

STRÖMÅTERVINNING.

Föredrag av maskiningenjör *E. Engdahl*,
Stockholms spårvägar.

Med strömåtervinning menas här tillvaratagandet av den möjlighet som finnes att till nyttigt arbete använda en större eller mindre del av den elektriska energi, vilken vid bromsning av en elektrisk motorvagn i vanliga fall förintas i förkopplingsmotstånden i vagnen, eller med andra ord, strömmen utskickas i kontaktledningsnätet och användes där till drivande av andra vagnar. Härigenom ernås naturligtvis en minskad energiförbrukning från kraftstationen, som förser kontaktledningsnätet med ström. Huru stor denna besparing blir är svårt att i förväg bestämma, då detta bland annat beror på terrängförhållandena på respektive platser och i huru stor utsträckning den elektriska bromsen användes. Ja, många gånger kan frågan vara, om det överhuvud taget alls lönar sig att införa strömåtervinning. Ett villkor därför är nämligen, att terrängen är mycket kuperad, d. v. s. att å spårvägsnätet finnas många lutningar av betydlig längd, där således bromsning av vagnarna kan ske under längre tider, utan att såsom vid en hållplats bromsverkan endast har praktiskt taget momentan varaktighet. När terrängen är kuperad kan nämligen under bromsning så mycket ström utskickas i kontaktledningsnätet, att den kan hava betydelse i förhållande till den för vagnarnas drift erforderliga strömförbrukningen.

Som bekant verka shuntmaskiner, som äro anslutna till ett ledningsnät med konstant spänning, som generator, om de drivas med mekanisk kraft, men förbruka ström ur nätet, d. v. s. gå som motorer, om deras rotation på något sätt hämmas eller bromsas. Det behöves endast en ganska obetydlig ändring av varvantalet i den ena eller den andra riktningen för att åvägabringa denna växlande strömriktning. Härav framgår utan vidare att strömåtervinning skall vara möjlig under bromsning, då motorerna drivas av vagnens levande kraft. Nu passa visserligen shuntmotorer ganska dåligt för bandrift, varför man, då i regel seriemotorer användas, måste begagna speciella kopplingar för att något resultat i strömåtervinningshänseende över huvud taget skall vara möjligt.

Det huvudsakligaste villkoret, som varje system för elektrisk bromsning måste uppfylla, är stabilitet, d. v. s. vid ökad hastighet hos vagnen måste bromsningen automatiskt även bliva starkare. Detta villkor upp-

fylles utan vidare av seriemotorn vid kortslutningsbromsning. Om däremot strömåtervinning skall användas, måste motorerna kopplas så, att de vid bromsning arbeta såsom shuntgeneratorer.

Som andra villkor måste uppställas den fordran, att de som generatorer arbetande motorerna måste belastas så lika som möjligt.

Utom dessa grundvillkor måste även hänsyn tagas till följande:

Bromsen måste verka vid såväl små som stora hastigheter.

Den elektriska verkningsgraden vid strömåtervinning måste vara så stor som möjligt.

Bromskopplingen måste äga elasticitet, d. v. s. vid spänningsändringar i nätet få inga stora ändringar i strömstyrkan och inga ryck uppstå.

Priset för de apparater som erfordras för strömåtervinningen bör vara så lågt som möjligt.

Övergången från den ena bromskontakten till den andra bör försiggå utan stötar, varför kontrollern bör hava så många bromslägen som möjligt.

De förekommande systemen för strömåtervinning kunna inrangeras under följande tre huvudgrupper:

- I. Separat magnetisering medelst generator eller batteri.
- II. Differentialmagnetisering.
- III. Självmagnetisering.

Nu undersöka vi första fallet eller

System med separat magnetisering.

Ett otal konstruktioner med denna idé hava sett dagen, men skola vi nu inskränka oss till de viktigaste av dem.

Vid koppling enligt fig. 1 sker magnetiseringen av huvudmotorerna genom en motorgenerator, vars ström passerar genom en del av motorernas fältlindningar. Dessa måste således därför förses med extra uttag. För att förminska uppkomsten av alltför stora spänningsvariationer

passerar bromsströmmen genom en del av fältlindningen och motverkar motorgeneratorns inflytande. En nackdel hos detta system är den tvådelade fältlindningen.

En förbättrad koppling synes å fig. 2. Här är den anordningen vidtagen att summan av matar-maskinens ström och bromsströmmen från varje motor ledes genom ett reglerbart, induktionsfritt motstånd, R_1-R_2 . Ma-

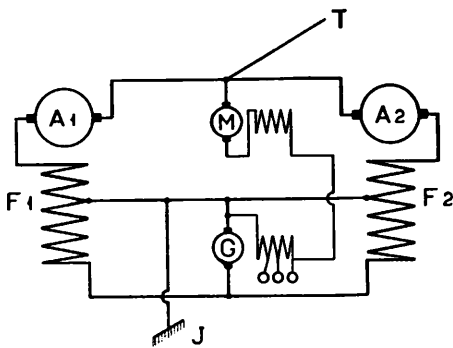


Fig. 1

tarmaskinens spänning minskas därvid med spänningsfallet i motståndet. Sjunker nu t. ex. linjespänningen eller växer plötsligt bromsströmmen av någon orsak, så växer samtidigt spänningsfallet i motståndet, varigenom magnetiseringsspänningen å huvudfältet sjunker. Denna koppling har den fördelen, att den kan oförändrad även användas vid körning. Motorerna arbeta därvid som compoundmaskiner eller, om strömbrytarna S_1 — S_2 öppnas, som seriemaskiner med en liten tillsatsspänning motsvarande spänningen hos mataremaskinen. Detta har dock den nackdelen, att mataremaskinaggregatet måste dimensioneras rikligt, vilket naturligtvis har ganska avsevärda kostnader för det samma till följd.

En variation av denna koppling synes å fig. 3. Här äro de variabla motstånden R_1 — R_2 ersatta med fasta sådana och regleringen sker genom förändring av hastigheten hos mataremaskinen genom fältreglering av motorn hos detta aggregat.

Alla dessa kopplingar äro dock bundna av en viss begränsad hastighet. Är denna uppnådd börjar strömätervinningen, när motorspänningen är lika med eller överstiger nätspänningen. Den högsta hastigheten är bestämd av driftsförhållandena på linjerna och minimihastigheten bestämmes av mätningsförhållandena hos motorerna. Kan med mättat fält vid en bestämd hastighet den inducerade spänningen ej överstiga nätspänningen, är strömätervinning ej möjlig att erhålla. Som moderna banmotorer i allmänhet vid timbelastning arbeta nära mätningsgränsen, är det i regel ej möjligt att erhålla strömätervinning vid hastigheter väsentligt understigande den mot entimmesbelastning svarande hastigheten.

Alla hittills omnämnda kopplingssystem lida av den nackdelen att särskild mataremaskin erfordras, vilket naturligtvis fördyrar vagnsutröstningarna avsevärt.

I det följande skall visas kopplingar, där man kan reda sig utan dessa mataremaskiner. Vi komma därvid först till den förut omnämnda principen:

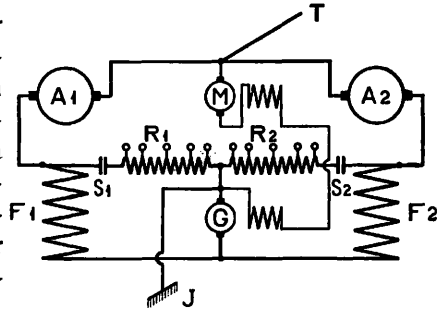


Fig. 2.

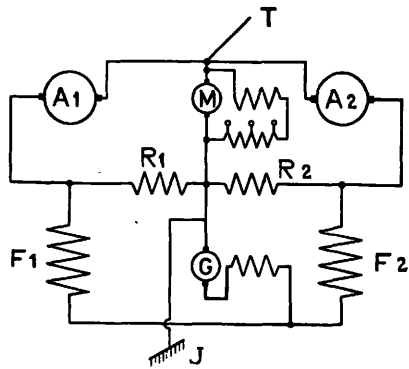


Fig. 3.

System med differentiamagnetisering.

Denna princip passar ej för vagnar med två motorer utan erfordrar minst fyra motorer per vagn. Fältmagnetiseringen erhålles här genom

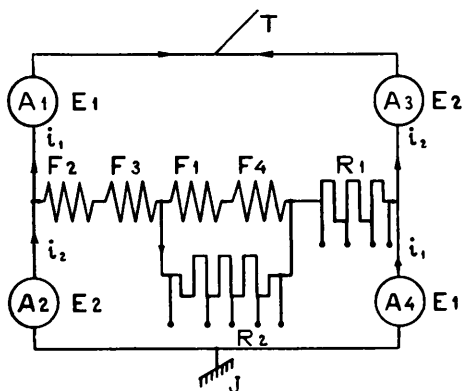


Fig. 4.

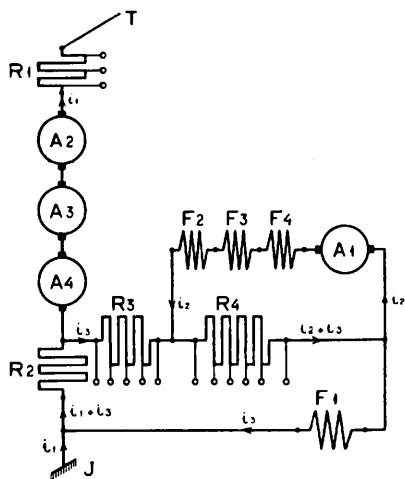


Fig. 5.

skillnaden i ankarströmstyrkorna i de olika motorgrupperna. Den största nackdelen hos denna koppling är dock, att de olika motorerna äro olika belastade, vilket ju lätt kan vålla svårigheter beträffande slirning av enstaka axlar och lätt kan vålla otillåten uppvärmning av enstaka motorer. Hur denna anordning är utförd framgår av fig. 4.

En annan koppling är den av General Electric Company angivna, vilken synes av fig. 5. Här matas tre motorer av den fjärde, d. v. s. de tre motorerna hava separat magnetisering, varför bromsningen är stabil. En höjning av bromsverkan uppkommer genom successiv urkoppling av motstånd R_3 och R_4 . En urkoppling av dessa motstånd ökar nämligen strömstyrkan i_3 , d. v. s. ökar spänningen hos motor 1. Därigenom växer även magnetiseringsströmmen för de tre övriga motorerna samt således även bromsverkan. För att minska strömrusningen vid inkoppling av kontrollerveven på broms måste ett motstånd R_1 inkopplas. Detta kan sedermera vid avtagande hastighet hos vagnen urkopplas.

Även denna koppling lider av det felet, att motorerna vid bromsning ansträngas i olika grad med ty åtföljande risk för slirning av enstaka hjulaxlar, varigenom således vagnens hela vikt ej kan utnyttjas vid bromsning.

Vi övergå nu till det tredje systemet för bromskoppling för strömåtervinning eller:

System med självmagnetisering.

Ett sådant system, där dessutom alla motorerna belastas lika och som passar lika bra för vagnar med två som med fyra eller flera

motorer, är utarbetat av A. E. G. Principen för detta system använt för två motorer synes av fig. 6. Denna koppling förenar bromsning med strömåtervinning och vanlig kortslutningsbromsning. Övergång från det ena till det andra systemet sker fullt automatiskt vid kontrollervevens vridning utan något som helst åtgörande från förarens sida. De båda ankarna äro vid bromsning kopplade i serie. För den i dem inducerade bromsströmmen kunna två vägar förekomma, en kortslutningsbromsströmkrets och en förbindelse till nätet. I kortslutningsbromsströmkretsen ligga de seriekopplade båda fältlindningarna i serie med de genom kontrollern reglerbara start- och bromsmotstånd. Den fria ej jordförbundna ankarpolen är förbunden med kontaktledningen medelst en automatiskt verkande kopplingsapparat, bestående av en nollspänningsströmbrytare, en elektriskt manövrerad strömbrytare och en del smärre motstånd. Genom densamma åstadkommes att vid bromsning förbindelse med nätet åvägabringas i det ögonblick, då ankarspänningen något överstiger nätspänningen. Härvid uppkommer strömåtervinning. När vagnens hastighet nedgått så mycket, att den utgående strömmen blir noll, brytes automatiskt förbindelsen med nätet och finnes därefter endast kortslutningsbromsning. In- och urkoppling av nätet sker utan att några strömstötter äro märkbara.

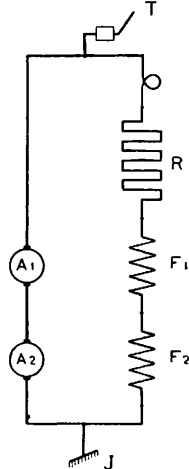


Fig. 6.

Då vid pågående strömåtervinning motorernas fältlindningar äro parallellkopplade med ankarna, är som förut nämnts bromsningen stabil. Systemet medger en god verkningsgrad vid relativt hög hastighet, tillåter en bromsning av vagnen till stillastående och har den mycket stora fördelen att möjliggöra elektrisk bromsning till och med vid strömlös kontaktledning. Beträffande finreglering är dock denna koppling underlägsen anordning med separat magnetisering.

Huru kopplingen är utförd vid vagnar med fyra motorer framgår av fig. 7. Denna av A. E. G. utarbetade strömåtervinningsmetod lider dock av ett mycket stort fel. Om ett avbrott skulle uppkomma på något ställe inom bromsströmkretsen, upphör all bromsverkan. Denna nackdel har gjort, att vid

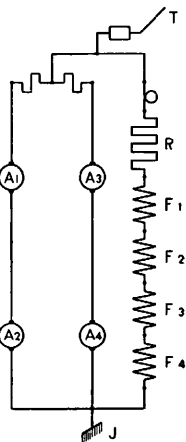


Fig. 7.

Stockholms Spårvägar betänkligheter tidigare hysts att använda strömåtervinning i Stockholm, där terrängen annars är sådan, att den självfallet skulle inbjuda till försök i detta hänseende. Men sedan vid Stockholms Spårvägar utarbetats en modifikation av dessa kopplingsschema, vilken praktiskt taget omöjliggör bromsens försättande ur funktion,

hava försök gjorts med denna nya koppling, som visat sig fungera tillfredsställande, och har vid dessa försök den återvunna energien varit av den storleksordningen att med säkerhet vid införande av strömåter-

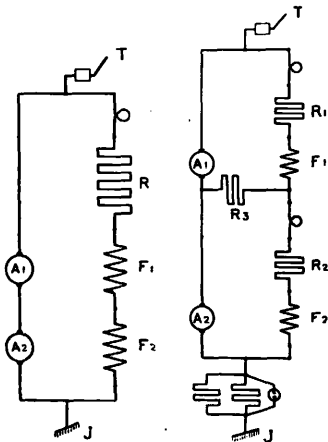


Fig. 8.

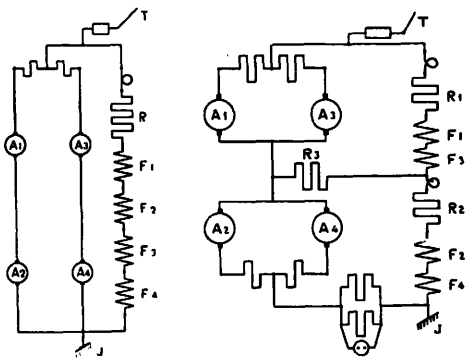


Fig. 9.

vinning på alla vagnar en besparing av elektrisk energi av i medeltal 10 % bör kunna påräknas.

Huru dessa modifierade kopplingar äro utförda framgår av fig. 8 och 9. Vid dessa kopplingar hava vi i motsats mot A. E. G. bibehållit släpvnagsbromsningen, då vi anse detta viktigare än någon eller några procent strömåtervinning. Anordningen är sådan, att vid uppkomman-

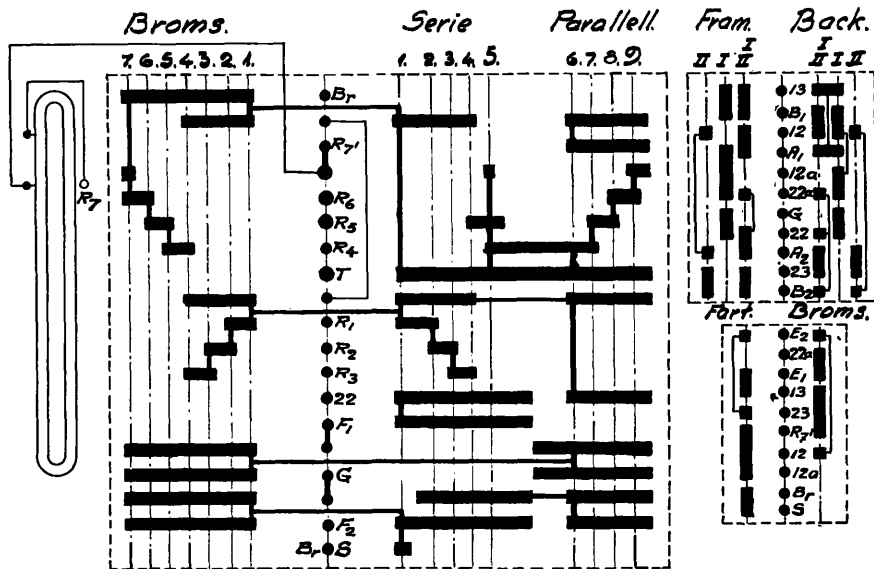


Fig. 10.

de fel någonstades inom vagnen alltid minst en axel i tvåaxlig motorvagn och minst två axlar vid fyraaxlig motorvagn bliva bromsade. Då dessutom dubbla motståndssatser finnas samt på de elektriska inspektörernas begäran en extra anordning är vidtagen, som vid eventuell fel å den normala återvinningsautomaten genast utlöser vagnens

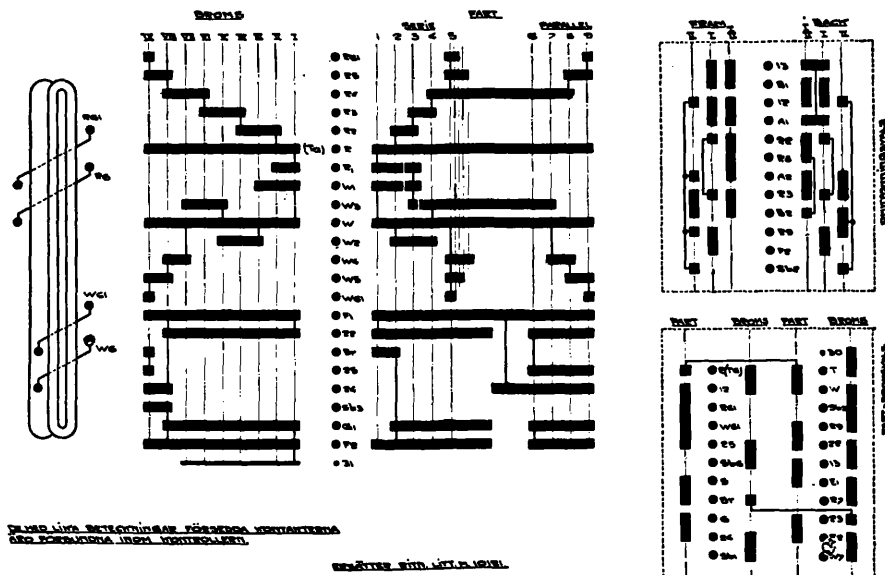


Fig. 11.

huvudautomat, samt då hela den för strömåtervinning enligt detta system behövlige apparatutrustningen erfordrar ringa plats samt kan erhållas för relativt billigt pris, förefaller det som om anordningen ifråga skulle vara den bästa tänkbara, åtminstone för Stockholms vidkommande.

Å ett par följande fig. vill jag nu till sist visa kopplingschemat för en normal spårvagnskontroller för tvåaxlig vagn och för en kontroller anordnad för strömåtervinning, fig. 10 och 11. Som synes äro kontrollerna i princip lika, men erfordras för strömåtervinning betydligt flera kontakter, för vilkas anbringande svårigheter finnas att skaffa erforderligt utrymme inom samma ytterdimensioner hos kontrollerna, men hava vi genom lämplig koppling lyckats därmed utan att kontrollernas driftsäkerhet nedsättes.

Sammanfattning av civilingenjör Henrik Tisells anförande efter maskiningenjör E. Engdahls föredrag om »Strömåtervinning».

Ingenjör Engdahl har i sitt föredrag lämnat en intressant och ingående redogörelse för principen av strömåtervinning vid spårvägar samt även framlagt uppgifter å en del resultat vid företagna provfärder, som erhållits med en spårvagn, vilken utrustats med anordningar för sådan strömåtervinning. De erhållna resultaten 5 å 10 — ja, ända upp till 20 % — måste givetvis anses vara av största ekonomiska betydelse för en spårvägsförvaltning och giva anledning till att frågan om strömåtervinning blir föremål för fortsatta undersökningar, så att ett även i avseende på driftsäkerheten tillförlitligt system måtte erhållas. Jag tillhör nämligen den kategori av personer, som har att tillse, att sådana elektriska anordningar icke införas vid Stockholms spårvägar, vilka kunna äventyra såväl spårvägs- som övriga gatutrafikanter säkerhet till liv och lem, och är det med anledning härav, som jag på herr ordförandens uppmaning gör ett yttrande. Redan i våras blev jag satt i tillfälle att deltaga i en av provfärderna, vilka lämnade ett ur strömåtervinningssynpunkt mycket vackert resultat, men lyckades jag dock samtidigt framkonstruera ett enkelt fel i anordningen — ett fel, som i normal trafik lätt kan tänkas uppstå — vilket hade till följd, att spårvagnen, i stället för att inbromsas, satte fart och fortsatte utan vidare med full ström uppför en längre backe med kontrollern inställd på sista bromskontakten! Vid en för några dagar sedan utförd ny provfärd var dock denna olägenhet avhjälpd och de av ingenjör Engdahl omnämnda anordningarna vidtagna. Dessa anordningar kunna emellertid fördröja bromsverkan under en tid av en halv sekund. Följderna av detta måste sättas i samband med den för spårvägen tillåtna hastigheten, vilken fråga intimt sammanhänger med de anordningar, som erfordras beträffande bromssystemet, så att allmänhetens berättigade krav på betryggande säkerhet icke eftersätts. Går t. ex. en spårvagn med en hastighet av 25 km. pr tim., vilket ofta förekommer, d. v. s. c:a 7 m. i sekunden, skulle alltså den av ingenjör Engdahl angivna tidsfördröjningen av $\frac{1}{2}$ sekund, som kan inträffa i ett uppehåll av bromsverkan, betyda 3 å 4 m., vilken sträcka, när olyckan är framme, säkerligen är för lång. En ytterligare förbättring av strömåtervinningssystemet kan därför vara önskvärd, men böra pretentionerna, som sagt, på detsamma rätta sig efter den på ort och ställe tillåtna maximihastigheten för spårvagnstågen.