

## PROF UTFÖRDA Å MASKINER OCH TRANSFORMATORER I KRAFTSTATIONEN, TOMTEBODA.

För utrönande af maskiners och transformatorers kontraktsevenliga beskaffenhet underkastades desamma genast i början vanliga besiktningprof, som gåfvo vid handen, att leveransen var i allt väsentligt utförd enligt åtagna garantier. Vid afslutandet af den egentliga försöksdriften (i slutet af år 1907) företogos nya prof i afsikt dels att undersöka särskilda förhållanden, som icke sammanhånga med leveransvillkoren, dels att se i hvad mån ändringar i maskineriets egenskaper eventuellt förorsakats af försöksdriften. För dessa senast företagna prof skall här nedan i korthet redogöras, hvarvid den första profningens resultat återopas, i den mån anledning därtill förefinnes.

### ALLMÄNNA PROF.

Tomgångskaraktistika vid normala hvarfantalet är uppritad i bild 130. I samma bild är den uppmätta kortslutningsströmstyrkan angifven dels för trefasig, *Genera-*  
*ratorerna.*

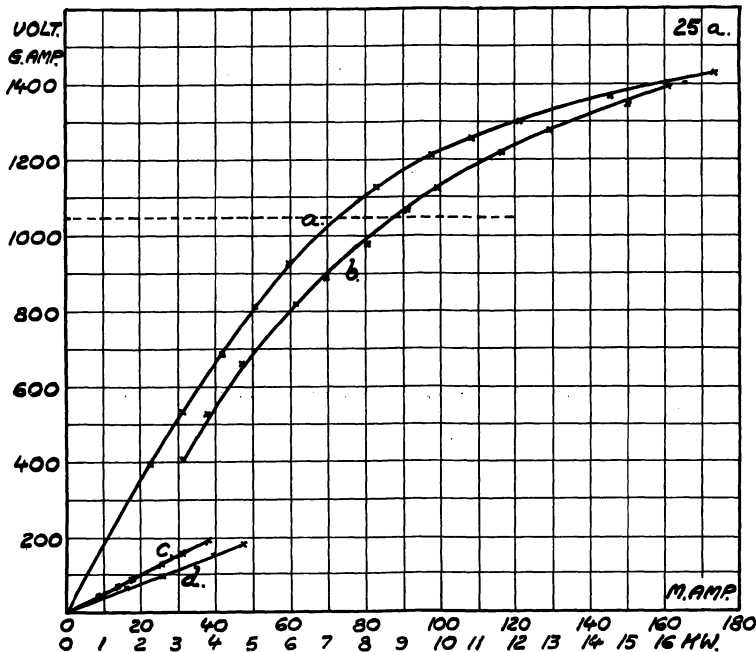


Bild. 130. Profningskurvor för generator MMA n:r 10846.

- a* = tomgångskaraktistika vid 750 hvarf.
- b* = tomgångsförluster i KW vid 750 hvarf och varierande spänning.
- c* = kortslutningsström vid 3-fasig kortslutning.
- d* = kortslutningsström vid 1-fasig kortslutning.
- G amp.* = kortslutningsströmstyrka i statorlindningen.
- M amp.* = strömstyrka i magnetlindningen.

dels för enfasig (mellan två klämmor) kortslutning samt likaledes en kurva utvisande effektförluster motsvarande lagerfriktion, luftmotstånd och järnförluster. I bild 131 äro tvenne kurvor uppritade, som angifva de genom prof bestämda värdena af magnetiseringsströmmen med olika statorström ( $\cos \varphi = 0$ ) vid resp. tre- och enfasig belastning. Magnetlindningens motstånd uppmättes till 0,272 ohm samt statorlindningens (mellan två klämmor) till 0,0925 ohm, allt vid  $+25^\circ \text{C}$ . Med använd-

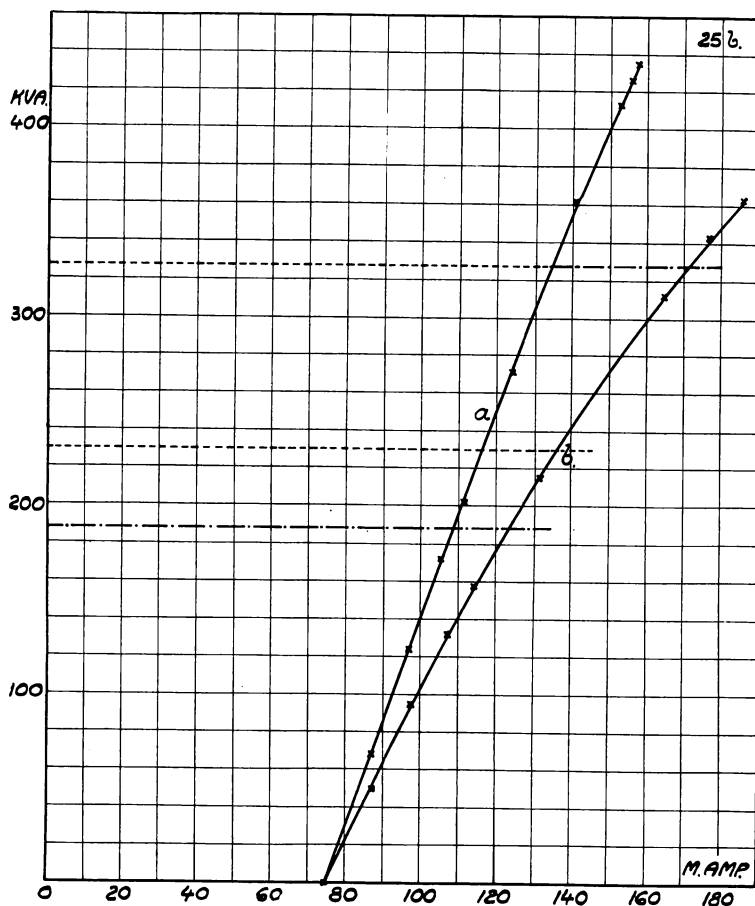


Bild 131. Profningskurvor för generator MMA n:r 10846 visande förhållandet mellan magnetiseringsström ( $M$  amp.) och KVA belastning (vid  $\cos \varphi = 0$ ) för dels trefasig (kurva  $a$ ) och dels enfasig belastning (kurva  $b$ ).

ning af dessa resultat äro i bilderna 132 och 133 kurvorna för förluster och verkningsgrad uppritade, beräknade enligt den s. k. tomgångsmetoden, och för en temperatur hos lindningarne af cirka  $65^\circ$ .

Då generatorerna voro nya, hade tomgångsförlusten uppmätts till cirka 5 KW, således afsevärdt lägre än den nu bestämda, 9 KW. Verkningsgraden var därför cirka 1,5 % bättre då än nu. Den ökade förlustsiffran kan delvis förklaras af den omständigheten, att plåten i statorkärnan sannolikt undergått det s. k. åldringsfenomenet, som ofta inträder i synnerhet med väl utglödgad lancashireplåt. Största delen af denna ökning af järnförlusterna måste emellertid bero på, att statorkärnan försämrats i något annat hänseende, för att den stora skillnaden skall vara förklarlig, och ligger det då närmast till hands att antaga, att isoleringen mellan

plåtarna, hvilken för dessa maskiner endast åstadkommits genom plåtarnes fernissning, i mer eller mindre grad fördärfvats af den höga temperaturen, vibrationer o. dyl.

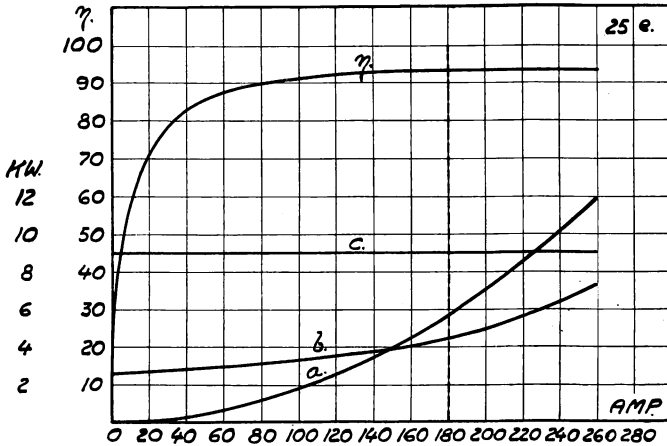


Bild 132. Verkningsgrad- och förlustkurvor för generator MMA n:r 10846 vid trefasig belastning med  $\cos \varphi = 0,8$ .  
 $a$  = förluster i statorlindningen.  
 $b$  = förluster i magnetlindningen.  
 $c$  = tomgångsförluster.  
 $\eta$  = verkningsgrad.

som uppstå vid enfasig belastning på grund af den fluktuerande armaturreaktionen. Med iakttagande häraf skulle skillnaden säkerligen uppgått till 4 à 5 %. Vidare framgår, att generatoren såsom enfasig ej kan lämna mer än 220 amp. vid normala spänningen för samma förluster och uppvärmning, som motsvara 180 amp. per fas vid trefasbelastning eller, med andra ord, att generatorns effekt som enfasig ej är mer än cirka 70 % af dess trefaseffekt för samma temperaturstegring. På grund af de ofvan nämnda extra enfasförlusterna är denna siffra i själfva verket ännu lägre.

Härvid är dock att märka, att förhållandet varit gynnsammare, om generatoren från början varit utförd som enfasgenerator, och torde den då kunnat konstrueras för cirka 80 % af dess nuvarande trefaseffekt. En härvid i viss mån inverkan omständighet är den relativt lilla skillnaden mellan värdena på strömstyrkan vid tre- och enfasig kortslutning, hvilken skillnad framgår af bild 130 och hvartill jag i det följande skall återkomma.

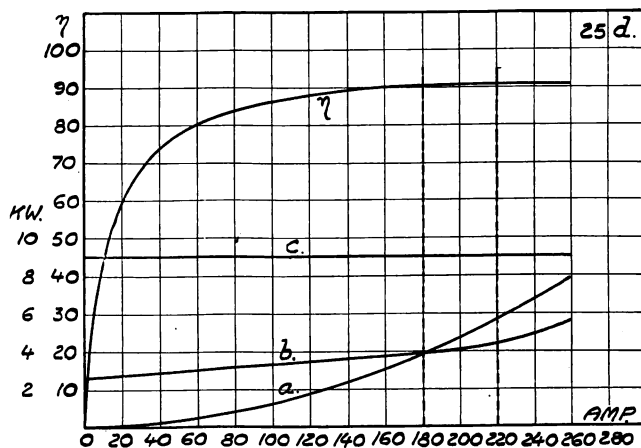


Bild 133. Verkningsgrad- och förlustkurvor för generator MMA n:r 10846 vid enfasig belastning med  $\cos \varphi = 0,8$ .  
 $a$  = förluster i statorlindningen.  
 $b$  = förluster i magnetlindningen.  
 $c$  = tomgångsförluster.  
 $\eta$  = verkningsgrad.

skillnaden mellan värdena på strömstyrkan vid tre- och enfasig kortslutning, hvilken skillnad framgår af bild 130 och hvartill jag i det följande skall återkomma.

Såsom en särskildt i ögonen fallande omständighet framgår af dessa profningsresultat, att generatoren har väsentligt sämre egenskaper vid enfasig än vid trefasig belastning och detta i högre grad, än man vid första påseende skulle vara böjd att anse fullt förklarligt. Sålunda är verkningsgraden vid 180 amp. statorström cirka 3 % lägre vid enfasig än vid trefasig belastning, utan att dock hänsyn tagits till den icke oväsentliga ökningen af tomgångsförlusterna samt de hvirvelströmmar i de massiva polskorna,

Transformatorerna EI och EA i kraftstationen.

Tomgångsström och tomgångseffekt för transformatorerna uppmättes och framgå af bild 134. Af kurvorna för strömstyrkan synes, att den magnetiska induktionen af

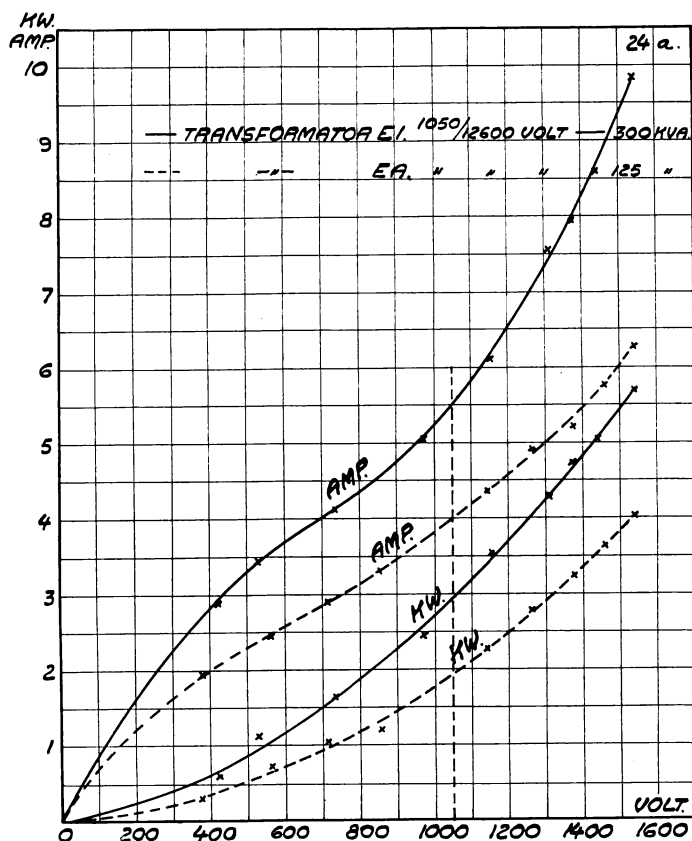


Bild 134. Tomgångsförluster och tomgångsström för transformatorerna EI och EA i kraftstationen.

konstruktören hållits särdeles låg i dessa transformatorer, i motsats till, hvad som alltmer börjar blifva praxis vid transformatorer för 25 perioder, i synnerhet då de äro

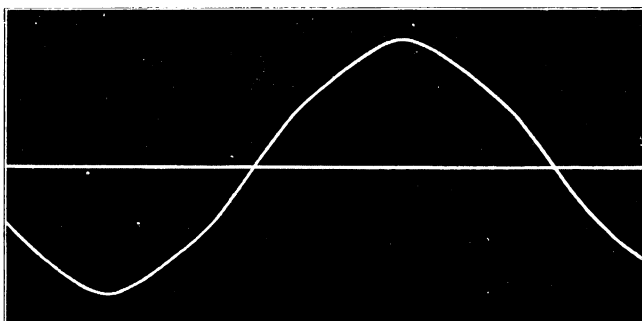


Bild 135. Spänningskurva för generator MMA n:r 10846 i tomgång vid 800 volts spänning.

oljekylda. Då dessa transformatorer icke hafva någon forcerad kylning, ligger också däri en naturlig anledning till den lågt valda induktionen. Vid jämförelse med det ursprungliga profvet med transformatorerna framgår, att tomgångseffekten ökat för EI och EA med resp. 26 och 18 % samt tomgångsströmstyrkan med 17 resp. 10 %.

Denna ökning torde kunna hänföras, såsom förut nämnts vid frågan om generatorerna, dels till »åldringen» af plåten i järnkärnan och dels till den försämring i isolationsafseende, som den för plåtarnes isolering använda fernissningen undergått.

Impedansspänningen vid normal strömstyrka uppmättes till resp. 4 och 3 %, hvaraf den »ohmska» motståndsspänningen utgjorde 1,35 resp. 1,05 %.

### SÄRSKILDA PROF.

För utrönande af den verkliga formen på vissa spännings- och strömkurvor togos en del oscillogram under olika förhållanden. Bild 135 visar spänningskurvan på en generator i tomgång med 800 volts spänning. Dess afvikelse från enkel sinusform är obetydlig och synes hufvudsakligen en femte öfvertone af någon betydelse förefinnas. Då spårerna i statorplåten äro endast 5 mm öppna med en spårindelning af 30 mm och ett luftgap af cirka 8 mm, har man ingen anledning att vänta öfvertoner på grund af spårerna, åtminstone vid tomgång; kurvan företer ej heller några dylika högperiodiga öfvertoner. Motsvarande kurva, tagen vid 1,050 volt, afviker ej märkbart från denna.

Oscillogram.

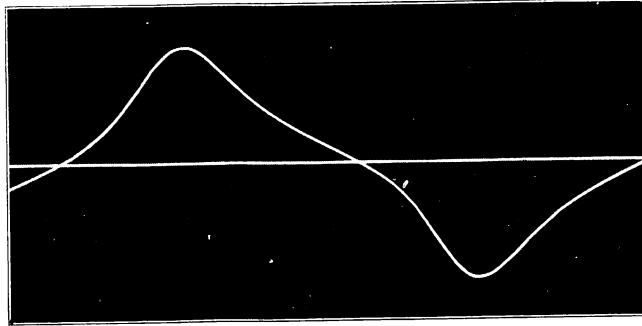


Bild 136. Strömkurva vid 44 amp. enfasig kortslutningsström å generator MMA nr 10846.

Strömkurvan vid enfasig kortslutning med 44 amp. visas i bild 136 och är långt ifrån enkelt sinusformad. Den har bl. a. en tredje öfvertone med cirka 20 %

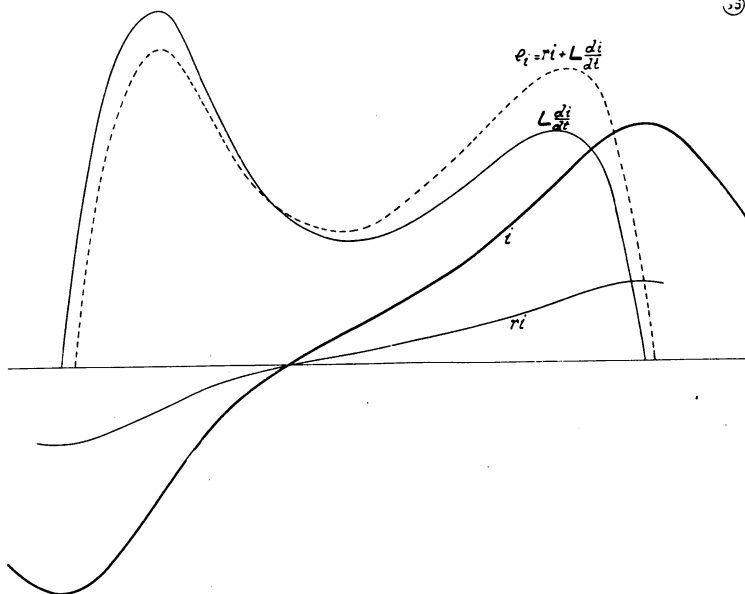


Bild 137.

amplitud, förorsakad af den vid enfasig kortslutning uppträdande starkt fluktuerande armaturreaktionen och den därpå framkallade störningen af det magnetiska fältet i luftgapet. Då strömkurvan, oaktadt statorlindningen är till största delen induktiv, har så stor afvikelse från den enkla sinusformen, måste detta i ännu

högre grad vara fallet med den inducerade spänning, som alstrar strömmen och således äfven med luftgapsfältet. I bild 137 har jag reproducerat kurvan för kortslutningsströmmen ( $i$ ) samt därpå bestämt och upp-

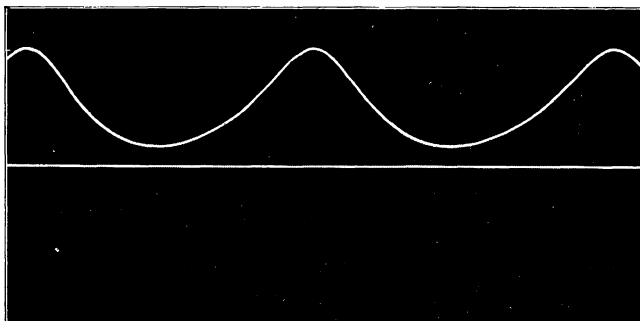


Bild 138. Magnetiseringsströmmen (20 amp.) vid 90 amp. enfasig kortslutningsström i statorlindningen å generator MMA n:r 10846.

ritat kurvan  $L \frac{di}{dt}$ , som således representerar förloppet af lindningens själf-induktions EMK. Den inducerade spänningen, som har att öfvervinna såväl denna själfinduktion som äfven lindningens motstånd, skall således vara lika med summan af de båda häremot svarande spänningarne, af hvilka den sistnämnda ( $ri$ ) har bestämt. Kurvan för den resulterande, inducerade spänningen ( $e$ ) har, som synes, en mycket utpräglad och tämligen symmetriskt belägen tredje öfverton, och är det just denna, som förorsakas af den störning af det magnetiska fältet, som den fluktuerande armaturreaktionen innebär.

Denna fluktuation af fältet intränger till en viss grad i hela den magnetiska kretsen och framkallar bl. a. en växlande EMK i magnettindningen. Den likriktade magnetströmmen kommer därför att få på sig lagrad en växelström, som har statorströmmens dubbla periodtal, hvilket också tydligt framgår af bild 138, som visar den med oscillograf upptagna magnetströmmen vid 90

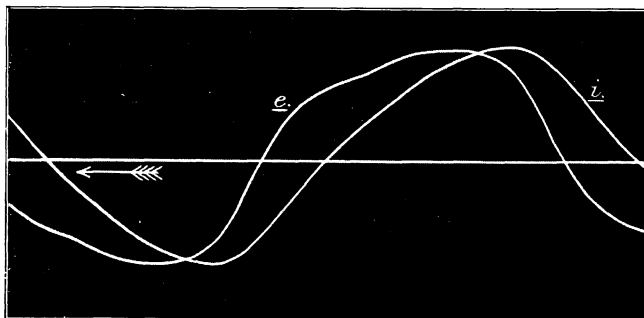


Bild 139. Polspännings- ( $e$ ) och strömkurva ( $i$ ), upptagna å generator MMA n:r 10846 lämnande ström till banledningen till Värtan.

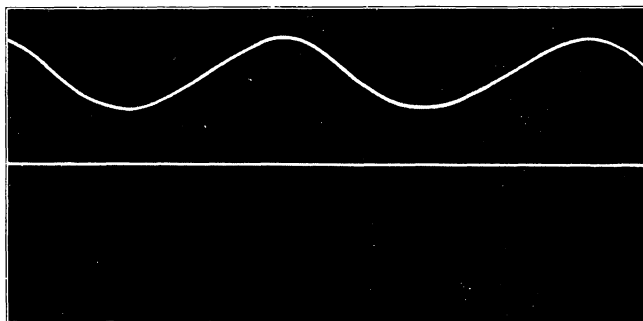


Bild 140. Magnetiseringsströmmen å generator MMA n:r 10846 upptagen vid samma förhållanden som bild 139.

amp. kortslutningsström i statorlindningen. Effektivvärdet af denna magnetström var 20 amp., som gifvetvis är icke obetydligt större än det för den egentliga magnetiseringen verkande medelvärde. Om totalströmmens momentvärdesättes  $= i = I_0 + I_1 \sin \omega t$ , är, som bekant, effektivvärdet därpå

$$J = \sqrt{I_0^2 + \frac{I_1^2}{2}}$$

I detta fall är effektivvärdet cirka 12 % större än medelvärdet. Häraf kan också, åtminstone till en viss del, det ofvan berörda förhållandet mellan strömstyrkan

vid enfasig och trefasig kortslutning förklaras, enär magnetströmmens effektiv- och icke medelvärde härvid uppmätts.

Den nu nämnda verkan af enfasströmmen i fråga om spänningskurvans deformation och fluktuationen af magnetströmmen gör sig gifvetvis, ehuru i mindre grad, gällande vid andra förhållanden än kortslutning. I bild 139 äro polspännings- och strömkurvor upptagna för det fall, att generatören lämnade ström till banledningen, som då var kortsluten vid Värtan. Effektivvärdena voro 197 volt och 47 amp. Under samma förhållanden, men med 325 volt och 91,4 amp., hade magnetströmmen ett effektivvärde af 35 amp., och framgår dess förlopp af bild 140.

Kurvorna i bild 139 afvika icke obetydligt från den enkla sinusformen, hvilket i synnerhet gäller spänningskurvan. Denna afvikelse beror dels på ofvannämnda af armaturreaktionen förorsakade störning af induktionsfältet, enär generatören i detta fall har tillräckligt låg spänning för att vara känslig härför, dels i någon mån på, att skenledningens såväl själfinduktion som motstånd på grund af skärmverkan och därmed sammanhängande förhållanden i järnet icke äro konstanta. Med anledning af spännings- och strömkurvornas utseende i bild 139 och då en hel del mätningar af ledningens motstånd och reaktans äro utförda under just liknande förhållanden och med tillhjälp af volt-, watt- och ampèremeter och resultatet uträknats under antagande, att både spänning och strömstyrka haft enkelt sinusförlopp, kan det vara af intresse att närmare undersöka, i hvad mån dessa mätningar på grund af kurvformen kunna gifva mer eller mindre felaktiga resultat.

Om man släpper växelström i en ledning med motstånd och själfinduktion, (som här emellertid förutsätts konstanta), och strömstyrkan har ett förlopp, som kan uttryckas generellt sålunda:

$$i = I_1 [\sin(\omega t + a_1) + k_3 \sin(3\omega t + a_3) + \dots]$$

är som bekant effektivvärdet däraf:

$$J = \frac{I_1}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + k_3^2 + k_5^2 + \dots}$$

Om ingen EMK finnes inom ledningen, blir då uttrycket för potentialskillnaden mellan ledningens ändpunkter:

$$e = I_1 [\sqrt{r^2 + x^2} \sin(\omega t + a_1 + \varphi_1) + k_3 \sqrt{r^2 + (3x)^2} \sin(3\omega t + a_3 + \varphi_3) + \dots]$$

där  $x$  är  $= 2\pi \sim L = \omega L =$  reaktans för grundsvängningens periodtal samt  $\operatorname{tg} \varphi_n = \frac{nx}{r}$

Effektivvärdet blir:

$$E = \frac{I_1}{\sqrt{2}} \sqrt{r^2(1 + k_3^2 + k_5^2 + \dots) + x^2(1 + (3k_3)^2 + (5k_5)^2 + \dots)}$$

Vidare erhålles effekten:

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} [E_1 I_1 \cos \varphi_1 + E_3 I_3 \cos \varphi_3 + \dots] \\ &= \frac{I_1^2}{2} [\sqrt{r^2 + x^2} \cdot \cos \varphi_1 + k_3^2 \sqrt{r^2 + (3x)^2} \cdot \cos \varphi_3 + \dots] \end{aligned}$$

eller, då

$$\begin{aligned} \cos \varphi_n &= \frac{r}{\sqrt{r^2 + (nx)^2}} \\ &= r \cdot \frac{I_1^2}{2} [1 + k_3^2 + k_5^2 + \dots] = rJ^2, \end{aligned}$$

hvilket resultat naturligtvis så till vida var att vänta, som detta just är definitionen på strömstyrkans effektivvärde.

Då man med volt-, amp.- och wattmetermätning bestämmer  $r$  och  $x$  (utan hänsyn till kurvformen), förfar man sålunda:

Om  $E$  volt,  $J$  amp. och  $W$  watt hafva uppmätts, sättes

$$r = \frac{E \cos \varphi}{J} = \frac{E}{J} \cdot \frac{W}{EJ} = \frac{W}{J^2}$$

$$\text{samt } x = \frac{E \sin \varphi}{J} = \frac{E}{J} \sqrt{1 - \left(\frac{W}{EJ}\right)^2} = \sqrt{\frac{E^2}{J^2} - \left(\frac{W}{J^2}\right)^2}$$

För  $r$  erhålles på detta sätt det rätta värdet. Enligt föregående är däremot:

$$\frac{E^2}{J^2} = r^2 + x_1^2 \frac{1 + (3k_3)^2 + (5k_5)^2 + \dots}{1 + k_3^2 + k_5^2 + \dots}$$

där  $x_1$  är verkliga värdet af reaktans och således

$$\sqrt{\frac{E^2}{J^2} - \left(\frac{W}{J^2}\right)^2} = x_1 \sqrt{\frac{1 + (3k_3)^2 + (5k_5)^2 + \dots}{1 + k_3^2 + k_5^2 + \dots}}$$

Om man på ofvan angifvet sätt bestämmer  $x$ , har man således att multiplicera detta med en korrektionsfaktor =  $\sqrt{\frac{1 + k_3^2 + k_5^2 + \dots}{1 + (3k_3)^2 + (5k_5)^2 + \dots}}$  för att erhålla det verkliga värdet  $x_1$ .

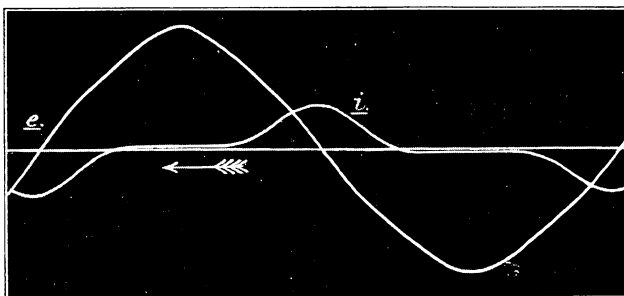


Bild 141. Tomgångskurvor för huvudtransformatorn å motorvagnen n:r 1391.

$e$  = spänningskurva.  
 $i$  = strömkurva.

är det icke desto mindre tydligt, att felet under andra förhållanden kan vara mer än tillåtligt stort. Hade den uppmätta linjelängden varit mycket mindre, skulle strömkurvan hafva närmast sig formen i bild 136, som bl. a. har en tredje öfvertone med 20 % amplitud, och hvaraf det uppmätta reaktansvärdet varit minst 17 % för stort. Äro nu dessutom både  $r$  och  $x$  i själfva verket variabla, kompliceras saken ytterligare, och kunna äfven de med denna korrektion bestämda värdena på sin höjd få anses som approximativa medelvärden. Analys af de båda kurvorna i bild 139 hafva emellertid gifvit vid handen, att åtminstone i detta fall variationen af  $r$  och  $x$  icke behöfver tillmätas någon större betydelse.

Bild 141 visar kurvorna för spänning och strömstyrka i tomgång för transformatorn å motorvagnen n:r 1391. Spänningen var den normala (cirka 6000 volt). På grund af en ovanligt hög induktion i kärnan antager strömkurvan sitt häremot svarande karakteristiska utseende med en stark förhöjning vid spänningens nollvärde. Graden af mättning i kärnan framgår också af transformatorns magnetiseringskurva i bild 142. Bild 143 visar motsvarande kurva för transformatorn å Westinghouse-lokomotivet.

En naturlig följd af den här använda höga induktionen i järnkärnan är möj-

Hade t. ex. strömkurvan tvenne öfvertoner, en tredje med 20 % ( $k_3 = 0,2$ ) och en femte med 5 % ( $k_5 = 0,05$ ) amplitud, vore den ifrågasvarande korrektionsfaktorn = 0,85.

Analys af den i bild 139 angifna strömkurvan gifver bl. a.  $k_3 = 0,072$  och  $k_5 = 0,016$  samt följaktligen en korrektionsfaktor = cirka 0,97. Om således mätningen i föreliggande fall ej kan anses hafva gifvit nämnvärdt felaktigt resultat,



ligheten för bildande af en stark strömstöt vid transformatorns inkoppling. Sådana strömstötter hafva också ofta gifvit sig tillkänna och bl. a. förorsakat funktionerande i otid af de automatiska strömbrytare. Till minskande af denna strömstöt och förebyggande af dess olägenheter har man nödgats anordna vissa strömbrytare med dubbelkontakter, hvarigenom ett särskildt motstånd inkopplas i första ögonblicket, men omedelbart därpå kortslutes. Angående orsaken och inverkan omständigheter beträffande denna strömstöt må följande anföras:

Om man i en transformator med öppen sekundärlindning (»tomgång») har ett magnetiskt växelfält  $\Phi$  med enkelt sinusförlopp, är den därpå i lindningen inducerade EMK

$$e_i = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

(där  $N$  är antalet lindningshvarf)

eller, om  $\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t$

$$e_i = -N\omega \Phi_{\max} \cos \omega t$$

(där  $\omega = 2\pi$  periodtalet)

$$= N\omega \Phi_{\max} \sin(\omega t - \pi/2)$$

Den inducerade EMK är således i fas  $90^\circ$  efter fältet. Är motståndet relativt litet, kan man försumma detta och antaga, att polspänningen ( $e_p$ ) endast har att öfvervinna denna (inducerade) självinduktions EMK. Således är  $e_p$   $180^\circ$  före  $e_i$  eller

$$e_p = N \frac{d\Phi}{dt} = N\omega \Phi_{\max} \sin(\omega t + \pi/2),$$

hvilket kan framställas grafiskt som i bild 144, som alltså gäller för normalt fortfarighets-tillstånd. Under tiden från 0 till  $\frac{T}{2}$  är  $e_p$  positiv och  $\Phi$  i ständig tillväxt från  $-\Phi_{\max}$  till  $+\Phi_{\max}$  och detta så, att ordinatan för  $e_p$ -kurvan i hvarje punkt är proportionell med tangenten för  $\Phi$ -kurvan

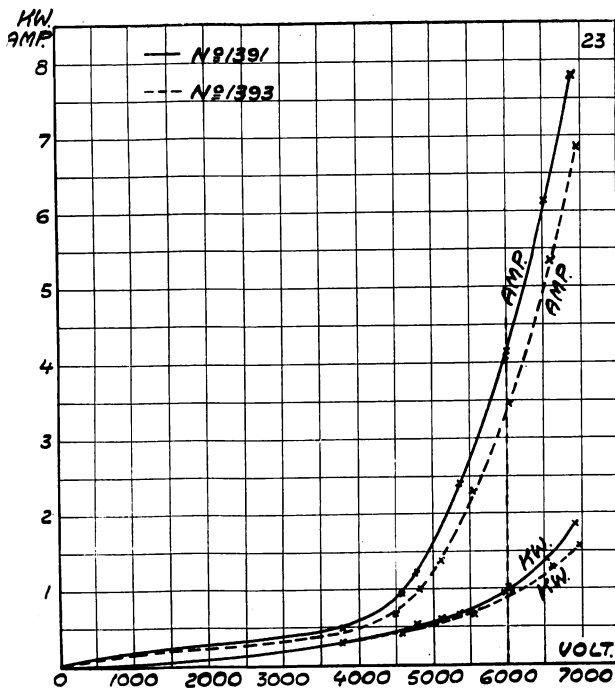


Bild 142. Tomgångsförluster och tomgångsström för huvudtransformatorerna i motorvagnar nr 1391 och 1393.

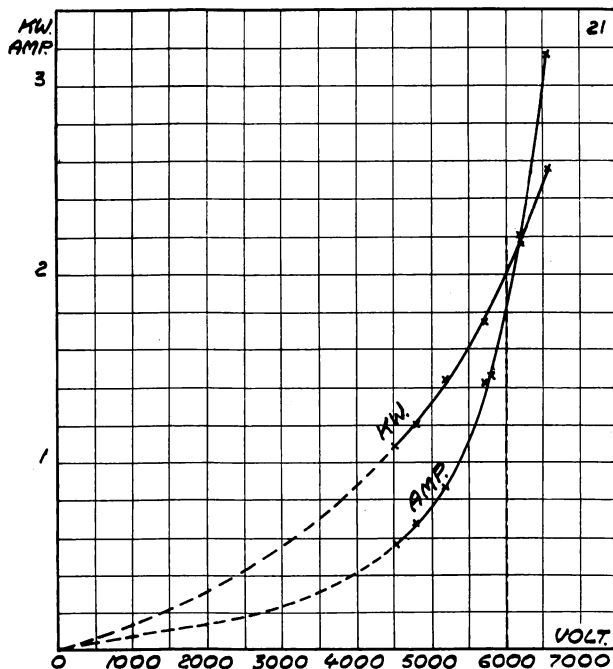


Bild 143. Tomgångsförluster och tomgångsström för huvudtransformatorn i elektriska lokomotivet nr 1 (Westinghouse).

i samma punkt. Känner man förhållandena i järnkärnan, kan man nu också lätt bestämma den strömstyrka  $i$ , som i hvarje moment erfordras för alstrande af detta fält. Förhållandet mellan  $\Phi$  och  $i$ , hvilket är proportionellt med förhållandet mellan  $B$  och  $H$ , om järnkärnan saknar »luftgap», är framställt i bild 144 och däraf  $i$ -kurvan punkt för punkt bestämd och uppritad. Då härvid  $B-H$ -kurvan

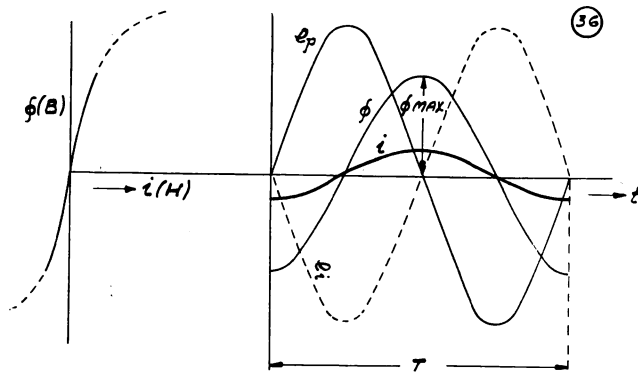


Bild 144.

förutsatts som en enkel linje, och järnet således utan hysteresis, får  $i$  samma fas som  $\Phi$  eller  $90^\circ$  fasförskjutning till  $e_p$ , och följaktligen blir tomgångsströmmens effekt = 0. I själva verket inträder en viss fasförskjutning mellan  $i$  och  $\Phi$  på grund af hysteresis, hvarigenom också naturligen tomgångseffekten blir  $> 0$ , men fästes intet afseende därvid i detta sammanhang.

Om man nu tänker sig, att spänningen kopplas till först vid tiden  $t = 0$ , se

bild 145, d. v. s. just då  $e_p$  går från negativt till positivt värde, och att järnkärnans magnetism i detta ögonblick är i neutralt tillstånd och således = 0, blifva förhållandena helt andra än de normala. Enär  $e_p$  har samma gifna och normala förlopp som förut, måste  $\frac{d\Phi}{dt}$  enligt en föregående ekvation också hafva detta, och

således  $\Phi$ -kurvan hafva alldeles samma form som förut. På grund af förhållandena måste emellertid som sagdt denna kurva börja i nollpunkten och således hela vägen ligga ett belopp af  $\Phi_{\max}$  öfver sitt förra läge.

Dess maximivärde blir således också dubbelt så högt som förut. Den nya  $\Phi$ -kurvan är inritad i bild 145 och betecknad  $\Phi + \Phi_{\max}$ ; likaså är  $\Phi-i$ -kurvan utdragen till motsvarande höjd, samt däraf den nya  $i$ -kurvan ( $i'$ ) bestämd och uppritad. För vanliga  $B-H$ -kurvor skall man finna, att transformatorns normala maximiinduktion ( $B_{\max}$ ) ej behöfver vara högre än 8000 à 9000 för att den första strömmen vid tillslagning på detta sätt skall uppnå det 10-faldiga normala värdet. För ett normalt  $B_{\max} = 10000$  à 11000 torde strömstöten kunna uppgå till 50 à 100-faldiga o. s. v. med mycket stark progression.

Förutsätter man inkopplingen ske i andra ögonblick än vid spänningens 0-punkt, skall man på samma sätt finna, att strömstöten blir mindre, ju längre inkopplingspunkten ligger från spänningens 0-punkt. Sker inkopplingen i spänningens maximipunkt, får strömmen redan i början sitt normala förlopp.

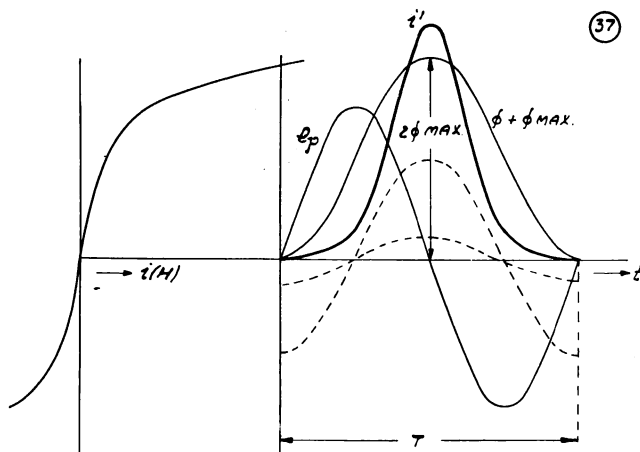


Bild 145.

Nu kommer emellertid härtill den omständigheten, att järnkärnan på grund af remanent magnetism från föregående användning vid tillkopplingen eventuellt icke befinner sig i neutralt tillstånd, och att således strömstöten blir en annan än den nu angifna: den blir måhända lindrigare, men naturligen lika lätt kraftigare. Alldenstund den remanenta induktionen är större, ju mindre luftgap finnes i den magnetiska kretsen, inverkar denna sista omständighet äfven på strömstöten

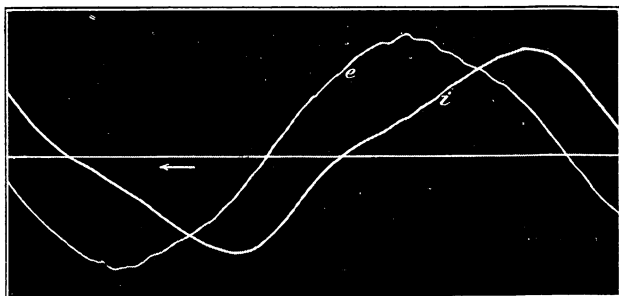


Bild 146. Spännings- och strömkurvor vid igångsättning af motorvagnståget.

storlek. I allmänhet kan man säga, att transformatorer hafva mindre luftgap än motorer, vid hvilka naturligen af samma orsak och under samma förhållanden en strömstöt kan inträffa, och att strömstöten ökad på grund af remanensen blir större vid de förra än vid de senare.

Då man vid transformatorer och motorer för elektrisk järnvägsdrift har anledning att hålla hög

induktion i järnkärnan — dels på grund af det låga periodtalet, dels för att i allmänhet ernå minsta möjliga vikt och dimensioner hos desamma — får man också vänta sig strömstötter af här berörda orsak och beskaffenhet samt bereda sig att i möjligaste mån oskadliggöra desamma, t. ex. genom ett momentant förkopplande af motstånd såsom ofvan nämnts.

Bild 146 visar oscillogram öfver spännings- och strömkurvor vid startning af motorvagnståget. Bild 147 visar detsamma vid gång af motorvagnståget med två generatorer och 6135 volt, 50 amp. å utgående linjen. (I detta fall liksom vid alla följande oscillogram skall ena kurvan vändas helt om). Härvid kan man tydligt iakttaga en högperiodig öfverton i spänningskurvan, sannolikt förorsakad af kommutatorlamellerna och de genom dessa och borstarne gående strömmarne i de kortslutna härfvorna.

Bild 148 visar förloppet vid startning af Siemenslokomotivet med 6050 volt och 27 amp., samt bild 149 detsamma vid gång med 6350 volt, 26,5 amp. och 137,5 KW. och således en effektfaktor af 0,82.

Ett förhållande, som under den första tiden af driftförsöken inträffade och vållade skada på maskineriet och afbrott i driften, var kortslutning på linjen vid full spänning, förorsakad af isolatorfel o. dyl. Såväl teoretisk undersökning som i synnerhet erfarenheten tyda på, att den strömstyrka, som uppstår vid plötslig kortslutning af en generator, i första ögonblicket vida öfverstiger det värde, som densamma sedan antager och som är den vanliga s. k. kortslutningsströmstyrkan. Man torde ej begå så synnerligen stort misstag, om man anser denna begynnelseströmstyrka vara begränsad endast af det i strömkretsen befintliga impedansmotståndet, d. v. s. resultatanten af det effektiva motståndet och det endast på strömkretsens självinduktionskoefficient beroende egentliga reaktansmotståndet, och att

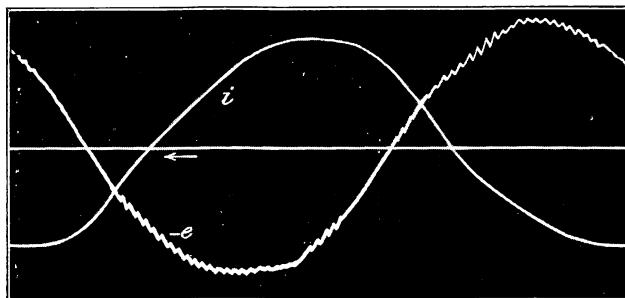


Bild 147. Spännings- och strömkurvor vid gång af motorvagnståget.

*Kortslutningar.*

armaturreaktionens försvagande inverkan på det magnetiska fältet och den inducerade *EMK* endast så småningom gör sig gällande och nedbringar strömstyrkan. Magnetismen är starkt bunden i de massiva delarne af magnetkretsen genom hysteresis och hvirvelströmmar, och framför allt utöfvar magnetlindningen själf en särdeles stark dämpning mot alla variationer i magnetfältets styrka; en plötsligt inträffad stor statorström och armaturreaktion, som sträfvar att minska magne-

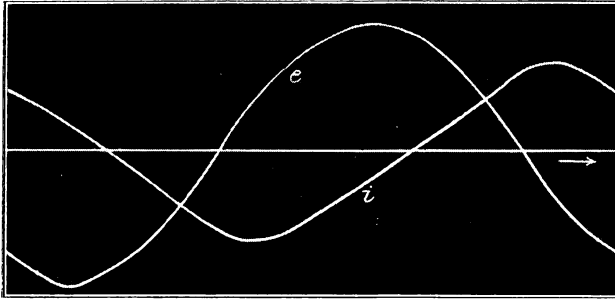


Bild 148. Spännings- och strömkurvor vid igångsättning af Siemens-lokomotivet.

tismen, uppväcker sekundära strömmar i de massiva delarne och i magnetlindningen, (hvilken kan betraktas tämligen fullständigt kortsluten genom magnetiseringsmaskinens armaturlindning), och äro dessa sekundära strömmar naturligen af en sådan riktning, att de motverka ett hastigt försvagande af magnetismen och följaktligen gifva kortslutningsströmmen tid att i början antaga det ofvan antydda höga värdet.

Då det egentliga reaktansmotståndet i statorlindningen på dessa generatorer säkerligen icke är så stort, att den däremot svarande (reaktans-)spänningen vid normal statorström uppgår till 10 % af fulla spänningen, under det motståndsspänningen är högst 1 à 2 % af densamma, torde man våga anse, att den momentana strömstyrkan vid direkt kortslutning af dessa maskiner icke understiger den 10-faldiga normala driftsströmstyrkan.

Då det nu visat sig, att statorlindningens fria delar undergått deformation vid inträffade kortslutningar, ligger det nära till hands att såsom hufvudorsak härtill angifva den stora strömstyrkan och den elektrodynamiska kraftverkan, som denna åstadkommer mellan härfvornas fria ändar. Härvid måste man äfven anse en icke obetydlig inverkan ligga i det starka spridningsfält, som uppstår vid kortslutningar och skär de fria härfändarne. För att emellertid se, i hvad mån endast den förra orsaken kan antaga tillräckliga dimensioner för fenomenets förklarande, må här följande mycket approximativa beräkning göras:

Två parallella ledare af längden  $l$  cm med samma strömstyrka i amp. och på centrumafståndet  $a$  cm från hvarandra åverka hvarandra som bekant med en kraft

$$F \cong \frac{2i^2l}{a} \cdot 10^{-8} \text{ kg}$$

I dessa maskiner äro de fria härfändarne så förlagda, att två »strömknippen» innehållande 1650 amp. vid 220 amp. statorström gå parallellt cirka 20 cm med ett medelafstånd af omkring 2,5 cm. Den häraf orsakade kraften är således normalt

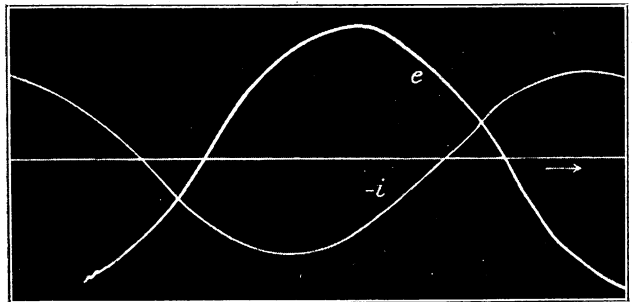


Bild 149. Spännings- och strömkurvor vid gång af Siemens-lokomotivet.

$$F \cong \frac{2 \cdot 1650^2 \cdot 20 \cdot 10^{-8}}{2,5} \cong 0,45 \text{ kg.}$$

Då man nu på ofvan nämnda grunder kan förutsätta en första kortslutningsströmstyrka af 10-faldiga normala värdet, skulle den härvid uppträdande kraften blifva

$$F_k = 45 \text{ kg.}$$

Ehuru denna siffra ingalunda gör anspråk på noggrannhet, ger den dock vid handen, att de fria härfändarne vid kortslutning af nu angifna orsak blifva utsatta för mekaniska påkänningar, som äro i stånd att deformera härfvorna, om dessa icke äro säkert fästade och stagade, samt skada isoleringen, om denna icke är fast och omsorgsfullt utförd.

Tager man dessutom hänsyn till den strömstöt, hvarom ofvan är taladt, torde man icke kunna underlåta att antaga, att strömstyrkan och den här ifrågavarande kraftverkan under allra första momentet erhåller en ytterligare anledning till ökning utöfver det hittills förutsatta beloppet.

En annan olägenhet, som kortslutningar vid försöksdriftens början visade sig medföra, var en stark, stötvis verkande vridningspåkänning af generatoraxlarne, som resulterade i dessas vridning och deformation af krysskilarne. Samtidigt med att axeltapparne och kilarne förstärktes, försvagades läderskifvan i kopplingen mellan turbin och generator, och har denna läderskifva sedan verkat som säkerhetsapparat vid inträffade kortslutningar. Vid kortslutning kan, som bekant, det elektriska vridningsmomentet uppgå till ett belopp, som flere gånger öferskrider det normala, om motstånd och reaktans i den kortslutna strömkretsen hafva härför gynnsamma värden. Detta inträffar så mycket säkrare på grund af den ofvan angifna egenskapen hos armaturreaktionen att först så småningom hinna utöfva sin verkan, och torde man utan risk i föreliggande fall kunna förutsätta ett i vissa fall allra minst tredubbelt vridningsmoment vid kortslutning. Då nu större delen af lefvande kraften hos hela aggregatets roterande delar, såsom i detta fall, ligger på turbinsidan af kopplingen, nämligen dels i kuggväxeln, och dels, till största delen, i turbinskifvan, kommer detta vridningsmoment till sin hufvudsakliga del att uppträda mekaniskt i generatorns axeltapp och i kopplingen. Då kopplingen i början var oproportionerligt stark, fick axeltappen upptaga momentet i fråga med förut beskrifvet resultat.

Stockholm den 24 Mars 1908.

ARVID LINDSTRÖM.