behøver maskinen ved en inducirt elektromotorisk kraft 10% større end maskinens normale spænding?
- Hvor stor strøm vil maskinen gi ved kortslutning ved denne magnetstrøm?
- Hvorledes varierer kortslutningsstrømmen naar man ved uforandret magnetstrøm varierer maskinens hastighet inden vide grænser, og hvordan forklares resultatet?

Forsøk nr. 37. Den ytre karakteristik for en vekselstrømsmaskin.

Man skal bestemme kurver for den ytre karakteristik ved induktionsfri last og ved lav effektfaktor. For at faa den første kurve belastes dynamoen bedst med glødelamper, og magnetstrømmen reguleres saaledes at man faar normalspænding ved fuld belastning. For at faa den ytre karakteristik ved lav effektfaktor kan man benytte en synkronmotor som gaar tom, og variere dens

strøm ved at gi den mer eller mindre magnetstrøm. Vi faar paa denne maate ikke konstant effektfaktor, som man egentlig skulde ha, men denne holder sig lav undtagen ved ganske smaa strømmer. Undersøker man en enfasemaskin, kan man med fordel belaste den med reaktansspoler med paralelkoblet ohmsk motstand, og paa denne maate holde konstant effektfaktor.

De to ytre karakteristikkene optegnes som kurve og spenningsreguleringen utregnes for begge tilfælder.

Forsøk nr. 38. Belastningskarakteristikken for en vekselstrømsmaskin.

Er maskinens tomgangskarakteristik ikke kjendt, optages først denne. Derefter optages belastningskarakteristikken ved to forskjellige værdier av effektfaktoren, f. eks. ved induktionsfri last og ved ren induktiv last, mens belastningen er konstant (normal).

De tre kurver optegnes. Man finder hvor stor magnetstrøm dynamoen bruker a) ved tomgang og normal spænding, b) ved fuld last, normal spænding og lav effektfaktor.

Forsøk nr. 39. En vekselstrømsmaskins reguleringskurve.

Ved forsøket skal man søke størrelsen av den nødvendige magnetstrøm, naar en dynamos belastning og effektfaktor varierer.

Begynd med at ta op reguleringskurven ved en bestemt effektfaktor, f. eks. ved induktionsfri last. Ta derefter op en kurve for magnetstrømmen ved konstant (normal) belastning maalt i *k. V. A.* og varierende effektfaktor. Spændingen skal hele tiden holdes konstant. Der bør ogsaa optages en reguleringskurve ved samme effektfaktor som den forrige reguleringskurve, men med en spænding som er væsentlig høiere eller lavere. Av de to reguleringskurver vil man se at ved en lavt magnetisert maskin maa man for at holde spændingen konstant regulere magnetstrømmen inden videre grænser end ved en høit magnetisert maskin. Lavt magnetiserte maskiner anvendes ofte naar magnetstrømmen reguleres automatisk, paa denne maate sparer man paa kobber i magnetviklingen. Ved haandregulering anvendes bedst høit magnetiserte maskiner, forat ikke spændingen skal forandres formeget naar belastningen varierer, før man har faat regulert magnetstrømmen.

De tre nævnte kurver kan nu optegnes. Er magnetviklingens motstand bekendt, beregnes hvor stor motstand man maa ha i regulatoren.

35. Paraleldrif af vekselstrømsgeneratorer.

To generatorer tilkoblet fælles samleskinner har samme polspænding. Vi vet at naar en likestrømsgenerator skal tilkobles samleskinner tilknyttet én eller flere generatorer i drift, maa generatorens spænding være lik spændingen i det net den skal forbindes med. Paa begge sider av den bryter som skal lægges ind, maa man ikke ha spændingsforskjel.

Skal en vekselstrømsdynamo tilkobles et net, er denne ene betingelse, samme spænding som nettet, ikke tilstrækkelig. Vi maa nu ha samme frekvens paa begge sider av bryteren, og desuten maa der være faselighed, d. v. s. vekselspændingen hos den generator som skal indkobles, maa ha nulværdi, maksimum o. s. v. paa samme tid som nettet. Er dette ikke tilfældet, har vi spændingsforskjel paa begge sider av bryteren, og slaaes den ind, faar vi kortslutning. Den enkleste maate hvorpaa man kan opdage spændingsforskjel mellem bryterens to sider, er ved de saakaldte faselamper.

Faselampenes kobling ved enfasemaskiner sees av fig. 56 a. Mellem de punkter som skal kortsluttes av bryteren, sættes glødelamper bestemt for den dobbelte driftsspænding. Bryteren kan lægges ind naar begge lamper er mørke. Er frekvensen ikke like stor paa begge sider av bryteren, vil lampene bli avvekslende

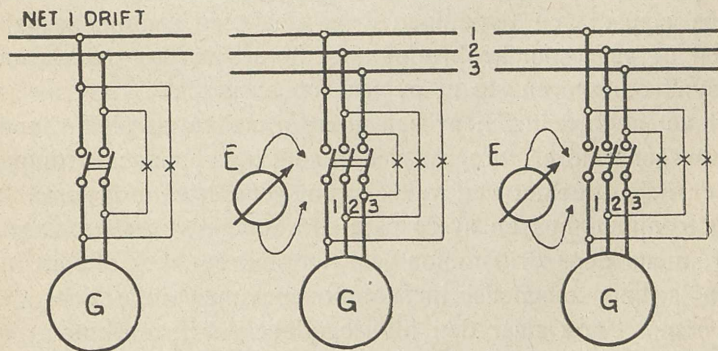


Fig. 56 a—c. Indfasning av synkrone dynamoer.

lyse og mørke, da de faar vekselstrøm av frekvens lik differensen mellem de to frekvenser paa begge sider av bryteren.

Ved paralelkobling av trefasemaskiner kan man gaa frem paa lignende maate, se fig. 56 b. Der anlægges tre faselamper, en lampe mellem hver av de to punkter som skal kortsluttes av bryteren, og indkobling maa kun finde sted naar alle tre lamper samtidig er mørke.

Vanskeligheten ved at finde det rette tidspunkt for indkoblingen ligger i at avgjøre naar lampene er mørke, d. v. s. er uten spænding. For at finde tidspunktet nøiere kan der paralelt med lampene anlægges et voltmeter, saa man kan avgjøre naar spændingen er nul. En bedre kobling av faselampene finder man imidlertid i fig. 56 c, hvor den ene pol av tilledningene til to av lampene er ombyttet. Ved denne kobling skal der kobles ind, naar disse to lamper er like lyse, den tredje lampe skal være mørk. Er frekvensen paa begge sider av bryteren forskjellig, blir lampene avvekslende lyse og mørke efter tur. Synkroniseringen kan bedst iagttages naar lampene anbringes som hjørnene i et triangel.

Vi forstaar av det foregaaende at ved synkronisering av enfasemaskiner er én faselampe tilstrækkelig, mens den anden pol uten videre kan forbindes. Ved trefasemaskiner maa man ha mindst to faselamper, en eneste er ikke tilstrækkelig, da man paa forhaand ikke vet om magnetfeltet i den generator som skal tilkobles, roterer den rigtige vei eller ei.

Er to eller flere synkrondynamoer paralelkoblet, vil de ved bli at gaa videre i fase. Hvis den ene generators driftsmaskin forsøkes stanset, vil dynamoen drive den med samme hastighet, idet den da gaar som synkronmotor. Først ved stor overlastning sliter synkronmotoren sig ut av fase og stanser.

Vi vet at fordelingen av belastningen mellem paralelforbundne likestrømsgeneratorer foregaaer ved regulering av magnetstrømmen. Dette er ikke tilfældet ved vekselstrømsgeneratorer. Hvis vi øker magnetstrømmen hos en av de paralelforbundne vekselstrømsgeneratorer, mens dens driftsmotor gaar uforandret, øker vi bare den avgivne strøms magnetiseringskomponent, men ikke dens wattkomponent. Først naar den tilførte effekt i driftsmaskinen økes, vil ogsaa generatorstrømmens wattkomponent tilta og dermed dens avgivne effekt. Belastningsfordelingen mellem paralelarbeidende

synkron-dynamoer foregaar saaledes ved regulering av deres driftsmaskiner.

Forsøk nr. 40. Øvelser i parallelkobling av vekselstrøms-generatorer.

Ved dette forsøk skal indfasning av og samdrift mellom vekselstrømsdynamoer studeres. Til forsøket skal der anvendes to trefasegeneratorer med hver sin driftsmotor, eller en generator skal med sin driftsmotor indfases til et net i drift.

Til at begynde med indfases maskinene som enfaset ved at man benytter to av trefasemaskinens klemmer. Man bør fase indsaavel med mørke som lyse faselamper. Den sidste indfasning foregaar ved ombytning av de to ledninger paa den ene side av bryteren. Derefter foretages indfasning som trefasemaskin efter begge de beskrevne maater. Derefter overføres belastningen til og fra generatoren. Forsøk ogsaa indkobling uten omhyggelig indfasning, og ved fullstendig kortslutning, men pas paa at sikringene er i orden.

36. Maaling av effekttap i dynamoer ved hjelpemotor.

Vi har set at den viktigste metode for bestemmelse av likestrømsdynamoers effekttap og virkningsgrad bestod i at la den gaa tom med normal hastighet og magnetisering. Paa denne maate bestemmes de mekaniske og magnetiske tap, mens strømstyrken i magnetviklingen bestemte magnetiseringstapene. For undersøkelse av vekselstrømsdynamoer har denne metode mindre betydning.

I en vekselstrømsdynamo i drift optræder der i det væsentlige samme slags effekttap som i en likestrømsdynamo. De mekaniske tap blir i mange tilfælder litt mindre, da kommutatoren mangler og børstenes friktion mot slæperingene som fører strømmen til det roterende magnetsystem, er meget mindre end børstefriktionen mot en kommutator. De magnetiske effekttap er i mange tilfælder ved vekselstrømsdynamoer større end ved likestrømsdynamoer. Ved likestrømsdynamoen kan frekvensen eller omagnetiserings-hastigheten i ankeret holdes nede ved at gi maskinen faa poler. Vekselstrømsdynamoens frekvens er git, og jern-tapene kan kun bringes ned ved at formindske platetykkelsen og magnetiseringen. Magnetiseringstapene ved vekselstrømsdynamoer er

størst naar dynamoen arbeider ved den største forekommende belastning og ved den laveste effektfaktor.

Beregning av vekselstrømsdynamoers virkningsgrad gjennomføres ofte uten hensyn til magnetiseringstapene. Skal disse medregnes, maa man undertiden ta i betragtning at magnetiseringsmaskinen, naar den er sat paa samme aksel som hoveddynamoen, arbeider med en lav virkningsgrad, naar dens hastighet er liten. Dette blir det spørsmaal om naar den samlede tilførte effekt til generatoren og magnetiseringsdynamoen, og dermed driftsmotorens størrelse skal bestemmes.

Kobbertapene i en likestrømsdynamos anker bestemte vi ved at maale motstanden fra pol til pol, og multiplisere denne med kvadratet paa strømstyrken ved den belastning man vil finde virkningsgraden for. Ved vekselstrømsdynamoer slaar ikke denne beregningsmaate til. Den effektive ohmske motstand som bestemmer kobbertapene i ankeret, er nemlig større end den motstand man maaler ved likestrøm eller beregner av kobbertraadens længde og tversnit. Vi faar den saakaldte „skin-effekt“, d. v. s. paa grund av hvirvelstrømmer vil den elektriske strøm hovedsagelig flyte nær kobberledningens overflate, hvorimot det indre av lederne fører litet strøm. Denne foreteelse findes særlig ved store kobbertversnit av massive ankerledere, og fører til at det effektive tversnit blir mindre og den effektive motstand større. Man kan motvirke skin-effekten ved at dele ankerlederne op i flere parallele ledere. Er motstanden i ankerviklingen maalt ved likestrøm R_1 ohm, kan man regne at den effektive motstand R er lik

$$R = (1,5 - 2,5) \cdot R_1 \text{ ved enfasemaskiner}$$

$$R = (1,3 - 2,0) \cdot R_1 \text{ ved trefasemaskiner}$$

Effekttapene i vekselstrømsmaskiner bestemmes bedst ved hjelpemotor, de mekaniske og magnetiske tap paa samme maate som ved likestrømsmaskiner. Tapene i magnetviklingen bestemmes ved reguleringskurven eller antages, naar man kjender tomgangskarakteristikken, mens kobbertapene i ankeret bestemmes ved kortslutningsforsøk. Bedst gjøres dette ved at kortslutte maskinens polklemmer ved ett (tre) amperemeter, drive den med normal hastighet og magnetisere saa meget at man faar en passende strøm i ankeret. Jerntapene kan ved den lave magnetisering antages smaa, og kobbertapene W_k findes for flere forskjellige strøm-

styrker J . Er den effektive motstand pr. fase i en trefasemaskin R ohm, faaes

$$W_k = 3 \cdot J^2 \cdot R$$

hvorav R kan beregnes for forskjellige J , saa man kan finde værdien av R ved at ta middeltallet.

Eksempel paa beregning av virkningsgraden. En 120 k.V.A. 50 perioder 220 volt trefasegenerators virkningsgrad skal bestemmes ved hel og halv belastning, og ved effektfaktor lik 1 henholdsvis 0,8. Magnetiseringstapene skal ikke medregnes. Den blev drevet med normal hastighet a) uten magnetisering, b) ved en magnetisering som gav en spænding av 240 volt, c) med kortsluttede klemmer og en strømstyrke av 315 amp., idet en hjelpemotor anvendtes. Hjælpemotoren tilførtes i tilfælde a) 5 k.W., i tilfælde b) 8 k.W. og i tilfælde c) 9 k.W. Deretter lot man hjelpemotoren gaa tom med samme shuntstrøm og hastighet som den hadde før, og tilførte den i tomgang 2,7 k.W.

Vi finder vekselstrømsgeneratorens

mekaniske tap	5 — 2,7 =	2,3 k.W.
magnetiske tap	8 — 5 =	3,0 „
kobbertap ved fuld belastning .	9 — 5 =	4,0 „
Samlede tap ved fuld last		9,3 k.W.

Altsaa virkningsgraden, magnetiseringstap ikke medregnet, ved fuld belastning

$$\eta = \frac{120}{120 + 2,3 + 3,0 + 4,0} = 92,8\% \text{ ved } \cos \varphi = 1$$

$$\eta = \frac{120 \cdot 0,8}{120 \cdot 0,8 + 2,3 + 3,0 + 4,0} = 91,2\% \text{ ved } \cos \varphi = 0,8$$

Vi antar at ved halv belastning kobbertapene i ankeret er fjerdeparten av dem ved fuld belastning, og har ved halv belastning

$$\eta = \frac{60}{60 + 2,3 + 3,0 + 1,0} = 90,5\% \text{ ved } \cos \varphi = 1$$

$$\eta = \frac{60 \cdot 0,8}{60 \cdot 0,8 + 2,3 + 3,0 + 1,0} = 88,4\% \text{ ved } \cos \varphi = 0,8$$

Ved bestemmelse av virkningsgraden paa denne maate har vi flere feilkilder. Hjælpemotorens kobbertap sættes like store ved alle anvendte belastninger. For at kunne gjøre det bør man ikke anvende for liten motor. Vi har i vort eksempel antat den inducerte elektromotoriske kraft lik 240 volt ved alle belastninger av generatoren, hvilket naturligvis ikke er riktig. Nogen større feil i resultatet bringer man dog ikke ind herved. For at faa jerntapene og kobbertapene bestemt nøiagtig bør man søke dem

ved en række forskjellige magnetiseringer henholdsvis ankerstrømmer, opstille kurver for tapene og søke dem herav.

Forsøk nr. 41. Effekttap og virkningsgrad av en vekselstrømsdynamo bestemt ved hjelpemotor.

Ved den i det forangaaende nævnte metode skal man finde en vekselstrømsdynamos mekaniske effekttap, magnetiske effekttap og kobbertap i ankerviklingen.

Begynd forsøket med at la maskinene gaa nogen tid for at faa oljen i lagerne paa driftstemperatur. Derefter iagttages hjelpemotorens effektforbruk naar vekselstrømsdynamoen gaar uten magnetisering og med en række forskjellige strømstyrker i magnetviklingen og aapent anker, og naar den gaar med kortsluttede polklemmer. Som hjelpemotor anvendes en shuntmotor, som under hele forsøket bør gaa med samme strøm i shuntviklingen, og remmen bør være tynd og bøielig.

Som et holdepunkt for gangen i forsøket kan tjene følgende: Man foretar maalinger ved

- a) Avtat rem.
- b) Paasat rem, dynamoen umagnetisert, aapen ankervikling.
- c) Paasat rem, dynamoen magnetisert, aapen ankervikling.
- d) Paasat rem, dynamoen umagnetisert, aapen ankervikling.
- e) Avtat rem.
- f) Paasat rem, dynamoen umagnetisert, aapen ankervikling.
- g) Paasat rem, dynamoen magnetisert, kortsluttet ankervikling.
- h) Paasat rem, dynamoen umagnetisert, aapen ankervikling.
- i) Avtat rem.

Man maa lægge vegt paa en oversigtlig bearbeidelse av maale-resultatene. Der optegnes kurver for de magnetiske tap med den inducerte spænding som abscisse, og for mekaniske tap, magnetiske tap, kobbertap, samlede tap og virkningsgrad med belastningen i *k.V.A.* som abscisse, virkningsgraden beregnet for saavel $\cos \varphi = 1$ og $\cos \varphi = 0,8$, og under forutsætning av at magnetiseringstapene ikke medregnes. Kobbertapene kan findes av kurven, men kan ogsaa beregnes ved at ankerviklingens effektive motstand søkes av samtlige værdier for effekttapene ved kortslutningsgangen. Forholdet mellem den effektive motstand og motstanden fundet ved likestrøm beregnes, hvorfor ankerviklingens motstand maales med likestrøm.

37. Synkronmotorens strømforbruk ved konstant polspænding og varierende magnetstrøm.

Vi vet at en likestrømsdynamo gaar som generator eller som motor eftersom den inducerte elektromotoriske kraft i dynamoen er større eller mindre end spændingen i det net hvortil det er forbundet. Ved synkronmaskiner er saken væsentlig anderledes. Synkrondynamos hastighet svarer til enhver tid til det net som den er tilkoblet, dens elektromotoriske kraft under drift er lik nettets polspænding plus eller minus spændingstapene i dynamoens ankervikling. Da disse spændingstap under vanlig drift aldrig kan utgjøre en væsentlig del av polspændingen, kan heller ikke synkrondynamos elektromotoriske kraft være meget forskjellig fra polspændingen i nettet. Av ligningen for dens elektromotoriske kraft følger nu at kraftlinjetallet i maskinen ikke kan forandres synderlig om strømstyrken gjennom magnetviklingen varieres inden vide grænser. Ankerstrømmene maa skaffe det tillæg eller fradrag i magnetisme som er nødvendig om magnetstrømmen magnetiserer for litet eller for meget, og dette faaes ved ankerreaktionen.

Synkronmotorens strømforbruk ved forskjellige magnetstrømstyrker, men ved konstant belastning sees av den saakaldte „V-kurve“, se fig. 57; kurve *a* viser strømstyrken ved tomgang, og kurve *b* den tilhørende effektfaktor, kurve *c* strømstyrken ved en viss belastning. En spids V-kurve tyder paa at maskinen bruker meget strøm selv om magnetstrømmen ikke er væsentlig forskjellig fra den som gir en effektfaktor lik 1.

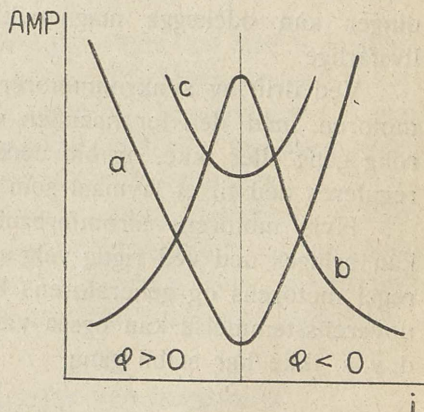


Fig. 57. En synkronmotors strømforbruk ved forskjellige strømstyrker gjennom magnetviklingen.

38. Igangsætning og drift av synkronmotorer.

Igangsætning av synkronmotorer foregaar paa forskjellige maater. Er maskinen direkte forbundet til en likestrømsdynamo, hvad man har ved omformeranlæg, sætter man igang likestrømsdynamoen som motor, hvis man har strøm dertil; indfasning maa

foretages. Ved flere anlæg forbindes synkronmotoren med en liten induktionsmotor, stor nok til at dække synkronmotorens tap. Naar man har faat den paa rigtig hastighet, foretages indfasning. Endelig kan en synkronmotor sættes igang som en induktionsmotor, ved at man leder flerfaset vekselstrøm til dens anker. Man kan da sætte igang med aapen magnetvikling, men da bør synkronmotoren utrustes med dæmpervikling paa eller mellem polene. Denne bestaar av kobberstaver av stort tversnit anbragt paa polene og indbyrdes kortsluttet ved en ring. Ved igangsætning vil det roterende magnetfelt trække den kortsluttede dæmpervikling med sig, og indkobling kan foregaa naar maskinen roterer synkront. Forat ikke maskinen skal opta altfor meget strøm ved igangsætning, bør man bruke reducert spænding og gradvis forhøie denne ved en transformator med flere uttak. Forøvrig maa man huske paa at magnetviklingen ved mange synkronmaskiner har det mangedobbelte antal vindinger av ankerviklingen, saa at der kan komme til at induceres meget høie spændinger i magnetviklingen naar man leder vekselstrøm ind i ankerviklingen. Disse høie spændinger kan ødelægge magnetviklingens isolation og endog være livsfarlige.

Ved drift av synkronmotorer er det av betydning at vite om motoren med den for haanden værende spænding har en stabil, rolig gang eller ikke, og om dens strømforbruk ved tomgang kan reguleres ned til et lavmaal som gir en effektfaktor lik 1.

Hvis motorens strømforbruk ved tomgang er stort og ikke kan bringes ned ved rigtig valg av magnetstrømmen, stemmer som regel motorens og generatorens kurveform ikke overens, og denne uoverensstemmelse kan ogsaa være aarsak til at motoren pendler, d. v. s. ikke har stabil gang.

Forsøk nr. 42. Synkronmotorens „V-kurver“.

Man skal bestemme kurver for en synkronmotors strømforbruk og effektfaktor, a) ved tomgang, b) ved halv belastning, mens polspændingen og frekvensen holdes konstant.

Begynd med tomgang. Man maa passe paa at faa et tilstrækkelig antal punkter paa V-kurvens dypeste, spidse del. Strømstyrken skal saavel ved tomgangs- som belastningsprøven økes saa langt som forsvarlig.

Løs paa grundlag av de foretatte maalinger følgende opgave:

Synkronmotoren skal tilknyttes et net i drift, hvis effektfaktor er 0,8, og den skal gaa overmagnetisert, saa effektfaktoren ved den samlede overføring blir lik 1. Hvor mange k.W. kan nettet forbruke a) naar synkronmotoren gaar tom, b) naar den avgir halv belastning paa akselen. Synkronmotorens samlede strømforbruk skal være lik strømstyrken ved fuld belastning.

H. Transformatormaalinger.

39. Indledning.

En transformators oppgave er at forandre størrelsen av en vekselspænding. Transformatoren har to viklinger, den primære og den sekundære, som begge omgir en og samme jernkjerne. Den magnetiske flux gjennom den primære vikling vil være omtrent lik den flux som gaar gjennom den sekundære vikling, og følgelig blir de inducerte elektromotoriske kræfter i de to viklinger

$$E = 4,44 N \cdot v \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \text{ volt}$$

proportional de respektive vindingstal. Forholdet mellem vindings-tallene primært og sekundært kaldes transformatorens omsætningsforhold. Det er let at maale en transformators omsætningsforhold, som blir lik forholdet mellem transformatorens klemmespænding primært og sekundært ved tomgang.

De undersøkelser som i første række foretages ved transformatorer, er bestemmelse av dens virkningsgrad ved forskjellige belastninger, temperaturtilveksten ved stadig drift, spændingens variation ved belastningsforandringer samt viklingens isolation.

40. Virkningsgradbestemmelse ved belastning.

Virkningsgraden av transformatorer kan bestemmes ved direkte og indirekte metode. Den direkte virkningsgradbestemmelse bestaar i at man belaster transformatoren, maaler den avgivne sekundære og den tilførte primære effekt og tar forholdet mellem dem.

Fig. 58 viser koblingen for maaling av virkningsgraden og effektfaktoren ved en induktionsfrit belastet enfasetransformator. Paa primærsiden optar transformatoren W_1 watt, mens den paa

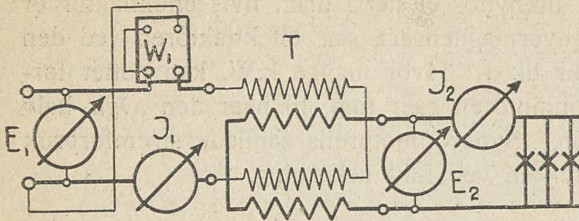


Fig. 58. Maaling av en enfasetransformators virkningsgrad ved belastningsforsøk.

sekundærsiden avgir $W_2 = E_2 \cdot J_2$ watt. Man har virkningsgraden

$$\eta = \frac{W_2}{W_1} = \frac{E_2 \cdot J_2}{W_1}$$

lik 1. Paa primærsiden er den ved tomgang lav, men stiger raskt ved belastning og vil ved normal belastning være nær 1. Man har:

$$\cos \varphi_1 = \frac{W_1}{E_1 \cdot J_1}$$

Er belastningen paa sekundærsiden ikke induktionsfri, maa man maale den av transformatoren avgivne effekt W_2 ved et indkoblet wattmeter, og man har:

$$\eta = \frac{W_2}{W_1}$$

Da endog mindre transformatorer gir en virkningsgrad nær 1, vil usikkerheten i wattmeteravlesningene primært og sekundært gi anledning til saa store feil i resultatet, at den direkte virkningsgradbestemmelse ikke benyttes undtagen ved ganske smaa transformatorer, saa meget mere som man paa en paalidelig og enkel maate kan finde transformatorers virkningsgrad ved indirekte metode ved at maale de effekttap som optræder under driften.

41. Virkningsgradbestemmelse ved tomgangs- og kortslutningsprøver.

I en transformator optræder magnetiske og elektriske effekttap. De magnetiske tap (jerntapene) er hysterresetap og hvirvelstrømtap og kan beregnes ved samme ligning som ved dynamoer. Hysterresetapene er saaledes proportionale frekvensen, hvirvelstrømtapene proportionale kvadratet paa frekvensen. Da frekvensen ved transformatorer er høi, oftest 50, søker man at holde jerntapene lave ved at vælge lav magnetisering. Hvirvelstrømtapene blir smaa naar jernkjernen bygges av plater av en legering av jern og silicium, der har liten elektrisk ledningsevne og

Effektfaktoren er paa sekundærsiden

saaledes byr hvirvelstrømmene stor motstand. For at maale jern-
tapene i en færdig transformator maaler vi den effekt vi tilfører
primærviklingen naar sekundærviklingen er aapen, og frekvensen
og spændingen primært er normal. Hele den tilførte effekt vil da
medgaa til at dække jern- og kobbertapene, da kobbertapene ved tomgang
er smaa.

Fig. 59 viser den kobling man bør anvende for at bestemme
en trefasetransformators magnetiske tap ved tomgangsfor-
søk.

Generatoren gir
spændingen E_1
volt, som skal
være like stor i
alle faser og saa
stor at man har
normal magneti-
sering og frekvens.

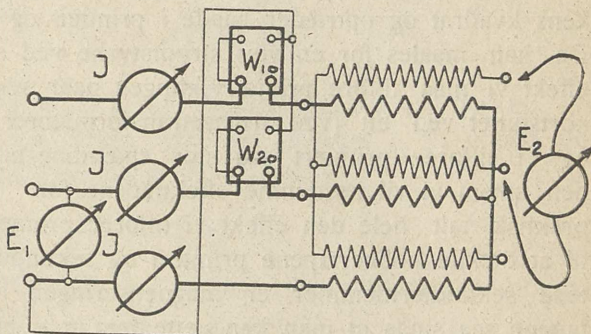


Fig. 59. Bestemmelse av de magnetiske tap i en trefase-
transformator.

Strømstyrken

maales i alle tre faser og vil, naar transformatorens tre kjer-
ner er anordnet i ett plan, være mindst i den vikling som omgir den
midterste kjerne, da denne kjernes kraftlinjer møter mindre mag-
netisk motstand end de øvrige kjerner (indsees ved optegning av
kraftlinjeveien). Paa sekundærsiden maaler et voltmeter den in-
ducerte elektromotoriske kraft i sekundærviklingens faser.

Av maalingene findes de magnetiske effekttap ved normal
magnetisering og frekvens:

$$W_0 = W_{10} + W_{20}$$

Strømstyrkens wattkomponent er lav mens dens magnetiserings-
komponent er høi; man faar derfor ved tomgang en lav effekt-
faktor:

$$\cos \varphi_0 = \frac{W_0}{E_1 \cdot J \cdot \sqrt{3}}$$

hvor J er den gjennomsnitlige strømstyrke i de tre faser.

Transformatorens omsætningsforhold er forholdet mellem
vindingstallene primært og sekundært og blir ved samme kobling

primært som sekundært lik forholdet mellem de inducerte spændinger:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

da spændingstapene i primærviklingen er smaa, i sekundærviklingen nul.

De elektriske tap (kobbertapene) er proportionale strømstyrkens kvadrat og optræder baade i primær- og sekundærviklingen. De kan maales for en viss strømstyrke ved at man maaler den effekt vi maa tilføre primærviklingen naar sekundærviklingen er kortsluttet ved ett (ved trefasetransformatorer tre) amperemeter, og vi tilfører primært saa stor spænding at vi sekundært faar den strøm vi vil bestemme effekttapene for. I dette tilfælde vil praktisk talt hele den effekt vi tilfører primærviklingen, medgaa til at dække kobbertapene primært og sekundært, ti ved kortsluttede sekundærklemmer er magnetiseringen meget lav, og jern-tapene saa smaa at man kan sætte dem ut av betragtning. Kobbertapene kan ikke beregnes av viklingenes motstand maalt ved likestrøm, da viklingenes effektive motstand er større end likestrømsmotstanden.

Fig. 60 viser en kobling hvorefter en trefasetransformators

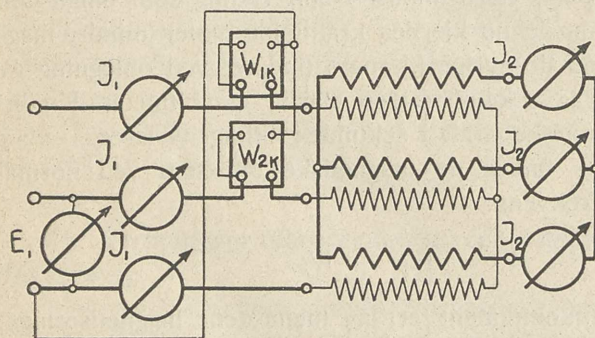


Fig. 60. Bestemmelse av de elektriske tap i en trefasetransformator.

elektriske tap i begge viklinger kan bestemmes. Transformatorens høispændingsvikling benyttes bedst som primærvikling, og man maaler tilført spænding, strøm og effekt. Paa sekundærsiden kortslutter tre amperemetre av lav motstand de tre faser. Man tilfører primært saa høi spænding at man faar de strømstyrker paa sekundærsiden man vil ha. Kobbertapene blir summen av begge wattmetres angivelser:

$$W_k = W_{1k} + W_{2k}$$

Middelværdien av strømstyrken er paa primærsiden J_1 , paa sekundærsiden J_2 . Tænkes effekttapene at fordele sig med en halvpart paa hver vikling, har man for trefasetransformatorer:

I primærviklingen

$$\frac{W_k}{2} = 3 \cdot R_1 \cdot J_1^2$$

I sekundærviklingen

$$\frac{W_k}{2} = 3 \cdot R_2 \cdot J_2^2$$

hvor R_1 og R_2 er den effektive motstand pr. fase.

Tænker man sig begge viklinger forenet i en eneste og kobbertapene opstaat i denne alene, har man

$$W_k = 3 \cdot R \cdot J_1^2$$

hvor R er den effektive kortslutningsmotstand pr. fase.

Ved enfasetransformatorer har man:

$$\frac{W_k}{2} = R_1 \cdot J_1^2 = R_2 \cdot J_2^2$$

$$W_k = R \cdot J_1^2$$

Av ligningene sees at motstandene i de to viklinger vil forholde sig som kvadratet paa omsætningsforholdet.

Ved kortslutningsforsøket er strømstyrkens wattkomponent høi, mens dens magnetiseringskomponent er lav. Man har (se fig. 60):

$$\cos \varphi_k = \frac{W_k}{E_1 \cdot J_1 \cdot \sqrt{3}}$$

Man faar saaledes ved kortslutningsforsøket en høi effektfaktor, som forøvrig er ikke litet forskjellig ved de forskjellige transformortyper.

Ved kortslutningsforsøket medgaar hele den paatrykte spænding til at dække det ohmske og induktive spændingstap i viklingene, som vist i fig. 61. Den paatrykte fase-spænding E_{1f} bestaar av det ohmske spæn-

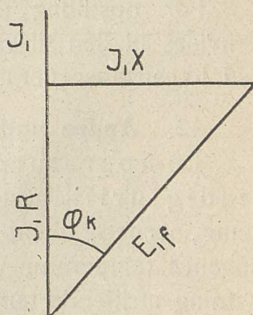


Fig. 61. Spændingsdiagram for en kortsluttet transformator.

dingstap $J_1 R$, som er produktet av den effektive kortslutningsmotstand pr. fase og strømstyrken samt av det induktive spændingstap $J_1 X$, som er produktet av den effektive kortslutningsreaktans pr. fase og strømstyrken. Kortslutningsimpedansen pr. fase er lik

$$Z = \frac{E_{1f}}{J_1} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Kortslutningsimpedansen er hos alle transformatorer saa liten at en kortslutning paa sekundærsiden ved vanlig drift vil virke næsten som en kortslutning paa primærsiden.

Ved vanlig drift tilfører man transformatoren normal spænding og en viss strømstyrke, og tar paa sekundærsiden ut normal spænding og en til primærstrømmen svarende strømstyrke. Under disse forhold er de magnetiske tap like store som de effekttap vi fandt ved tomgangsforsøket. De elektriske effekttap er derimot saa store som kortslutningsforsøket ved den tilsvarende sekundærstrømstyrke angir. Virkningsgraden blir altsaa ved en avgit spænding E_2 , strømstyrke J_2 og effektfaktor $\cos \varphi_2$:

$$\eta = \frac{E_2 J_2 \cos \varphi_2}{E_2 J_2 \cos \varphi_2 + W_0 + W_k} \text{ for enfasetransformatorer}$$

$$\eta = \frac{E_2 J_2 \sqrt{3} \cos \varphi_2}{E_2 J_2 \sqrt{3} \cos \varphi_2 + W_0 + W_k} \text{ for trefasetransformatorer}$$

For at kunne beregne virkningsgraden ved en række strømstyrker bør man opstille en kurve for kobbertapene avhengig av strømstyrken i sekundærviklingen J_2 .

For opstilling av tabel for effekttapene og virkningsgraden henvises til den tilsvarende tabel for beregning av virkningsgraden ved likestrømsgeneratorer (side 66).

42. Andre undersøkelser.

Temperaturtilveksten i en transformator ved stadig drift bestemmes ved at belaste den og maale viklingenes, jernets, oljens o. s. v. temperatur ved termometer samt viklingenes temperatur ved motstandsforhøielse. Det er av stor betydning at kjende temperaturtilveksten, da isolationsmaterialer, naar de stadig er utsat for høi temperatur, med tiden vil miste en del av sin isolerende evne. For bestemmelse av temperaturtilveksten maa man belaste transformatoren uavbrutt i lang tid, 10—12 timer

eller mere; like byggede transformatorer kan belastes i differentialkobling ved hjælp av en liten tilsatstransformator.

Spændingens variation i sekundærviklingen naar man holder primærspændingen konstant, men varierer belastningen, er det ogsaa vigtig at kjende til. Belastes transformatoren, vil de ohmske og induktive spændingstap i primær- og sekundærviklingen foraarsake at spændingen sekundært synker, og naar det induktive spændingstap i viklingene er større end det ohmske, vil spændingen synke sterkere naar effektfaktoren er lav end naar den er høi. Man kan i almindelighet si at transformatorer med forskjellig ohmsk og induktivt spændingstap ikke kan parallelkobles baade primært og sekundært uten at belastningen fordeler sig ujevnt paa de parallelkoblede transformatorer.

Viklingens isolation maa prøves ved spændinger som ligger over de spændinger de er bestemt for. Strømmen faaes som regel fra en transformator bygget med uttak, saa at man kan forhøie spændingen gradvis.

43. Maaletransformatorer.

En speciel art transformatorer er de saakaldte maaletransformatorer, som finder stor anvendelse i høispændingsnet, og naar sterke strømmer skal maales. Maaletransformatorer er dels spændingstransformatorer og dels strømtransformatorer.

Paa fig. 62 er skematisk fremstillet koblingen for en spændingstransformator T_1 og en strømtransformator T_2 . Spændingstransformatorens primærvikling tilknyttes nettet, og paa sekundærviklingens klemmer faaes en spænding lik primærviklingens spænding dividert med omsætningsforholdet. Voltmetret lægges til denne spænding, men graderes i almindelighet til primærspændingen. Er f. eks. netspændingen 5000 volt og spændingstransformatorens omsætningsforhold 50, tilføres der voltmetret 100 volt, som graderes saaledes at det viser 5000 volt paa skalaen.

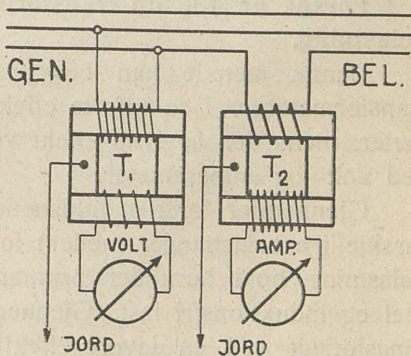


Fig. 62. Spændings- og strømtransformator.

Virkemaaten av strømtransformatoren T_2 kan forklares paa følgende maate:

Den strøm som skal maales, føres gjennom T_2 's primærvikling, som har faa, undertiden bare en eneste vinding. Strømmen frembringer et magnetisk felt i jernkjernen proportional strømstyrken, idet magnetiseringen i jernet holdes meget lav. I sekundærviklingen faaes da en elektromotorisk kraft proportional den primære strømstyrke, og der tilknyttes sekundært et amperemeter for lav strømstyrke (i almindelighet 5 ampere), og dette graderes saaledes at man kan læse av den primære strømstyrke uten omregning.

Maaletransformatorenes jernkjerne lægges i almindelighet til jorden for at forhindre høispænding fra at slaa over fra primær- til sekundærviklingen.

Maaletransformatorene tillater at alle maaleinstrumenter paa centralstationer for høispændt strøm samles paa et eneste koblingsbret, hvortil der kun føres strøm av lav spænding, ti mens maaletransformatorene selv anbringes i høispændingsrummet, fører ledninger fra sekundærviklingene til maaleapparatene paa koblingsbrettet. At ved spændingstransformatorer høie spændinger maales uten for stort energiforbruk, er ogsaa en stor fordel. Skal f. eks. en spænding paa 5000 volt maales ved et voltmeter med anlagt seriemotstand, og voltmeteret bruker 0,1 amp., faaes et effektforbruk i voltmeters strømkreds av $0,1 \cdot 5000 = 500$ watt. Ved anvendelse av spændingstransformator reduceres effektforbruket ved spændingsmaalingen til nogen faa watt.

Forsøk nr. 43. En transformators virkningsgrad maalt ved belastning.

Denne metode kan benyttes baade ved enfase- og trefase-transformatorer. Den tilførte effekt primært maa maales ved wattmeter, mens den avgivne effekt ved induktionsfri last kan maales ved volt- og amperemeter.

Gjennemfør først et fuldstændig belastningsforsøk ved ca. 10 forskjellige belastninger mellem tomgang og 50—100 procent overbelastning, hold herunder primærspændingen og frekvensen normal og induktionsfri last. Gjennemfør derefter et lignende belastningsforsøk ved en lavere effektfaktor, f. eks. 0,8, men for kun faa værdier av belastningen.

Der tegnes følgende kurver for belastningsforsøket med induktionsfri last: a) Virkningsgraden, b) spændingen paa sekundærklemmene, c) effektfaktoren primært. Avgit k.W. skal være abscisser. Følgende spørmaal besvares: a) Hvor stor er spændingsreguleringen? b) Hvor stort er omsætningsforholdet?

Forsøk nr. 44. En transformators virkningsgrad bestemt ved tomgangs- og kortslutningsforsøk.

Ved bestemmelse av effekttapene i en transformator er det likegyldig hvilken av de to spoler benyttes som primærspole, alt-saa hvilken wattmetret skal tilknyttes. Har man f. eks. en transformator 5000/220 volt, kan man for at bestemme jerntapene benytte den lavspændte vikling, for at bestemme kobbertapene den høispændte vikling som primærvikling.

Vi begynder med at bestemme jerntapene. Primært tilknyttes volt-, ampere- og wattmeter, sekundært et voltmeter, se fig. 59. Har man at gjøre med høispænding, maa forsigtighet utvises. Vi søker en saa nøiagtig bestemmelse av tomgangstapene som mulig ved flere avlæsninger. Ved trefasetransformatorer bør man maale strømstyrken og spændingen i alle tre faser.

Kobbertapene bestemmes ved at kortslutte transformatorens sekundærklemmer ved ett (ved trefasetransformatorer tre) ampere-meter, se fig. 60. Primært avlæses volt, ampere i alle tre faser, og tilført watt. Vi benytter wattmetre med passende maaleom-raader og bestemmer kobbertapene ved en række (6 à 8) forskjellige strømstyrker i sekundærviklingen.

Den effektive kortslutningsmotstand utregnes av de fundne kobbertap. Herav beregnes den effektive motstand i primær- og sekundærviklingen for sig, naar man antar at kobbertapene er fordelt med en halvdel paa primær- og den anden halvdel paa sekundærviklingen. Effektfaktoren beregnes for alle maalinger. Der opstilles kurver for jerntap, kobbertap, samlede tap og virkningsgrad ved en effektfaktor av 0,8, idet avgit k.V.A. er abscisser.

Følgende spørmaal besvares: a) Hvor stor er transformatorens høieste virkningsgrad, og ved hvilken belastning faaes den? b) Hvor stort er omsætningsforholdet? c) Kan man efter fordelingen av effekttapene slutte sig til om transformatoren er en lys- eller krafttransformator? d) I tilfælde man undersøker en tre-

fasetransformator, hvor stor er tomgangsstrømmen i de tre faser, og hvordan forklares forskjellen i de tre fasers tomgangsstrøm, hvis der er nogen?

I. Prøvning av induktionsmotorer.

44. Indledning.

Induktionsmotoren staar i en særstilling overfor de øvrige arter dynamoer vi har lært at kjende. Mens saavel likestrømsdynamoen som den synkrone dynamo har et magnetfelt, frembragt ved likestrøm og derfor stadig rettet til samme side, har induktionsmotoren et vekslende magnetfelt, frembragt ved vekselstrøm. Følgelig arbeider induktionsdynamoen, hvad enten den arbeider som motor eller som generator, stadig ved en effektfaktor som er mindre end 1.

Induktionsmotorens virkemaate beror paa et roterende magnetfelts indvirkning paa en rotor som ved gang er kortsluttet. Hvis rotoren gaar med samme hastighet som feltet, blir rotorstavene stillestaaende i forhold til feltet, vi faar ingen inducerte spændinger og heller ingen strømmer i rotoren, og momentet blir nul. Forat motoren skal utvikle et moment, maa rotoren gaa langsommere end feltet. Forskjellen mellem feltets og rotorens hastighet kaldes slippen (efterslæpning, sacking) og maales i procent av feltets hastighet. Slippet tiltar med belastningen, men da den ved vanlig drift bare utgjør faa procent av den synkrone hastighet, kan vi si at induktionsmotorens hastighetskarakteristik ligner shuntmotorens.

45. Bremsforsøket. Stroboskopisk slipmaaling.

Av induktionsmotorens egenskaper ved belastning vil vi her studere dens virkningsgrad, hastighet, moment og effektfaktor naar den er tilknyttet et net med konstant spænding og frekvens.

Til undersøkelse av mindre induktionsmotorers egenskaper kan bremseforsøket med fordel utføres. Vi vil her ikke opholde os nærmere ved det, da dets teori allerede er utviklet under avsnittet om likestrømsdynamoer. Mens motorens moment maales ved bremseanordningen og dens hastighet ved et tachometer, blir slippen meget unøiagtig bestemt naar den skal maales med tachometer, som forskjellen mellem den synkrone hastighet og moto-

rens hastighet. Der findes flere metoder for maaling av slippet, en av de interessanteste er den stroboskopiske.

Paa motorens aksel anordnes en skive som er delt i sorte og hvite sektorer, ved en topolet motor to sorte og to hvite, ved en firepolet fire av hver sort o. s. v. Denne belyses av en buelampe eller metaltraadlampe, som faar sin strøm fra samme strømkilde som motoren. Hvis motoren og med den skiven ved tomgang roterer synkront, vil en hvit sektor belyses av lampen hver gang strømmen har maksimum, d. v. s. hver gang den staar i en viss stilling, og vi vil se sektoren bli staaende stille paa skiven. Har motoren en viss slipp, vil sektoren for hver omdreining den har gjort, være sakkett litt agterut i forhold til belysningens maksimalverdier, og den synes at rotere bakover med en hastighet som er lik slippets. Den stroboskopiske slippbestemmelse egner sig bedst naar slippet er liten.

Da bremsemetoden navnlig naar større effektbeløp skal avbremses, ikke gir saa konstant belastning som ønskelig, er det at anbefale istedenfor bremsen at la motoren arbeide paa en justert likestrømsdynamo eller hvirvelstrømbremse for derved at bestemme dens moment.

46. Virkningsgradbestemmelse ved tomgangsforsøk, motstandsmaaling og slipmaaling.

I likhet med andre dynamoer kan ogsaa induktionsmotorens virkningsgrad bestemmes ved indirekte metoder, ved bestemmelse av motorens effekttap ved forskjellige forutsatte belastninger.

Effekttapene i en induktionsmotor bestaar av mekaniske og magnetiske tap samt kobbertap. De mekaniske og magnetiske tap maales ved at la motoren gaa tom og maale den tilførte effekt, naar man tilfører motoren strøm av normal spænding og frekvens. Kobbertapene fordeler sig paa statoren og rotoren. Kobbertapene i statoren er ved tomgang ikke ubetydelige, og maa fraregnes tomgangseffekten naar man ved tomgangsforsøket skal bestemme de mekaniske og magnetiske tap. Kobbertapene i statoren stiger proportionalt strømstyrkens kvadrat, og kan beregnes ved at maale statorviklingens motstand ved likestrøm. Kobbertapene i rotoren er meget smaa ved tomgang og kan ikke bestemmes av motstandsværdien i rotoren. Vi antar at kobbertapene i rotor-

viklingen utgjør like mange procent av den samlede tilførte effekt til rotoren, som slippen utgjør av den synkrone hastighet. Ved denne antagelse kan virkningsgraden av induktionsmotoren beregnes naar man maaler a) statorviklingens motstand ved likestrøm, b) tomgangstapene, c) tilført watt og slip ved forskjellige strømstyrker. Vi ser at vi undgaar den upaalidelige bremset metode og kan belaste motoren med f. eks. en generator uten at maale den effekt motoren gir paa akselen.

Den nævnte antagelse gir et godt indblik i asynkronmotorens virkemaate og kan forklares paa følgende maate:

Av den effekt som tilføres statoren, gaar endel tapt i statoren selv, og resten overføres til rotoren. Tapene i statoren er jern- tap og kobbertap. Til rotoren avgives resten. Rotoren utvikler et visst moment, tilstrækkelig til at overvinde friktionen samt gi et nyttig moment paa akselen. Resten av den effekt som overføres til rotoren, gaar tapt som kobbertap i dens vikling, da jern- tapene i rotoren ved vanlig drift er forsvindende paa grund av den langsomme ommagnetisering. Sæt at rotorviklingens motstand var meget liten. Rotorens vridningsmoment er proportionalt produktet av kraftlinjefeltets styrke og strømstyrken i rotorviklingen. Ved en meget lav rotormotstand vil en meget liten slip gi kraft- linjeskjæring stor nok til at frembringe en strømstyrke som gir normalt moment. Paa den anden side, var rotormotstanden be- tydelig, vilde det samme moment paa rotorens aksel fordre like store strømmer i rotoren som naar rotormotstanden var liten, og slippen maa i saa fald bli betydelig. Vi ser at det nødvendige moment erholdes ved at ofre en viss del av rotorens hastighet. Dette offer er like stor del av den synkrone hastighet som roto- rens kobbertap er av den samlede paa rotoren overførte effekt.

Eksempel. En 8 hk. 220 volt trefasemotor optar 600 watt i tomgang, mens strømstyrken var 7 amp. pr. fase. Statorviklingens motstand maales varm til 0,4 ohm pr. fase. Ved belastning viste det sig at motoren optok 7200 watt ved et strømforbruk av 22 amp. pr. fase ved normal spænding, mens slippen var 4,5%.

Beregningen gjennomføres nu paa følgende maate:

Tomgangstap — kobbertap ved tomgang

$$600 - 3 \cdot 7^2 \cdot 0,4 = 600 - 59 = 541 \text{ watt}$$

Jern- og friktionstapene blir altsaa 541 watt, da kobbertapene og jern- tapene sekundært er forsvindende smaa.

Vi faar at av den tilførte effekt ved den forutsatte belastning 7200 watt vil der medgaa til kobbertap i statoren

$$3 \cdot 22^2 \cdot 0,4 = 581 \text{ watt}$$

Følgelig faaes:

Avgit effekt paa akselen + kobbertap i rotorviklingen

$$7200 - 541 - 581 = 6078 \text{ watt}$$

De sekundære kobbertap er 4,5 % av dette beløp, altsaa:

$$\text{Avgit effekt paa akselen} = 6078 - \frac{4,5}{100} \cdot 6078 = 5806 \text{ watt}$$

Virkningsgraden blir for denne belastning:

$$\frac{5806}{7200} = 80,6 \%$$

Man indser at vi gjør den feil at vi regner sekundærviklingens kobbertap i procent av den paa rotoren overførte effekt fratrukket friktionstapene. Egentlig skulde disse været med i beløpet, da jo ogsaa friktionstapene overføres til rotoren. Den forskjell i resultatet som denne feil i fremgangsmaaten fører med sig, er dog liten.

47. Virkningsgrad og slip bestemt ved asynkronmotorens diagram.

Den nævnte metode for bestemmelse av induktionsmotorens virkningsgrad fører den ulempe med sig at man maa belaste motoren, hvad man i mange tilfælder ikke har anledning til. Man har derfor søkt at bestemme virkningsgraden ved tomgangsforsøk, og for at forstaa denne metode vil vi først studere diagrammet for asynkronmotorens strømforbruk ved forskjellige belastninger.

I diagrammet fig. 63 er enheten for saavel abscisser som ordinator volt-ampere; man har for en trefasemotor

$$\text{volt-ampere} = E \cdot J \cdot \sqrt{3}$$

Retningen *OE* representerer den tilførte polspænding og dermed tilført resp. avgit volt-ampere eller watt. Den paa *OE* lodrette retning angir de magnetiserende volt-ampere.

Ved tomgang, normal spænding og frekvens optar motoren *OA* volt-ampere ved fasevinkelen φ_0 (fig. 63). Ved metoder som her ikke skal behandles, kan man bevise at naar motoren belastes, vil endepunktet for vektoren for de tilførte volt-ampere tilnærmet falde paa en cirkelbue *ABKL*. Ved en viss belastning er saaledes tilført *OB* volt-ampere ved fasevinkelen *EOB*. Belastes motoren mer og mer, mens man fremdeles tilfører den normal

Aksenes retninger vælges. Man indtegner vektorer for tilført volt-ampere ved tomgang OA og fastbremset rotor OK i rigtig retning og størrelse, idet maalestok vælges. Derpaa konstrueres motorens arbejds-cirkel $ABKI$. For at finde dens centrum opreises perpendicularer paa midten av linjen AK , og centret findes som perpendicularærens skjæringspunkt med linjen $AL \perp OU$.

I diagrammet angir avstanden mellem de to parallelle linjer OU og AL motorens effekttap ved tomgang. Antages kobbertapene i statorens viklinger smaa, vil man ved den nævnte afstand faa motorens jern- og friktionstap, og disse effekttap er konstante ved alle belastninger. Ved hvilken som helst belastning vil av den tilførte effekt BS watt delen ST watt medgaa til jern- og friktionstap, mens BT repræsenterer kobbertapene i statoren og rotoren samt den paa akselen avgivne effekt. — Vi skal nu se ved hvilke antagelser man bestemmer kobbertapene i de to viklinger hver for sig.

Man kan vise at ved en hvilken som helst strømstyrke resp. tilført volt-ampere OB vil kobbertapene i statoren og rotoren tilnærmet findes naar linjen $BS \perp OU$ samt linjen AK trækkes. Kobbertapene er det stykke TX som linjen AK avskjærer av BT . Man har:

$BS =$ tilført watt.

$ST =$ jern- og friktionstap i watt.

$TX =$ kobbertap i statorens og rotorens viklinger i watt.

$BX =$ avgit effekt paa akselen i watt.

Av diagrammet sees at ved fastbremset rotor tilføres KU watt; herav er UV jern- og friktionstap, mens KV er kobbertapene.

Kobbertapene optræder baade i statorens og rotorens viklinger. Kobbertapene i rotorens vikling kan ved motorer med kortslutningsrotor ikke findes ved motstandsmaaling, og ogsaa ved motorer med faseanker bør ikke motstanden i rotorviklingen lægges til grund for beregning av kobbertapene. Man maaler derfor motstanden i statorens viklinger og beregner kobbertapene for en viss strømstyrke i statoren og finder derav kobbertapene i rotoren.

Er motstanden pr. fase i statorens vikling R ohm og er den til OK volt-ampere svarende strøm J_k amp.

$$OK = E \cdot J_k \sqrt{3}$$

vil kobbertapene ved denne strøm kunne beregnes av ligningen

$$W_1 = 3 \cdot R \cdot J_k^2$$

I almindelighet vil ikke den motstand viklingene viser ved maalingen utført ved likestrøm være den samme som den effektive motstand ved vekselstrøm; maales motstanden ved likestrøm til at være R_1 ohm pr. fase, kan man for de fleste motorer regne at den effektive vekselstrømsmotstand blir

$$R = 1,2 \cdot R_1$$

I diagrammet indtegnes kobbertapene i statorens viklinger lik VW watt; kobbertapene i rotorens viklinger blir da WK watt. Nu trækkes linjen AW . Ved tilførte strømmer resp. volt-ampere, f. eks. OB , antages kobbertapene i statorens viklinger at være TY watt, og i rotorens viklinger XY watt, eller linjen AW angir fordelingen av kobbertapene paa statorens og rotorens viklinger.

Til slutning skal der gives en oversigt over de i diagrammet indførte og fundne størrelser.

OE = Spændingsvektorens og strømmens wattkomponents retning.

OU = Strømmens magnetiseringskomponents retning.

OA = Tilført volt-ampere ved tomgang ved fasevinkelen φ_0 .

OK = Tilført volt-ampere ved fastbremset rotor ved fasevinkelen

$$\varphi_k = \angle KOE.$$

OB = Tilført volt-ampere ved belastning ved fasevinkelen

$$\varphi = \angle BOE.$$

BS = Tilført watt ved belastning.

ST = Jern- og friktionstap.

TY = Kobbertap i statoren.

XY = Kobbertap i rotoren.

BX = Avgit effekt paa akselen.

$\frac{GJ}{GH}$ = Virkningsgraden.

$\frac{NR}{NP}$ = Slippen.

VW = Kobbertap i statoren ved fastbremset rotor.

WK = Kobbertap i rotoren ved fastbremset rotor.

Det staar nu tilbake at finde motorens virkningsgrad og slip. Vi forlænger linjen KA til den skjærer den paa polspændingen

lodrette akse i D , og opreiser perpendikulæren DG . Mellem linjen DG og DK 's forlængelse trækkes linjen GH parallel linjen AL , helst saaledes at den let deles i 100 lige deler, f. eks. saa dens længde er 10 cm. Virkningsgraden for en hvilkenksom helst strømstyrke OB findes ved at trække linjen DB til den skjærer GH i I og er forholdet mellem JH og GH .

For at bestemme slippen trækkes linjen AM parallel linjen OE , og parallel AW trækkes en linje NP . For at finde slippen ved en hvilkenksom helst strømstyrke OB trækkes linjen ABR , og slippen findes som forholdet mellem NR og NP . Hvis længden av NP er f. eks. 10 cm., kan slippen ved forskellige strømstyrker findes direkte ved utmaaling.

Det her beskrevne diagram er en modifikation av det av Heyland opstillede diagram for induktionsmotorer. Det har i tidens løp ydet værdifulde tjenester til at finde induktionsmotorens egenskaper, da man ved diagrammet paa en letvint maate kan finde slippen og virkningsgraden ved hvilkenksom helst belastninger. Paa den anden side hviler bevisene for diagrammets rigtighed paa enkelte antagelser som ikke slaar helt til. Da hele diagrammets konstruktion beror paa at maalingene ved tomgang og fastbremset rotor er rigtige, maa disse maalinger udføres saa omhyggelig som mulig, men selv med omhyggelig udførte maalinger kan diagrammet ved enkelte motorer gi helt feilagtige værdier av virkningsgraden og slippen, hvorfor resultatene erholdt ved diagramkonstruktion om mulig bør kontrolleres ved et % bremseforsøk.

I parentes bemerkes at i diagrammet i fig. 64 er motorens tomgangstap tegnet større end man vil finde hos motorer av middels størrelse. Dette er gjort for at tydeliggjøre konstruktionen.

Av fig. 64 vil

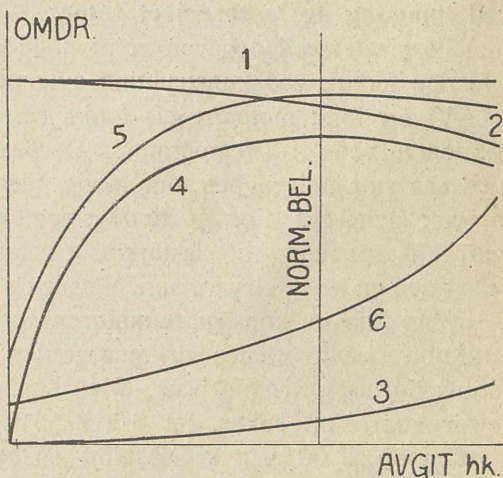


Fig. 64. Induktionsmotorens karakteristiske kurver.

asynkronmotorens vigtigste kurver sees, alle optegnet med avgivne hestekræfter som abszisse. Her angir kurve

- 1 den synkrone hastighet
- 2 motorens hastighet
- 3 slippen
- 4 motorens virkningsgrad
- 5 effektfaktoren
- 6 strømforbruket.

Overbelastes motoren, synker hastigheten indtil motorens maksimale moment er naadd. Overskrides ogsaa dette, blir motoren staaende stille.

Forsøk nr. 45. Bremsforsøk paa en asynkronmotor.

Formaalet er at finde kurver som vist i fig. 64. Før forsøket begynnes, bør motoren gaa tom i ca. 30 min. Gjennemfør bremseforsøket for 10—15 forskjellige strømstyrker ved belastninger fra tomgang og opover sa langt man kan gaa, helst til 50—100 % overbelastning. Polspændingen og frekvensen skal under forsøket være den for motoren normale. Om mulig skal motorens maksimale moment søkes bestemt, men undgaa herved overbelastning for længere tid ad gangen.

Forsøk nr. 46. Asynkronmotorens strømndiagram bestemt ved tomgang og fastbremset rotor.

Formaalet ved opgaven er at finde de kurver som er nævnt i forrige forsøk ved konstruktion av motorens strømndiagram.

Vi lar først motoren gaa tom i ca. 30 min. for at faa lagerfriktionen ved driftstemperatur. Derpaa findes tomgangseffekten med saa stor nøiagtighet som mulig, idet strøm, spænding og wattforbruk avlæses. For at finde strømforbruket og effektfaktoren ved fuld spænding og fastbremset rotor maaler man disse størrelser ved en række lavere spændinger og tegner dem op som kurve.

Man kan nu konstruere motorens strømndiagram samt ved konstruktion vise hvorledes virkningsgraden og slippen findes for motorens normale strømforbruk. Man skal beregne de nævnte størrelser som skal søkes, for 6 à 8 forskjellige værdier av strømstyrken op til 50 % overbelastning og benytte de fundne værdier til opstilling av de nævnte kurver.

Forsøk nr. 47. Asynkronmotorens virkningsgrad bestemt ved indirekte metode.

Forsøket gaar ut paa at finde en asynkronmotors virkningsgrad naar statorens motstand, tomgangstapene og slippen ved forskjellige belastninger er maalt.

Begynd med at maale motstanden i statorens tre faser og beregn denne for en driftstemperatur av 55° C. Derefter bestemmes tomgangstapene efterat motoren har været drevet tom ca. 30 min. For at bestemme slippen ved belastning bør motoren forbindes til en generator, forat man kan faa jevn belastning. Vi bestemmer herved slippen, tilført effekt og strømstyrken, mens polspændingen holdes konstant, for 6 à 8 forskjellige belastninger fra tomgang op til ca. 50 % overbelastning.

Der utarbeides værdier for og optegnes de seks kurver som er angit i de to forangaaende forsøk.

Forsøk nr. 48. Drift av asynkronmotorer ved unormale spændinger.

Asynkronmotorens hastighet vil ved vanlig drift være lavere end hastigheten av magnetfeltet i maskinen, og saa mange procent lavere som slippen andrar til. Da slippen kun utgjør faa procent av den synkrone hastighet, kan vi si at asynkronmotorens hastighet praktisk talt er proportional den tilførte strøms frekvens, men uavhengig av dens spænding.

Asynkronmotoren bør altid drives ved den spænding den er bestemt for. Driver vi den ved en spænding høiere end den normale, blir de magnetiske tap i motoren store, mens motoren vil gi normal hastighet og overvinde store overlastninger, men motoren kan ta skade av de store jerntap. Driver vi motoren ved spændinger lavere end den normale, vil vistnok de magnetiske tap bli smaa, men magnetiseringen i jernet blir lav, og strømstyrken i statoren og rotoren maa bli høi for at overvinde motorens moment. Selv ved normalt vridningsmoment vil saaledes motoren opta stor strøm og bli overbelastet. Er asynkronmotoren oppstillet saaledes at spændingstapet i dens tilledninger er stort, kan man risikere overbelastning av motoren ved normalt vridningsmoment.

Ved dette forsøk skal de her nævnte forhold illustreres. Vi utfører derfor bremseforsøk ved en spænding som er 50—70 %

av motorens normale, og vi forsøker at finde motorens maksimale moment. Vi iagttar at den grænse hvortil motoren nu kan belastes, er lav. Derefter gjennomfører vi bremseforsøk ved en spænding som er 30—50 % over motorens normale.

Der opstilles kurver for virkningsgraden og effektfaktoren ved de to bremseforsøk, idet avgivne hestekræfter er abscisser. Følgende spørsmål er av interesse: Hvad er aarsak til den lave effektfaktor vi finder naar vi tilfører motoren en spænding høiere end den normale?



J.M.H.

DET MALLINGSKE BOGTRYKKERI

R 470