

HELAUTOMATISKA OMFORMARESTATIONER FÖR BANDRIFT.

Föredrag av direktör H. Ångström,
Uppsala spårvägar.

Vi ha upplevat ångans och elektricitetens tidevarv, varvid den mänskliga arbetskraften och tidigare mera primitiva maskinella hjälpmedel ersatts med kraftmaskiner av betydande mått, och vi leva i industrialismens tidevarv, då genom införandet av rationella arbetsmetoder betydande mänsklig arbetskraft frikopplats till gagn för utvecklingen. Men vi kunna även säga, att vi leva i automatiseringens genombrottslid, varvid råkraften så att säga automatiskt omhändertages av sinnrikt konstruerade maskiner, som ställa kraftresurserna direkt i det produktiva arbetets tjänst utan fördyrande mellanhänder.

Vi ha under de senaste åren sett eller hört talas om automatiserade elektriskt drivna snickerifabriker, automobilfabriker, träsliperier, telefonanläggningar, tidningstryckerier m. fl. dylika anläggningar, vilka under en följd av år varit i praktisk drift, men det är först på senare år man på allvar vågat ge sig på frågan angående krafttillförselns automatisering vid den elektriska person- och godstransportindustrin. Orsaken härtill har varit de svårigheter, som äro förknippade med automatiseringens genomförande. Elektroingenjörerna, som känt till, att kraftkostnaden vid elektrisk drift endast utgjort omkring 25 % av motsvarande kostnad vid exempelvis bensindrift, räknat pr tonkm., ha tidigare nöjt sig med att konstatera detta faktum och tillsvidare stannat vid att angripa närmare till hands liggande problem för att nedbringa driftkostnaden såsom genom införande av låg dödvikt pr personkm., ökad körhastighet, införande av lätta hastigtgående motorer, minskad personalkostnad pr effektiv personkm. m. m. Allteftersom konkurrensen mellan de olika trafikmedlen skärpts, ha emellertid ingenjörerna mobiliserat de resurser, som stå till buds, för att ytterligare nedbringa driftkostnaderna samt förbättra den elektriska driften och höja dess prestationsförmåga. Genom att sålunda tillgripa automatiseringen av den elektriska krafttillförseln och i övrigt tillämpa modärna principer har man vid *masstransport* kunnat nedbringa driftkostnaden

till endast 0,5 öre pr personkm. vid spårvägsdrift, under det att man f. n. vid bensindrifft får vara nöjd, om man kommer ned till den tredubbla driftkostnaden såsom minimigräns.

Jag tror mig därför kunna påräkna ett visst intresse, då jag i det följande går in för att närmare redogöra för den automatiska krafttillförseln vid några olika typiska omformareanläggningar.

De flesta icke facktekniskt initierade åhörarna ställa nu otvivelaktigt den frågan till mig. Vari ligger det väsentliga vid automatiseringen av krafttillförseln? Härpå vill jag svara, att det mest betydelsefulla

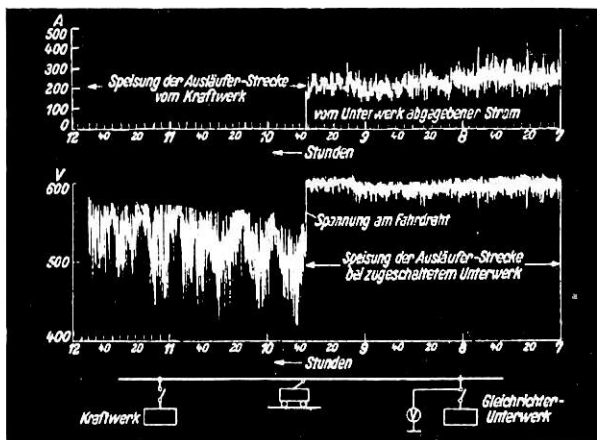


Fig. 1.

vid automatiseringen består i, att den ofta mycket ofullkomliga mänskliga hjärnan och handkraften ersättes av en automatiskt verkande mera fullkomlig apparat, som startar omformare- eller likriktaremaskineriet på morgonen, då trafiken börjar, och som i händelse av kortslutning på linjen eller vid andra tillfälliga fel automatiskt urkopplar maskineriet upprepade gånger, till dess att felet åter avlägsnats. Genom automatiskt verkande signalanordningar anges också i maskinrummet eller i ett vaktrum, som kan ligga flera kilometer från stationen, vari felaktigheten består. Av fig. 1 framgår ett karakteristiskt spänningsdiagram från en likriktareanläggning för en förortsbanesträcka, som samarbetar med ett större kraftverk. Härav framgår med tydlighet de förbättrade matningsförhållanden, som vinnas genom likriktareanläggning och som medföra en kraftbesparing, som väl förräntar anläggningskostnaden för den automatiska likriktarestationen.

Anordningen för driftens automatisering blir i mycket beroende av det slag av omformningsmaskineri, som kommer till användning, och skall jag därför först nämna några ord om olika slag av omformare som förekomma samt deras driftegenskaper.

Olika slag av omformare- och likriktarestationer, som kunna bli föremål för automatisering, samt deras användningsområden.

Vid elektrisk spårvägs- och järnvägsdrift är det ledningsförlusterna, som så att säga bestämma omformarestationernas eller transformatorernas användningsområden. Enligt den ohmska lagen veta vi, att motståndet i en ledning är direkt proportionellt mot ledningens längd, omvänt proportionellt mot ledningens area samt vidare att vid en bestämd kraftöverföring, ledningsförlusten är proportionell mot ledningens längd, omvänt proportionell mot ledningens area samt omvänt proportionell mot kvadraten på spänningen. Vid samma ledningsarea och längd för kraftöverföringen bli ledningsförlusterna omvänt proportionella mot spänningens kvadrat. För att kunna minska ledningsförlusterna i kontaktledningen med eventuellt tillhörande matareledning ökas därför spänningen så mycket som möjligt. Vid växelströmsdrift går man upp med spänningen å kontaktledningen ända till 15,000 volt, vilken spänning medger betydande kraftöverföringar med stora avstånd mellan transformator- eller omformarestationerna. Vid likström däremot går man icke gärna över 3,000 volt å kontaktledning, även om i enstaka fall en något högre spänning kommit till användning, såsom exempelvis å några banor i Italien. Bortses från det induktiva motståndet vid växelströmsspänningen, vilket kan motiveras på grund av det låga periodtalet ($16\frac{2}{3}$ per.), som exempelvis kommit till användning vid praktiskt taget samtliga svenska järnvägar, som drivas med enfas växelström, blir förhållandet mellan resp. ledningsförluster vid 3,000 och 15,000 volt och med samma längd samt area å kontaktledningen $W_v:W_e = 1:25$. Trots att sålunda ledningsförlusterna vid växelström kunna hållas nere, samtidigt som avståndet mellan transformator- eller omformarestationer kan göras betydande, blir dock likströmsdriften vid järnvägar av förortsbanekaraktär samt vid spårvägar, huvudsakligen på grund av likströmsmotorns bättre driftegenskaper, billigare än driften med växelström. Jag skall icke upptaga tiden med en närmare analys av detta förhållande, men synes av ovanstående exempel att omformarestationernas antal och sålunda dessa stationers automatisering blir av större betydelse för likströmsdriften än för växelströmsdriften. Jag skall också i det följande redogöra för några olika typer av omformarestationer, som kommit till användning vid olika slag av likströmsbanor och vilkas olika karaktär inverkar på valet av den automatiska utrustningen. Man använder sig vid omformning av växelström till likström dels av roterande maskiner och dels på senare tid i stor utsträckning av likriktare, varvid jag betraktar likriktningen som ett slag av omformning.

Omformning med roterande maskiner.

Då det gäller att omforma flerfasström till likström, kan ifrågakomma tre olika slag av roterande maskiner, nämligen:

1. Enankareomformare.
2. Motorgenerator.
3. Kaskadomformare.

Enankareomformaren är en elektrisk maskin, som på rent elektrisk väg omformar växelströmmen till likström. Av alla roterande maskiner har enankareomformaren den högsta verkningsgraden och erfordrar samtidigt mycket litet platsutrymme. Kostnaden för en enankareomformare med transformator är även lägre än motsvarande kostnad för andra roterande omformare. En karakteristisk egenskap för ifrågavarande maskin är också att spänningen mellan släpringarna och kommutatorspänningen sins emellan stå i ett *fast* förhållande, så att växlingar på växelströmssidan fotografiskt återges å likströmssidan. Enankareomformaren har en synkromotors egenskaper och är sålunda en gentemot överbelastningar känslig maskin, som lätt kan falla ur fas. Den automatiska utrustningen måste vid enankareomformaren förses med anordning för förnyad start och infasning till följd av överbelastning och vid direkta kortslutningar. Då de automatiska omformarestationernas antal för en och samma bana i hög grad är beroende av likströmsspänningens storlek torde vara av intresse att undersöka, huru maximispänningen ställer sig vid några olika slag av roterande omformare.

För att kunna framställa den elektromotoriska kraften för olika kommutatormaskiner med tillhjälp av resp. kommutatorers viktigaste konstruktionsdata, införes följande beteckningar:

- E = maskinens E M K i volt;
 e = medelvärde av lamellspänningen i volt;
 h = periferihastigheten i m. pr sek.;
 v = perioder pr sek.;
 B = delningen i mm. (lamell- + isolationstjocklek);
 k = konstant;

deduceras med lätthet följande formel:

$$E = 1\,000 \cdot \frac{50}{v} \cdot \frac{5}{B} \cdot \frac{e}{15} \cdot \frac{h}{33,3} \text{ volt} \dots\dots\dots (1)$$

$$E = k \cdot \frac{e \cdot h}{v \cdot B} \text{ volt} \dots\dots\dots (2)$$

Antages att enankareomformaren hänger på ett nät med 50 perioder och denna i ena fallet konstrueras med $h = 33,3$ och $B = (4+1)$ mm. och i ett annat fall med $h = 40$ och $B = (3+1)$ mm., blir E i resp. fall 1,000 och 1,650 V. Till följd av att periodtalet i regel är 50, samt att

lamelltjockleken med glimmermellanlägg av praktiska skäl icke bör understiga (3+1) mm. följer, att spänningen icke bör överstiga 1,650 volt. Som synes härav, är sålunda den tillåtna likströmsspänningen vid enankaromformare relativt låg.

Motorgeneratoren består oftast av en asynkronmotor för 50 per. och en till nämnda aggregat direktkopplad likströmgenerator. Likströmgeneratorns spänning och periodtalet i ankaret blir här helt *oberoende* av växelströmmens periodtal. Fördelarna med detta maskineri äro dels, att generatoren kan byggas praktiskt taget för vilket periodtal som helst, varigenom en hög likströmsspänning erhålles, och dels, att maskineriet kan regenerera ström till nätet. Överbelastningsförmågan för detta maskineri är mycket hög, men verkningsgraden är besvärande låg särskilt vid liten belastning. Vid en driftspänning av 3,000 volt och därutöver, då enankare- och kaskadomformare icke kan komma till användning och då leverans av »Wattlös» ström till det bakomliggande växelströmsnätet är önskvärd och sålunda likriktare icke kan ifrågakomma, har motorgeneratorer sin givna plats.

Kaskadomformaren består, liksom motorgeneratoren, av två direktkopplade maskiner, av vilka den ena i regel är en asynkronmotor och den andra en likströmgenerator, vars ankarfält är kopplat till asynkronmotorns ankare.

Kaskadomformaren har större förluster än enankareomformaren, men mindre förluster än motorgeneratoren. Under det att man vid enankareomformaren är beroende av en relativt låg växelströmsspänning, som i regel kräver att en transformator inkopplas mellan högspänningsnätet och enankareomformaren, tjänar kaskadomformaren samtidigt som transformator och generator, och har man härigenom möjlighet att intaga 10,000 å 15,000 volt direkt på maskinen. På grund av att likströmsspänningen är beroende av såväl asynkronmotorns som likströmgeneratorns poltal och varvtal, som framgår av ovanstående formel, följer också härav att spänningen å maskinens likströmssida bör kunna ökas. Minskas frekvensen å asynkronmotorns sekundärlindning, exempelvis till hälften, ökas också maskinens likströmsspänning till det dubbla värdet. En likströmsspänning å 2,000 å 3,000 volt kan numera anses vara en blivande standardspänning, vilket gör att kaskadomformaren har sitt givna användningsområde, då det rör sig om spänningar å 2,000 volt och i undantagsfall högst 3,000 volt. Driften med kaskadomformare går att automatisera i huvudsak enligt samma principer som för enankareomformaren.

Omformning med kvicksilverlikriktare.

Kvicksilverlikriktarens princip grundar sig på den av amerikanen Peter Cooper Hewitt år 1902 upptäckta ventilverkan hos kvicksilverljusbågen. I korthet grundar sig principen för likriktningen på följande: Befinner sig en kvicksilverelektrod i ett lufttomt kärl av glas,

kvarts eller järn och ovanför denna elektrod en eller flera fasta elektroder av platina, grafit eller järn, så verkar denna anordning på en växelström, som sändes genom elektroderna i båda riktningarna som ett oändligt stort motstånd. Inledes dock på konstlad väg en ljusbåge på så sätt, att strömmen ledes in vid den fasta elektroden och uttages vid

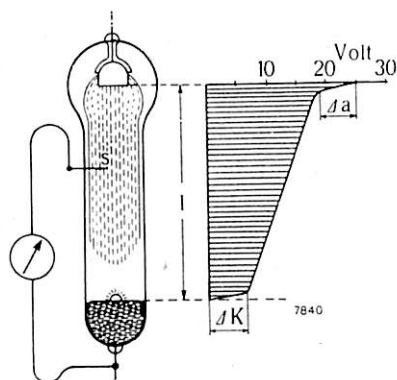


Fig. 2.

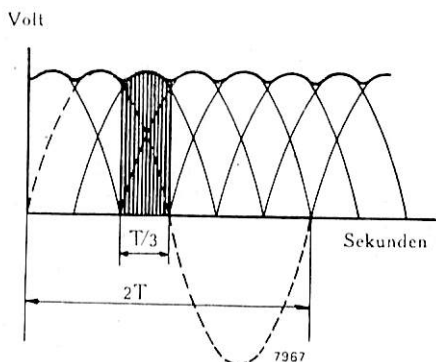


Fig. 3.

kvicksilverkatoden, så blir kvicksilverkatoden vid övergångsstället vitglödande, under det att den fasta elektroden blir förhållandevis kall, d. v. s. rödglödande (ca 500° C.). Härigenom kommer jonerna vid kvicksilverkatoden att kunna vandra i båda riktningarna, under det att vid de fasta anoderna jonvandringen blott kan ske i en riktning. De fasta elektroderna komma på detta sättet att verka som jon-ventiler och i kärlet kommer blott att kunna flyta ström från den fasta elektroden (anoden) till den flytande (katoden). En likriktare med blott en anod enligt fig. 2 frambringar blott en »tandad» likström, på grund av att enbart de positiva amplituderna genomsläppas, under det att de

negativa så att säga undertryckas. Vid en likriktare med två anoder, tillföres den tidigare undertryckta amplituden den andra anoden och kommer sålunda att passera likriktaren samt blir på så sätt användbar som ren likström. Från att förut ha varit »tandad», blir växelströmmen i detta fallet pulserande.

Ännu gynnsammare kurvform för likströmmen erhålles vid trefas- eller såsom framgår av fig. 3 vid sexfaslikriktare. Vågigheten (d. v. s. förhållandet mellan en likströmskomponent och en därpå lagrad växelströmskomponent) har på detta sätt minskats från 0,64 vid enfas till 0,83 vid trefas och till 0,95 vid sexfas (siffrorna ange förhållandet mellan medelvärdet och växelströmskomponenten). Effektivvärdet å anodströmmen förhåller sig till högsta likriktade strömkomponenten vid en-, tre- och sexfas som 0,50, 0,49 och 0,39.

Ovanstående siffror gälla endast under förutsättning, att växelströmmens kurvform är rent sinusformad, och måste dessa därför i praktiken multipliceras med en korrektionsfaktor, som varierar från 0,90 vid 230 volt upp till 0,98 vid 750 volt.

Spänningsfallet i ljusbågen e (se fig. 2) sammansätter sig av tre olika delar, nämligen:

$$\begin{aligned} \text{spänningsfallet i anoden} &= a \text{ volt;} \\ \text{» katoden} &= k \text{ volt;} \\ \text{» själva ljusbågen} &= e_1 \text{ volt;} \\ e &= e_1 + a + k \text{ volt} \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

Principen för uppmätningen av spänningsfallet framgår av fig. 2 och utgör detta för järnanoder omkring 6,5 volt, för kvicksilverkatoder 5,5 volt och spänningsfallet i själva ljusbågen är omkring 0,1 volt pr cm.

Det enklaste sättet att erhålla en stående ljusbåge består i den s. k. »kontakttändningen», vilket består i att elektroderna föras intill varandra och därefter åtskiljas. På detta sätt erhålles en ljusbåge, vars längd endast är högst 1 à 2 cm. För att underhålla ljusbågen fordras alltefter bågens längd 35 à 40 volt och minst 3 amp.

Låter man nu ljusbågen brinna under vacuum, så kan man vid samma spänning tillåta ett betydligt större elektrodavstånd. Ljusbågen utgår glimmerartat från anoden utan att dock förgasa denna. Katoden uppvisar en vitglödande fläck, vilken oroligt spelar fram och tillbaka. Vid flytande elektroder, som exempelvis kvicksilver, bildas en katodkrater från vilken en intensiv förgasning utgår.

För att förklara förloppet i denna ljusbåge, har uppställts följande hypotes, som stödes av ett flertal mycket noggranna undersökningar. Elektricitetstransporten i en gas sker genom positiva och negativa elementladdningar, de s. k. jonerna. De positiva jonernas laddning är alltid bunden vid den kemiska atomen, under det att den negativa elementladdningen är fullkomligt viktlös. Den neutrala molekylén uppvisar laddningar av båda slagen.

I kvicksilverljusbågens ångatmosfär förekommer såväl dissosierade delar som *neutrala molekyler*. Från den till vitglödning upphettade »katodytan», som står under inflytande av det elektriska fältet, avskiljes från metallen fria elektroner på elektrisk väg, vilka med accelererad hastighet röra sig mot anoden. Efter att ha upptagit en tillräckligt stor mängd kinetisk energi, kan nu elektronen genom sammanstötning med neutrala gasmolekyler spränga dessa, varvid nya positiva joner och negativa elektroner bliva fria och bidraga till att göra gasen

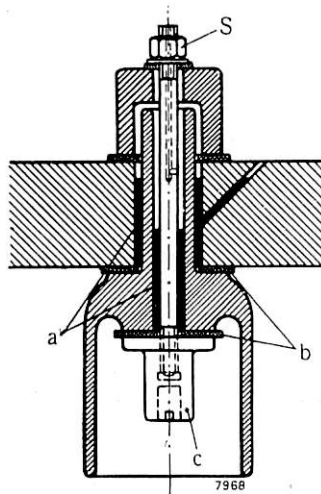


Fig. 4.

lätt ledande. De redan befintliga och de nybildade positiva jonerna skynda mot katoden, där de genom bombardemang av ett mycket begränsat ytskikt av katoden bringar detta till vitglödning och på så sätt ger möjlighet till att urladdningsförloppet kan fortsättas.

Man måste noga fasthålla vid att ljusbågens existens förutsätter förekomsten av fria elektroner, som just lämnas av en katod, som är upphettad till vitglödning samt står under inflytande av ett elektriskt fält.

Vidstående fig. 4 visar en anod med kvicksilvertätning, vilken patenterats av dr. ing. Schäfer och varigenom ett av de svåraste problemen vid den praktiska tillämpningen av den amerikanska uppfinningen blivit löst från tyskt håll.

Efter denna något historiska inledning, som jag anser vara motive-rad på grund av att kvicksilverlikriktarens funktion torde vara mindre allmänt känd, övergår jag till att summariskt sammanfatta de egenskaper, som gjort att likriktarna fått allt större användning vid spårvägs- och elektrisk järnvägsdrift. För överskådlighetens skull lämnar jag i bifogade tablå en sammanställning över likriktarens driftegenskaper ur teknisk och ekonomisk synpunkt, jämförda med motsvarande egen-

skaper hos olika roterande omformare. Av denna tablå framgår, att likriktaren besitter nästan samtliga de fördelar, som vidlåda enankareomformaren, och dessutom ett flertal av motorgeneratorns bästa egen-

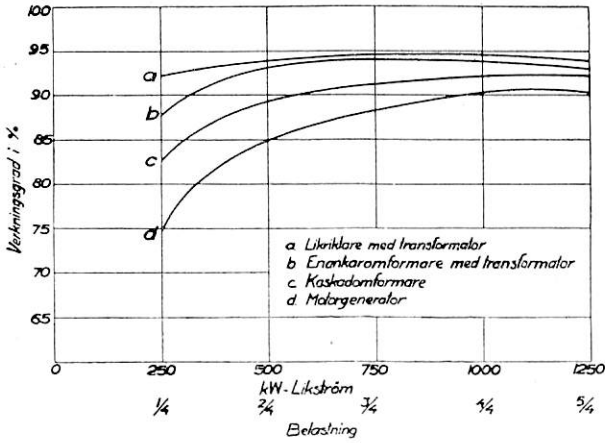


Fig. 5.

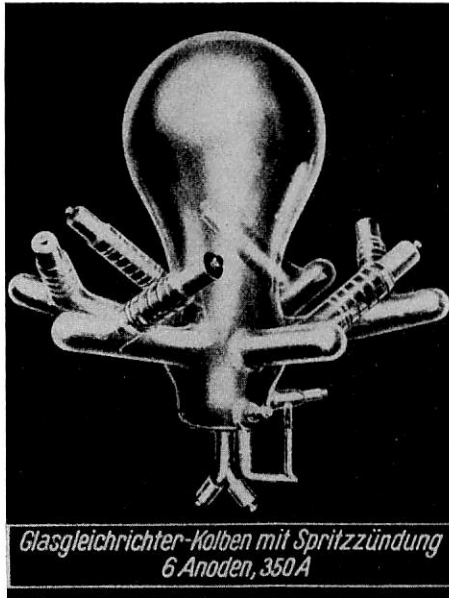


Fig. 6.

skaper, såsom godtycklig gräns för driftspänningen, stor överbelastningsförmåga, omedelbart driftfärdig efter nollspänning. Dessutom framvisar likriktaren en serie väsentliga egenskaper, som överträffa de

andra omformarna, såsom låg vikt, obetydligt maskinbuller, obetydligt underhåll samt hög verkningsgrad. Å andra sidan besitter likriktaren mycket få dåliga egenskaper, varibland stötdämpningen väl får anses vara den största. De andra nackdelarna, såsom exempelvis oförmågan att lämna sinström samt att regenerera ström till kraftverket, är i många fall av mindre betydelse. Fig. 5 utgör en sammanställning rörande likriktarens verkningsgrad i jämförelse med olika roterande maskiners verkningsgrad vid olika belastningar.

En väsentlig fördel i fabrikationshänseende är att vid likriktare erfordras ett obetydligt antal olika storlekar, vilket säkerligen så småningom kommer att återverka på priset.

Större likriktare för strömstyrkor överstigande 350 amp. byggas i regel av järn. Vid lägre strömstyrkor komma numera endast glaslikriktare till användning, vilka byggas i enheter upp till 350 amp., men torde man snart även här komma upp till 500 amp. Genom parallellkoppling av flera sådana glaslikriktare kan man komma upp till strömstyrkor av ända upp till 1,000 till 2,000 amp. Glaslikriktaren är i vissa avseenden överlägsen likriktarna av järn på grund av frånvaron av

	Likriktare	Enankare- omformare	Kaskad- omformare	Motor- generator
Vikt utan tillbehör	<i>mycket låg</i>	låg	moderat	moderat
Utrymmesbehov utan tillbehör	<i>mycket litet</i>	<i>mycket litet</i>	litet	moderat
Utrymmesbehov med tillbehör	litet	moderat	<i>mycket litet</i>	moderat
Kostnad inkl. till- behör	<i>låg</i>	<i>låg</i>	moderat	moderat
Verkningsgrad	<i>hög även vid part. belastn.</i>	<i>hög även vid part. belastn.</i>	god	moderat
$\cos \varphi$	0,95	1,0	1,0	1,0
Spänning	<i>godtycklig</i>	1200—1500 V	1700—2000 V	<i>godtycklig</i>
Sinström	—	obetydlig	obetydlig	<i>godtycklig</i>
Igångsättningstid	sekunder	minuter	minuter	minuter
Stötdämpning	ingen	obetydlig	moderat	<i>stor</i>
Överbelastningsför- måga	<i>stor</i>	moderat	<i>stor</i>	<i>stor</i>
Regenerering	—	möjligt	möjligt	<i>mycket lämplig</i>
Paralleldrif	intet hinder	intet hinder	intet hinder	intet hinder
Känslig för automa- tisering	<i>mycket god</i>	god	god	god
Maskinbuller	<i>intet</i>	vanl.	vanl.	vanl.
Övervakning	<i>prakt. taget</i>	<i>prakt. taget</i>	obetydlig vid autom. drift	obetydlig vid autom. drift
Underhåll	<i>obetydligt</i>	vanl.	vanl.	vanl.

särskilt kyvbatten, särskild vacuum pump och den enklare automatiken, vilket haft till följd att glaslikriktaren redan kommit till användning vid en hel rad spårvägar och till och med använts vid tyska statsjärnvägarna, där 15,000 V växelström omformas medelst glaslikriktare för

laddning av ett batterilok. Av fig. 6 framgår kolvens utseende för en 6-fas glaslikriktare, konstruerad för 350 A.

Likriktare av järn kunna enligt professor Reichel, S. S. W. Berlin,

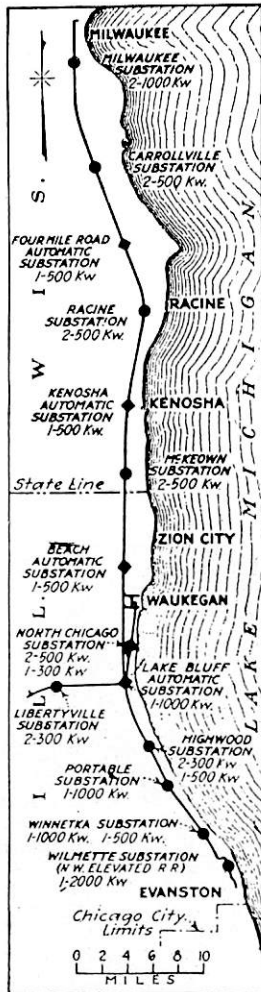


Fig. 7.

byggas i storlekar ända upp till 20,000 à 25,000 amp. (motsv. vid 1,000 volt 20,000 à 25,000 kVa), och begränsas här storleken av att likriktaren skall kunna transporteras inom den föreskrivna banprofilen.

Automatiken för roterande omformare.

Då automatiken för de roterande omformarna föga skiljer sig från varandra, skall jag i det följande inskränka mig till att i korta drag

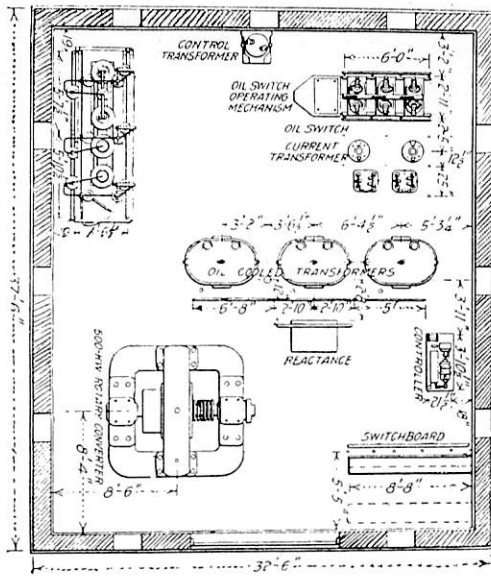


Fig. 8.

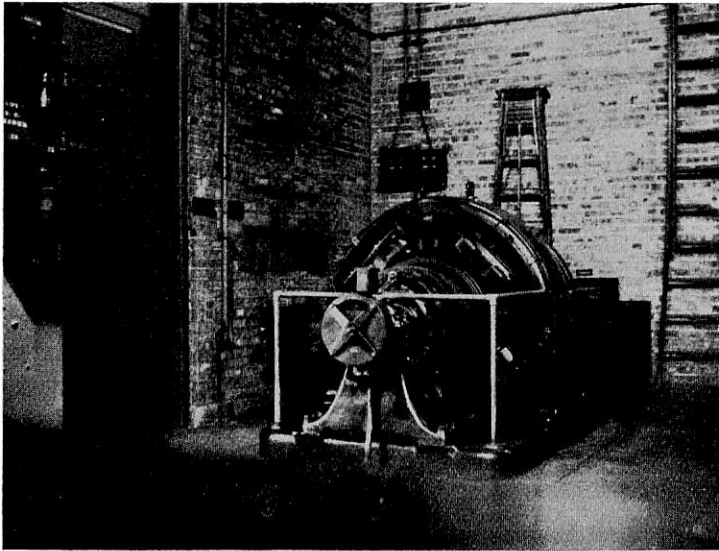


Fig. 9.

redogöra för en av de typiska helautomatiska enankareomformarestationer, som jag var i tillfälle att närmare studera på platsen redan år 1921.

Nämnda omformarestation, som benämndes »Lake Bluff», ingick i ett komplex bestående av icke mindre än fjorton omformarestationer

(fig. 7), av vilka fyra stycken voro helautomatiska. Dessa omformarestationer voro utbyggda för att betjäna Chicago, North-shore and Milwaukee Rail Roads bansträcka mellan Chicago och Milwaukee, motsvarande en sträcka å omkring 100 km.

Stationen vid »Lake Bluff» var å 1,000 kW samt spänningen å kontaktledningen 600 volt. Denna station startades automatiskt, då ett tågsätt kom in på den sektion, som matades från nämnda omfor-

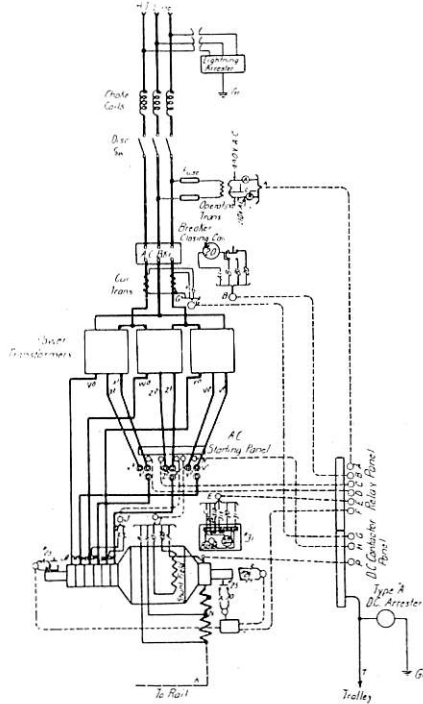


Fig. 10.

mare. Så snart lågsättet passerat sektionen, stoppades maskineriet automatiskt. Stationens utseende i plan samt själva enankareomformarens storlek framgår av fig. 8 och 9.

De viktigaste delarna i stationen, som skilja denna från de vanliga icke automatiserade, utgöres av manövertransformatorn, det polariserade motorreläet samt de automatiska reläbrytare, som bryta strömmen vid resp. för hög temperatur eller för högt varvtal. Apparaturens koppling till omformaremaskineriet framgår av bifogade schema, fig. 10. Ävenså utrustas i regel de automatiska stationerna med snabbbrytande oljebrytare med en brytningshastighet å endast omkring 0,005 sek. Det finnes flera olika sätt att starta en synkronomformare. Det vanligaste, som även kom till användning vid »Lake Bluff», är att starta maskinen från växelströmssidan med reducerad spänning från

transformatorn (start såsom asynkronmotor). Vid starten slutes ett mellanrelä, som i sin tur sluter strömmen till motorkontrollern, vilken sköter om att oljeströmbrytaren jämte switchen för fältströmmen ävensom startningsswitchen mellan transformatorn och omformaren slutes. Synchronism och rätt polaritet indiceras av ett polariserat motorrelä, som i händelse av reverserat polaritet sköter om, att maskinens polaritet växlas genom att den normala och reversibla fältswitchen automatiskt öppnas eller slutes.

Det är tydligt att reläarmaturen icke börjar rotera, förr än omformaren har fallit i fas och förr än periodtalet i omformaren motsvarar växelströmmens periodtal. Reläarmaturens apparatur erhåller på detta sätt likström, som förorsakar denna att rotera i en riktning, som beror på omformarens polaritet. Härav följer, att i den händelse den synkrona omformarens fält är reverserat, faller kommutatorspänningen till noll. Reläswitchen för reverserat fält förblir härvid sluten, och är förutsättningen härför att kommutatorspänningen sjunkit till noll. I samma ögonblick normalt fält erhållits, har armaturen släpat efter en polbredd, varigenom polariteten korrigeras.

Automatiken för kvicksilverlikriktare.

Den automatiska apparaturen för kvicksilverlikriktare kan indelas i:
 dels automatik för järnlikriktare,
 dels automatik för glaslikriktare.

Automatiken för järnlikriktare är mer komplicerad än motsvarande utrustning för glaslikriktare, vilket med tydlighet framgår av vidstående figurer (fig. 11 och 12), utvisande kopplingsschemat för resp. glas- och järnlikriktare. Startningen av en likriktare kan antingen ske medelst en hjälpkontakt från en strömförande sektion av kontaktledningsnätet, som matas från ledningsnätets huvudcentral, varvid motorvagnens bygel förmedlar kontakt med den sektion, som matas från likriktaren, och på så sätt påverkar ett startningsrelä i likriktarestationen, eller också medelst ett tidrelä, som arbetar fullt självständigt i likriktarestationen. Det vanligaste systemet torde vara med tidrelä, vilket i regel blir billigast i anläggning. Ett tredje system är avståndsmanövrering av omformarestationen medelst tryckknappar. Exempel på den praktiska tillämpningen av de olika systemen återfinnas vid bl. a. Chicago Milwaukee—St Paul Ry., som tillämpar start medelst kontaktström från motorvagnen, Spårvägsaktiebolaget Upsala—Mälaren, som tillämpar systemet med start medelst tidur, och spårvägarna i Cleveland, som tillämpa start av understationerna genom avståndsmanövrering medelst tryckknappar.

Då start medelst tidur torde vara det system, som är billigast i anläggning och samtidigt mycket driftsäkert, skall jag närmare beskriva den helautomatiska likriktareanläggningen vid Ultuna, vilken station är den första anläggningen i sitt slag här i Sverige.

Den helautomatiska likriktareanläggningen vid Ultuna är byggd för en bansträcka, som inklusive mötesspår och stickspår utgör 8 km. Normala trafiklängden är 7,3 km. och maximala belastningen å sektionen är 4 st. motorvagnar, byggda för snabbtrafik med en hastighet av 50 km/tim., vartill kommer 4 st. släpvagnar. På en timme avverkas med denna vagnpark 800 trafikanter, varvid trafiksträckans längd utgör 9,2 km. Maximala trafikfrekvensen på en dag har utgjort ca 7,000

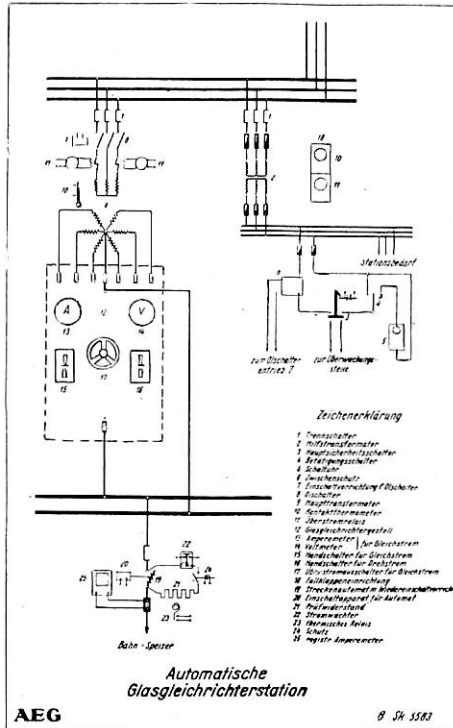


Fig. 11.

trafikanter. Största stigningen på bansträckan Grindstugan—Graneberg utgör 52 ‰ och på hela bansträckan, Svandammen—Graneberg, 60 ‰. Trafiken upprätthålles under större delen av året medelst halvtimmestrafik. För Ultunastationen gäller följande data. Likriktarecyklernas maximibelastningsförmåga med kylecylindrar å anoderna är 300 kW. och 150 kW. utan kylecylindrar vid normal drift och 750 å 800 volt likström. Transformatorn är byggd för 150 kW primärt Y-kopplad, för anslutning till 3,000 volt, 50 per. Transformatorn är försedd med extra uttag för 800 volt.

Anläggningen är levererad av firman Brown, Boveri & C:o., Baden.

Stationens utseende i plan samt utifrån framgår av bifogade fig. 13 och 14. Golvarealen utgör endast 25 kvadratmeter. Huset är upp-

byggt av 48 kg:s elektriskt svetsade spårvägsskenor med dubbla fulguritbeklädda väggar. Taket i stationen är av helgjuten betong med asfaltbeläggning samt är dubbelt, vilket åstadkommits genom en starkt korrugerad fulguritbeklädnad, som särskilt under sommaren framsläpper en välbehövlig kylluft. Vad som särskilt bör uppmärksammas vid denna station är kylvattencylindrarnas placering och utförande. Kylvattnet är av alldeles särskild betydelse vid järnlikriktare, emedan

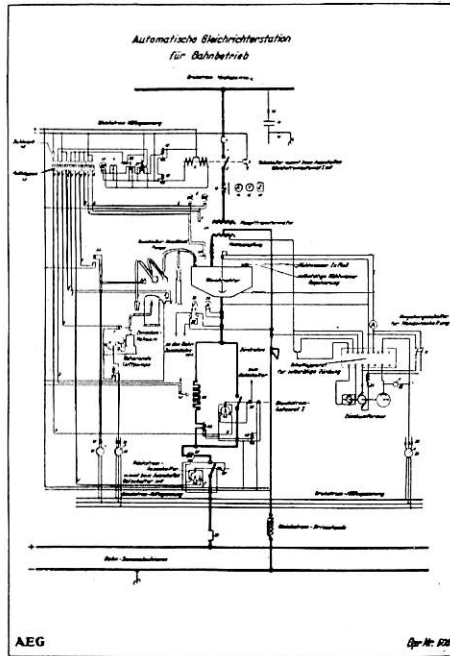


Fig. 12.

dessa likriktares kapacitet i väsentlig grad är beroende just på tillgången av kylvatten.

Vid äldre likriktarestationer var det brukligt att placera ett större kylarebatteri uppe under taket, varvid vattnet automatiskt fick cirkulera mellan likriktarecylindrarna och kylbatteriet, liksom fallet är vid kylvattnet å en automobil- eller kompressormotor. Ett sådant utförande återfinnes å likriktareanläggningen för Limmattal-banan i Schlieren (se fig. 15 och 16, författarens fotografier från studieresa till Schweiz år 1919).

Man har emellertid funnit, att dessa kylanläggningar bliva dyrbara, och har därför vid nyare anläggningar, då vattenledningsvatten icke finnes tillgängligt eller ställer sig dyrbart i drift, tillämpat metoden med kylbassäng och cirkulationspump för kylvattnet. Fig. 17 visar

en numera ganska vanlig anordning, som bl. a. tillämpats av Siemens-Schuckert vid Berliner Stadt u. Ringbahn.

Vid den helautomatiska stationen vid Ultuna passerar kylvattnet

Helautomatisk likriktaranläggning vid Ultuna.

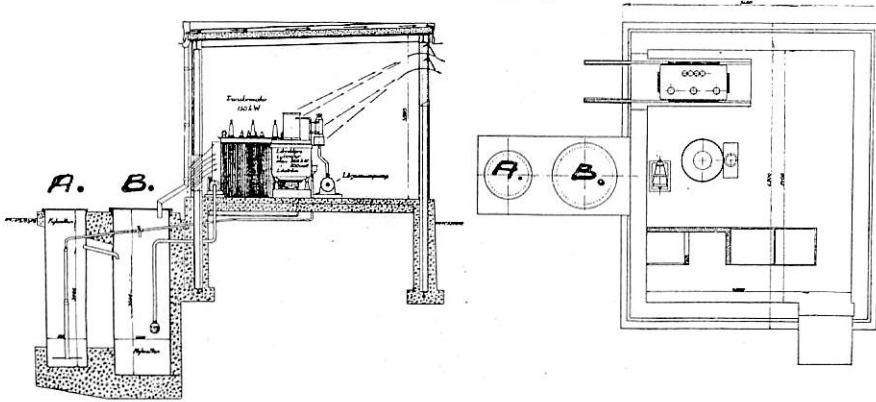


Fig. 13.

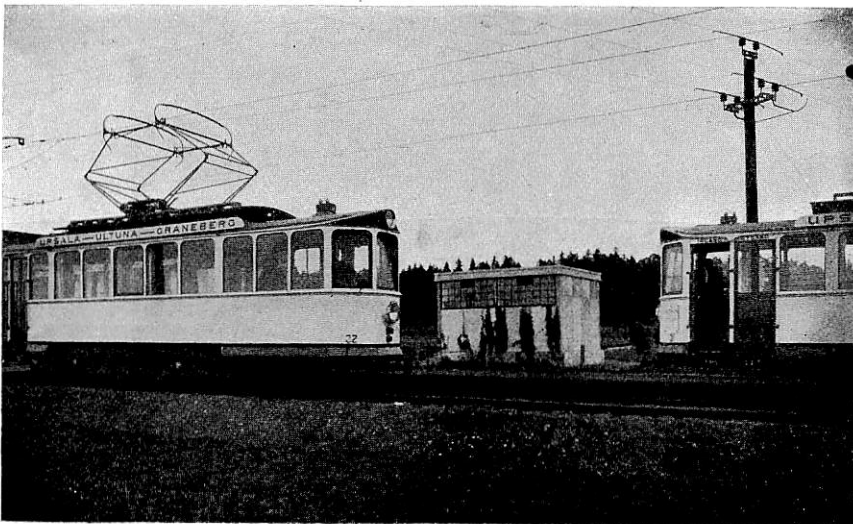


Fig. 14.

de båda kylcylindrarna A och B i serie. Cylindern A har en volym à $1,75 \text{ m}^3$ och rinner kylvattnet direkt från likriktaren ned i denna cylinder, varvid kylvattnet genom en manschettliknande påsvetsning pressas ut mot kylcylinderns väggar. Från cylindern A rinner vattnet över till cylindern B, som rymmer omkring $3,25 \text{ m}^3$, varifrån vattnet

åter pumpas upp genom cirkulationspumpen för att avkyla likriktarens anoder och kylmantel.

Fig. 18 visar likriktarecyklindern med tillhörande lågvacuumpump, stående på golvet, jämte högvacuumpumpen eller kvicksilvervacuumpumpen, upptill vid sidan av anoderna. I bakgrunden skymtas trans-

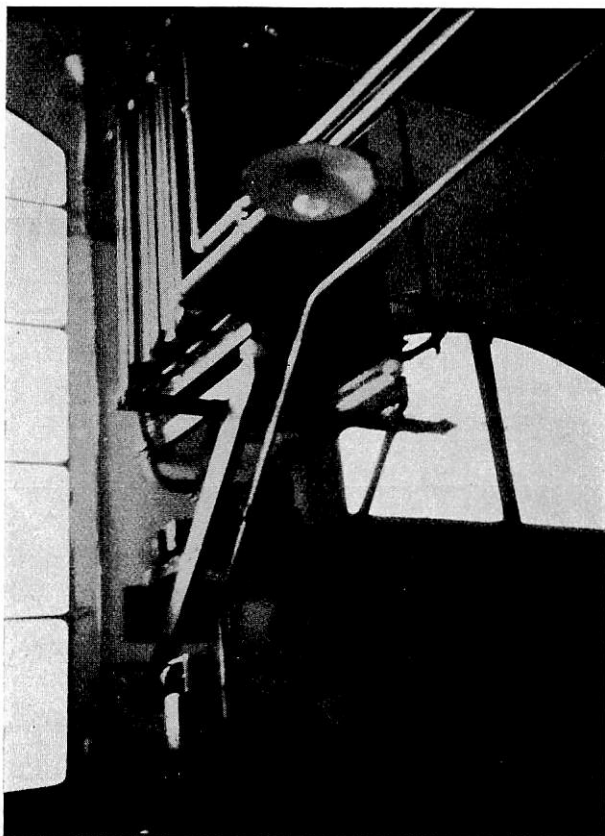


Fig. 15.

formatorn med tillhörande överspänningsskydd till höger samt cirkulationspumpen för kylvattnet till vänster. Fig. 19 visar en genomskärning av cylindern med tillhörande anoder, hjälpanod, kvicksilverkatod och kylmantel. Å fig. 20 synas instrumenttavlor, varav den högra delen är reserverad för stationstransformatorn jämte den automatiska oljeströmbrytaren och de båda järntavlorna till vänster upptaga erforderliga apparater för själva automatiken. Genom det mellersta handtaget å instrumenttavlefället längst till vänster sker till- och fränkoppling av hela maskineriet. Genom de båda mindre strömbrytarna inkopplas resp. lågvacuumpumpen och cirkulationspumpen. De båda

signallamporna framför angiva med rött eller grönt ljus, om anläggningen är tillslagen eller frånslagen. Den mindre mätaren anger strömstyrkans storlek i hjälpanoden och den stora mätaren ovanför anger vacuumets storlek. De fyra signaltavlorna på båda sidor om vacuummätaren visa rött signalljus, i den händelse något fel skulle upp-

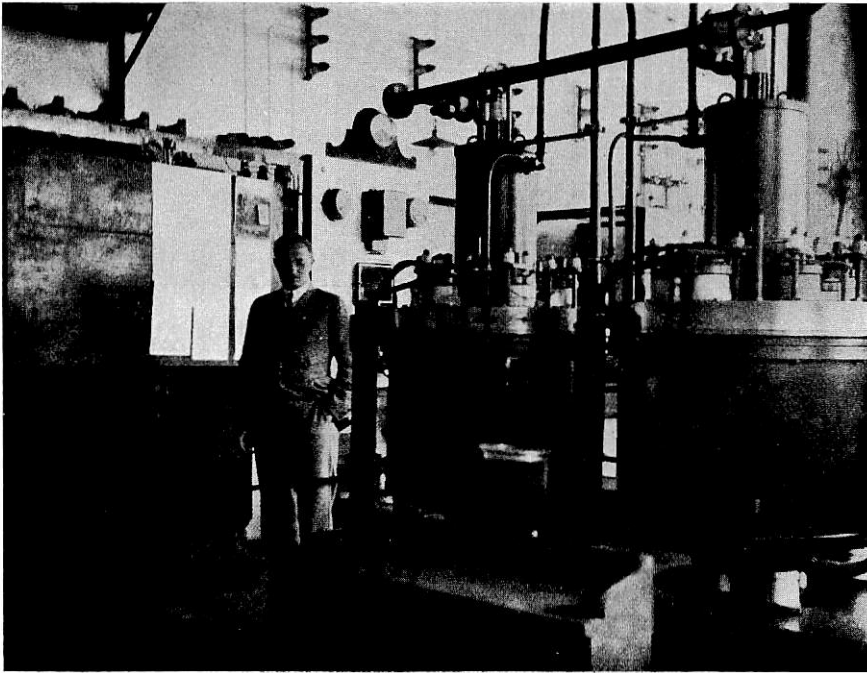


Fig. 16.

stå å olika delar av anläggningen. Här lokaliserar alltså, om ett fel ligger i vacuum pumpen, i kylvattenledningarna, i inkommande trefasledningar eller utgående ledningar:

Det mellersta instrumenttavlefället upptager dels en mätare, som visar strömbelastningen å utgående likströmsledning, dels en voltmätare för stationstransformatorn och dessutom en tryckknapp för deblocering av anläggningen, i den händelse oljeströmbrytaren automatiskt skulle ha utlöst tre gånger i följd. Fig. 21 visar baksidan av de båda fälten för automatiken med apparattransformatorn stående på golvet till höger; ungefär mitt på det högra fältet synas de tre apparater, som så att säga utgör hjärnan i automatiken. Längst till höger synes apparat n:r 12, vilken apparat dels sätter i gång och urkopplar samtliga hjälpapparater och dels tjänar till att så att säga analysera, vilken del av anläggningen, som eventuellt är felaktig, samt att genom signaler angiva, varest felaktigheten skall sökas. Apparaten överst till höger är inkop-

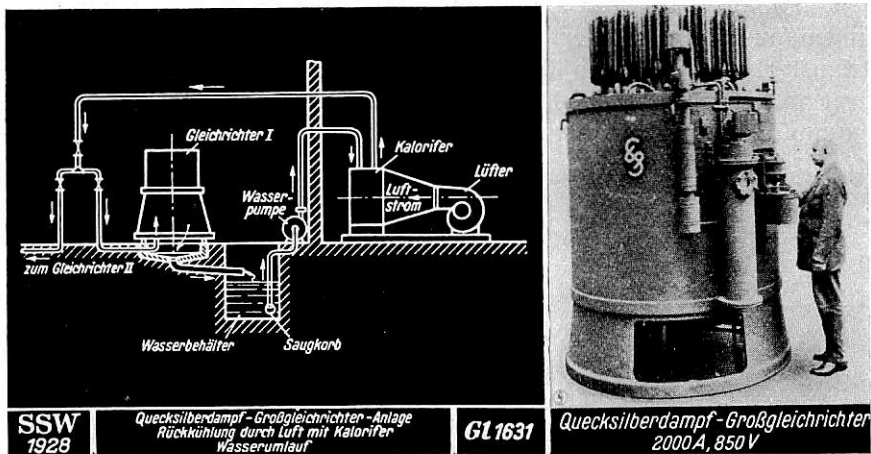


Fig. 17.

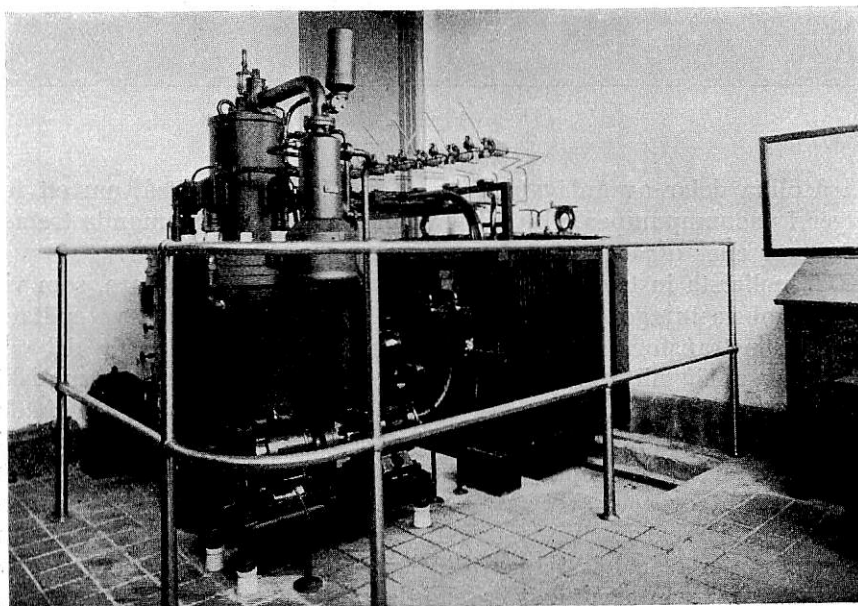


Fig. 18.

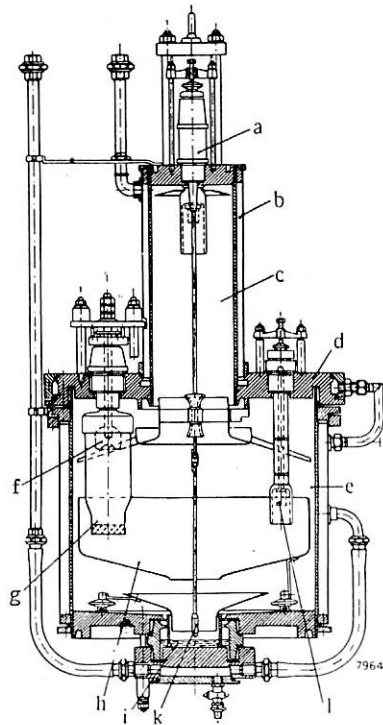


Fig. 19.

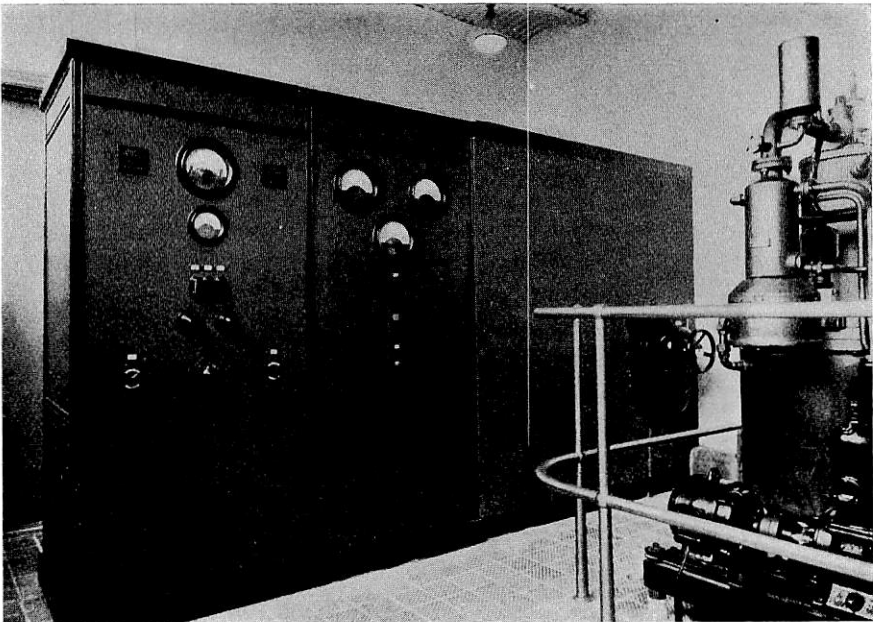


Fig. 20.

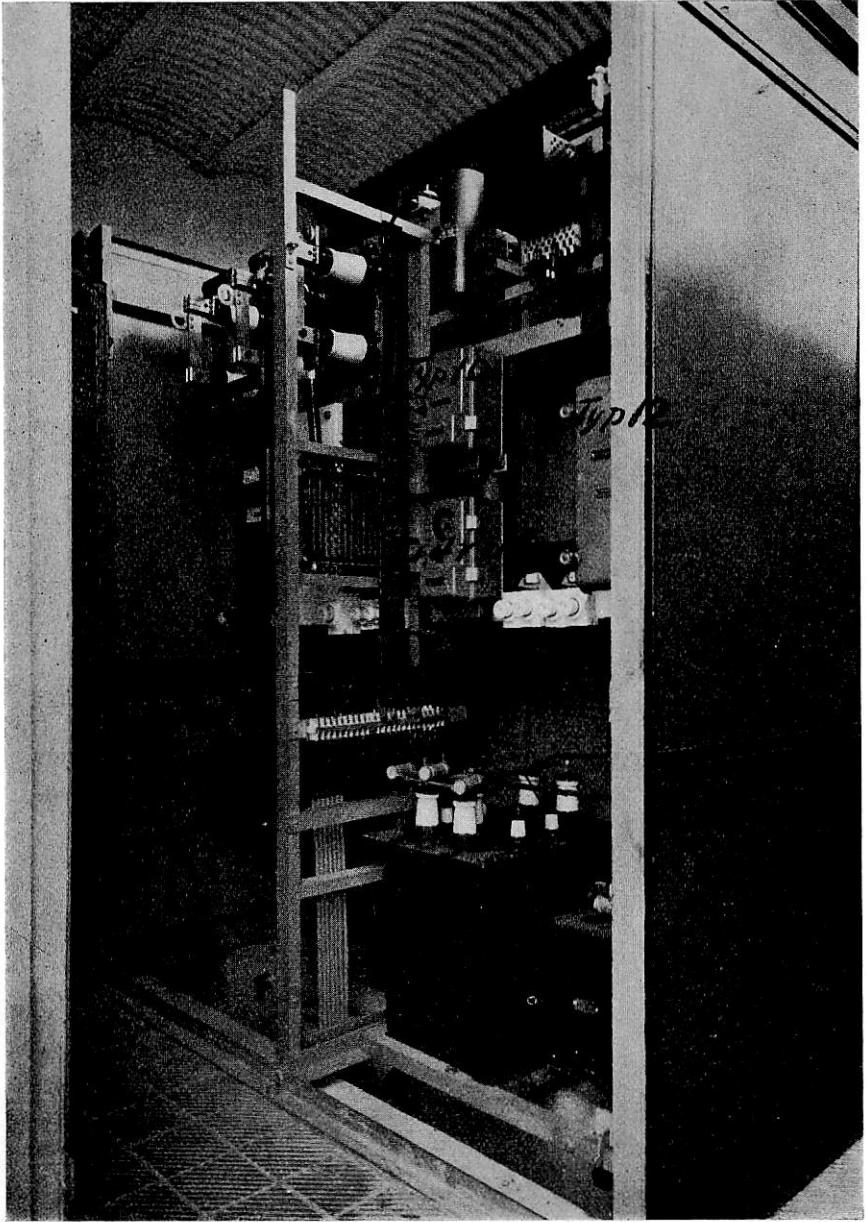


Fig. 21.

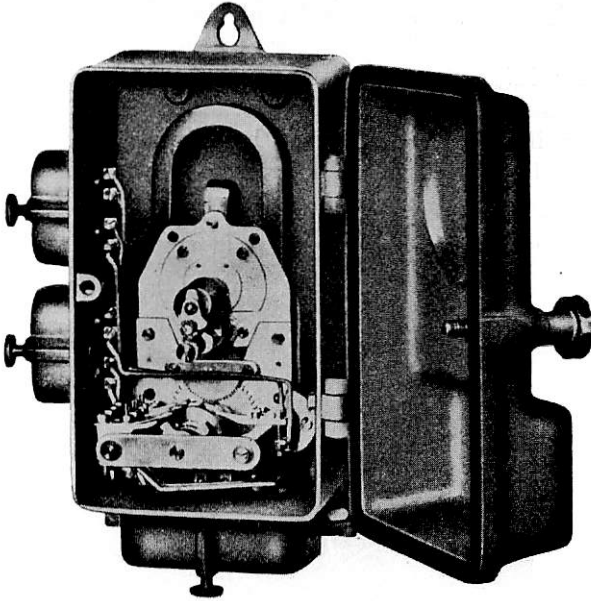


Fig. 22.

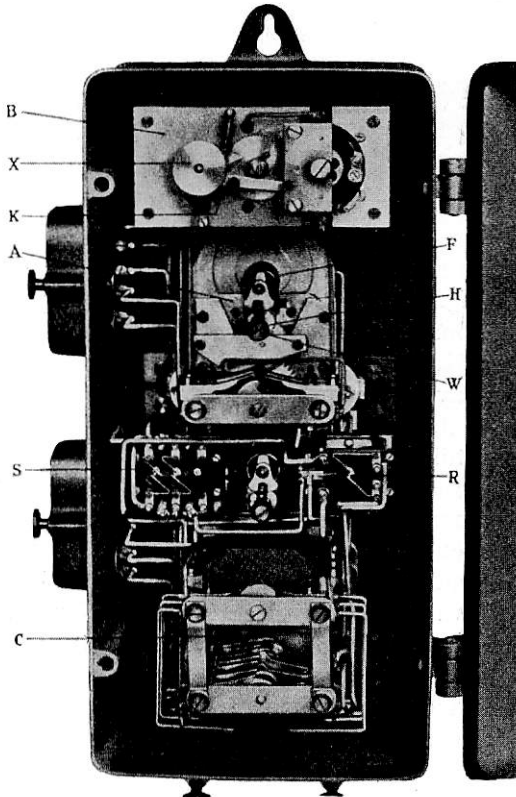


Fig. 23.

lingsapparaten, typ 10, med uppgift att in- och urkoppla maximalströmbrytaren samt att likaledes efter en tillfällig kortslutning på ledningsnätet åter inkoppla likriktareanläggningen. Den apparat, som sitter strax ovanför de fyra säkerhetsknapparna till vänster, är tidreläet, som har till uppgift att på vissa bestämda tider in- och urkoppla likriktaren. I fältet längst till vänster synas de tvenne sektionströmbrytare, vilka uppdelar ledningsnätet, ävenså synes strax under dessa

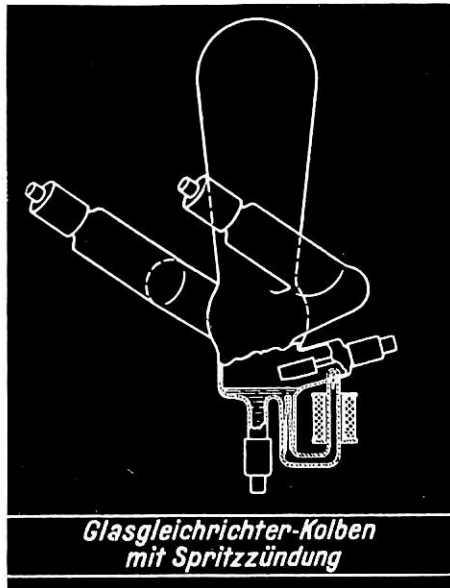


Fig. 24.

en kilowatt-timmätare, som utvisar den utgående energiförbrukningen å likströmssidan. Fig. 22 och 23 utvisa resp. kopplingsapparater, typ 10 och 12. Själva apparaturen är här fullkomligt vattentät och dammfritt innesluten i en järnkåpa. Drivanordningen för resp. apparater består huvudsakligen av ett tvåpoligt ankare, försett med en lindning, som befinner sig i ett konstant magnetfält från en permanent stål-magnet, och vilken till följd av en spiralfjäder svänger syncront med periodtalet å det växelströmsnät, vartill ankarlindningen är ansluten. Dessa ankarets svängningar överförs genom en axel till en spärranordning, så att denna kontinuerligt rör sig. På bakre sidan om nämnda axel finnes en kugghjulsanordning, som står i förbindelse med den axel, varpå själva kopplingsvalsen sitter. Strömförbrukningen är obetydlig och utgör exempelvis för apparat typ 10 endast ca 5 Watt, under det apparaten är i verksamhet. Som synes är automatiken för en helautomatisk kvicksilverlikriktareanläggning av järn ganska vidlyftig och blir härigenom kostnaden icke obetydlig. Kostnaden utgör

sålunda härför omkring 20 à 25 % av kostnaden för hela anläggningen. Vid likriktareanläggningar av glas blir själva automatiken betydligt enklare, vilket med tydlighet framgår av kopplingsschemat enligt fig. 11. Själva tändningen av ljusbågen, som utgör förutsättningen för att likriktaren skall träda i funktion, sker vid denna antingen genom en automatisk vickning på själva cylindern eller medelst den anordning, som framgår av fig. 24, där man medelst en elektromagnet genom en elektrisk strömimpuls åstadkommer, att en kvicksilverstråle sprutar upp mot hjälpanoden och tänder den.

Avslutning.

Av det sagda framgår att man numera löst frågan angående krafttillförselns automatisering vid spårvägs- och järnvägsdrift, även om frågan angående huru långt denna automatisering i varje särskilt fall bör drivas måste ses mot bakgrunden av de driftförhållanden, som förefinnas vid varje särskild bana, såsom antalet omformarestationer, som skall upprättas, möjlighet till kraftreserv m. m. Om man skall våga förutspå något angående utvecklingen inom den elektriska spårvägsdriften tror jag, att man med fog kan säga, att denna utveckling i mycket kommer att basera sig just på automatstationernas införande vid kraftdistributionen, och jag tänker då särskilt på de helautomatiska kvicksilverlikriktarna. Den elektriska spårvägs- och järnvägsdriften har sin givna plats, där det blir fråga om masstransport. De stora stamlinjerna för gods- och persontransport samt snabbförbindelserna från förorterna till städernas centra komma att bibehållas och utvecklas som elektriska banor.

Det råder inom tekniken, under vissa perioder av skenbart stillastående, en viss tendens att växla in på nya spår, som icke alltid äro ekonomiskt berättigade. Man kastar bort de gamla leksakerna och skaffar sig nya i förhoppning om att framträda som en ny Fågel Fenix eller för att följa de tekniska modeväxlingarna. De helautomatiska stationerna äro icke resultatet av en dylik modenyck, utan hava framsprungit genom mångårigt systematiskt arbete med mål att ekonomisera den elektriska spårvägs- och bandriften.