

# UNDERSÖKNINGAR

RÖRANDE

# SVAGSTRÖMSSTÖRNINGAR

VID MED ENFASSTRÖM DRIVNA  
ELEKTRISKA BANOR

---

## BERÄTTELSE

AVGIVEN TILL KUNGL. JÄRNVÄGSSTYRELSEN AV SÄRSKILT  
FÖR ÄNDAMÅLET UTSEDDA KOMMITTERADE UNDER  
MEDVERKAN AV FLERE FACKMÄN



STOCKHOLM 1919  
A.-B. SVENSKA TEKNOLOGFÖRENINGENS FÖRLAG



*TILL*

*KUNGL. JÄRNVÄGSSTYRELSEN.*

Enligt protokoll den 13 december 1915 har Järnvägsstyrelsen i samråd med Telegrafstyrelsen beslutat uppdraga åt särskilda kommitterade att utarbeta förslag till de åtgärder, vilka vid elektrifiering av bandelen Kiruna—Svartön — enligt enfasssystemet — borde vidtagas, dels beträffande anordningarna för den elektriska driften och dels beträffande svagströmsledningarna för att de störningar i telefon- och telegraftrafiken, vilka uppträda vid dylika banor, i möjligaste mån skulle kunna undvikas. Till medlemmar av denna kommitté utsågos undertecknade.

Under arbetets gång har kommittén i skrivelse den 28 sept. 1916 och den 27 juni 1918 till Styrelsen avgivit preliminära utlåtanden.

Rörande gången av kommitténs arbeten må i korthet anföras följande. Kommittén har först och främst ingående studerat de elektriska anordningarna för bandriften å linjen Kiruna—Riksgränsen ävensom de vid denna bandel befintliga Statens järnvägar och Telegrafverket tillhöriga ledningarna och apparaterna för telegraf och telefon. Vidare har kommittén

under ledning av undertecknad Pleijel tagit noggrann kännedom om de anordningar för telegraf- och telefontjänst, vilka i allmänhet komma till användning inom telegrafverkets anläggningar.

Sedan kommittén dessutom tagit del av de erfarenheter, som erhållits med avseende på svagströmsstörningarna vid driften på bandelen Kiruna—Riksgränsen och i samband därmed genomgått de uttalanden i hithörande frågor, som förelågo i den utlänska facklitteraturen, fann sig kommittén efter diskussion av det föreliggande materialet nödsakad låta anställa en del direkta mätningar till ernående av en fullständigare kännedom om störningsfenomenens natur. Dylika mätningar utfördes efter av kommittén granskade program genom elektrotekniska byråns\*) försorg.

Samtidigt härmed igångsatte kommittén för att ge erforderlig stadga åt mätningarna och för att vinna en generellare tillämplighet åt mätningresultaten teoretiska undersökningar över ledningars ömsesidiga inverkan på varandra i olika avseenden, undersökningar, som tidigare icke i tillnärmelsevis erforderlig omfattning blivit någonstades genomförda. Dessa grundläggande utredningar hava utförts av undertecknad Pleijel.

På grund av efterhand vunna resultat hava sedermera nya mätningar utförts, avseende bland annat att prova verkan av de av kommittén tilltänkta skyddsanordningarna. För ändamålet hava genom elektrotekniska byråns försorg utförts försöksanläggningar i begränsad skala. Kommittén företog i sin helhet sommaren 1916 en resa till bandelen Kiruna—Riksgränsen, varunder en serie dylika kontrollmätningar företogos i samband för övrigt med andra observationer av förhållandena på platsen.

Resultaten av de mätningar och experimentella undersökningar, som kommit till utförande såväl före kommitténs tillkomst som under dess arbete, hava jämte en beskrivning av den undersökta anläggningen sammanförts i en redogörelse, som utarbetats genom elektrotekniska byråns försorg. Den detaljerade teoretiska analysen av mätresultaten har utförts av ingenjör A. Holmgren.

Vissa ytterligare erforderliga teoretiska beräkningar hava vidare utförts dels av undertecknad Lindström, dels av professor E. Alm.

Kommittén får sålunda såsom sin berättelse överlämna efterföljande med varandra samhörande utredningar, nämligen:

1. Redogörelse för vid bandelen Kiruna—Riksgränsen utförda experimentella undersökningar rörande svagströmsstörningar och resultaten av desamma i samband med en beskrivning av anläggningen, av elektrotekniska byrån;

2. Teoretiska undersökningar rörande svagströmsstörningar vid enfassväxelströmsbanor, av prof. H. Pleijel;

3. Teoretiska undersökningar av mätningresultaten, av ingenjör A. Holmgren;

4. Teoretiska undersökningar beträffande spårtransformatorer och deras verkan, av prof. H. Pleijel, samt

\*) Med elektrotekniska byrån förstås i denna berättelse Kungl. Järnvägsstyrelsens elektrotekniska byrå.

5. Beräkningar rörande spårtransformatorer och deras konstruktion, av prof. E. Alm.

På grundval av det samlade materialet av anförda experimentella och teoretiska undersökningar finner sig kommittén kunna göra efterföljande allmänna uttalanden. Dessa avse närmast att lämna svar på den frågan, vilka åtgärder som böra vidtagas till undvikande i största möjliga mån av störningar på svagströmsledningarna vid elektrifiering av bandelen Kiruna—Svartön, vilken frågas besvarande utgjorde kommitténs uppdrag, men de gjorda slutsatserna torde på samma gång i viss mån utgöra ett svar på motsvarande fråga med avseende på en ifrågasatt allmän järnvägs elektrifiering. Kommittén vill emellertid icke underlåta att erinra, att de gångna årens kristidssvårigheter inverkat menligt på tillkomsten av de försöksanläggningar, med vilkas tillhjälp kommittén avsett att kunna verifiera riktigheten av de vunna resultaten, på sådant sätt, att transformatorer m. m. på grund av materialsvårigheter icke kunnat erhålla det utförande, som hade varit önskligt. Man måste därför vara beredd på att vid ett kommande omsättande i praktiken av de av kommittén uppdragna riktlinjerna vissa modifikationer i samband med ytterligare experimenterande sannolikt icke lär kunna undvikas. I detta sammanhang vill kommittén även i förbigående framhålla, att sagda kristidssvårigheter även vållat högst avsevärda förseningar i de beräknade tiderna för ifrågavarande försöksanläggningars färdigställande, utan vilka tidsförluster kommittén skulle kunnat på åtskilligt kortare tid fullgöra sitt uppdrag.

De åtgärder till svagströmsstörningars undvikande vid elektriska enfasbanor, vilka kommittén funnit sig böra anbefalla, kunna sammanfattas på följande sätt.

a) Svagströmsledningarna, framdragna utefter banan, böra utföras såsom dubbeltrådiga ledningar samt ägnas ett omsorgsfullt utförande, så att t. ex. deras isolation blir den bästa möjliga. De böra framföras antingen såsom luftledningar på ett avstånd av minst 100 meter från ledningarna för bandriften eller eventuellt i kabel.

Skulle särskilda terrängsvårigheter förefinnas med avseende på anläggning och underhåll av svagströmsledningarna på ett så stort avstånd från banan, synes ett nöjaktigt resultat kunna vinnas, om de förläggas på närmare, dock minst 15 meters avstånd från banan, och denna utrustas med en kontaktledningen kompensrande ledning så utförd, att densamma ständigt är i funktion, exempelvis tjänstgörande för framförandet av ström för belysning m. m. Överföringsledningarna böra härvid skruvas exempelvis vid var tjugonde kilometer.

b) Skenledningen bör utrustas med förbindningar i skenskarvarna, utförda av koppar.

c) Skenledningen bör därjämte utrustas med lämpligt dimensionerade och placerade spårtransformatorer, inkopplade i kontaktledningen.

d) Ledningssystemet för banströmmen bör utföras sektionerat med avseende på såväl kontaktledningen som skenledningen.

I detta sammanhang vill kommittén uttala, att sådana system som det

vid New York—New Havenbanan använda treledaresystemet eller det vid Löttschbergbanan använda matareledningssystemet icke synas erbjuda några fördelar ur här avhandlade synpunkter.

e) Alltför stora kortslutningsströmmar böra undvikas, och i detta syfte höra bl. a. fördelningsnätets transformatorstationer icke placeras på alltför stort inbördes avstånd, icke gärna över 30 à 40 km. (eventuellt längre vid banor med svagare trafik). Transformatorstationerna böra lämpligen hopkopplas medelst överföringsledningar för enfasig växelström.

f) Vid konstruktion av generatorer, motorer och transformatorer, som skola inkopplas till bannätet, bör den största omsorg nedläggas på undvikande av uppkomsten av övertoner (även s. k. lamelltoner).

Ett lågt grundperiodtal (såsom 15  $\infty$  och däromkring) synes — så långt undersökningar kunnat göras på denna punkt — vara till fördel ur störningssynpunkt.

---

Om nu nämnda åtgärder komma till utförande på ett sakkunnigt sätt, är det kommitténs uppfattning, att svagströmsledningarna utefter en enfasbana icke skola bli utsatta för några vare sig materialförstörande eller än mindre livsfarliga inverkningar från banströmmens sida, samt att driften av telegrafledningarna icke skall röna någon störande inverkan av bandriften; vad beträffar driften av telefonledningarna vill kommittén betona, att i den mån övertoner med högt periodtal till äventyrs icke kunna förhindras uppkomma i bannätet, ljudstörningar i telefonen icke med säkerhet kunna beräknas bli eliminerade, ehuru väl de ovan anbefallda åtgärderna med största sannolikhet böra vara ägnade att väsentligt minska risken av dylika störande ljud.

Slutligen må anmärkas, att störningar från trefasiga system, såsom iakttagits vid bandelen Kiruna—Riksgränsen, böra kunna genom kända medel bringas inom samma oskadliga gränser, som vid vanliga kraftöverföringsanläggningar visat sig utan svårighet vara möjligt.

Stockholm den 30 december 1918.

AXEL F. ENSTRÖM.

E. C. ERICSON.

CHARLES HÄSSLER.

ARVID LINDSTRÖM.

H. PLEIJEL.

*Hugo Rahmberg.*

# DEL I.

## REDOGÖRELSE FÖR VID BANDELEN KIRUNA—RIKSGRÄNSEN UTFÖRDA EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR RÖRANDE SVAGSTRÖMSSTÖRNINGAR OCH RESULTATEN AV DESAMMA I SAMBAND MED EN BESKRIVNING AV ANLÄGGNINGEN

### BESKRIVNING AV ANORDNINGARNA FÖR ELEKTRIFIERINGEN KIRUNA—RIKSGRÄNSEN.

Då det varit de vid början av den elektriska driften å bandelen Kiruna—Riksgränsen uppträdande störningarna i de längs efter densamma framdragna svagströmsledningarna, som givit närmaste anledningen till de undersökningar, för vilka här nedan redogöres, torde en kortfattad beskrivning av anläggningen, särskilt med hänsyn till anordningen av ledningarna, här vara av intresse.

Bandelen Kiruna—Riksgränsen är den nordligaste länken av det svenska järnvägsnätet. Den har tillkommit huvudsakligen för utfraktning av malmen från gruvorna vid Kiruna över Riksgränsen till den hela året runt isfria hamnen Narvik vid Norges kust. Banan öppnades för allmän trafik i slutet av år 1902. Med hänsyn till det stegrade kravet på denna bandels trafikförmåga har den under åren 1911 till 1914 ombyggt för elektrisk drift. För allmän trafik har den elektriska driften utnyttjats sedan 19 januari 1915. För elektrifieringen har använts enfasström med 15 perioders frekvens och 16,000 volts spänning för kontaktledningarna över banan. Genom val av denna strömform för driften har erhållits minsta möjliga såväl anläggnings- som driftkostnader ävensom minsta möjliga totala energiåtgång för tågdriften.

Den för driften erforderliga elektriska energien alstras i Porjus kraftverk, vilket är beläget vid Stora Luleälv. I Porjus kraftverk utnyttjas en under den gemensamma benämningen Porjusfallen känd ungefär 2 kilometer lång sträcka av forsar och fall belägna mellan två relativa lugnvatten Stora Porjusselet och Lilla Porjusselet. Det övre av dessa, Stora Porjusselet, bildade förr en omkring 5 km. lång sjö, vilken före kraftverkets tillkomst skildes från Stora Lulevatten endast av en 3,5 km. lång forssträcka, den s. k. Luleluspen med omkring 8,5 meters sammanlagd

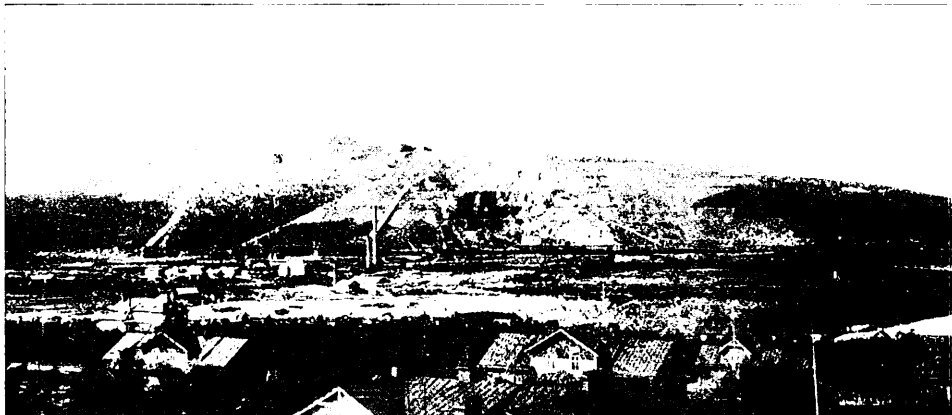


Bild 1. Kiruna malmberg.

fallhöjd. Genom dammbyggnaden vid Porjus har Stora Porjusselets vattenyta numera blivit höjd, så att även denna fallhöjd till största delen tillgodogöres för kraftverket. Den totala fallhöjden för Porjus kraftverk utgör omkring 50 meter.

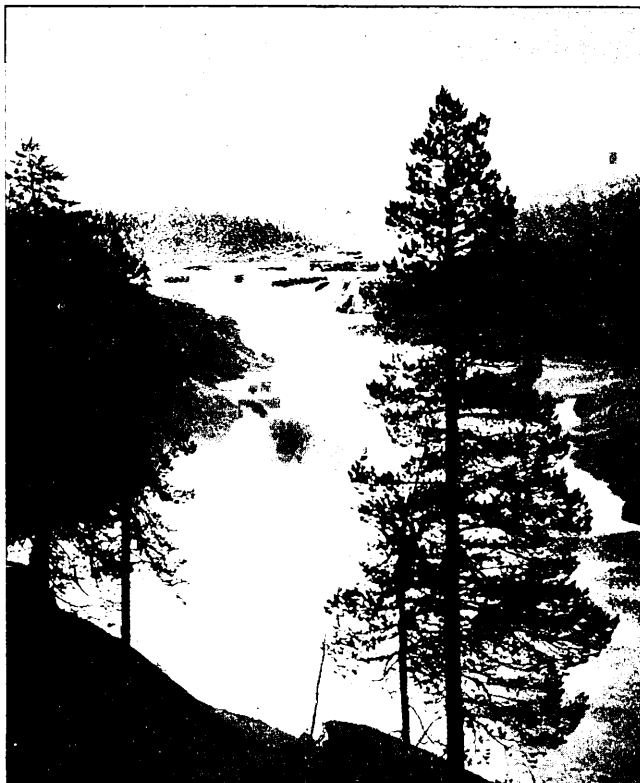


Bild 2. Porjusfallen (mellanfallen).

Kraftverkets maskinsal är utsprängd i berg och belägen omkring 50 meter under dagytan. Tilledningen och avloppet för vattnet sker genom



i berget utsprängda tunnlar. I kraftverkets maskinsal finnes maskineri för alstring av såväl trefasström som enfasström. Den förra strömarten användes dels för kraftländamål på platsen, dels överföres den under 70,000

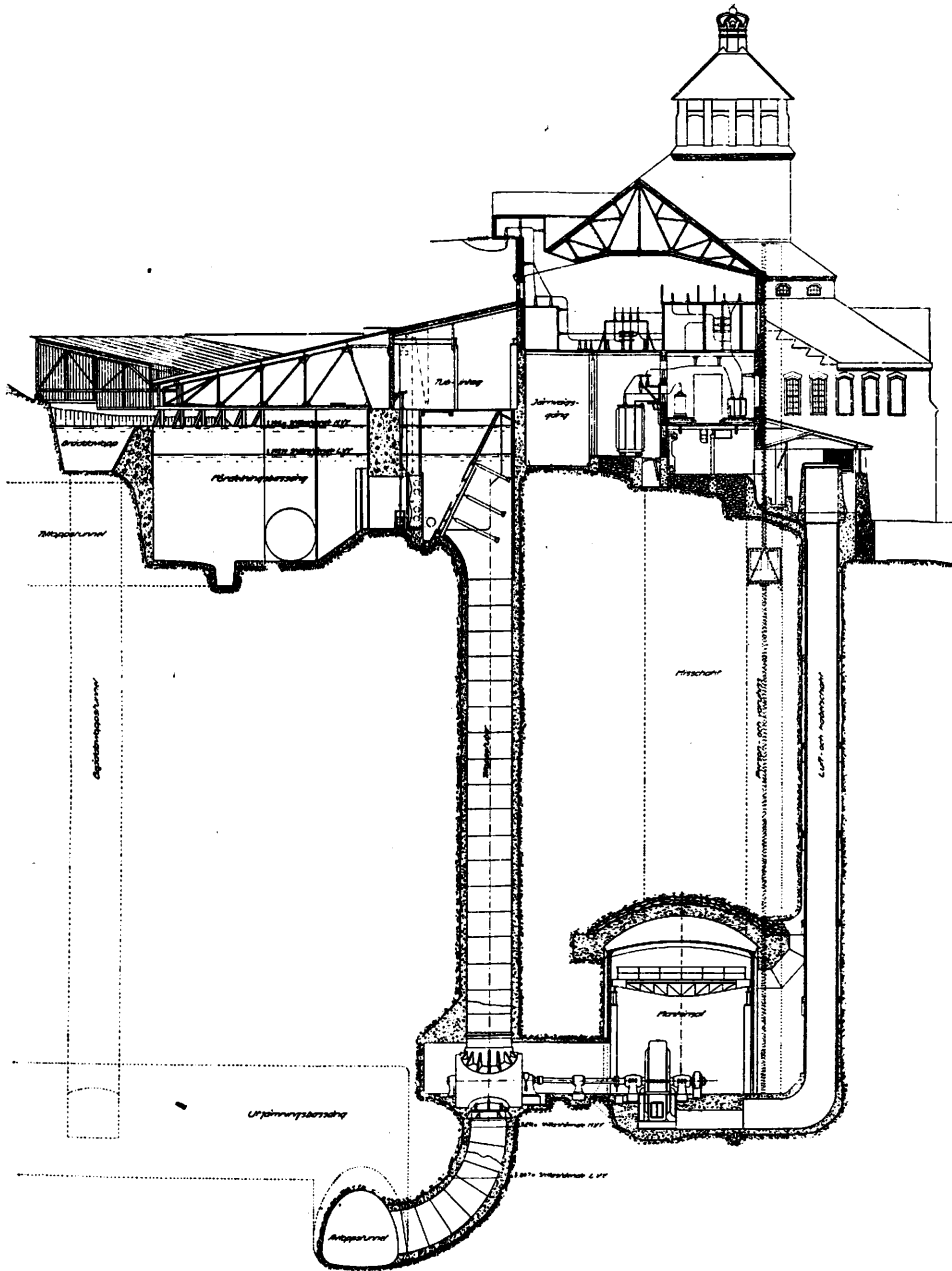


Bild 3. Sektion av Porjus maskinanläggning.

volts spänning till Kiruna och Gällivare. Enfasanläggningen användes uteslutande för den elektriska tågdriften å bandelen Kiruna—Riksgränsen. Maskinutrustningen för tågdriften utgöres av 3 enfasgeneratorer om

6,250 kilovoltampère kontinuerlig och 10,000 kilovoltampère maximal effekt, vid 4000 volt, 225 varv och 15 perioder. Två av maskinerna äro avsedda för normal drift och kopplade till var sin 12,500 hästkrafters turbin, den tredje är jämte en trefasgenerator på ungefär samma effekt kopplad till en reservturbin. De åttapoliga maskinerna äro försedda med kraftig dämpplindning i polplattorna, vilka givits en till undertryckande av övertoner i spänningskurvan lämplig form och ställning.

I det ovan jord rätt över maskinsalen uppbyggda ställverkshuset finnas för varje generator tvenne på primärsidan parallell-, på sekundärsidan serie-



Bild 4. Porjus ställverkshus.

kopplade vattenkylda transformatorer, 4,000/40,000 volt. Härigenom blir sålunda spänningen upptransformerad till 80,000 volt. Förbindelseledningen mellan transformatorerna på högspänningssidan, vilken utgör systemets nollpunkt, är jordförbunden genom ett motstånd. Inga strömbrytare äro anordnade på lågspänningssidan, varför de två transformatorerna med sin generator bilda en fast enhet, som endast kan brytas på transformatorernas högspänningssida.

Transformatorerna äro på högspänningssidan anslutna till ett dubbelt samlingssystem, varifrån utgår en ävenledes dubbel ledning. Frånskiljare äro insatta såväl mellan transformatorer och samlingsskenor som mellan dessa senare och de utgående ledningarna. Överspänningsskydd äro anbragta för ledningarna, bestående av stegvis anordnade hornåskledare med induktionsspolar. Ledningarna kunna vid uttagen hopkopplas

eller skiljas, varjämte sådana anordningar äro träffade, att korskoppling av ledningarna kan utföras, varom mera i det följande.

Läget av Porjus kraftverk i förhållande till Gällivare och bandelen Kiruna—Riksgränsen framgår av vidstående översiktsplan, bild 6. Avståndet från Porjus kraftverk till Gällivare utgör 55 kilometer och från Gällivare till Kiruna 100 kilometer. Överföringsledningarna hava emeller tid ej framförts förbi Gällivare utan lämna såsom av översiktsplanen framgår banan Porjus—Gällivare ungefär på mitten vid Kuosakåbbå och framföras därifrån utefter en för ändamålet särskilt byggd omkring 14 kilo-

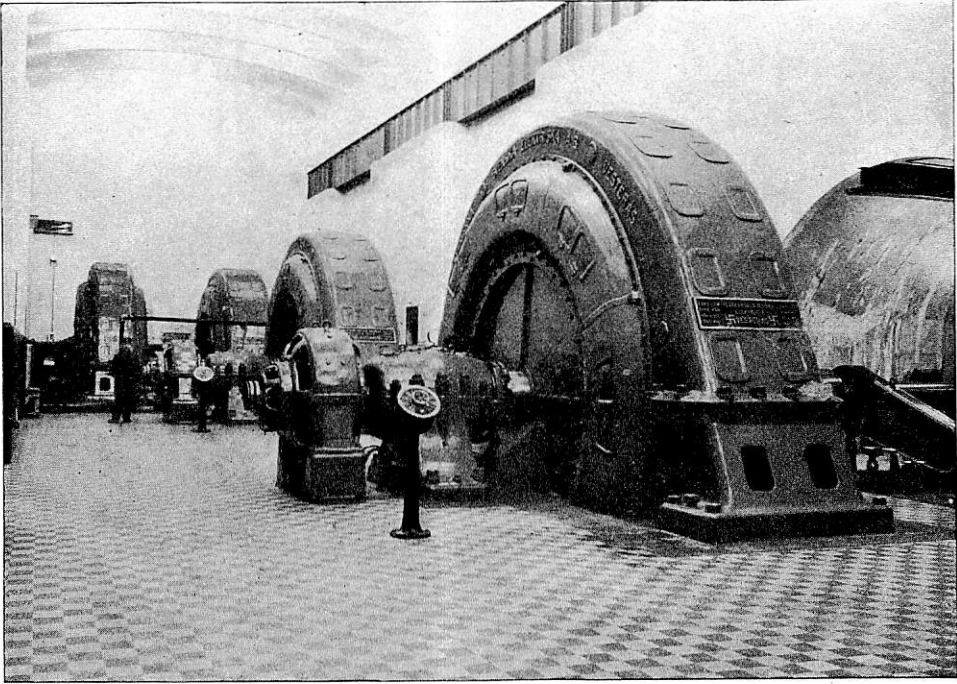


Bild 5. Porjus maskinsal.

meter lång ödemarksväg till Linaälv station å bandelen Gällivare—Kiruna. Härigenom avkortas ledningslängden från Porjus till Kiruna till omkring 120 kilometer. Från Kiruna föras överföringsledningarna vidare utefter bandelen Kiruna—Riksgränsen till Vassijaure station. För nedtransformering av spänningen från 80,000 volt till den för kontaktledningarna erforderliga spänningen 16,000 volt finnas transformatorstationer anordnade i Kiruna, Torneträsk, Abisko och Vassijaure. Transformatorstationen i Kiruna är förlagd norr om malmbangården invid där befintliga lokomotivstallar och sammanbyggd med en för reparation av elektriska lokomotiv m. m. där uppförd verkstad. I Torneträsk, Abisko och Vassijaure äro respektive transformatorstationer sammanbyggda med därvarande stationshus.

*Överföringsledningarna* utgöras av tvenne ledningssystem, vardera bestående av en till- och en återledning eller således av sammanlagt 4

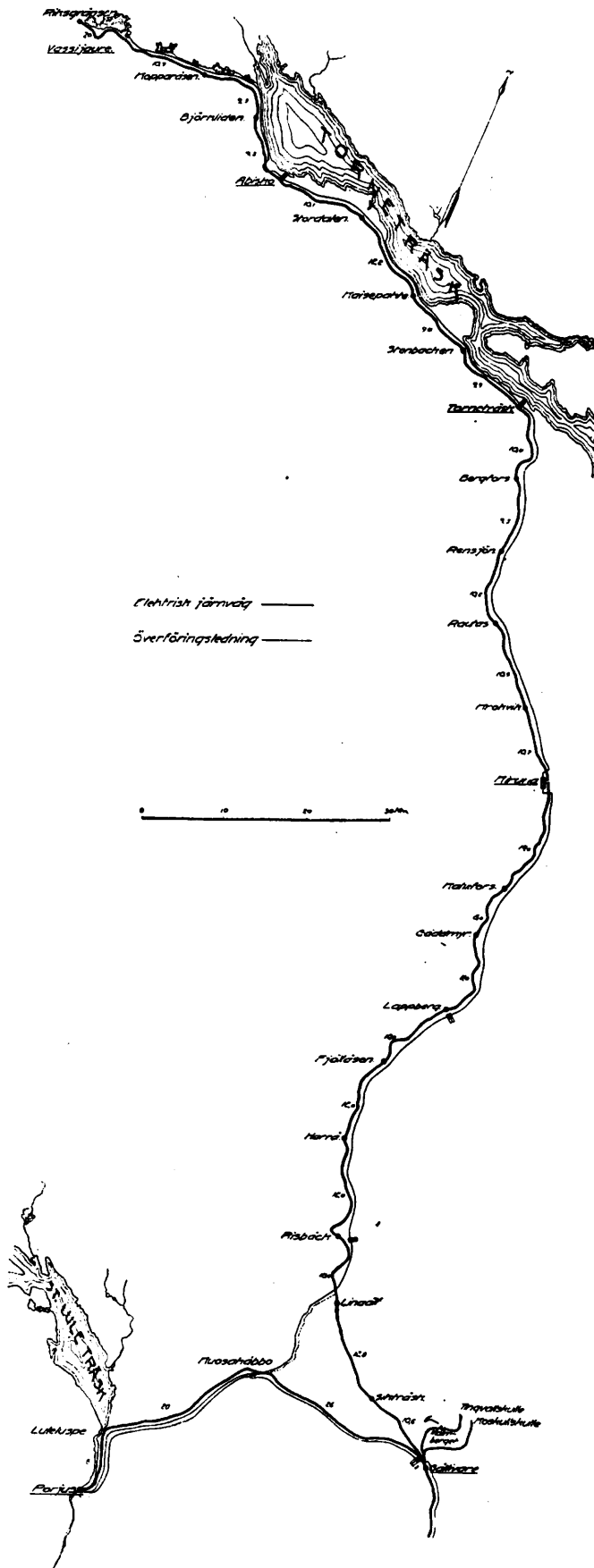


Bild 6. Översiktsplan av linjen Porjus—Riksgränsen.

kablar, vilka uppbäras av en gemensam rad av vid sidan om järnvägen och ödemarksvägen uppställda järnstolpar. Dessa ledningar äro avsedda att i normala fall tjänstgöra samtidigt. Vid fel å ena eller andra ledningen urkopplas den mindre del av densamma, å vilken felet förefinnes. För att möjliggöra detta finnas omkopplingsanordningar dels i kraftverket och dels i transformatorstationerna och dessutom äro för

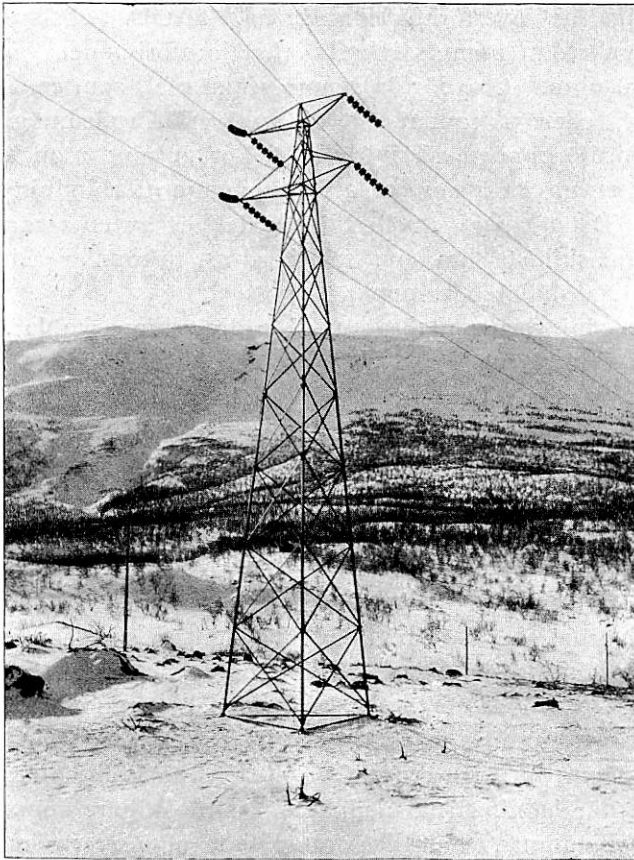


Bild 7. Överföringsledningen (kurvstolpe).

överföringsledningen Porjus—Kiruna anordnade tre omkopplingsstationer belägna i Kuosakåbbå, Risbäck och Lappberg. Kopplingschema för ledningsnätet visas av bifogade plansch 1. Anordningen av ledningarna i förhållande till banan framgår av bifogade plansch 2. Överföringsledningarnas kablar äro såsom denna plansch visar upphängda rätt över varandra, två på ena sidan om stolpen och två på den andra. Detta har till följd, att kablarna efter vad föreliggande erfarenhet visar vid rimfrostbelastningar kunna komma i kontakt med varandra. Under den tid om vintern, då rimfrost förekommer, är det därför nödvändigt att de båda över varandra hängande kablarna arbeta hopkopplade, och måste därför då det ena ledningssystemet bestå av de båda övre och det andra av de båda

undre kablarna. Sommartid är det åter med hänsyn till revisionen önskvärt, att kablarna för vardera ledningssystemet finnas på samma sida om stolpen och således två över varandra liggande kablar samtidigt kunna göras spänningslösa. För att möjliggöra detta hava särskilda omkopplare, vilka visas å schemat plansch 1, såsom redan nämnts, anordnats i kraftverket samt dessutom i omkopplings- och transformatorstationerna. Medelst dessa omkopplare åstadkommes således resp. »sommarkoppling» och »vinterkoppling» av överföringsledningarna. 80,000 volts-systemets nollpunkt är såsom redan nämnts i kraftverket jordförbunden genom ett motstånd på 8,000 ohm. Om därför genom isolatorfel, som emellertid hittills ej förekommit, eller på annat sätt en av överföringsledningarnas kablar skulle bli jordförbunden, så inträder ej kortslutning utan kommer därvid endast en ström av 5 ampère att genomgå jordförbindningsmotståndet i kraftverket. Detta anges emellertid omedelbart av en signalapparat för vederbörande maskinist, som, om så erfordras, urkopplar ledningen intill dess det felaktiga stället bortkopplats.

Överföringsledningarna utgöras av 7-trådiga kopparkablar. Arealen för vardera av de 4 kablarna utgör för sträckan Porjus—Kiruna 80 kvadratmillimeter, för Kiruna—Torneträsk 70 kvadratmillimeter, för Torneträsk—Abisko 60 kvadratmillimeter och för Abisko—Vassijaure 50 kvadratmillimeter. Avståndet mellan överföringsledningens stolpar utgör omkring 200 meter. För ledningarnas upphängning hava använts hängisolatorer anordnade i kedjor med fyra isolatorer i varje. Den normala nedhängningen för ledningarna utgör omkring 9 meter och minsta avstånd från ledning till mark 7 meter.

*Transformatorstationerna* äro till planläggningen sins emellan i allt väsentligt överensstämmande. Varje sådan station är utrustad med 3 enfas-transformatorer, vardera om normalt 1,100 och maximalt 2,700 kilovoltampère för transformering från 80,000 till 16,000 volt jämte ställverk för båda dessa spänningar. Den dubbla 80,000 volts kraftledningen passerar ett intagstorn, där ledningarna med hjälp av frånskiljare kunna omkopplas på sätt förut omnämnts. Samtliga frånskiljare manövreras med linor från en central i bottenvåningen. Överspänningsskydden i understationerna bestå liksom i kraftverket av horngap med stegvis anordnade induktions-spolar. Oljeströmbrytare äro anordnade såväl på 80,000 som på 16,000 voltssidan av transformatorerna och äro dessa strömbrytare mekaniskt förbundna i ändamål att ernå samtidig brytning på båda sidor.

16,000 volts-sidan av transformatorerna är med ena polen förbunden med spårssystemet och jord, medan den andra kan förbindas med endera eller båda sektionerna av kontaktledningen å ömse sidor om stationen.

Automatiska maximalströmbrytare finnas dels i kraftverket för såväl generatorer som utgående ledningar och dels i transformatorstationerna, en för varje transformator och en för varje utgående 16,000 volts ledning. De sistnämnda strömbrytarna arbeta utan tidrelä och verkställa, enligt vad försök visat, avbrott på omkring 0,2 sekund. För övriga automatiska strömbrytare finnas tidreläer, och äro de för transformatorerna i transformator-

stationerna inställda för 6 sekunder, de för utgående linjerna från kraftverket för 18 sekunder och de för generatorerna för 30 sekunder.

Såsom plansch 2 visar äro överföringsledningarna anordnade på ena sidan om banan och svagströmsledningarna på den andra. Svagströmsledningarnas antal och beskaffenhet för de olika här ifrågavarande bandelarna framgår av bifogade schema plansch 3. Mellan Kiruna och stationen närmast norr därom, Krokvik, har för möjliggörande av försök

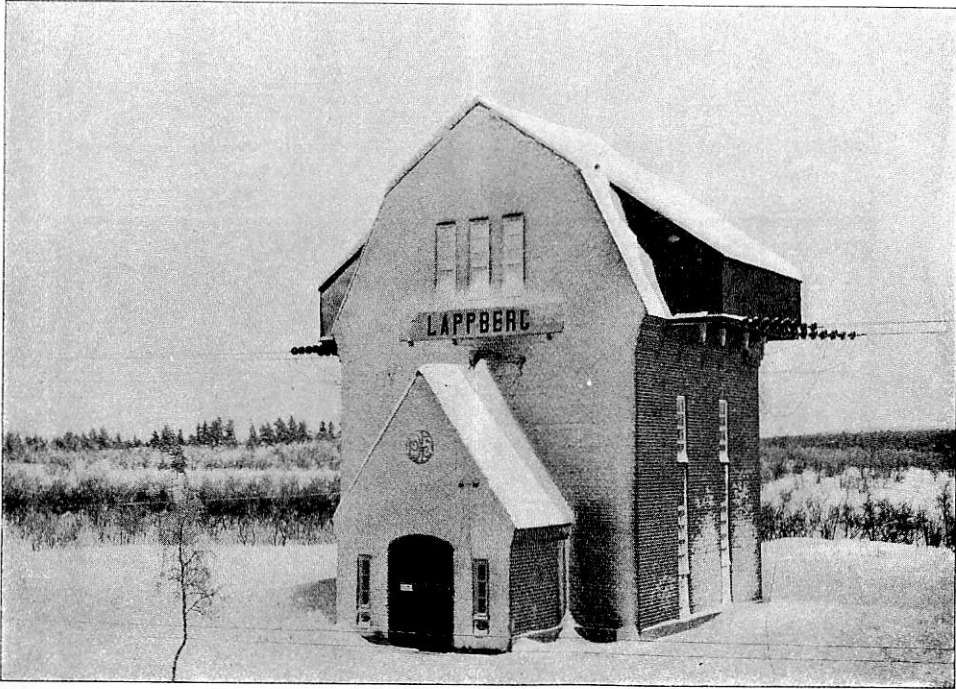


Bild 8. Omkopplingsstation.

uppsatts en entrådlig svagströmsledning, vilken framdragits på samma sida om banan som överföringsledningarna och 100 meter utanför dessa samt 125 meter från kontaktledningarna.

*Kontaktledningarna* äro enpoliga och arbeta med skenorna som återledning. Stolparna för dessa ledningar äro utförda av järn och avståndet dem emellan utgör i regel 52,5 meter. Ledningarna bestå dels av en bärlina av 7-trådlig kopparkabel med 50 kvadratmillimeters area, vilken är upphängd med 1,2 meters nedhängning, och dels av en kontakttråd av koppar med 8-formad sektion och 80 kvadratmillimeters area, vilken upphängts vid bärlinan, så att dess nedhängning blir minsta möjliga. Avståndet från underkant på kontaktledningen till rälsöverkant utgör på fri bana 5,6 meter. I tunnlar och snögallerier har kontaktledningen måst sänkas och utgör där dess höjd över rälsöverkant minst 4,65 meter. Kontaktledningarna äro uppdelade i sektioner med en längd av omkring 1,400 meter. Bärlinan och kontakttråden för varje sådan sektion äro hopkoppade och avspända tillsammans medelst en spännviktsanordning i vardera



änden av sektionen. Dessa anordningar hålla dragspänningen i kontaktledningen automatiskt konstant vid varierande temperatur. Nedhängningen för härlinan kommer därför ej att variera med temperaturen och kontakt-

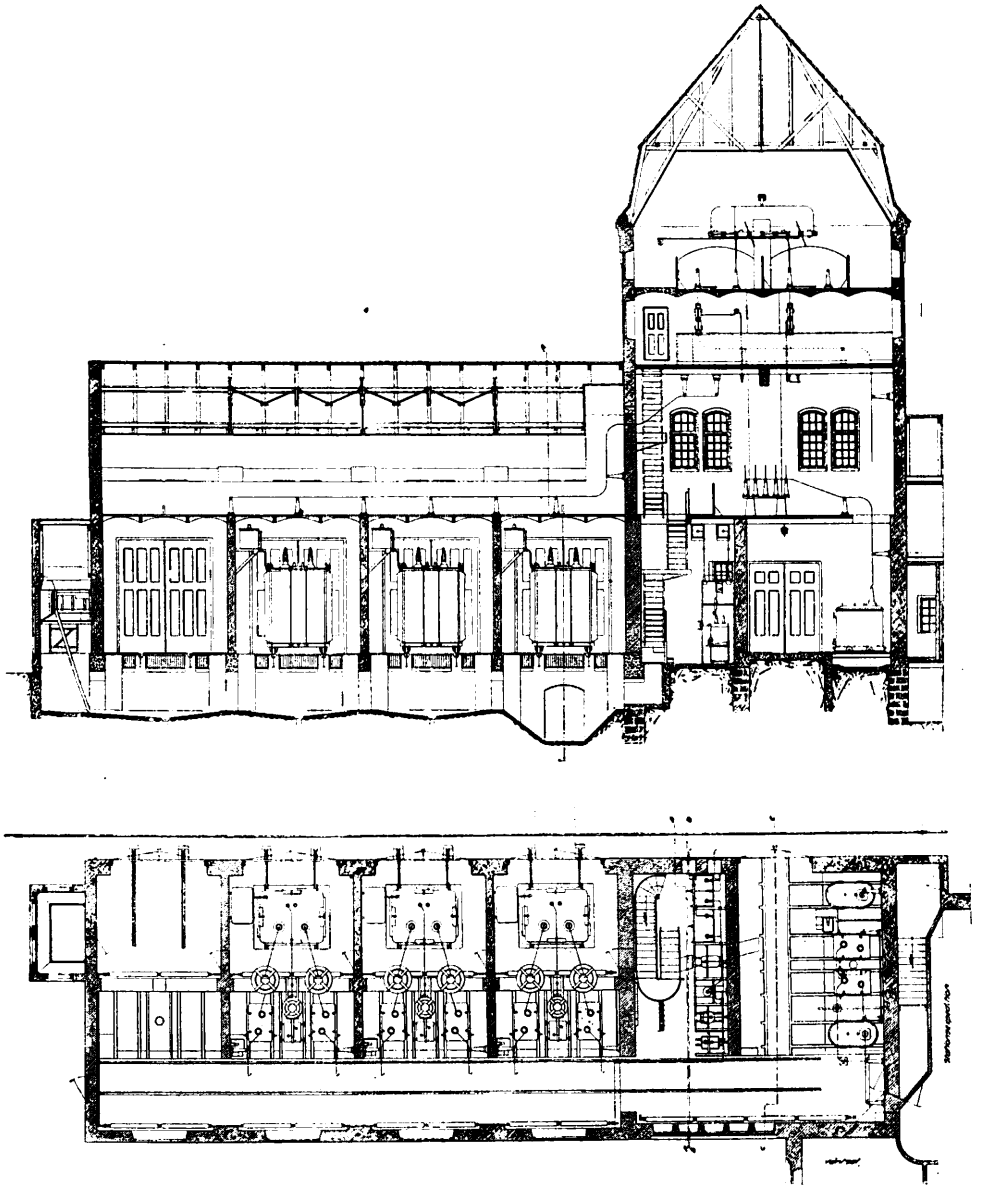


Bild 9. Sektion av transformatorstation.

tråden kommer således att alltid hänga så gott som horisontellt. Mitt på hvarje sektion finnes anbragt en våganordning, vilkens uppgift är att förmå spännvikterna att arbeta lika. Vid ändarne av varje sektion äro anordnade s. k. sektionspunkter, där de skilda kontaktledningssektionerna kunna, alltefter behov, hopkopplas eller särskiljas medelst vid sektionspunkterna anbragta linjeavskiljare. Dessa sektionspunkter äro betecknade



med Z samt nummer, och är sektionspunkten Z 1 belägen omedelbart söder om Riksgränsens station och Z 95 omedelbart norr om Kiruna bangårdar. Spåret består av räler med en vikt av 40,5 kg. per meter. Från början voro ej rälerorna försedda med kopparförbindningar vid skarvarna. Såsom av schemat framgår äro kontaktledningarna sinsemellan hopkopplade och dessutom förmedelst transformatorerna i transformatorstationerna parallellkopplade med överföringsledningarna. Till följd av denna anordning sker strömtillförseln genom kontaktledningarna till de elektriska loko-



Bild 10. Transformatorstation.

motiven på banan alltid från två håll, hvarigenom avsetts att ernå en del här nedan närmare omnämnda fördelar.

På varje station, där transformatorstation ej finnes, är uppfört ett mindre hus av trä, vilket innehåller överspänningsskydd för kontaktledningarna — hornåskledare med motstånd — samt transformatorer för stationsbelysningen.

För malm- och godstrafik äro i drift 17 lokomotiv samt för snälltågs- och persontågstrafiken 2 samt dessutom en äldre maskin för lokaltrafik.

*Malmtågslokomotiven* äro utförda så att tvenne sådana lokomotiv kunna vid en hastighet av minst 30 kilometer per timme i 10 ‰ stigning framföra en vagnvikt av 1,855 ton — 40 lastade malmvagnar — samt att totala körtiden å sträckan Kiruna—Riksgränsen vid en maximal hastighet av 60 kilometer per timme och föreskrivna stationsuppehåll ej behöver uppgå till mer än 3 timmar 20 minuter.

Lokomotiven hava emellertid visat sig äga en avsevärt större kapacitet än den beräknade, i det numera tågsammansättningen ändrats så, att *ett* dylikt lokomotiv drager tåg på 30 vagnar vid föreskrivna hastigheter.

Maskinerna, som äro av typ 1 C + C 1, äro utförda med två kortkopplade halvvar med löpaxlar. I varje halva är anbragt en motor med tillhörande transformator jämte manöverapparater. Manövreringen sker med hjälp av växelström. Huvudtransformatorn, som på högspänningsidan skyddas mot överbelastning av oljeströmbrytare med maximalutlösning är vid de äldre 13 lokomotiven på lågspänningsidan försedd med

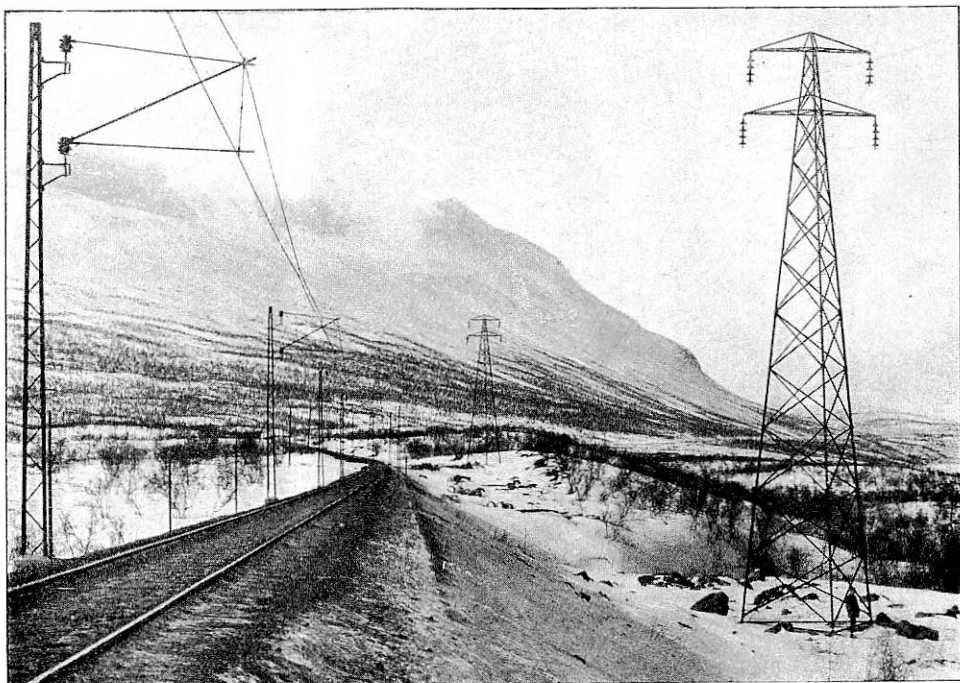


Bild 11. Kontakt och överföringsledning på fri sträcka.

20 uttag för reglering av den motorerna tillförda spänningen. Överkopplingen mellan uttagen sker med hjälp av en trebent induktionsspole, varigenom motorströmmen normalt fördelas lika på tre transformatoruttag.

Förutom till manövrering av lågspänningsströmbrytarna uttages ström från transformatorn till kompressor, ventilator för motorernas pressluftskylning samt värmeelement och belysning.

De fyra nyare lokomotiven äro utrustade med ett något förenklat manöversystem, men i övrigt i allt väsentligt lika med de äldre.

Drivmotorerna äro kompenserade seriemotorer med kommuteringsspolar och utförda för en driftspänning av i medeltal 200 volt vid en normal hastighet av 150 och en maximal hastighet av 300 varv per minut. Medelströmstyrkan är 3,000, maximala strömstyrkan 5,000 ampère. Motorerna äro 24-poliga, hava i rotorn 228 halvöppna spår med hvardera 10 ledare, anordnade i vanlig parallellindning och anslutna till en ström-

samlare med 1,140 lameller. Lindningen för kommuteringsspolarna är i shunt ansluten till en särskild lindning å huvudtransformatorn i serie med ett ohmskt motstånd avsedd att påverka kommuteringsfältets fasläge. Kompensationslindning är anordnad i spår i polytorna, 6 i varje pol, och snedställda i ändamål att förhindra uppkomsten av övertoner.

De äldre lokotivens vikt uppgår till 138 ton, de nyares till 126 ton.

*Snälltågslokomotiven* kunna med en vagnvikt av 200 ton i 10 ‰ stigning framföras med en hastighet av 50 kilometer per timme, och vid en maximal hastighet av 100 kilometer per timme samt uppehåll på stationer

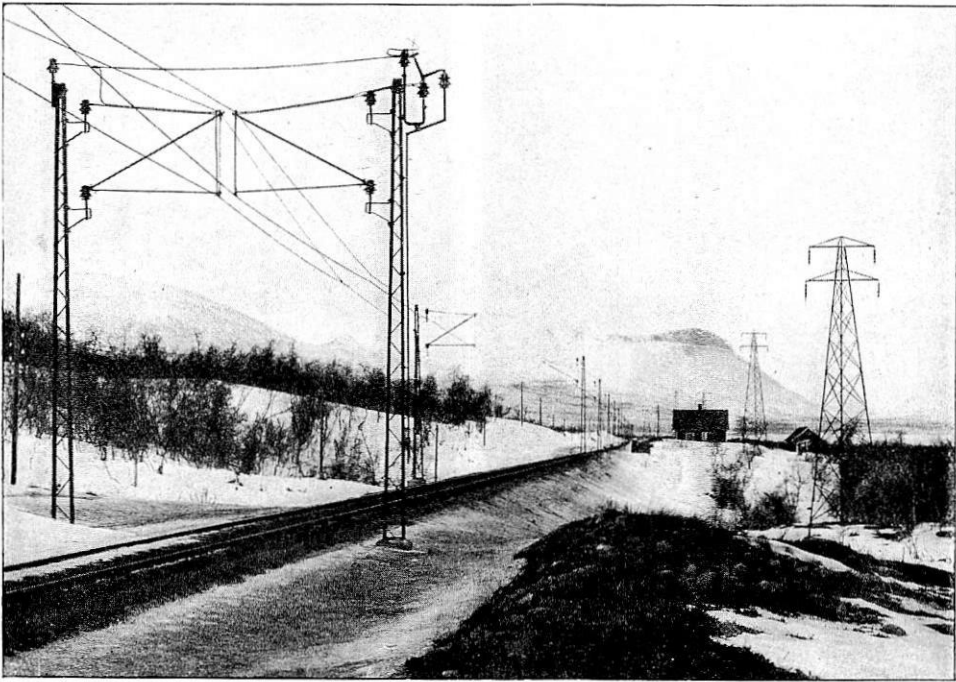


Bild 12. Sektionspunkt på kontaktledningen.

kunna dessa lokomotiv tillryggalägga sträckan Kiruna—Riksgränsen på 2 timmar 15 minuter.

Maskinerna äro av typ 2 B 2, försedda med 2 drivaxlar och tvenne löpboggier. De äro vardera utrustade med en transformator och en drivmotor. Den senare är med avseende på spårtal och dimensioner i stator- och rotorplåt med undantag för plåtlängden helt överensstämmande med malmtågslokomotivens motorer. Huvudtransformatorn är här utförd med endast 4 uttag, anslutna till en hjälptransformator med en sats pneumatiskt manövrerade tvåvägsströmbrytare enligt ett på särskilt sätt anordnat manöversystem.

Hjälputrustningen å snälltågslokomotiven är i allt väsentligt densamma som å malmtågslokomotiven, dock sker bromsningen här med vacuum i stället för tryckluft och äro i öfverensstämmelse härmed installerade 2

vacuumpumpar å varje lokomotiv, varav den ena för länsning av tågledningen, den andra för kompensering av läckningen.

Snälltågslokomotiven äro, liksom malmtågslokomotiven, försedda med anordningar för multipelkörning. Snälltågslokomotivens vikt utgör 93 ton.

*Lokaltågslokomotivet* är en äldre försöksmaskin, byggd 1909 för 25 perioder och sedermera ombyggd för 15 perioder. Det är utfört med tvenne boggiar, av vilka den ena utrustats med tvenne 225 hästkrafters kugg-hjulsmotorer.

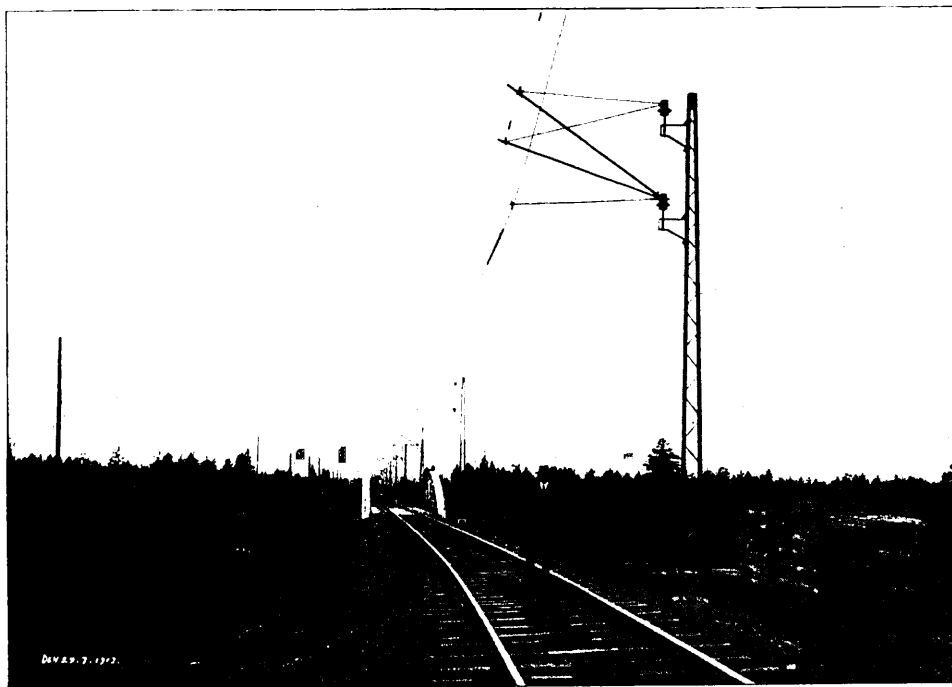


Bild 13. Vägpunkt på kontaktledningen.

Manövreringssystemet är här av samma typ som för snälltågslokomotiven, men reläslutarna manövreras med likström. Bromsningen sker med vacuum. För pressluftskylning av motorer och transformatorer är anordnad en särskild ventilator, jämte likströmgenerator för belysningsström samt läckpump kopplad till en enfasig shuntmotor. Vikten av denna maskin utgör 52,2 ton.

#### NÅGRA UPPGIFTER BETRÄFFANDE ANDRA ELEKTRISKA BANOR, VID VILKA UNDERSÖKNINGAR UTFÖRTS.

En del undersökningar hava också utförts vid några elektrifierade privatbanor, nämligen Stockholm—Roslagens järnväg, Stockholm—Saltsjöns järnväg och Lund—Bjärreds järnväg.

Vid Stockholms—Roslagens järnväg äro sträckorna Stockholm—Dande-

ryd, Stocksund—Långängen, Ösby—Alltorp och Ösby—Svalnäs elektrifierade medelst likström 600 volt. Undersökningarna vid dessa banor hava utförts på sträckan Stockholms Östra—Svalnäs, vilken har en längd av 12 kilometer. Järnvägen, som är smalspårig med 891 mm. spårvidd, har räler med vikt av 27,6 till 32,7 kg. per meter och är dubbelspårig på den omkring 7 km. långa sträckan Stockholms Östra—Ösby. Skenorna äro försedda med kopparförbindningar vid skarvarna.



Bild 14. Skyddshus för kontaktledningen med transformator för stationsbelysning.

Järnvägen erhåller sin strömtillförsel från en vid Stocksunds station belägen kraftstation, i vilken den erforderliga likströmmen erhålles antingen direkt av ångdrivet maskineri eller genom omformning av 50-periodig trefasström med 20,000 volts spänning, vilken erhålles från Älvkarleby kraftverks nät. Strömmen inkopplas till banans kontaktledning vid Stocksunds station.

Stockholm—Saltsjöns järnväg är i sin helhet elektrifierad med användande av 1,200 volt likström. Dess totala banlängd utgör 18 kilometer då grenlinjen till Igelboda medräknas. Järnvägen, som är normalspårig, har räler med en vikt av 27,5 till 40,5 kg per meter, försedda med kop-

parförbindningar vid skarvarna, och är dubbelspårig på sträckan Storängen—Saltsjö-Duvnäs (2 km). Försöken vid denna bana hava utförts å sträckan Stadsgården—Neglinge, vilken har en längd av 13,7 kilometer.

Den för bandriften erforderliga strömmen erhålles från en vid Storängens station belägen omformarestation, vilken drives av 25-periodig trefasström med 6,600 volts spänning från Stockholms Elektricitetsverks kabelnät. Strömmen inkopplas till banans kontaktledningar omedelbart invid omformarestationen.

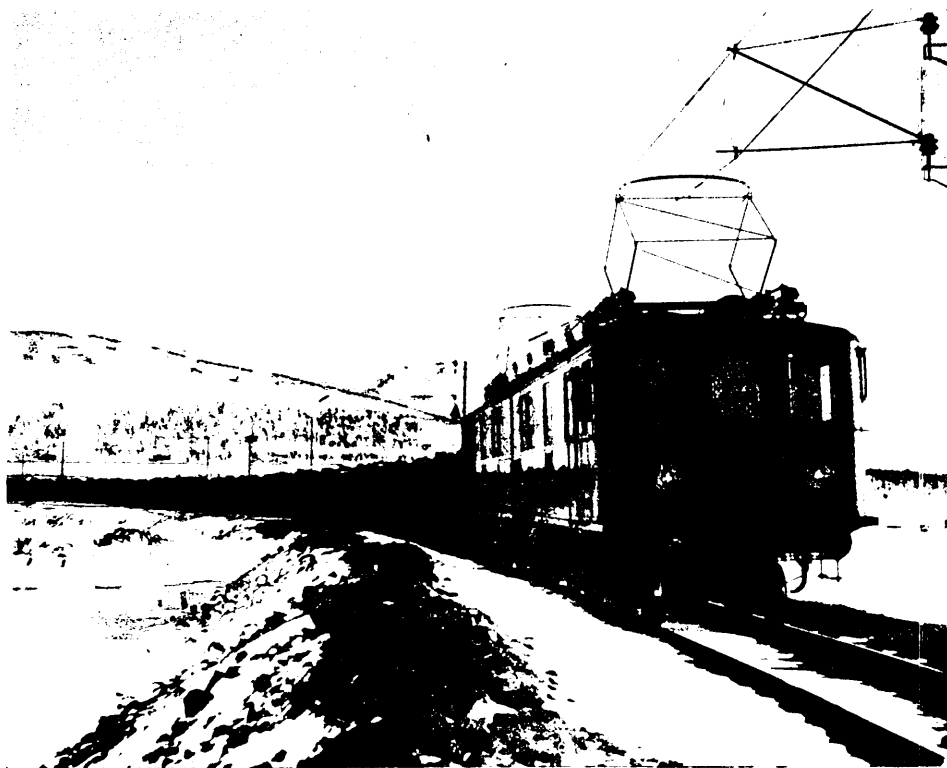


Bild 15. Malmtågslokomotiv

Lund—Bjärreds järnväg är i sin helhet elektrifierad med 16-periodig enfasström av 16,000 volts spänning. Järnvägen, som har en längd av 11 kilometer, är normalspårig och försedd med räler vägande 31 kg per meter. Kopparförbindningar vid skenskarvarna finnas ej.

Den för bandriften erforderliga 16-periodiga enfasströmmen med 16,000 volts spänning levereras av Sydsvenska kraftaktiebolaget från dess transformatorstation invid Lund och inkopplas till banans kontaktledningar i närheten av denna transformatorstation.

Vid alla dessa privatbanor sker inmatningen av strömmen till kontaktledningarna endast på ett ställe. Några särskilda överföringsledningar erfordras därför ej, utan endast matare- och vid likströmsbanorna dessutom förstärkningsledningar. För de undersökningar, som utförts vid dessa banor, har den erforderliga 15-periodiga enfasströmmen erhållits från en

Statens järnvägar tillhörig, särskilt för ändamålet iordningställd omformarevagn, vilkens maskineri drivits medelst på de olika platserna tillgänglig likström eller trefasström.

### OM SVAGSTRÖMSSTÖRNINGAR I ALLMÄNHET.

Ledningsnätet för bandelen Kiruna—Riksgränsen är anordnat med hänsyn tagen till vid tiden för utförandet föreliggande erfarenhet även beträf-



Bild 16. Snälltågslokomotiv.

fande lämpligaste sättet för undvikande av störningar i de utefter bandelen framdragna svagströmsledningarna. Resultaten av de vidtagna åtgärderna, för vilka i fortsättningen närmare redogöres, hava emellertid ej motsvarat förväntningarna. De verkställda undersökningarna hava också visat, att störningar i svagströmsledningarna, såsom förut var känt, även vållas av vanliga elektriska ledningar för överföring av elektrisk energi till kraft- och belysningsändamål. Slutligen kunna svagströmsledningarna, så som torde vara allmänt bekant, även inbördes verka störande på varandra. För att undvika störningar i svagströmsledningarna måste därför alltid vissa åtgärder vidtagas.

De störningar, som vållas av starkströmsledningarna, kunna i enstaka fall bero på direkt strömövergång mellan dessa ledningar och svagströmsledningarna. De huvudsakliga anledningarna till sådana störningar i svagströmsledningarna, som vållas av starkströmsledningarna, äro emellertid å ena

sidan statisk inverkan från spänningen å starkströmsledningarna — influens — och å andra sidan inverkan från strömmen i desamma — induktion.

Störningar av båda dessa slag göra sig, såvida särskilda åtgärder ej vidtagas, under vanliga förhållanden kraftigare gällande vid enfaslednings-system för elektrisk bandrift än vid trefasöverföringar för kraftändamål. Orsaken härtill ligger tydligtvis däri, att en trefasledning är praktiskt taget självkompenserande, så länge spänningen till jord och strömmen å de tre

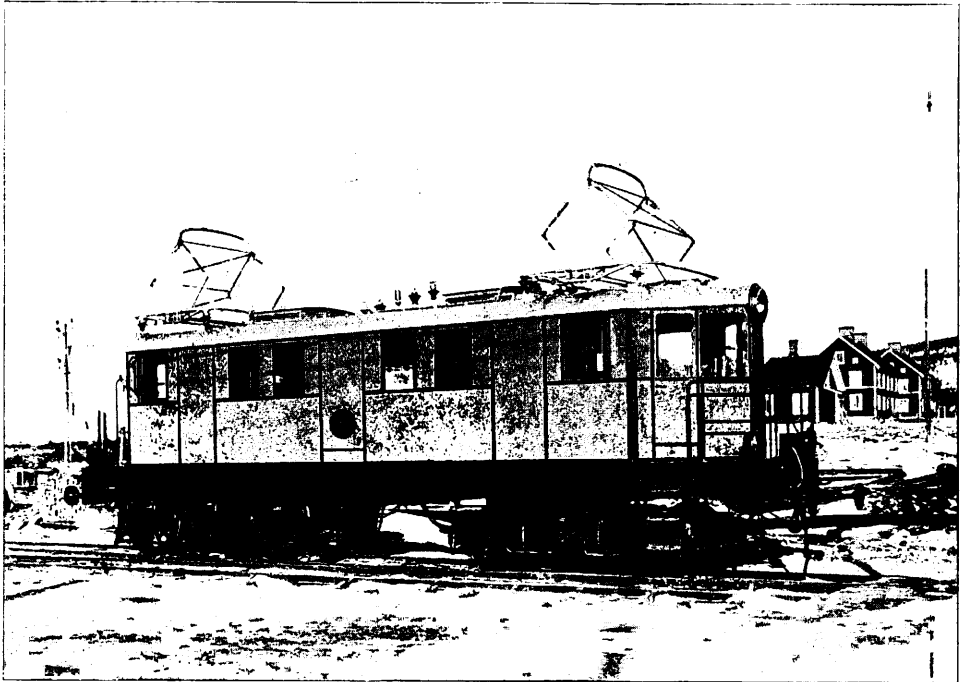


Bild 17. Lokaltågslokomotiv.

faserna är lika. Vid osymmetri med avseende på spänningen på grund av isolationsfel eller annat och framför allt vid kortslutningar kunna där-  
emot kännbara störningar vållas även av trefasledningar och vid trefas-  
system med jordförbunden nollpunkt kunna därvid, om nollpunktsmot-  
ståndet är ringa eller intet, mycket allvarliga svagströmsstörningar inträda.  
Sådana störningar äro från våra kraftanläggningar väl bekanta. Störningar  
kunna också vållas av trefasledningar på grund av övertoner i spännings-  
kurvan. Härför skall i fortsättningen närmare redogöras.

#### REDOGÖRELSE FÖR UTFÖRDA ÅTGÄRDER BETRÄFFANDE SVAGSTRÖMSLEDNINGARNA.

Innan elektrifieringen av järnvägen Kiruna—Riksgränsen kom till stånd, funnos längs denna bandel och i dess tjänst tre enkeltrådiga telegrafled-



ningar och en dubbeltrådig bantelefonledning. Två av telegrafledningarna voro anordnade enligt systemet »sluten kedja» med apparat å varje station, under det att den tredje ledningen var s. k. »öppen kedja» med apparat uppsatt på de båda ändstationerna Kiruna och Riksgränsen, samt å Stenbackens station, där även avstängning var anordnad å de båda slutna kedjorna. Å samtliga telegrafledningar voro apparaterna inkopplade i serie efter varandra, var apparat med cirka 130 ohms motstånd. Telegraferingen skedde med 25 å 30 milliamperes strömstyrka. Bantelefonledningen var utrustad med apparat på var station och i samtliga banvakts- och banmästarestugor. Telefonapparaterna hade 2,000 ohms klockor och voro parallellt inkopplade mellan de båda ledningstråderna.

I samband med elektrifieringen upplades dessutom en ny dubbeltrådig telefonledning, kallad krafttelefon, för förbindelsen mellan Porjus kraftverk, transformatorstationerna i Kiruna, Torneträsk, Abisko och Vassijaure samt Riksgränsens station och vissa expeditioner i Kiruna.

Förutom nämnda, järnvägen tillhöriga ledningar, funnos även längs banan en enkeltrådig telegrafledning tillhörande telegrafverket och en dubbeltrådig rikstelefonledning Kiruna—Riksgränsen (Narvik) samt en dylik telefonledning Kiruna—Abisko. Samtliga dessa telegrafverkets ledningar voro utrustade med apparater av detta verks vanliga typer.

Innan den elektriska driften togs i bruk, anställdes försök rörande dels banströmmarnas inverkan å telegraf- och telefonledningar och dels sättet för upphävande av de uppträdande störningarna.

Sålunda hava i fråga om *telegrafledningarna* gjorts flera försök och prov för att överkomma störningarna med bibehållande av enkeltrådig telegrafledningar.

Till att börja med försöktes det efter uppfinnaren Girousse benämnda sättet för apparaternas inkoppling. Denna anordning är i princip byggd på, att telegrafströmmen får passera endast den ena av magnetrullarnas

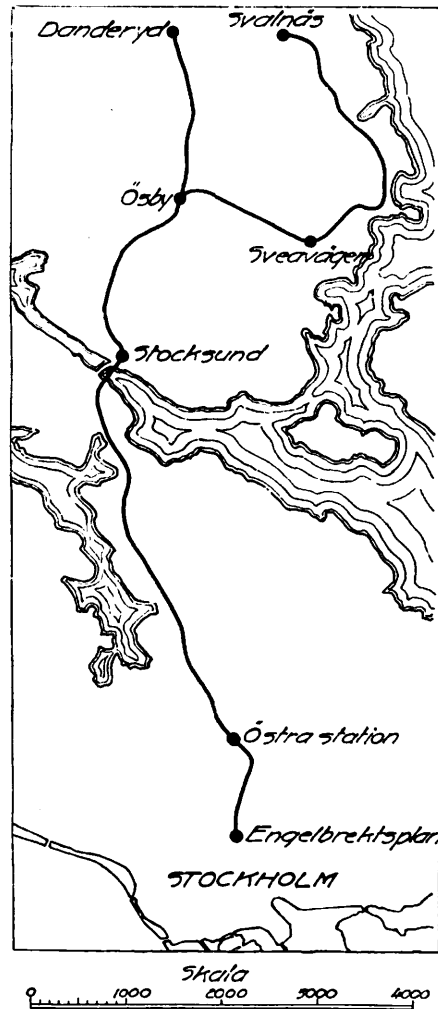


Bild 18. Översiktsplan av Stockholm—Roslagens järnvägs elektrifierade bandelar.

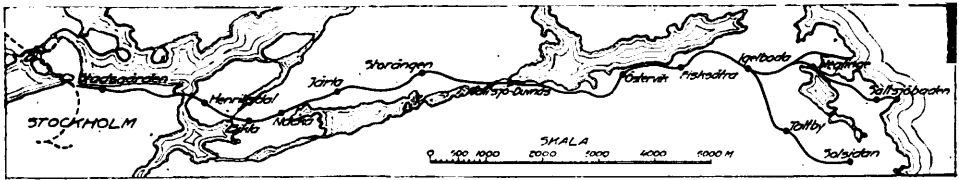


Bild 19. Översiktsplan av Stockholm—Saltsjöns järnväg.

Ivenne lindningar, under det att den i telegrafledningen uppkommande växelströmmen får genomgå båda magnetlindningarna på så sätt, att dess verkan i den ena lindningen upphäves genom dess verkan i den andra, varigenom magnetankaret icke röner inflytande av växelströmmen. Därvid är i serie med den senare lindningen kopplad dels en kondensator, som hindrar telegrafströmmen att framgå och dels en självinduktionsspole, så avpassad i förhållande till kondensatorn, att sinsemellan lika starka växelströmmar genomgå de båda magnetlindningarna. Nämda anordning visade sig visserligen kunna upphäva störningar av mindre styrka (upp till omkring 40 milliampères växelström), men vid starkare växelströmmar i telegrafledningarna var nämnda anordning ej längre tillfyllest.

Sedermera avprovades s. k. polarisationsceller, som vid laboratorieförsök visat sig kunna motverka och upphäva betydligt starkare växelströmmar i telegrafledningen än nyssnämnda Girousse'ska anordning. Det visade sig emellertid, sedan kontaktledningen å hela linjen Kiruna—Riksgränsen kunde vid försöken användas, att den uppkommande spänningen på telegrafledningarna uppgick till betydligt större belopp än man förutsett. Till följd därav blev även anordningen med polarisationsceller otillfredsställande.

Därefter gjordes ännu ett försök för bibehållande av enkeltrådiga telegrafledningar. Detta anordnades i princip enligt Scott's metod (d. v. s. samma anordningar, som träffats vid New York—New Havenbanan). En särskild s. k. neutraliseringsledning anordnades, i vilken inkopplades en transformators primärlindning. Dess sekundärlindning inkopplades i telegrafledningen. Åtgärder vidtogos, varigenom den i transformatorns sekundärlindning alstrade spänningen blev lika stor som den i telegrafledningen från kontaktledningen alstrade spänningen och motverkade denna. Dessa

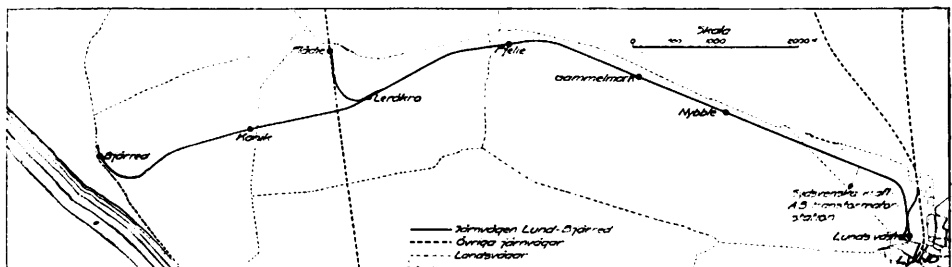


Bild 20. Översiktsplan av Lund—Bjärreds järnväg.

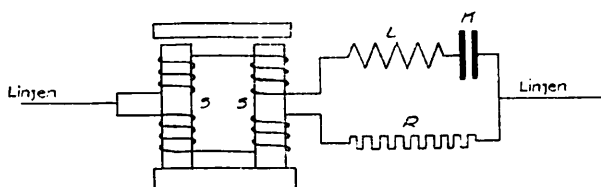
försök anställdes på två sätt. Först försöktes en gemensam neutraliseringsledning (krafttelefonledningen användes här till) för upphävande av störningarna i två telegrafledningar å linjen Kiruna—Torneträsk. Därvid visade sig, att den vidtagna anordningen i avsevärd grad minskade strömstyrkan hos den i telegrafledningarna framgående resulterande växelströmmen, men icke fullt upphävde densamma. På grund härav blev surringen i telegrafapparaterna visserligen obetydlig vid mindre strömstyrkor i kontaktledningen (20 à 40 amp.), så att telegrafering då var möjlig efter lämplig injustering av telegrafapparaternas ankarfjäder, men vid ökning av strömmen i kontaktledningen (till 80 amp. och däröver) var telegrafering omöjlig. Det visade sig även, att med de använda transformatorerna i en gemensam neutraliseringsledning telegrafskriften i den ena telegrafledningen åstadkom strömstötningar i den andra telegrafledningen, vilka vid särskilt känslig inställning på apparaterna förmådde attrahera ankarfjädern, men vid normal inställning på apparaterna ej tycktes störa telegraferingen. Tillfälle fanns icke att prova, huru flere än två telegrafledningar med gemensam neutraliseringsledning skulle fungera. Därefter gjordes

försöket på så sätt, att endast en telegrafledning anslöts till transformatorerna i neutraliseringsledningen. Denna anordning vidtog huvudsakligen för att med till hands varande transformatorer kunna om möjligt alldeles upphäva växelströmmen i telegrafledningar. Det lyckades visserligen också att med denna anordning ytterligare minska den störande växelströmmen, men ej fullt upphäva densamma.

Till följd av resultaten av förutnämnda försök fann man sig föranledd att övergå till dubbelledning för telegrafafen. Det gällde nu att utprova lämpligaste kopplingsanordningar m. m. Dessa prov avsågo bland annat att utröna lämpligt sätt för den uppkommande växelströmmens avledande

Schema  
över

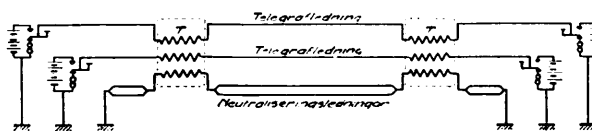
Girousse's koppling för telegrafapparater



*S* = telegrafapparaternas magnetpolar  
*L* = induktivt motstånd  
*M* = kondensator  
*R* = induktionsfritt motstånd

Bild 21.

Schema över anordning av neutraliseringsledningar enligt Scott's system.



*T* Neutraliseringstransformator

Bild 22.

till jord. I detta avseende provades först en anordning för att genom telegrafapparaten båda magnetlindningar, kopplade mot varandra, så att växelströmmens verkan i den ena lindningen upphävdes av dess verkan i den andra, leda växelströmmen till jord i ledningens båda ändar. Resultatet blev att vid 80 amp. i kontaktledningen från Kiruna till Riksgränsen gick telegraferingen bra, men plötsliga störningar uppträdde, antagligen på grund av överslag. Därjämte visade det sig, att uppvärmningen i telegrafapparatlindningarna var så stark, att försöket måste avbrytas för att apparaten icke skulle brännas upp. Vid telegrafapparaten uppmättes 108 volts växelströmsspänning till jord. Därefter anordnades så, att den i telegrafledningen uppstående växelströmmen leddes till jord i ledningens båda ändar genom särskilda urladdningsanordningar. Härtill användes de ovan omnämnda självinduktionsspolarerna med kondensatorer. Genom denna anordning, som kunde skarpt injusteras medelst telefon, vanns den fördelen, att växelströmmen fick passera till jord utan att genomgå telegrafapparaten. Telegraferingen med denna anordning gick utmärkt bra även vid upp till 100 amp. i kontaktledningen.

Sedan dessa prov verkstälts, ändrades telegrafledningarna så, att av Statens järnvägars tre telegrafledningar och telegrafverkets telegrafledning anordnades två dubbeltrådiga telegrafledningar för järnvägens behov, och en ny dubbeltrådig telegrafledning, n:r 95, upplades för telegrafverkets behov. Den ena av järnvägens ledningar, stationstelegrafledningen n:r 1, som försågs med apparater på alla stationer, uppdelades i tre delar genom överdragsanordningar, som insattes i Torneträsk och Abisko. Den andra av järnvägens telegrafledningar, sektionstelegrafledningen n:r 2, försågs med apparater i Kiruna och Riksgränsen samt å mellanstationerna Torneträsk och Abisko. Denna senare ledning försågs med överdrag i Kiruna och Riksgränsen.

De dubbeltrådiga telegrafledningarnas båda branscher äro korskopplade å varje station.

För bortledande till jord av den i telegrafledningarna uppkommande växelströmmen uppsattes vid ändpunkterna och överdragningsstationerna däremellan urladdningsanordningar, bestående av två stycken av nyss nämnda självinduktionsspolar med kondensatorer. Dessa båda spolar kopplades i serie mellan ledningens branscher och mittpunkten mellan dem jordförbands. Telegrafapparaterna försågos med nya magnetrullar, vardera innehållande 19,000 varv dubbelt silkesisolerad koppartråd av 0,1 mm diameter och 2,800 ohms motstånd, d. v. s. 5,600 ohm per apparat.

Nämnda nya dubbeltrådiga statstelegrafledning försågs även med överdrag i Kiruna och Riksgränsen. För att leda den i denna ledning uppstående växelströmmen till jord, uppsattes i dess ändpunkter, Kiruna och Riksgränsen, en urladdningsanordning, bestående av ett differentiellt lindat motstånd av omkring 600 ohms motstånd mellan ytterändarna, som anslötos till ledningens båda branscher, och med mittpunkten jordförbunden, således motståndet för urladdningsströmmen cirka 150 ohm. För att vid eventuell skada å urladdningsanordningen erhålla tillförlitligt skydd, upp-

sattes i ledningens ändpunkter 2-poliga omkastare, varmed dess båda branscher kunde direkt jordförbindas.

På sätt här nu beskrivits voro telegrafledningarna i princip anordnade, då den elektriska driften togs i bruk den 19 januari 1915.

Under den tid, som sedan dess förflutit, hava nämnda anordningar i fråga om telegrafledningarna i princip bibehållits och visat sig fungera till belåtenhet. Vissa ändringar och förenklingar hava emellertid under tiden vidtagits. Sålunda hava samtliga urladdningsanordningar i Statens järnvägars telegrafledningar kunnat borttagas. Vidare hava överdragningsanordningarna i järnvägens stationstelegrafledning nr 1 i Torneträsk och Abisko samt i järnvägens telegrafledning nr 2 i Riksgränsen borttagits. I samband därmed har motståndet i telegrafapparaternas magnetrullar ökat, så att numera var magnetrulle är lindad med 3,500 varv 0,08 millimeters enkelt silkesspunnen koppartråd och har ett motstånd av 8,000 ohm, d. v. s. apparatens motstånd är 16,000 ohm. Telegraferingsströmstyrkan är numera omkring 3 milliampère per apparat. Galvanoskop hava åter uppsatts, sedan desamma ändrats, dels så att strömförande delar blivit skyddade mot beröring (i stället för de vanliga anslutningsklämmorna hava andra sådana uppsatts under galvanoskopens plintar) och dels så att desamma blivit känsligare (3 milliampère kan iakttagas på galvanoskopets nål). I fråga om statstelegrafledningen, så hava bl. a. de förutnämnda trådmotstånden i urladdningsanordningarna ersatts först med glödlampor och sedermera med kolstavar.

35,000

Vidare har en tredje telegrafledning för järnvägens behov upplagts. Denna har anordnats alldeles lika med den nämnda stationsledningen nr 1 och såsom denna utrustats med apparater å samtliga stationer å hela linjen Kiruna—Riksgränsen. Därjämte har en lokal telegrafledning anordnats mellan Kiruna huvudstation och Kiruna malmbangård.

Telefonledningarna å linjen Kiruna—Riksgränsen hade redan vid de förberedande försöken utrustats med urladdningsanordningar med jordförbindning (dock icke med skenorna). Dessa urladdningsanordningar bestå av från telegrafverket erhållna telefontransformatorer.

I bantelefonledningen insattes sålunda en dylik urladdningsanordning på varje avstängningssträcka. Denna telefonledning är genom anknytningsväxlar uppdelad i flere kortare avstängningssträckor. Å krafttelefonledningen, som är uppdelad i en sträcka Kiruna—Riksgränsen och en sträcka Kiruna—Porjus, insattes liknande urladdningsanordningar i Kiruna, en för vardera sträckan. Under loppet av försöken hava dylika urladdningsanordningar i krafttelefonledningen varit uppsatta på flere stationer, i samband med att denna ledning sektionerades, d. v. s. uppdelades i kortare sträckor, vilka icke stodo i direkt metallisk förbindelse med varandra, utan i stället sammankopplades genom telefontransformatorer. Sålunda var en tid krafttelefonledningen mellan Kiruna och Riksgränsen uppdelad i två sektioner, förbundna genom telefontransformatorn i Torneträsk. Likaså var i Kiruna uppsatt dylik transformator för förening av krafttelefonledning Kiruna—Porjus med ledningen Kiruna—Riksgränsen. Var och en av dessa sek-

tioner av krafttelefonledningen hade sin urladdningsanordning, uppsatta i Kiruna, Torneträsk och Abisko. Sedermera hava urladdningsanordningarna såväl i kraft- som bantelefonledningen helt borttagits.

I de båda rikstelefonledningarna Kiruna—Riksgränsen(—Narvik) och Kiruna—Abisko uppsattes även liknande urladdningsanordningar, bestående av telefontransformatorer. Även dessa ledningar blevo under försöken sektionerade. Ledningen Kiruna—Narvik försågs för detta ändamål med transformatorer i Riksgränsen, Abisko, Torneträsk och Kiruna och var och en av dessa av transformatorer begränsade tre sektioner försågs med urladdningsanordning till jord, placerade i Riksgränsen, Kaisepakte och Kiruna. Rikstelefonledningen Kiruna—Abisko sektionerades icke på annat sätt än att transformatorer insattes å ändstationerna, för att förekomma obehag i de lokala telefonledningar, som genom växelstationerna därstädes kunna anslutas till ledningen ifråga. Denna ledning försågs med urladdningsanordning till jord, placerad i Torneträsk.

Under försökens gång har sedermera en del ändringar vidtagits å nämnda sektionering av rikstelefonledningarna. Sålunda har ledningen Kiruna—Riksgränsen(—Narvik) ändrats, så att hela sträckan Kiruna—Riksgränsen utgör en sektion, begränsad av i Kiruna och Riksgränsen befintliga transformatorer. För bortledande av den uppträdande växelströmmen är denna sektion försedd med urladdningsanordningar i Kiruna och Riksgränsen.

Förutom härovan omnämnda anordningar för att telegraf- och telefonledningarna skola funktionera ostörda av inverkan från ledningarna för den elektriska järnvägsdriften, hava en del åtgärder vidtagits till skydd för telegraf- och telefonledningarna mot mekanisk kontakt med ledningarna för den elektriska driften, ävensom till skydd för den personal, som be-  
tjänar telegraf- och telefonen.

Bland förstnämnda åtgärder kunna sålunda nämnas följande. Före den elektriska driften hade Statens järnvägar å linjen Kiruna—Gällivare en särskild stolplinje för järnvägens telegrafledningar, belägen öster om banan. Då överföringsledningarna Porjus—Kiruna skulle förläggas till nämnda sida av banan, överflyttades järnvägens telegrafledningar till den väster om banan befintliga rikstelefonstolplinjen. På alla de ställen längs linjen Kiruna—Riksgränsen, där banan korsades av telegraf- och telefonledningar vid deras inledning till stationer och banvaktstugor m. m. och där således dessa ledningar komme att korsa kontaktledningen över spåret, hava jordkablar nedlagts för telegraf- och telefonledningarna. Dessa kablar äro särskilt väl isolerade, vulkaniserade och blymantlade. För ändamålet har använts 250 meter 28-trådig, 450 meter 20-trådig och 3,000 meter 2-trådig kabel. Kablarna äro utanpå blymanteln lindade med asfalterade band och före nedläggningen ytterligare bestrukna med asfalttjära. Kabeln är nedlagd i jorden på ett djup av minst 0,7 meter och förlagd mellan väl tjärade plank, i vilka en hålkål upptagits.

Till skydd för telegrafreparatörer hava vidare stagen å telegrafstolplinjen försetts med lämpliga, kraftiga kulisolatorer, så att stagens övre, från jorden isolerade del icke kan nås från marken och att stagens nedre,

med jorden förbundna del icke kan utan särskilda hjälpmedel nås av en på stolpen varande arbetare.

Till skydd för stationspersonalen, som betjänar telegraf- och telefonen, mot de spänningar, som kunna uppträda i telegraf- och telefonapparaternas metalldelar, hava vidare vidtagits följande åtgärder. Telegraftangenterna hava utbytts mot sådana med skyddskåpor av järnplåt, vilka jordförbundits, och anordnats med mutter av ebonit å fjäderspänningsanordningen samt förlängda ebonithandtag, vilka skjuta ut över skyddskåporna. Sedermera har det visat sig lämpligare att borttaga jordförbindningarna till tangenternas skyddskåpor, som i stället förbundits med telegrafapparaternas metallstomme. Galvanoskoperna hava för en tid slopats. Förutvarande kombinerade batteri- och linjeströmlidare samt överdragningsströmlidare, vilka apparater hade åtkomliga blanka metalldelar, hava borttagits. De senare hava ersatts med strömlidare av ny typ (N:r 12 b), där alla strömförande metalldelar äro inbyggda och skyddade av trähuvor. Nämda linjeströmlidare hava ersatts med isolerade strömlidare på ledningsskivor av ny typ. Dessa ledningsskivor, som utgöra ersättning för förutvarande inledningsbräden, äro av marmor och utrustade med tvåpoliga knivomkastare med skyddshuv för erforderliga omkopplingar vid linjeundersökningar, såsom linjens ställande på avbrott eller till jord samt fränkoppling av telegrafapparaterna. Vidare finnas å ledningsskivorna tvåpoliga säkerhetsapparater (L. M. Ericssons typ S. J. 100) försedda med skyddshuv och innehållande två smältrör för 0,15 amp. Dessa apparater hava även fjäderklinkor, med vilka linjen kan bekvämt brytas för undersökningar och mätning av skrivströmmarnas styrka. Slutligen äro ledningsskivorna på de platser, där telegrafledningarna införas medelst luftledning, försedda med tvåpoliga vacuumåskledare i skyddshuvor. (På de stationer, där inledning skett med kabel, sitta vacuumåskledarna i kabelstolpen.)

Vidare äro samtliga telegrafapparater å linjen Kiruna—Riksgränsen försedda med skyddshuvor av trä över alla blanka strömförande delar, d. v. s. såväl över samtliga klämskruvar som över genomföringsdockorna vid magnetrullarna. I Kiruna, där överdrag finnes, användes särskilt, dubbelt överdragningsrelä utrustat med skyddshuv av glas, täckande samtliga strömförande delar och med isolerade spännskruvar, som äro åtkomliga utanför huven. För verkställande av undersökningar i krafttelefonledningen hava uppsatts undersökningsströmlidare av ny typ (strömlidare N:r 13), där alla strömförande metalldelar, såsom anslutningsklämmor m. m., äro inbyggda i en trähuv och försedda med en omställare med ebonithandtag för erforderliga omställningar. Vidare ha vid alla platser, där apparat i krafttelefonledningen är uppsatt längs linjen, särskilda anordningar vidtagits, för att den som använder telefonapparaten ej skall taga skada av eller erfara obehag vid inträffade kortslutningar m. m. För detta ändamål är en trampkontakt anordnad under en rörlig plattform, som beträdes vid användning av telefonapparaten. Genom denna trampkontakt inkopplas telefonapparaten över en transformator till krafttelefonledningen. Då man stiger av

plattformen fränkopplas åter telefonapparaten, men står då ringklockan direkt inkopplad i telefonledningen.

Förutom här angivna åtgärder för att telegraf- och telefonanläggningarna å linjen Kiruna—Riksgränsen skola fungera ostörda och nämnda skyddsanordningar för personalen m. m. har det i samband med den elektriska driften å nämnda linje även blivit nödvändigt vidtaga vissa åtgärder med telegraf- och telefonledningarna å bansträckorna Kiruna—Gällivare och Gällivare—Porjus, längs vilka överföringsledningarna Porjus—Kiruna äro framdragna.

Sålunda har bland annat å linjen Gällivare—Porjus, där en provisorisk och delvis enkeltrådig telefonledning uppförts i samband med arbetspårrets utläggning, denna telefonledning ändrats och blivit fullständigt utförd som dubbeltrådig bantelefonledning. Vidare hava på de båda platser, nämligen vid Linaälv och Kuosakåbbo, där överföringsledningen korsar telegraf- och telefonledningarna, anordnats linskydd över de senare. Ävenså har en enskild telefonledning, som vid Tuollavaaraväxeln å linjen Kiruna—Kalixfors korsade banan och Statens järnvägars överföringsledning, ändrats och förlagts i jordkabel. Slutligen hava för telegraf och telefon å linjerna Kiruna—Gällivare och Gällivare—Porjus vidtagits en del, förut å linjen Kiruna—Riksgränsen avprovade, anordningar för hävande av störningar genom den elektriska järnvägsdriften samt skyddsåtgärder för personalen.

Sålunda har i fråga om telegraferna å linjen Kiruna—Gällivare telegrafapparaterna utbytts mot sådana med speciell (bifilarisk) lindningsanordning (270 ohm per rulle) i förbindelse med självinduktionsspole med kondensator (enligt Girousse's ovan nämnda kopplingsätt). Tangenterna hava utbytts mot sådana med skyddskåpa. Tangenternas skyddskåpor och telegrafapparaternas metallstommar äro sinsemellan ledande förbundna utan att vara jordförbundna (med undantag för telegrafapparat vid överdragning). Slutna kedjan Kiruna—Gällivare har avstängts i Gällivare (eller Malmberget med Gällivare som mellanstation) och får icke där förbindas med ledning söder om Gällivare. Galvanoskop och strömledare hava borttagits från borden. Sektionstelegrafledningen Kiruna—Gällivare—Boden har försetts med överdragning i Gällivare. Strömledare N:r 12 användes för överdraget. Detta överdrag har sedermera kunnat borttagas. Likaså har det visat sig möjligt att å linjen Kiruna—Gällivare återgå till vanliga telegrafapparater. Bantelefonledningarna Kiruna—Gällivare och Gällivare—Porjus försågos till en början med urladdningsspolar liksom å linjen Kiruna—Riksgränsen, så att varje avstängningssträcka fick en urladdningsspole. Sålunda fanns i Kiruna en urladdningsspole för sträckan Kiruna—Kalixfors, i Fjällåsen 2 urladdningsspolar, därav en för sträckan Kalixfors—Fjällåsen och den andra för sträckan Fjällåsen—Risbäck, i Linaälv en urladdningsspole för sträckan Risbäck—Linaälv (på sträckan Linaälv—Gällivare uppsattes t. v. ej någon dylik spole) samt i Gällivare en urladdningsspole för sträckan Gällivare—Porjus. Krafttelefonledningen Kiruna—Porjus hade, såsom förut angivits, sin urladdningsanordning uppsatt i Kiruna. Emellertid hava även här, liksom å linjen norr om Kiruna,



alla urladdningsanordningar efter hand slopats för Statens järnvägars ledningar.

### STÖRNINGAR FRÅN ÖVERFÖRINGSLEDNINGARNA.

Överföringsledningarna för enfasströmmen äro utförda med systemets mittpunkt jordförbunden i kraftverket genom ett motstånd. I normala fall är därför spänningen till jord lika för överföringsledningens alla kablar. Ledningen är därför statiskt balanserad och kan endast utöva en mindre statisk inverkan på närbelägna svagströmsledningar. Denna sista rest av statisk inverkan, vilken är beroende på att överföringsledningens kablar med hänsyn till den höga spänningen måste uppläggas med ett relativt stort inbördes avstånd, varigenom avstånden mellan dessa kablar och svagströmsledningarna ej i erforderlig grad bliva lika, borttages genom skruvning av överföringsledningarna på vissa ställen med lämpligt inbördes avstånd. Sådan skruvning var emellertid ej från början utförd för överföringsledningarna. Dessa framgå utefter bandelen Kiruna—Riksgränsen på ett avstånd av omkring 40 meter från där framdragna svagströmsledningar.

Bifogade schema, plansch 3, visar svagströmsledningarnas antal och läge på den stolprad, som uppbär desamma. Vid de uppmätningar, som utförts beträffande dessa ledningar, hava huvudsakligen de översta ledningstrådarna, rikstelefonledningen och de nedersta, den dubbeltrådiga statstelegrafledningen kommit till användning förutom försöksledningen på sträckan Kiruna—Krokvik. I fortsättningen benämnas dessa mätledningar respektive mätledningen, nedre mätledningen och försöksledningen. Uppmätningarna hava utförts dels med övriga svagströmsledningar isolerade från jord, varvid de största mätvärdena erhållits, och dels med övriga svagströmsledningar jordförbundna. De här i fortsättningen upptagna mätvärdena hava erhållits, då övriga svagströmsledningar varit isolerade från jord, försåvida ej särskilt anges, att de äro upptagna med övriga svagströmsledningar jordförbundna.

Vid uppmätning å sträckan Kiruna—Torneträsk har den statiska uppladdningsspänning, som alstras av överföringsledningarna på mätledningen, vid 80.000 volts spänning å de förra visat sig uppgå till 135 volt vid sommarkoppling och 155 volt vid vinterkoppling av överföringsledningarna. För nedre mätledningen har samtidigt ingen spänning med tillgängliga instrument kunnat avläsas. Med ledning av andra mätningar har spänningen vid dessa tillfällen för ifrågavarande ledning uppskattats till resp. 36 och 42 volt. Genom skruvning av överföringsledningarna på platser med omkring 20 kilometers inbördes avstånd hava dessa uppladdningsspänningar kunnat praktiskt taget borttagas.

Vidare kan det möjligen räknas med, att ena polen av överföringsledningarna jordförbindes till följd av isolatorfel eller dylikt, ett fall, som emellertid hittills ej inträffat under normal drift. Under sådana förhållanden skulle å mätledningen, efter vad undersökningarna visat, erhållas en

spänning av i ogynnsammaste fall 1,180 volt vid 80,000 volt i överföringsledningarna. Spänningen på nedre mätledningen skulle samtidigt uppgå till 315 volt. Då övriga svagströmsledningar jordförbindas, sjunka här ovan angivna uppladdningsspänningar på mätledningarna med omkring 34 procent.

De statistiska uppladdningsspänningar, som alstras av överföringsledningarna, äro för hela sträckan Kiruna—Riksgränsen i det närmaste lika stora som de ovan angivna. För sträckan Kiruna—Linaälv äro ifrågavarande uppladdningsspänningar däremot omkring 10 procent högre.

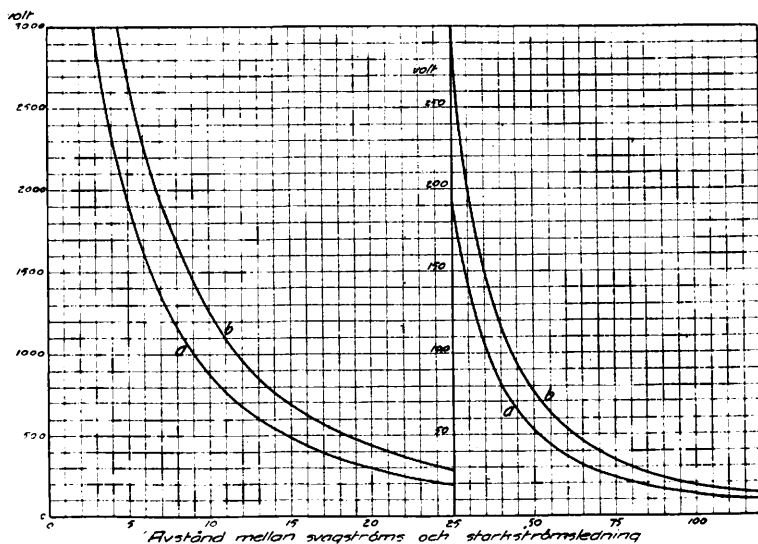


Bild 23. Kurvor visande statistiska uppladdningsspänningen för svagströmsledningar beräknade under förutsättning, att svagströmsledningens höjd över skenöverkant utgör 5,6 meter.

*kurva a* under förutsättning att kontaktledningen utgöres av en enkel tråd av 1,2 cm. diameter upplagd 5,5 meter över skenöverkant.

*kurva b* under förutsättning att kontaktledningen utgöres dels av en kontaktråd med 1,2 cm. diam. på 5,6 meter över skenöverkant och dels av en bärlina med 0,9 cm. diameter förlagd i medeltal 0,5 meter över kontaktråden.

På försöksledningen uppmättes en uppladdningsspänning av omkring 30 volt vid sommarkoppling och omkring 15 volt vid vinterkoppling av överföringsledningarna och 80,000 volts spänning å desamma.

Inverkan av strömmen i överföringsledningarna har också varit föremål för undersökning, vilken utförts å sträckan Kiruna—Torneträsk. Vid sommarkoppling av överföringsledningarna och 200 ampères ström genom desamma kunde ej någon spänning avläsas vare sig för mätledningen eller försöksledningen. Vid vinterkoppling av överföringsledningarna observerades under samma förhållanden en spänning av omkring 12 volt å mätledningen och mindre än 10 volt å försöksledningen. Den maximala strömstyrkan för överföringsledningarna utgör 125 ampère, varför således inverkan av strömmen i desamma tydligen blir utan betydelse.

## STÖRNINGAR FRÅN SPÄNNINGEN PÅ KONTAKTLEDNINGARNA.

Kontaktledningarna äro såsom redan ovan nämnts utförda enpoliga med återledning genom skenorna. Deras ena pol är således alltid jordförbunden och ledningarna således ej statiskt balanserade. Resultatet härav är att de alstra en relativt hög uppladdningsspänning å svagströmsledningarna. Vid mätning å sträckan Kiruna—Torneträsk, där svagströmsledningarna framgå på omkring 17 meters avstånd från banan, har det visat sig, att av kontaktledningarna vid 16,000 volts spänning alstrats en uppladdningsspänning av 635 volt å mätledningen och 195 volt å nedre mätledningen. Å försöksledningen, vilken framgår på omkring 125 meters avstånd från banan, har uppmätts omkring 12 volt. Då övriga svagströmsledningar jordförbundos, sjönk spänningen på mätledningen till 395 volt och å nedre mätledningen till 85 volt. Hur uppladdningsspänningen ändrar sig för olika avstånd mellan kontakt- och svagströmsledningarna framgår av vidstående bild 23, som upptager beräknade kurvor dels för vanlig enkel kontaktledning och dels för kontaktledning med härträdsupphängning, utförd i likhet med kontaktledningen för bandelen Kiruna—Riksgränsen. Som synes stämma de beräknade värdena tämligen väl överens med de uppmätta för mätledningen och försöksledningen. Resultatet av beräkning och mätning ger vid handen, att en utflyttning av svagströmsledningarna till omkring 100 meter från banan skulle vara nödvändig för borttagande i erforderlig grad av den av kontaktledningarna alstrade uppladdningsspänningen.

Emellertid är en sådan utflyttning ur underhållssynpunkt synnerligen olämplig särskilt på ställen, där järnvägen framgår genom skog och där landsväg ej finnes inom rimligt avstånd från banan, efter vilken svagströmsledningarna kunna framdragas. Försök har därför utförts med kompensationsledning för borttagande av kontaktledningarnas uppladdningsverkan

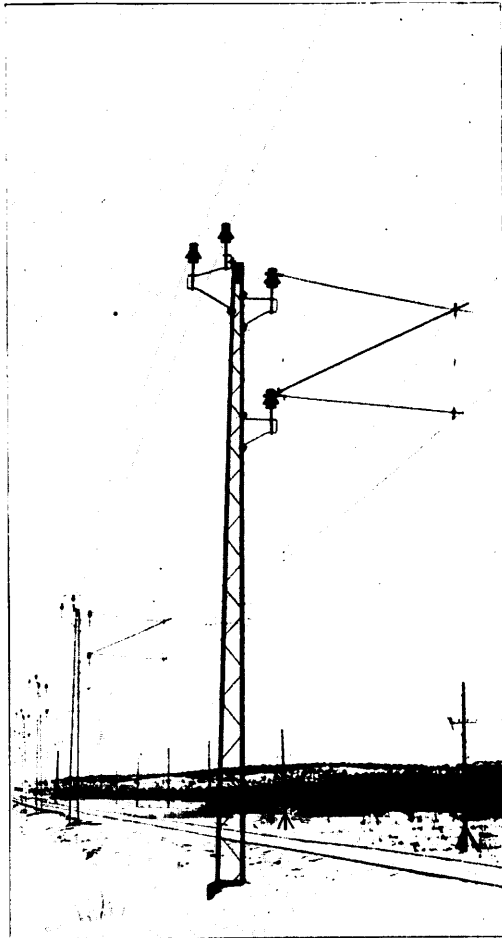


Bild 24. Kontaktledning och kompensationsledning.

på svagströmsledningarna. En sådan ledning finnes utförd för bansträckan Kaisepakte—Abisko och är den anordnad såsom bild 24 och 25 samt bifogade plansch 6 visa. Den består sålunda av tvenne från varandra isolerade galvaniserade järntrådar av 4 millimeters diameter. Mellan dessa trådar inkopplas 60-periodig enfassström med 10,000 volts spänning medelst en

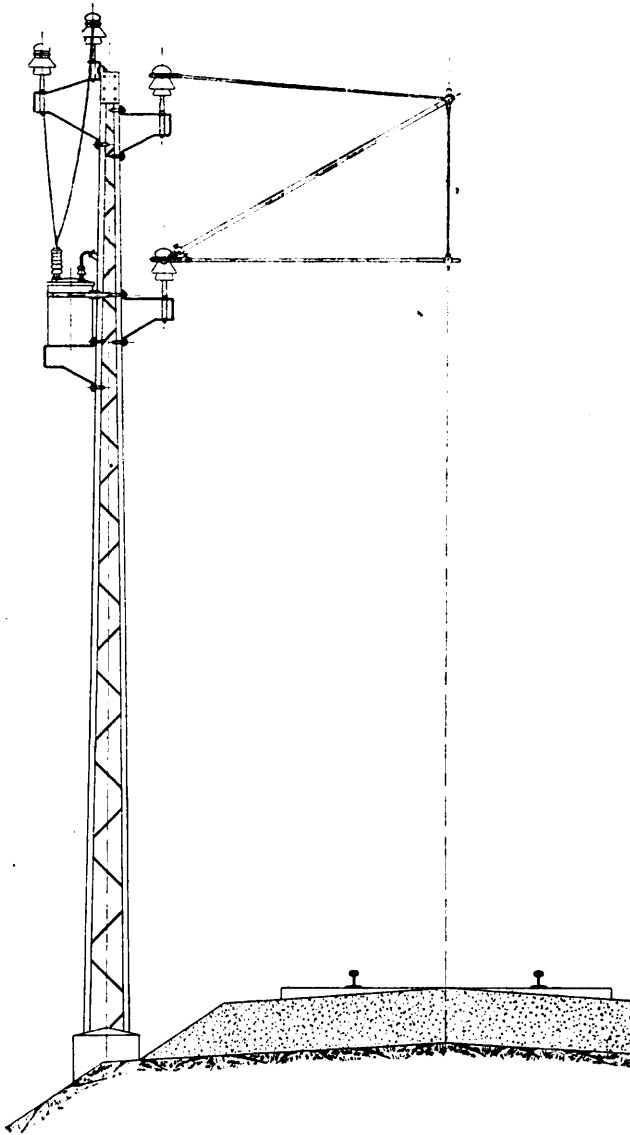


Bild 25. Kontaktledningsstolpe med kompensationsledning och belysningstransformator å 3 kva.

transformator i Abisko transformatorstation. Lågspänningssidan på denna transformator matas med 60-periodig ström av 220 volts spänning, vilken erhålles från en omformare. Invid varje banvaktstuga och å varje station finnes ansluten till nyssnämnda kompensationsledning en transformator, medelst vilken spänningen åter nedtransformeras från 10,000 till 220 volt. På högspänningssidan å en av dessa transformatorer — i förevarande fall den på Stordalens station — finnes ett mittuttag, vilket anslutes till en transformator för omkring  $2 \times 16,000$  volt. Härigenom erhålla kompensationsledningens båda trådar en laddning av 15-periodig ström med omkring 16,000 volts spänning med motsatt polaritet mot kontaktledningarna. Denna uppladdning upphäver därvid tydligen inverkan från spänningen å kontaktledningen. De utförda försöken hava bekräftat detta. Vid 16,000 volts spänning å kon-

taktledningarna måste emellertid spänningen å kompensationsledningen i förevarande fall uppgå till 17,300 volt och måste laddningstransformatorn för 16,000—17,300 volt anordnas, så att laddningsspänningen ej blir fasförskjutet. Med hänsyn till laddningsspänningen på kompensationsledningen måste tydligen samtliga 60-periodstransformatorer förses med

rikligt tilltagen isolation mellan högspänningsledning å ena sidan samt lågspänningsledningen och jordförbundna delar å andra sidan.

För den händelse kompensationsledningar anordnas kan avståndet mellan svagströmsledningarna och kontaktledningarna få minskas till 15 meter, men ej gärna under detta mått med hänsyn till den fara för direkt kontakt ledningarna emellan, som i sådant fall uppkommer.

Nu har emellertid Kungl. Telegrafstyrelsen i skrivelse av den 14 december 1917 förklarat det nödvändigt att snarast möjligt övergå till användande av kabelledningar för åtminstone en del av svagströmsledningarna. Skulle kablar komma till allmänt bruk för svagströmsledningar, som framföras utefter elektrifierade banor, erfordras ej nyssnämnda kompensationsanordning, enär redan kabelns mantel förhindrar all statisk uppladdning av svagströmsledningarna. Själva ledningarna, som skulle användas för kompenseringen, komma emellertid att i alla händelser erfordras, ehuru i sådant fall endast för belysningsändamål.

#### STÖRNINGAR FRÅN STRÖMMEN I KONTAKTLEDNINGARNA.

Att strömmen i kontaktledningarna skulle uppvisa den största inverkan på svagströmsledningarna var redan från början beräknat. För att minska denna inverkan i möjligaste mån hade därför ledningssystemet såsom redan ovan omnämnts anordnats så att strömtillförseln genom kontaktledningarna till de elektriska lokomotiven på banan alltid skulle ske från två håll. Tvenne närbelägna transformatorstationer skulle sålunda komma att leverera strömmen till ett lokomotiv gående på linjen mellan dem. Emellertid var det tydligt, att till följd av spänningsfall i transformatorerna och motstånd i överföringsledningarna en viss osymmetri skulle bli rådande. Det beräknades att inverkan av denna osymmetri skulle i ogynnsammaste fall motsvaras av inverkan av 80 ampère gående i kontaktledningen från Kiruna till Riksgränsen — 130 km — med återledning genom skenor och jorden. En del mätningar hade så fort kunnat ske förtagits, vilka visade, att i dessa trakter avsevärda jordmotstånd förekomma. Det var därför att förmoda, att åtminstone största delen av strömmen skulle återgå genom skenledningen. Om hela strömstyrkan återgått genom skenledningen, skulle vid 80 ampères ström framförd ovannämnda sträcka genom elektromagnetisk induktion hava erhållits en spänning i svagströmsledningarna av endast omkring 20 volt eller eftersom 80 ampère framgick 130 kilometer endast omkring 0,2 volt per 100 ampèrekilometer. Nu var emellertid att förutse, att en del av återledningsströmmen skulle lämna skenorna och återgå genom jorden. Enligt gängse antagande år 1909, då dessa beräkningar först utfördes, skulle man kunna räkna med, att återledningen skulle motsvaras av en ledning, förlagd i spegelbilden av kontaktledningarna under skenöverkant. I detta fall skulle den inducerade spänningen för de svagströmsledningar, som framgingo utefter hela sträckan, hava uppgått till omkring 60 volt vid 80 ampère i kontaktledningarna från Kiruna till Riksgränsen eller således omkring 0,6 volt per 100 ampèrekilometer.

Vid de mätningar, som företagits, hava emellertid betydligt högre spänningar uppmäts. De flesta av dessa mätningar hava utförts å mätledningen. Uppmätta värden på nedre mätledningen hava nämligen visat sig så gott som lika med dem å mätledningen och jordförbindning av övriga svagströmsledning har i detta fall ej haft någon inverkan. För att i möjligaste mån eliminera bort annan inverkan än den av elektromagnetisk induktion från strömmen i kontaktledningarna har mätledningen i allmänhet jordförbundits långt bort från den strömförande sträckan. Det är på detta sätt erhållna mätresultat, som sammanförts i nedanstående tabell, i vilken angives strömstyrkan i kontaktledningarna och den på mätledningen uppmätta spänningen dels totalt och dels per 100 ampèrekilometer (Akm).

Mät- tillfälle	Period- tal	Strömförande sträcka av kontaktledningarna	Ström- styrka amp.	Uppmätt spänning	
				Total volt	volt per 100 Akm.
9/1 1915	16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	Kiruna—Riksgränsen	25	322	9,9
» »	»	» — »	80	811	7,86
7/1 »	»	» — »	80	779	7,55
20/1 »	»	» — »	25	260	8,05
» »	»	» — »	50	494	7,66
28/1 »	»	» — »	50	477	7,40
» »	25	» — »	50	581	9,02
» »	»	» — »	25	320	9,92
febr. 1916	15	» — »	22,8	257	8,86
» »	»	Kiruna—Abisko	26,2	241	10,1
9/1 1915	16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	Kiruna—Kaisepakte	80	507	8,95
febr. 1916	15	» — »	77,5	499	9,38
» »	»	» —Torneträsk	102,5	447	8,84
» »	»	» —Rensjön	180,8	453	8,44
» »	»	» —Krokvik	160	112,5	7,81
» »	»	Torneträsk—Abisko	65	227	8,38
» »	»	» —Riksgränsen	55	293	6,85
» »	»	Abisko — »	65	101	4,31
maj 1916	15	Kiruna—Krokvik	108	87,5	10,05
» »	»	» — »	164	124	9,85
» »	»	Torneträsk—Kiruna	128	480	7,36
» »	»	» —Bergfors	292	197	6,35
» »	»	» —Stenbacken	299	202	7,02
» »	»	» —Abisko	130	437	8,19
juli »	»	» — 2,7	308	52,5	6,31
» »	»	» — 4,05	255	56,9	6,24
» »	»	» — 5,4	224	75,3	6,22
» »	»	» — 6,75	225	94	6,19
» »	»	» — 8,1	245	129	6,51

Då mätledningen jordförbands i Kiruna och Riksgränsen uppmättes följande spänningar:

Mät- tillfälle	Period- tal	Strömförande styrka av kontaktledningarna	Ström- styrka amp.	Uppmätt spänning	
				total volt	volt per 100 Akm.
$7/1$ 1915	$16 \frac{2}{3}$	Kiruna—Riksgränsen	80	900	8,72
$21/1$ »	»	» — »	24	243	7,85
» »	»	» — »	50	460	7,83
» »	25	» — »	25	323	10,00
» »	»	» — »	50	599	9,28
maj 1916	»	» — »	20	315	12,2
» »	»	» — »	31	469,5	11,74
» »	»	» — »	40,3	599,5	11,54
» »	15	» — »	22,9	245	8,44
» »	»	» — »	58,6	600	8,07
juni 1917	»	» — »	43,5	393	7,15

För jämförelse hava också uppmätningar av detta slag utförts med likström i kontaktledningarna från Kiruna till Riksgränsen. Mätledningen har därvid varit jordförbunden i Kiruna och Riksgränsen och uppmättes därvid å densamma vid resp. 25 och 68,7 ampère i kontaktledningarna resp. 24,4 och 59 volt motsvarande resp. 0,75 och 0,66 volt per 100 ampèrekilometer. Då mätning Kiruna—Vassijaure företogs vid ett annat tillfälle erhöles vid omkring 80 ampère likström i kontaktledningarna 1,17 volt per 100 ampèrekilometer.

Av de anförda mätresultaten framgår, att betydliga variationer av de å svagströmsledningarna uppmätta spänningarna förekomma, beroende tydligen på ändring i övergångsmotståndet vid olika väderlek. Vidare är det tydligt, att dessa spänningar äro beroende av strömstyrkan i kontaktledningarna i det relativt högre spänningar erhållas vid lägre strömstyrkor. Periodtalets inverkan framgår också av tabellen. Sålunda observerades den 28 januari 1915 omkring 22 procent högre spänning på svagströmsledningarna vid 25 perioder än vid  $16 \frac{2}{3}$ . Denna spänning stiger sålunda av denna mätning att döma ej direkt med periodtalet utan snarare med kvadratrotten ur detsamma. Mätningen i maj 1916 visar emellertid en betydligt större stegring eller omkring 43 procent i stället för 29 om nyssnämnda regel följes, då jämförelse göres mellan mätvärden för 15 och 25 perioder. Denna jämförelse är emellertid osäker på grund av att mätledningen i detta fall var jordförbunden invid mätsträckans ändpunkter.

Mätsträckans längd synes ej avsevärt inverka på den uppmätta spänningens storlek. Jämför man värdena för delsträckorna Kiruna—Torne-träsk, Torneträsk—Abisko och Abisko—Riksgränsen med mätvärdena för hela sträckan Kiruna—Riksgränsen, så finner man, att de senare endast

äro några få procent högre än summan av mätvärdena för delsträckorna. Överraskande är det låga värdet för sträckan Abisko—Riksgränsen, vilket endast uppgår till 4,31 volt per 100 ampèrekilometer. Då det var tydligt, att i detta fall särskilda omständigheter förelågo, hava en del undersökningar utförts för att närmare utröna anledningen till den erhållna låga spänningen.

#### INVERKAN AV SPÅRETS SEKTIONERING.

De första försök, som därvid utfördes, voro uppmätningar av strömstyrkan i skenledningen. Vid mätningar av här ifrågavarande slag har, om strömmen exempelvis utgått från Kiruna, ena polen av en transformator där förbundits med skenledningen och den andra med kontaktledningarna. I Riksgränsen har, om strömmen fått gå dit, kontaktledningarna direkt förbundits med skenledningen. Mätningar hava utförts för att bestämma hur stor del av strömmen som i Kiruna resp. Riksgränsen utgår i skenledningen dels söderut och dels norrut. Det har därvid visat sig, att av 80 ampère i kontaktledningen utgingo i Kiruna 27 ampère eller omkring 34 procent söderut under det i Riksgränsen endast 3 ampère eller ej fullt 4 procent utgingo norrut, d. v. s. i båda fallen från mätsträckan. Då mätning i stället utfördes på sträckan Kiruna—Abisko, visade det sig, att från Abisko norrut utgick vid 80 ampère i kontaktledningarna 22 ampère eller 27,5 procent.

På grund härav var det nästan tydligt, att den relativt låga spänning å svagströmsledningarna, som erhöles för sträckan Abisko—Riksgränsen, måste bero på att bandelen Riksgränsen—Narvik ej tillät strömmens spridning på normalt sätt från Riksgränsens station. För att närmare undersöka detta isolerades det svenska skensystemet från det norska genom borttagande av skaryjärnen för båda skenorna omedelbart utanför Riksgränsens station åt norska sidan. Den sist i tabellerna upptagna mätningen gjordes därefter om och blev därvid spänningen på mätledningen minskad från 7,15 till 6,87 volt per 100 ampèrekilometer. Då ström framsläpptes endast från Vassijaure till Riksgränsen erhöles å mätledningen, som fortfarande var jordförbunden i Kiruna och Riksgränsen, vid 204 ampère i kontaktledningarna endast 42 volt eller 2,94 volt per 100 ampèrekilometer.

För att närmare studera denna fråga utsläpptes ström från Torneträsk transformatorstation, vilken för dessa försök ansågs bäst belägen, dels 20,6 km. norrut till sektionspunkten Z 42 på kontaktledningarna och dels söderut 25,1 km. till sektionspunkt Z 76. Spänning uppmättes på mätledningen, som var jordförbunden i Kiruna och Riksgränsen. Därvid erhöles följande mätvärden vid omkring 60 ampère i kontaktledningarna Torneträsk—Z 42.



- 1) Då spåret var helt . . . . . 9,22 volt per 100 Akm.
- 2) Då spåret var brutet vid Z 42 norr om mätsträckan och således denna isolerad från fortsättningen av spåret mot Riksgränsen . . . . . 3,40 » » » »
- 3) Då spåret var brutet både vid Z 42 norr om mätsträckan samt dessutom vid Torneträsk söder om mätsträckan — mätsträckan var således i detta fall isolerad från spårsystemet i övrigt . . . . . 3,0 » » » »

Vid omkring 55 ampère i kontaktledningarna Torneträsk—Z 76 erhöles följande mätvärden:

- 1) Då spåret var helt . . . . . 8,68 volt per 100 Akm.
- 2) Då spåret var brutet vid Z 76 söder om mätsträckan . . . . . 5,65 » » » »
- 3) Då spåret var brutet både vid Z 76 söder om mätsträckan och vid Torneträsk norr om mätsträckan . . . . . 2,87 » » » »

Dessa försök utfördes i mars 1917. I juni samma år utfördes en del kompletterande undersökningar, varvid spåret sektionerades ungefär mitt emellan transformatorstationerna Kiruna, Torneträsk, Abisko och Vassijaure vid sektionspunkterna Z 76, Z 42 och Z 17 å kontaktledningarna. Ström utsläpptes därefter först från Torneträsk till Z 76 och Z 42 och erhöles därvid vid omkring 120 ampère genom kontaktledningarna på svagströmsledningarna spänningar, motsvarande resp. 4,8 och 4,6 volt per 100 ampèrekilometer. Då ström utsläpptes från Abisko till Z 42, erhöles en motsvarande spänning av 3,7 volt per 100 ampèrekilometer vid ungefär samma strömstyrka som i föregående fall i kontaktledningarna.

Härav framgår således, att för att spänningen på svagströmsledningarna per 100 ampèrekilometer skall minska, så måste spåret för mätsträckan isoleras från invidliggande spårssystem. Hur längden av en sådan isolerad skensträcka inverkar på mätningresultatet framgår av nedanstående tabell:

Måttillfälle	Periodtal	Sträcka	Längd km.	Strömstyrka	Volt per 100 Akm.
sept. 1916	15	Kiruna—2,8 km.	2,8	320	0,38
»	»	Kiruna—4,05 »	4,05	316	0,28
»	»	Kiruna—8,1 »	8,1	318	0,66
mars 1917	»	Torneträsk—Z 42	20,6	61,5	3,00
»	»	Torneträsk—Z 76	25,1	54,2	2,87
sept. 1916	»	Torneträsk—Kiruna	49,0	161,0	4,2

Genom att göra delsträckorna tillräckligt korta kan således spänningen på svagströmsledningarna nedbringas till en obetydlighet.

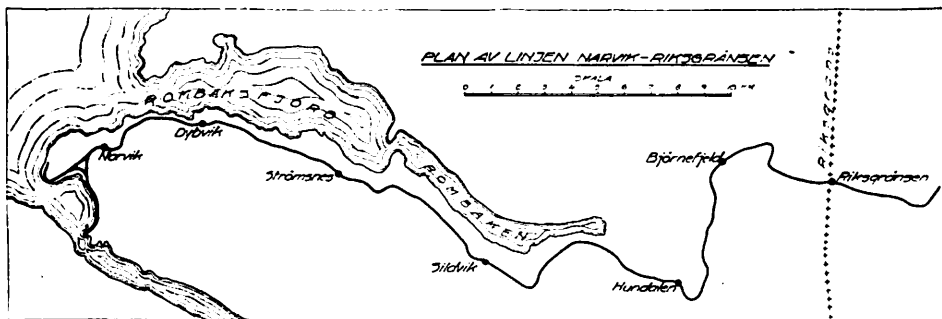


Bild 26. Översiktsplan av linjen Riksgränsen—Narvik.

### STÖRNINGARNA FÖR LINJEN RIKSGRÄNSEN—NARVIK.

Sektioneringen av spårsystemet medför emellertid också en annan fördel. Från Norges Statsbaner hade framställts klagomål över att svagströmsledningarna å sträckan Riksgränsen—Narvik stördes genom den elektriska driften å linjen Kiruna—Riksgränsen. Jordförbindningen för

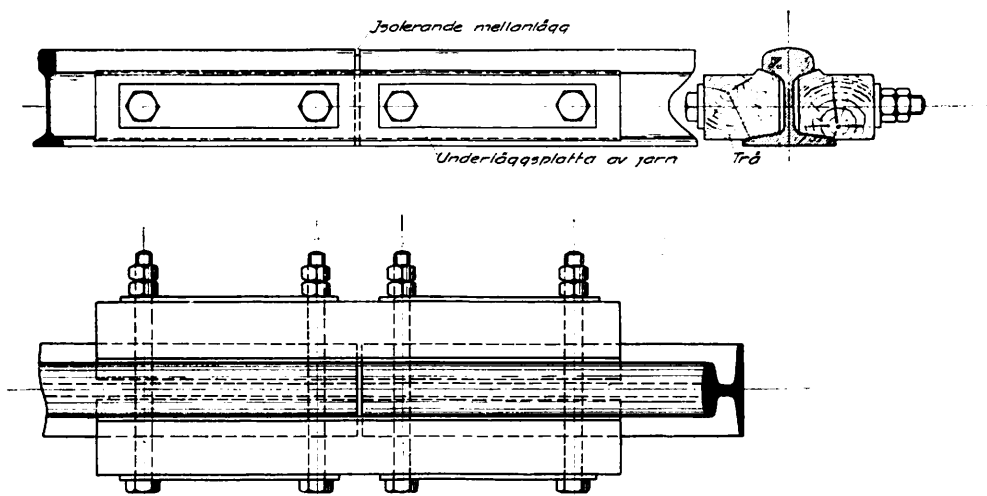


Bild 27. Isolerande skenskarvförbindning.

svagströmsledningarna till bandelen Riksgränsen—Narvik var från början anordnad på Riksgränsens station, men flyttades med hänsyn till den elektriska driften störande inverkan till närmaste norska station Bjørnefjeld. Detta visade sig emellertid ej hjälpa upp saken i erforderlig grad, varför en del undersökningar igångsattes.

Då ström utsläpptes genom kontaktledningarna från Kiruna till Riks-

gränsen, kunde vid 43,5 ampère i dessa ledningar uppmätas en spänning av 21,5 volt mellan jordförbindningarna på Riksgränsen och Narvik stationer. Mellan Narvik och Björnefjeld uppmättes samtidigt en spänning av 15 volt. Då 204,5 ampère framsläpptes genom kontaktledningarna från Vassijaure till Riksgränsen, blev spänningen Riksgränsen—Narvik 63,5 volt och Björnefjeld—Narvik 42 volt. Försök utfördes därefter med avbrott i spåret omedelbart utanför Riksgränsen mot norska sidan. Därvid försvann alla spår av inverkan av strömmen i kontaktledningarna på svenska sidan för sträckan mellan Björnefjeld och Narvik. Störningarna i svagströmsledningarna för bandelen Riksgränsen—Narvik kunde därför avlägsnas endast därigenom, att isolerade skarvförbindningar insattes i spåret omedelbart utanför Riksgränsens station åt norska sidan. Tvenne satser sådana isolerade skarvförbindningar hava insatts i spåret, och har avståndet mellan de spårisolationer, som härigenom erhållas, gjorts så stort, att längsta förekommande tåg ej kan kortsluta båda isolationerna samtidigt. Vid den isolerande skarvförbindningen uppstår naturligen en spänning, som möjligen kunde tänkas bli farlig. Denna spänning, som naturligen varierar allt efter driften, har därför under en längre tid observerats. Den högsta spänning, som härvid uppmätts vid denna skarv, har uppgått till 28 volt, och har av densamma ingen olägenhet vållats.

#### SKENLEDNINGSSTRÖMMEN.

För ytterligare utredning om orsakerna till den av strömmen i kontaktledningarna alstrade spänningen å svagströmsledningarna har uppmätning av strömmarna i skenledningen utförts under olika förhållanden. I mars 1915 hava sålunda mätningar utförts å sträckan Kiruna—Vassijaure dels med likström (periodtalet = 0) och dels med enfasström av 16  $\frac{2}{3}$  och 25 perioder. Mätledningen var därvid jordförbunden i Kiruna och Riksgränsen. Strömstyrkan i skenledningen uppmättes vid Kaisepakte station. Resultaten äro sammanställda i nedanstående tabell.

Periodtal	Strömstyrka amp.			Spänning på mätledn.	
	I kontaktledn.	i skenledningen		totalt	per 100 Akm.
		totalt	i procent		
0	40,0	0	0	64	1,29
0	66,0	0	0	77	0,95
0	78,8	0	0	114	1,17
16 $\frac{2}{3}$	43,0	24,0	55,8	440	8,28
»	68,0	38,0	55,9	700	8,34
»	81,2	48,0	59,2	—	—
25	32,8	17,0	51,8	402	9,93
»	49,6	29,0	58,4	610	9,96
»	67,5	37,5	55,6	—	—

Häraf framgår således, att i trots av det uppmätta stora övergångsmotståndet mellan skenor och jord strömstyrkan i skenledningen på mitten vid Kaisepakte var noll då likström framsläpptes. Vid 16  $\frac{2}{3}$ s och 25 perioder uppmättes i spåret enligt tabellen ungefär lika mycket ström. Anmärkas bör emellertid att den strömprocent, som är kvar i spåret på mitten, avsevärt varierar, i det vid andra tillfällen uppmätts endast 41 å 45 procent, då mätning skedde för hela linjen Kiruna—Riksgränsen. Vid ett tillfälle (maj 1916) har uppmätning av strömmen i skenledningen skett på sträckan Kiruna—Krokvik, varvid 15-periodig ström framsläpptes endast denna korta sträcka. Därvid utgjorde strömmen vid mitten av denna sträcka 70 procent av den i kontaktledningen framgående strömmen. I trots därav var vid tillfället i fråga, såsom av den första här ovan upp-

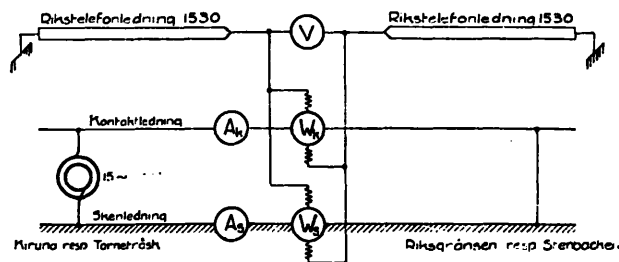


Bild. 28. Schema visande inkoppling av mätinstrument för utmätning av fasvinklarna mellan strömmarna i kontakt- och skenledningen samt mätledningen.

tagna tabellen framgår, den av kontaktledningarna Kiruna—Krokvik i svagströmsledningarna alstrade spänningen relativt större än för kontaktledningarna Kiruna—Vassijaure.

För att vidare undersöka denna sak hava också fasvinklarna uppmätts dels mellan strömmen i kontaktledningarna och skenledningen och dels mellan strömmen i vardera av dessa ledningar och strömmen i mätledningen. Uppmätningen utfördes på sätt bild 28 visar, nämligen så, att i kontakt- och skenledningarna inkopplades dels ampèremätare  $A_k$  och  $A_s$  och dels strömspolarna till wattmätare  $W_k$  och  $W_s$ . Spänningspolarna för de senare inkopplades till mätledningen, i vilken också en voltmeter  $V$  inkopplades. Dessa försök hava utförts dels för hela sträckan Kiruna—Riksgränsen, i vilket fall mätinstrumenten inkopplades ungefär mitt på linjen vid Kaisepakte station och dels för sträckan Tornetråsk—Stenbacken, varvid mätinstrumenten voro inkopplade mitt på sträckan. Mätningarna hava utförts dels med 15 och dels med 25-periodig ström. Siffrorna inom parentes i tabellen angiva skenledningsström i procent av kontaktledningarnas ström.

Per	Kontaktledningen		Skenledningen		Spänning i mätledn.		Vinkel mellan strömmarna		
	$A_k$ amp.	$W_k$ watt	$A_s$ amp.	$W_s$ watt	$V$ volt	volt per 100 Akm.	i kontaktledn. och skenedn.	i kontaktledn. och mätledn.	i skenedn. och mätledn.
<i>Sträckan Kiruna—Riksgränsen, maj 1916.</i>									
15	58,65	18 500	24,15(41,1)	14 150	600	8,05	45°50'	58°20'	12°30'
25	20,15	3 460	10,1 (50,2)	3 010	315	12,3	38°	57°	19°
25	31	7 820	15,15(48,8)	6 520	469,5	11,9	34°	57°30'	23°30'
25	40,3'	13 000	20,15(50,0)	10 800	599,5	11,7	31°	57°30'	26°30'
<i>Sträckan Torneträsk—Stenbacken, juli 1916.</i>									
15	90,7	1 122	69,9(77,1)	798	49,9	6,8	1°25'	72°15'	73°40'
15	193,6	3 840	154,8(79,9)	2 700	92,8	5,92	1°45'	75°25'	77°10'
15	278,0	6 864	226,4(81,2)	4 520	135,5	6,03	2°20'	77°35'	79°55'

Av tabellen framgår, att för den längre sträckan en betydande fasvinkel förefanns mellan strömmen i kontaktledningarna och i skenedningen. För sträckan Torneträsk—Stenbacken var däremot denna fasvinkel obetydlig och fasvinkeln mellan strömmen i mätledningen och resp. kontakt- och skenedningsströmmarna var i det fallet närmare 90 grader.

#### INVERKAN AV SKENFÖRBINDNINGAR OCH DUBBELSPÅR.

I juli 1916 hade spåret mellan Kiruna och Krokvik försetts med skenförbindningar av 50 kvm. koppartråd fäst på ömse sidor om skarvjärnen medelst i skenlivet inpressade koniska kopparpluggar. Mätning företogs därefter för att utröna inverkan av strömmen i kontaktledningarna på denna sträcka. Därvid undersöktes dels inverkan av hela sträckan, som utgöres av 6 kontaktledningssektioner och dels inverkan av färre antal sektioner. I detta fall uppmättes spänningen dels på mätledningen och dels på försöksledningen. Resultatet framgår av nedan upptagna tabell.

Mätsträcka	Sträckans längd km.	Amp. i kontaktledn.	Spänning i volt			
			å mätledningen		å försöksledningen	
			totalt	pr 100 Akm.	totalt	pr 100 Akm.
Kiruna—Z 89	8,1	207,6	95,0	5,65	96,5	5,74
Kiruna—Z 90	6,75	210,8	77,5	5,44	80,0	5,62
Kiruna—Z 91	5,4	295,5	90,2	5,65	92,1	5,77
Kiruna—Z 92	4,05	301	70,0	5,74	71,3	5,85
Kiruna—Z 93	2,7	329	52,4	5,90	51,9	5,85
Kiruna—Z 94	1,35	335	27,5	6,06	27,2	6,0

Härav synes således att skenförbindningarna i avsevärd grad minska spänningen för svagströmsledningarna, i det sänkningen utgör ej mindre än närmare 40 procent i förhållande till det i maj 1916 erhållna värdet. Spänningen på mätledningen och å försöksledningen äro däremot som synes i det närmaste lika. En utflyttning till 125 meter från banan synes enligt dessa mätvärden därför ej vara till någon nytta för minskning av inverkan av strömmen i kontaktledningarna på svagströmsledningar.

Mätningar av detta slag hava också utförts vid Stockholm—Roslagens och Stockholm—Saltsjöns järnvägar. Vid mätning å intill dessa banor framgående svagströmsledningar erhöles, då dels likström och dels 15-periodig enfassström där framsläpptes genom kontaktledningarna, följande spänningar:

1) För Stockholm—Roslagens järnväg.

Periodtal	Strömstyrka	S p ä n n i n g	
		totalt	per 100 Akm.
15	70,9	44	5,18
14,3	81,2	48	4,93
16,0	99,5	56,5	4,72

2) För Stockholm—Saltsjöns järnväg.

Periodtal	Strömstyrka	S p ä n n i n g	
		totalt	per 100 Akm.
0	86,6	7,36	0,62
0	175,5	14,7	0,61
15	32,8	22,4	4,98
»	53,5	35,9	4,89
»	78,0	55,0	5,14

Av den sista tabellen framgår, att även vid likström spänningar uppkomma. Dessa spänningar äro så pass höga, att vid båda ovannämnda elektriska järnvägar dubbelledning måste anordnas för telegrafan.

För banor, som i sin helhet äro dubbelspåriga, erhållas ännu mindre spänningar. Sålunda har vid bandelen Dessau—Bitterfeld i Tyskland, som har dubbelspår försett med kopparförbindningar vid skenskarvarna, uppmätts en motsvarande spänning av endast 4,2 volt per 100 ampèrekilometer.

Insättandet av kopparförbindningar vid skenskarvarna minskar skenledningens motstånd i avsevärd grad. Detta framgår av nedan upptagna

mätningar å kontaktledningarnas (inkl. återledningen genom skenor och jord) impedans  $z$ , resistans  $r$  och reaktans  $x$ . Dessa mätningar hava utförts dels för sträckan Kiruna—Krokvik med och utan skenförbindningar insatta och dels för sträckorna Torneträsk—Kaisepakte (Z 42) 20,6 km. och Torneträsk—Z 76 (25,1 km.). Nedanstående tabell anger  $z$ ,  $r$  och  $x$  uträknade i ohm per kilometer spår.

amp.	$z$	$r$	$x$	A n m.
<i>Sträckan Kiruna—Krokvik 8,1 km.</i>				
107,6	0,341	0,2965	0,169	} maj 1916 utan skenförbindn.
163,6	0,327	0,280	0,1745	
245,2	0,259	0,180	0,187	} febr. 1918 med skenförbindn.
315,2	0,268	0,179	0,199	
<i>Sträckan Torneträsk—Kaisepakte (Z 42) 20,6 km.</i>				
63	0,322	0,171	0,273	mars 1917 utan skenförbindn.
<i>Sträckan Torneträsk—Z 76 (mellan Rautas och Rensjön) 25,1 km.</i>				
54,5	0,272	0,161	0,219	mars 1917 utan skenförbindn.

Dessutom hava också skenledningens motstånd  $z$ ,  $r$  och  $x$  i ohm per kilometer uppmäts för sträckan Kiruna—Krokvik dels utan och dels med skenförbindningar insatta. Resultatet av dessa mätningar framgår av nedan upptagna tabell.

amp.	$z$	$r$	$x$	A n m.
92,4	0,185	0,131	0,1315	} utan skenförbindningar, maj 1916
205	0,169	0,1120	0,128	
288	0,163	0,1075	0,124	
98,5	0,168	0,137	0,074	
209,2	0,148	0,1235	0,0813	
298	0,149	0,1235	0,084	
94,8	0,118	0,0677	0,0935	} med skenförbindningar, juli 1916
184,4	0,124	0,0665	0,108	
288,0	0,124	0,0655	0,1085	
98,5	0,12	0,074	0,098	
183,0	0,127	0,0725	0,1065	
287,6	0,126	0,07	0,108	

Av ovanstående tabell framgår, att spårets resistans  $r$  minskats genom insättandet av skenförbindningar med omkring 40 procent eller ungefär lika mycket som spänningen på mälledningen. Däremot minskas härvid spårets impedans  $z$  endast ungefär hälften så mycket.

De skenförbindningar, som kommit till användning å sträckan Kiruna—Krokvik, visas av bild 29. Emellertid hafva utförda undersökningar visat att, tvärt emot vad som förr antagits, övergångsmotståndet mellan kopparförbindningen och skenan är mycket litet, om fastsättningen sker på rätt sätt. Det är därför av vikt att motståndet i själva skenförbindningen också göres så litet som möjligt och hava därför korta skenförbindningar, vilka fastsätts vid skenhuvudet så som bild 31 visar, kommit till användning vid ett flertal elektriska banor. Under skenskarvarne inlagda förbindningar böra däremot helst undvikas, enär de ej kunna tillses på erforderligt sätt.

### INVERKAN AV SVAGSTRÖMSLEDNINGARNAS AVSTÅND FRÅN KONTAKTLEDNINGARNA.

Inverkan av strömmen i kontaktledningarna på svagströmsledningar, belägna på längre avstånd från banan har också varit föremål för under-

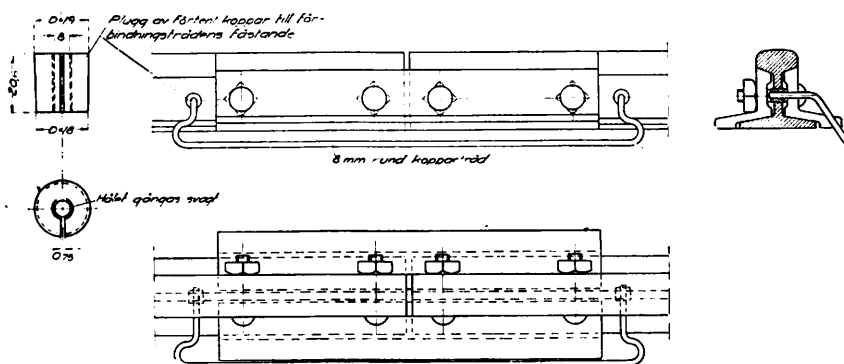


Bild 29. Den för bandelen Kiruna—Krokvik använda skenförbindningen.

sökningar. Ovan har redan omnämnts, att de härvid uppmätta spänningarna å försöksledningen Kiruna—Krokvik, vilkens avstånd från banan utgjorde 125 meter, uppgingo till ungefär samma värden, som spänningarna å de utefter banan på omkring 17 meters avstånd från densamma framdragna svagströmsledningarna.

Vid Lund—Bjärreds järnväg hava också försök för detta ändamål utförts. För en svagströmsledning å 135 meter från denna bana erhöles omkring 4.4 volt per 100 ampèrekilometer och för en ledning på 1,100 meters avstånd från banan 0.45 volt per 100 ampèrekilometer. I båda fallen användes enfasström med  $16\frac{2}{3}$  perioder vid mätningen. Mätsträckans längd utgjorde i detta fall endast omkring 10 kilometer.

Vid den tyska banan Dessau—Bitterfeld hava en hel del försök av detta slag också utförts. Resultaten av dessa försök framgå av nedan upptagna tabell. Försöken äro utförda med 100 ampère 15-periodig enfasström framgående genom kontaktledningarna en sträcka av omkring 22 kilometer.



Svagströmsledningarnas avstånd från banan i meter.	Volt per 100 Akm.
8 .....	4,2
40 .....	2,6
200 .....	1,65
220 .....	1,70
240 .....	1,48
330 .....	1,40
700 .....	1,00
1,000 .....	0,70
1,110 .....	0,6
4,500 .....	0,0

### INVERKAN PÅ I KABEL FÖRLAGDA SVAGSTRÖMSLEDNINGAR.

Inverkan av strömmen i kontaktledningarna på i blyarmerade kablar förlagda svagströmsledningingar har varit föremål för undersökningar under

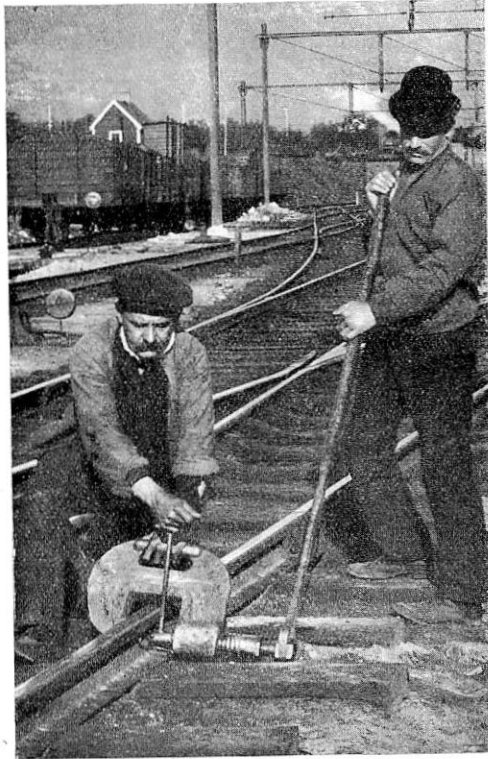


Bild 30. Anordning för fastsättande av skenförbindning enligt bild 29.

mätningar vid Stockholm—Saltsjöns järnväg i mars 1916. Dessa mätningar utfördes å följande ledningar, nämligen:

1) en telefonledning i luftkabel upphängd på stolpar i banans omedelbara närhet,

2) en telefonledning förlagd till ca  $\frac{2}{3}$  av sin längd i jordkabel och i övrigt i luftkabel, på ett medelavstånd av omkring 175 m. från banan, samt å

3) en blank, på kontaktledningsstolparna å isolatorer upplagd telefonledning.

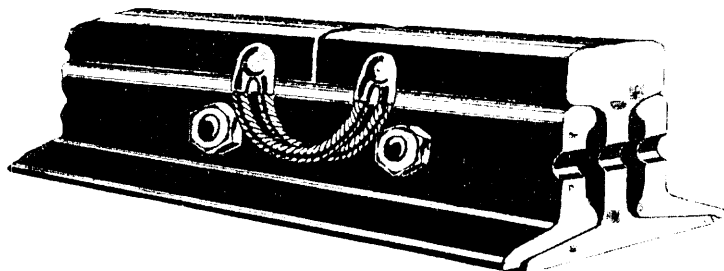


Bild 31. Kort skenförbindning.

Härvid uppmättes vid olika strömarter och strömstyrkor i kontaktledningen i tabellen angivna spänningar, vilka visa att högst obetydligt skydd mot kontaktledningsströmmens inverkan vinnes genom svagströmsledningarnas förläggning i kabel.

Period- tal	Ström amp.	Spänning i volt på					
		mätledn. 1		mätledn. 2		mätledn. 3	
		totalt	pr 100 Akm.	totalt	pr 100 Akm.	totalt	pr 100 Akm.
0	86,6	6,75	0,57	7,2	0,61	7,36	0,62
0	175,5	14,0	0,59	14,1	0,59	14,7	0,62
15	32,8	18,7	4,16	10,9	2,42	22,4	4,98
15	53,5	30,0	4,08	17,3	2,35	35,9	4,89
15	78,0	45,7	4,27	26,2	2,45	55,0	5,14

### INVERKAN AV MOTVERKANDE STRÖMKRETSAR.

I det föregående har redogörelse lämnats för de undersökningar, vilka utförts för att utreda dels orsakerna till de relativt höga spänningar, som erhållas å svagströmsledningarna genom inverkan av strömmen i kontaktledningarna samt dels möjligheterna att förminska dessa spänningar. För att minska denna inverkan hade, såsom redan ovan meddelats, ledningssystemet från början utförts så att strömmen alltid skulle tillföras de elektriska lokomotiven på banan från två håll genom kontaktledningarna från tvenne närbelägna transformatorstationer. Avsikten härmed var, att de båda sålunda uppkommande strömkretsarna skulle i möjligaste mån upphäva varandras inverkan på svagströmsledningarna.

För att undersöka, huruvida tvenne sådana strömkretsar verkligen upphäva varandras inverkan på svagströmsledningarna, utfördes följande försök. Kontaktledningarna förbundos direkt med skenorna i Abisko och Kiruna och ström utsläpptes från Torneträsk transformatorstation dels till Abisko och dels till Kiruna samt slutligen till båda ställena samtidigt. Samma försök upprepades därefter men med kontaktledningarna förbundna med skenorna i Stenbacken och Bergfors. Resultatet framgår av nedan upplagda tabell. Mätledningen var vid dessa försök, som utfördes i maj 1916, jordförbundna i Riksgränsen och Juckasjärvi.

Mätsträcka från Torneträsk till	Längd km.	Strömstyrka amp.		Resul- terande Akm.	Spänning å mät- ledn. volt	
		norrut	söderut		totalt	per 100 Akm.
Abisko .....	41,7	130	—	5,330	437	8,19
Stenbacken.....	9,6	299,2	—	2,875	202	7,02
Bergfors .....	10,6	—	292,4	3,100	197	6,35
Kiruna .....	50,9	—	128,2	6,520	480	7,36
Abisko och Kiruna .....	—	152,6	134,0	450	33	7,33
Stenbacken och Bergfors...	—	181,6	191,0	280	4,5	1,6

Av tabellen framgår, att de båda strömkretsarna, såsom beräknat, upphäva varandras inverkan på svagströmsledningarna. Den återstående spänningen är tydligen beroende på att motstånden per kilometer spår ej äro fullt lika. De under drift å bandelen Kiruna—Riksgränsen uppkommande spänningarna å svagströmsledningarna äro därför huvudsakligen beroende på spänningsfallet i överföringsledningarna och transformatorerna. Genom att anordna överföringsledningarna såsom s. k. ändvända ledningar skulle inverkan av spänningsfallet i desamma kunna borttagas. Detta är emellertid en mycket oekonomisk åtgärd, och då inverkan av spänningsfallet i transformatorerna ändock kvarstår, måste någon annan utväg sökas.

#### INVERKAN AV SEKTIONERING AV KONTAKTLEDNINGSNÄTET.

En sådan utväg står att erhålla genom sektionering av kontaktledningssystemet. Därför böra såväl kontakt- som skenledningarna sektioneras ungefär mitt emellan transformatorstationerna. Varje transformatorstation kommer att därvid arbeta på sitt eget avskilda kontaktledningsnät, vilket givetvis ur driftsäkerhetssynpunkt är synnerligen värdefullt. Därigenom att transformatorstationerna inkopplas till samma överföringsledningar, förbliva emellertid alltid spänningarna i de skilda kontaktledningsnäten ungefär lika och i fas med varandra. Kontaktledningarna kunna på grund härav anordnas så, att ett lokomotiv kan få passera gränsen mellan tvenne transformatorstationers kontaktledningsnät utan strömavbrott. Vid loko-

motivs övergång från det ena nätet till det andra komma dessa att för några ögonblick parallellkopplas av lokomotivets strömavtagare, vilket emellertid efter vad försök visat utan olägenhet kan få ske. Härigenom undvikes det ryck, särskilt i malmtågen, som kunde bli en följd av att drivkraften för några sekunder plötsligt upphör, då lokomotivet passerar en strömlös sektion mellan de båda kontaktledningsnäten.

Vid sektionering av kontaktledningssystemet bortfaller tydligen alldeles inverkan av spänningsfallet i överföringsledningarna och transformatorerna med undantag för de ögonblick, då sektionspunkter mellan olika ledningsnät passeras av lokomotiv. Men samtidigt bortfaller också matningen av strömmen från två håll. Genom sektionering av spåret minskas emellertid, såsom ovan visats, inverkan av strömmen i kontaktledningarna på svagströmsledningarna.

Genom sektionering erhålles således både fördelar och nackdelar. För att undersöka, hur sektioneringen av kontaktledningssystemet skulle ställa sig under drift, hava därför försök utförts vid bandelen Kiruna—Riksgränsen den 20 och 21 mars 1917. Under båda dessa dagar har trafiken gjorts i möjligaste grad lika. Den första dagen kördes med kontaktledningssystemet sammankopplat och den andra dagen med sektionerat kontaktledningssystem. Av bifogade plansch 7 och 8 framgår resultatet, varav synes, att spänningarna, då det sektionerade systemet användes, äro mindre än vid det ursprungliga systemet. Högsta uppträdande spänningen å svagströmsledningarna minskades genom sektioneringen med ej mindre än 40 procent.

Emellertid visade det sig, att de spänningar, som uppkomma i skenskarvarna mellan de olika ledningsnäten, då det sektionerade systemet användes, blevo otillåtligt stora. Ända upp till 350 volt observerades nämligen, såsom framgår av plansch 8, i skenskarven vid Z 76. Dessutom äro de på svagströmsledningarna uppträdande spänningarna även vid det sektionerade systemet otillåtligt stora. Båda dessa olägenheter kunna emellertid borttagas genom insättande av spårtransformatorer.

#### SPÅRTRANSFORMATORER.

Ovan har redan visats, att lägre spänning erhålles på svagströmsledningarna, då motståndet och därmed också spänningsfallet i skenledningen minskas, exempelvis genom insättande av kopparförbindningar vid skarvarna. Medelst förstärkningsledningar skulle skenledningens motstånd och därmed även spänningen på svagströmsledningarna kunna minskas ännu mer. Detta är emellertid en synnerligen dyrbar utväg, om genom densamma fullt tillfredsställande resultat skall ernås. Spårtransformatorerna erbjuda en långt billigare sådan. Deras verknings sätt är emellertid ett annat, i det de borttaga spänningsfallet i skenledningen genom att stegvis överflytta detsamma till kontaktledningen.

Spårtransformatorerna utgöras av vanliga strömtransformatorer, vilkas

ena lindning inkopplas i kontaktledningen och den andra i skenledningen. De insätts i ledningarna för varje eller möjligen varannan sektionpunkt, d. v. s. med ett inbördes avstånd av 1,400 à 2,800 meter. Spårtransformatorernas uppgift är också att åstadkomma likhet i avseende på storlek och fasvinkel mellan kontakt- och skenledningsströmmarna. För att ernå detta måste emellertid särskilda åtgärder vidtagas. Tydligt kräves härför att strömstyrkorna för spårtransformatorernas båda lindningar skola vara exakt lika. Med hänsyn till magnetiseringsströmmen måste därför omsättningstalet väljas några procent större än 1 och magnetiseringsströmmen genom ändring av luftgapet i transformatorjärnets fogar justeras till ett visst av omsättningstalet betingat värde. För erhållande av lika fasvinklar för strömmen på båda sidor om transformatorerna måste dessutom ett induktionsfritt motstånd av lämplig storlek parallellkopplas med transformatorernas ena lindning. Då emellertid magnetiseringsströmmen ej kan fås proportionell med belastningsströmmen vid alla förekommande strömstyrkor, erhålles strängt taget exakt likhet för strömmarna på transformatorernas båda sidor endast vid en viss strömstyrka. Genom lämpligt avpassande av spårtransformatorernas dimensioner kan emellertid erforderlig likhet mellan kontakt- och skenledningsströmmarna erhållas för alla normalt förekommande värden å kontaktledningsströmmen.

För utförande av försök hava 6 spårtransformatorer iordningställt. Dessa hava uppsatts å sträckan Kiruna—Krokvik på ett inbördes avstånd av 1,35 km. Skenledningen å ifrågavarande sträcka har vidare, såsom ovan redan nämnts, försetts med skenförbindningar av koppar. Transformatorerna voro utförda för en normal ström av 100 amp. samt med en mätning i järnet vid 300 amp. av omkring 10,000, vid vilket värde nöjaktlig kompensering av strömmarna enligt de uppgjorda beräkningarna ännu skulle inträffa. Av transformatorerna funnos tvenne utföringsformer: en med alla fyra fogarna i järnkärnan utförda såsom stötfogar, en med två stötfogar och två bladfogar.

På grund av att försökssträckan varit för kort, har det ej kunnat undvikas, att de strömmar och spänningar, som uppstå vid försökssträckans ändpunkter, haft inflytande på de erhållna mätresultaten. De avlästa strömmarna i svagströmsledningarna hava också varit så små, att de påverkats av små fluktuerande jordströmmar, vilka vid mättillfällena kunnat observeras å likströmsinstrument.

De erhållna resultaten giva därför visserligen intet exakt utslag över graden av strömkompensation, som vid mätningen förekommit, men de äro likväl tillräckliga för att visa, att en högst avsevärd reducering av spänningarna å svagströmsledningarna åstadkommes av spårtransformatorerna. Vidare kan man se, huru spårtransformatorerna i detta hänseende förhålla sig vid olika strömstyrkor.

I maj 1916 gjordes mätningar med de 6 transformatorerna inkopplade, innan ännu skenförbindningar insatts. I nedanstående tabell angives spänning i volt per 100 ampèrekilometer å mätledningen (jordförbunden i Juckasjärvi och Riksgränsen) vid olika strömstyrkor i kontaktledningen

samt det samtidigt bestämda motståndet för kontakt- och skenledning i ohm per km. spår inklusive spårtransformatorer.

Strömstyrka amp.	Motstånd i ohm pr km. inklusive spårtransformatorer			Spänning på mätledningen		A n m.
	z	r	x	totalt volt	volt pr 100 Akm.	
122,6	0,403	0,341	0,214	omkr. 7	omkr. 0,7	Samtliga 6 spårtransformatorer inkopplade
192,2	0,388	0,319	0,220	8,4	0,54	
287	—	—	—	20,4	0,87	
110,4	0,402	0,346	0,206	20,1	2,25	Varannan spårtransformator inkopplad
192,3	0,370	0,309	0,205	47	3,01	
291	—	—	—	93	3,94	

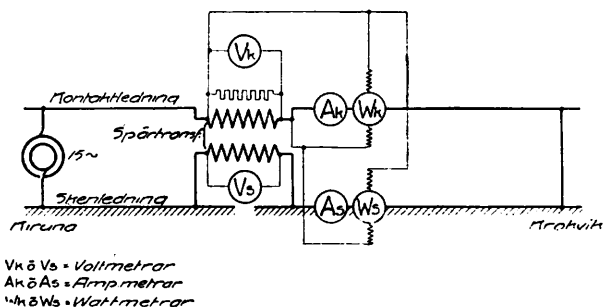


Bild 32. Schema visande sätt för inkoppling av instrument för kontrollering av spårtransformator.

Genom uppmätning av ström och spänning å transformatorernas båda lindningar samt inkoppling av strömspolen till en wattmeter i vardera lindningen, vars spänningssklämmor båda anslutits till samma spänning, såsom schemat bild 32 visar, hava kontakt- och skenledningsströmmarna kunnat jämföras till såväl storlek som fasvinkel. Dessa mätningar hava givit följande resultat:

Kontaktledn.-ström amp.	Skenledn.-ström amp.	Fasvinkel mellan kontakt- och skenledningsström	A n m.
92,3	92	0° 30'	Spårtransformator med 4 stötfogar
205	206,2	0° 10'	
288	289,2	0° 30'	
98,5	98,3	1° 40'	Spårtransformator med 2 stöt- och 2 bladfogar
209,2	209,2	0° 50'	
298	297	0°	

I juli 1916 gjordes nya mätningar med alla 6 spårtransformatorerna inkopplade, *sedan skenförbindningar insatts*. Kontaktledningsström, spänning på mätledningen och försöksledningen samt motstånd för kontakt- och skenledningen i ohm per km. inkl. spårtransformatorer angivas av nedanstående tabell. Mätledningen och försöksledningen voro jordförbundna i Riksgränsen och i Kiruna resp. Vittangi, vilka senare jordförbindningar i tabellens anmärkningskolumn angivits med K. resp. V. Jordledningen i Kiruna, vilken var belägen c:a 200 m. åt sidan om banan vid transformatorstationen i Kiruna synes av resultaten att döma hava varit spänningsförande.

Strömstyrka amp.	Motstånd i ohm pr km.			Spänning på mätledningen		Spänning på försöksledningen		Anm.
	z	r	x	totalt volt	volt pr 100 Akm.	totalt volt	volt pr 100 Akm.	
81,6	0,309	0,218	0,218	3,25	0,492	2,1	0,318	K
193,1	0,308	0,223	0,212	4,36	0,278	4,4	0,281	K
370,6	—	—	—	19,15	0,640	14,25	0,475	K
370,6	—	—	—	16,3	0,545	10,7	0,357	V
558	—	—	—	84	1,860	66	1,460	V
558	—	—	—	91,6	2,025	80,5	1,780	K

Jämförelse mellan kontakt- och skenledningsströmmarna fås av följande mätresultat:

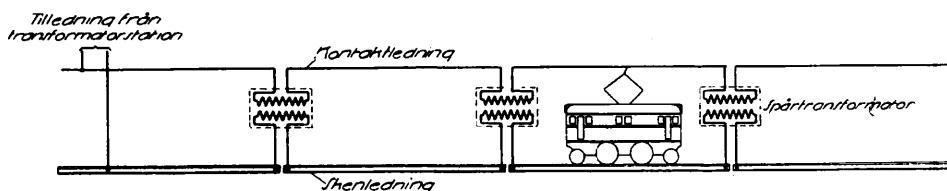
Kontaktledningsström amp.	Skenledningsström amp.	Fasvinkel mellan kontakt- och skenledningsström	A n m.
94,8	95,1	1° 15'	} Spårtransformator med 4 stötfogar
184,4	184,4	0° 25'	
288	284,4	0° 35'	
98,5	98,5	1° 45'	} Spårtransformator med 2 stöt- och 2 bladfogar
183	182	0° 55'	
287,6	283,6	0° 30'	

Vid samma tillfälle (juli 1916) gjordes även mätningar av inverkan av kontaktledningsströmmen vid inkopplade spårtransformatorer, då skenledningen var bruten å ömse sidor om mätsträckan. Kontaktledningen var förbunden med skenledningen omedelbart intill den sjätte transformatorn, varför således mätledningen var 6,7 km. lång. Vid 256 amp. i kontaktledningen uppmättes på mätledningen 0,286 volt och på försöksledningen 0,147 volt per 100 Akm.

Av ovan omnämnda mätningar kan vidare motståndet i skenledningen bestämmas. De därvid erhållna värdena hava sitt intresse för att visa

skenförbindningarnas inverkan. Resultatet av dessa mätningar har redan ovan angivits i tabellen å sid. 49.

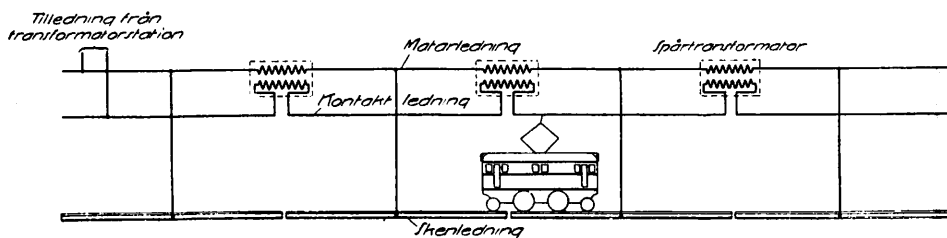
Av dessa resultat framgår, att spårtransformatorerna, då skenförbindningar insätts, kunna minskas i storlek med minst 20 procent. Vidare erhålles fördelen av att spårets motstånd ej blir beroende av de vanliga skenskarvarna, vilkas motstånd kan variera betydligt på grund av olika grad av tilldragning. Slutligen erhålles fördelen av att spänningen i de isolerade skenskarvarna vid spårtransformatorerna minskas med åtminstone 20 procent. På grund härav är det tydligt, att kopparförbindningar böra insättas vid skenskarvarna, då spårtransformatorer skola komma till användning. Ovan omnämnda spårtransformatorer inkopplades i kontaktledningssystemet på sätt vidstående schema I bild 33 visar.



*Schema I för inkoppling av spårtransformatorer*

Bild 33.

Kopparförbindningar vid skenskarvarna kunna emellertid undvikas, om man avstår från att använda spåret för återledningsströmmens framförande och i stället anordnar särskild återgångsledning, som inkopplas på sätt vidstående schema II bild 34 visar. Detta är dock mycket oekonomiskt,



*Schema II för inkoppling av spårtransformatorer*

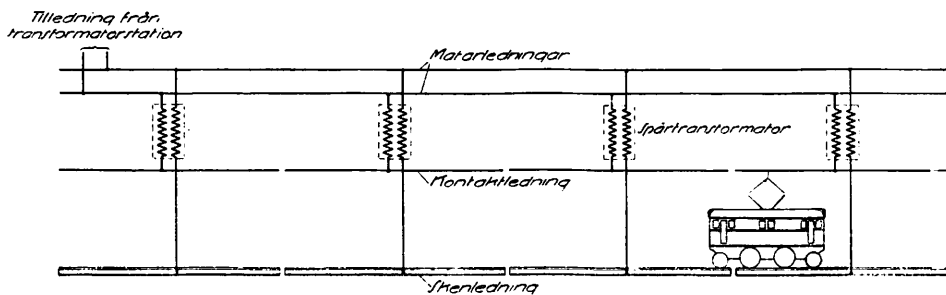
Bild 34.

enär därigenom spårets värde som ledare ej alls utnyttjas. Spår, bestående såsom vid bandelen Kiruna—Riksgränsen av räler med vikt av 40,5 kg per meter, försedda med kopparförbindningar vid skarvarna, motsvara nämligen enligt här förut angivna provningsresultat i avseende på ledningsförmåga för 15-periodig enfasström en kopparkabel med ungefär 250 kvmm area. Denna anordning kan dock vara lämplig att använda vid banor med svagare räler, vid vilka inmatningen av strömmen till kontaktlednings-



systemet sker på endast ett ställe. I sådana fall kan nämligen återgångsledningen utföras sektionerad på samma sätt som kontaktledningen och lämpligen förses med isolation till jord för hela kontaktledningsspänningen. Vid fel på en kontaktledningssektion eller då en sådan sektion av någon anledning behöver urkopplas för reparation, kan därvid motsvarande sektion av återgångsledningen omkopplas så att den leder kontaktledningsströmmen förbi den urkopplade sektionen.

Vid båda ovannämnda sätten för spårtransformatorernas inkoppling äro dessa kopplade i serie med varandra i kontaktledningssystemet. Om, såsom bifogade schema III bild 35 visar, tvenne särskilda matarledningar anordnas för kontaktledningssystemet, kunna spårtransformatorerna in-



*Schema III för inkoppling av spårtransformatorer*

Bild 35.

kopplas i parallell mellan matarledningarna och kontaktledningarna. Dessa senare böra i sådant fall utföras så att de komma att bestå av från varandra helt isolerade sektioner. I detta fall utgör tydligen varje kontaktledningssektion jämte dess spårtransformator en oberoende enhet, som medelst maximalströmbrytare kan automatiskt avskiljas från matarledningarna vid fel på kontaktledningssektionen eller dess spårtransformator. Denna anordning kan därför anses som den fullkomligaste, men den är samtidigt den dyraste och den mest komplicerade. För banor, vilkas kontaktledningar i likhet med vad fallet är vid bandelen Kiruna—Riksgränsen, kunna matas från två håll från skilda transformatorstationer, belägna utefter banan på omkring 40 km avstånd från varandra, måste emellertid den första ovan angivna inkopplingen av spårtransformatorerna anses fullt tillfredsställande även med hänsyn till den grad av kompensation, som erhålles, och bör den föredragas på grund av sin enkelhet och mindre kostnad.

### KORTSLUTNINGARS INVERKAN.

På grund av att kontaktledningarna äro utförda enpoliga med återledning genom skensystemet, kan det ej undvikas, att vid kortslutning be

tydande strömstyrkor uppkomma. Man har vidare att räkna med, att sådana kortslutningar på grund av de ogynnsammare driftförhållandena skola uppkomma mycket oftare än för vanliga elektriska kraftledningarna.

De sålunda uppkommande stora strömstyrkorna giva naturligen också upphov till betydande spänningar på svagströmsledningarna, vilka emellertid, efter vad försöken visat, äro av mycket kort varaktighet till följd av att strömbrytarna för kontaktledningarna äro utförda med maximalutlösning utan tidrelä och därför i allmänhet bryta kortslutningsströmmen redan efter tre perioder d. v. s. 0,2 sekund. Icke förty åstadkommes genom kortslutningarna obehagliga knäppar i telefon, beroende på anordningen av telefonledningarnas åskledare, vilken är utförd så att gnistgap äro anordnade mellan vardera branschen och en jordledning, vilka gnistgap emellertid ej kunna inställas så exakt lika som önskvärt vore. Detta har till följd, att vid urladdning vanligen endast det ena gnistgapet träder i funktion, varvid den ena av telefonledningens branscher urladdas direkt till jord, under det att urladdningsströmmen från den andra passerar genom inkopplade telefonapparater över till den förstnämnda branschen samt genom dennas gnistgap till jord och därvid åstadkommes de ovan nämnda obehagliga knäpparna.

Den uppkommande spänningen skulle också kunna tänkas bliva farlig för personer, som av olika anledningar komma i beröring med svagströmsledningarna. Detta har dess bättre hittills ej varit fallet ej ens för den personal, som utfört underhållet av ifrågavarande ledningar. Nya ledningar hava också under drift upplagts för telegrafn från Kiruna till Riksgränsen utan att den personal, som utfört detta arbete, haft någon obehaglig känning av spänningen å svagströmsledningarna.

Störningarna av detta slag vållas naturligen också ofta av vanliga elektriska kraftledningarna. Som exempel må nämnas Hemsjöbolagets ledningar, vilka äro orsaken till de från telefonstationer i Kristianstadstrakten inrapporterade s. k. »Hemsjöslagen». Dessa förekomma visserligen mera sällan, men äro i stället för var gång av så mycket större varaktighet, beroende på att strömbrytarna för ifrågavarande ledningar ej äro anordnade för hastigt avbrott vid kortslutningar.

För att utreda, hur de till följd av kortslutningar vållade obehagen bäst skola kunna borttagas, hava en hel del undersökningar utförts. För detta ändamål har utnyttjats en Statens järnvägar tillhörig mätvagn (se plansch 9), i vilken också funnits inmonterad en oscillograf, medelst vilken undersökningar kunnat utföras beträffande storleken av vid kortslutningar uppkommande strömstyrkor och spänningar.

De första kortslutningsförsöken utfördes i juli 1916. Mätvagnen placerades därvid på Rautas station, varest en kortslutningsanordning för kontaktledningen provisoriskt uppsattes. Undersökningarna utfördes med en enfasegenerator i Porjus gående samt två transformatorer inkopplade i vardera av de fyra transformatorstationerna och dessa inkopplade till överförings- och kontaktledningarna på det från början vanliga sättet. Invid Rautas station bröts spåret för att möjliggöra inkoppling av mät-

slingor för de utgående kortslutningsströmmarna norrut och söderut. I mätledningen inkopplades också en mätslinga. Med tillhjälp av motstånd ordnades så att lämpligt avläsbara värden skulle erhållas. Vid dessa försök erhöles, då spänningen före kortslutningen på kontaktledningen uppgick till 16,200 volt, följande värden:

kortslutningsström norrut . . . . .	400 amp.
» söderut . . . . .	430 »
spänning på mätledningen . . . . .	1,960 volt.

#### ANORDNINGAR FÖR MINSKNING AV KORTSLUTNINGSPÄNNINGEN.

I mars 1917 utfördes ytterligare en del oscillografundersökningar, denna gång för att utröna inflyandet av sektionerat fördelningssystem på kortslutningarnas inverkan.

Såsom föregående gång utfördes försöken med endast en enfasgenerator gående i Porjus, men denna gång endast med Torneträsk transformatorstation i tjänst med två transformatorer inkopplade. Kortslutningsström framläpptes dels på sträckan Torneträsk — Z 76 och dels på sträckan Torneträsk — Z 42. Försöken utfördes dels med helt och dels med brutet spår. Följande resultat erhöles för sträckan Torneträsk — Z 76.

- 1) Då spåret var helt både vid Torneträsk och vid Z 76
 

Kortslutningsström . . . . .	775 ampère
Spänning på mätledningen . . . . .	1,400 volt.
- 2) Då spåret var helt vid Torneträsk men brutet söder om Z 76.
 

Kortslutningsström . . . . .	775 ampère
Spänning på mätledningen . . . . .	950 volt.
- 3) Då spåret var brutet norr om Torneträsk och söder om Z 76.
 

Spänning på mätledningen . . . . .	417 volt.
------------------------------------	-----------

För sträckan Torneträsk — Z 42 erhöles följande resultat:

- 4) Då spåret var helt vid Torneträsk och Z 42.
 

Kortslutningsström . . . . .	670 ampère
Spänning på mätledningen . . . . .	1,143 volt.
- 5) Då spåret var helt vid Torneträsk men brutet norr om Z 42.
 

Kortslutningsström . . . . .	670 ampère
Spänning på mätledningen . . . . .	380 volt.
- 6) Då spåret var brutet söder om Torneträsk och norr om Z 42.
 

Kortslutningsström . . . . .	650 ampère
Spänning på mätledningen . . . . .	317 volt.

Härav synes således, att kortslutningsströmstyrkan är så gott som oberoende av, om spåret är helt eller brutet. Däremot avtager spänningen på svagströmsledningarna avsevärt, då spåret sektioneras.

Genom beräkningar har utrönts, att vid sektionerat system och således lilledning av ström till ett kortslutningsställe från endast ett håll måste i ogynnsammaste fall räknas med en kortslutningsströmstyrka av 1,500

ampère, då kortslutning göres omedelbart intill transformatorstation. På 10 km avstånd från transformatorstation blir största kortslutningsströmstyrkan 1,300 ampère och på 25 km avstånd 1,070 ampère.

Spårtransformatorerna böra därför beräknas med hänsyn tagen till dessa kortslutningsströmstyrkor. Dock behöver naturligen ej fullständig kompensering äga rum vid kortslutning, utan kan exempelvis vid 1,070

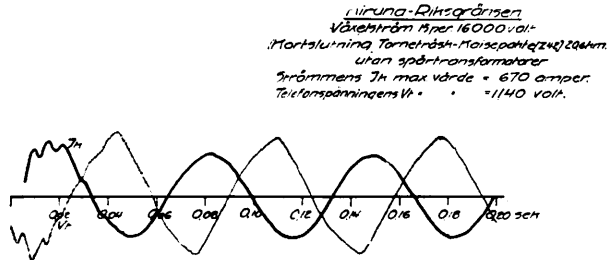


Bild 36. Oscillogram visande kurvor från kortslutningsförsök vid bandelen Kiruna—Riksgränsen.

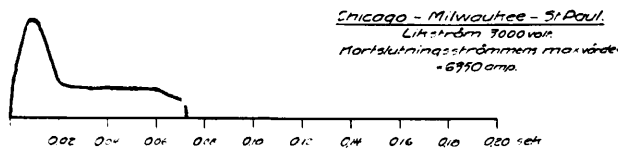


Bild 37. Oscillogram visande kurva för kortslutningsströmstyrkan vid Chicago - Milwaukee - St. Paul Railway.

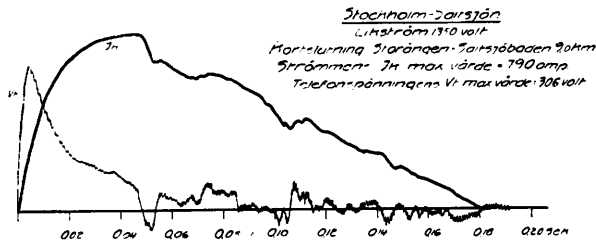


Bild 38. Oscillogram visande kurvor från kortslutningsförsök vid Stockholm—Saltjöns järnväg.

ampère en strömstyrka av 100 ampère få vara okompenserad. I sådant fall erhålles vid kortslutning på 25 km avstånd från transformatorstation 2,500 ampèrekilometer, vilket ger upphov till en spänning på svagströmsledningarna av omkring 120 volt. Då ingen telefonåskledare finnes, som fungerar för lägre spänning än 150 volt, skulle således i detta fall ej de nu vanliga obehagliga knäpparna kunna förekomma. En spänning av 120 volt under  $\frac{1}{5}$  sekund skulle för övrigt knappast kunna åstadkomma någon skada.

Emellertid kan det ifrågasättas, om det ej skulle vara något att vinna genom att reducera avbrottstiden så mycket som möjligt. För att under-

söka detta hava försök utförts vid Stockholm—Saltsjöns järnväg. Vid kortslutningsförsök med 1,350 volt likström visade det sig, att avbrottet började redan efter 0,05 sekund, men att ljusbågen ej bröts förr än efter 0,18 sekund. Vid bandelen Kiruna—Riksgränsen åter brytes den enfasiga kortslutningsströmmen efter 0,2 sekund tydligen utan att ljusbåge kvarstår i det att avbrottet sker, då strömkurvan passerar noll. För en amerikansk bana, Chicago, Milwaukee & St. Paul, som är elektrifierad med likström av 3,000 volts spänning, har man av en del skäl varit tvungen att minska avbrottstiden för kontaktledningsströmbrytarna och har man lyckats konstruera sådana, som bryta redan efter 0,008 sekund och för vilka ljusbågen är släckt efter omkring 0,07 sekund.

Spänning på en utefter banan framdragen svagströmsledning erhöles också vid Stockholm—Saltsjöns järnväg, då försöken med likströmskortslutningar utfördes. Trots det denna spänning uppgick till omkring 350 volt, erhöles emellertid inga obehagliga knäppar i telefon utan endast en svag knäpp, beroende möjligen på att störningsspänningen var av ytterst kort varaktighet. Det kan därför vara möjligt, att ej heller vid enfasbanor några obehagliga knäppar skulle erhållas i telefon, om avbrottstiden kunde reduceras till mindre än en halv period, d. v. s. 0,033 sekund. Någon omöjlighet att åstadkomma detta synes att döma av resultaten från den ovannämnda amerikanska banan ej förefinnas. Oscillogram tagna vid här omnämnda kortslutningsförsök visas av bilderna 36, 37 och 38.

Emellertid har det meddelats, att överslag då och då inträffat å telefonledningarna utefter Stockholm—Saltsjöns järnväg, vilka ej kunna förklaras av annat än de vid kortslutningar å banan uppkommande spänningarna. Det ser därför ut, som om dessa spänningar ej äro alldeles ofarliga och att det därför tydligen är nödvändigt att avlägsna dem. Det är således att räkna med endast två utvägar för minskning av de vid kortslutningar uppkommande spänningarna, nämligen dels sektionering av kontaktledningssystemet och dels inkoppling av spårtransformatorer av tillräcklig storlek.

## OM ÖVERTONER.

Störningar i telefonledningar kunna uppkomma även av mycket svaga spänningar, om störningsströmmens periodtal är högt. Så hava exempelvis vid Stockholm—Saltsjöns järnväg kraftiga störningar i telefon observerats, vilka vållats av en spänning av ej fullt en volt. Periodtalet för störningsströmmen, som i detta fall alstrades av en s. k. övertone till den för driften å denna järnväg använda likströmmen, uppgick till 1,200.

Den 20 juli 1916 utfördes en del försök vid bandelen Kiruna—Riksgränsen för att undersöka inverkan av övertoner på telefonlinjerna. Försöken utfördes i Kiruna på så sätt, att fyra särskilda telefonlinjer avlyssnades, nämligen dels rikstelefonledningen norrut och söderut från Kiruna och dels krafttelefonledningen Kiruna—Porjus och Kiruna—Riksgränsen.

Resultatet visade sig därvid ungefär lika för alla telefonlinjerna. Dessa försök utfördes dels under dagen vid normal drift å hela bannätet och trefasnätet och dels nattetid, varvid de skilda näten till- och frånkopplades efter behov. Härvid hördes en del toner å telefonledningarna, ehuru mycket svagt. För att få dem tydligare gjordes en avledning å ena ledningsbranschen, vilken inkopplades vid samtliga försök. Följande undersökningar utfördes.

1) Rikstelefonledningen till Riksgränsen och till Narvik avlyssnades, medan tåg voro ute på linjen. Härvid hördes dels en låg ton och dels ett svagt sus, av vilka tonen var starkast. Ljudet varierade, så att det troddes bero på lokomotivets gång. Stationsinspektoren i Riksgränsen påstod, att ljudet denna dag hördes särskilt tydligt. Det gick dock i alla händelser bra att tala å linjen.

2) Kl. 7,15 e. m. talades med Stockholm. Suset hördes fortfarande, men man kunde samtala utan svårighet. Sedan avlyssnades Riksgränslinjen, varvid åter dels den dova tonen, dels suset hördes. Detta senare var dock denna gång mycket tydligare, lät nästan som en ton, ungefär som om en motor skulle gå, slås till och från.

3) Omkring kl. 11 e. m. *Normal enfas- och trefasdrift, tåg ute å linjen.* Ungefär samma ljud som vid telefoneringen kl. 7,15 e. m. hördes, ehuru något svagare än då.

4) *Enfasströmmen frånslagen, endast trefasnätet i drift.*

Då enfasströmmen frånslogs, hördes ej spår av förändring. På telefonledningarna söder om Kiruna hördes tonen betydligt starkare än på de norrut gående ledningarna, där den dock var tydligt förnimbar, trots det inga trefasledningar framgå utefter desamma.

5) *Även trefasströmmen frånslagen.*

Tonen hördes ej längre. Däremot hördes ett svagt jordkok och vid stark avledning (mindre än 8,000 ohm) därjämte en svag ton, som troligen härrörde från kraftledningar i närheten av Boden och Luleå.

6) *Enfasströmmen tillslagen utan att nolledningen i kraftverket inkopplades till jord.*

Intet ljud kunde iakttagas vare sig på norra eller södra ledningarna.

7) *Enfasströmmen tillslagen samt nolledningen i kraftverket inkopplad till jord.*

Fortfarande intet ljud förr än personalen i elektriska verkstaden igångsatte en med enfasström driven kompressormotor, varvid en ton uppkom.

8) *Trefasströmmen tillslagen utan att nolledningen i kraftverket inkopplades till jord. Enfasströmmen frånslagen.*

Tydlig ton hördes på alla telefonledningar, dock svagare på norrut gående ledningar.

9) *Trefasströmmen tillslagen med nolledningen i kraftverket kopplad till jord. Enfasströmmen frånslagen.*

Tonen något högre och starkare än vid föregående försök. Den hördes fortfarande tydligare på söderut gående ledningar än på de norrut gående.

10) *Trefasströmmen och enfasströmmen tillslagna, den förra med, den senare utan nolledning i kraftverket kopplad till jord.*

På söderut gående ledningarna hördes ingen förändring. På de norrut gående kunde enfasströmmen höras ehuru ytterst svagt.

11) *Såväl trefasströmmen som enfasströmmen tillslagna och båda med nolledningen i kraftverket kopplad till jord.*

Då nolledningen för enfassystemet i kraftverket kopplades till jord avtog ljudet märkbart i styrka.

12) *Enfasmotorer och trefasmotorer igångsätts.*

Man kunde i telefonen tydligt urskilja de olika igångsättningarna och slutligen hördes en hel del toner samtidigt.

Härav framgår således, att störningarna av enfassystemet, då motorer ej voro i gång, voro ytterst ringa. Däremot äro de störningar, som tillkomma vid nätets belastning medelst motorer, i ungefär lika hög grad märkbara som vid trefasnätet.

Störningarna från trefasströmmen härrörde huvudsakligen efter vad nedan omnämnda oscillografundersökningar visat, av den tredje överton, som förefinnes i trefasströmmens spänningskurva och vilkens spänning enligt undersökning uppgår till ett avsevärt belopp. Denna tredje överton bildar tydligen en enfasström med tredubbla trefasströmmens periodtal, för vilken trefasledningens alla tre trådar parallellkopplade tjänstgöra som ena polen och jorden som den andra. Inverkan av denna överton kan därför tydligen ej borttagas genom den skruvning av trefasledningen, som är utförd, utan endast därigenom att avståndet mellan denna ledning och svagströmsledningarna göres tillräckligt stort. Genom lämpliga anordningar såväl i kraftverket som i mottagningsstationen kan man emellertid, om så anses erforderligt, undvika att denna överton framgår genom ledningen.

Av undersökningarna framgår, att denna överton genom statisk inverkan åstadkommer störningar, ehuru väl i mindre grad för telefonlinjerna från Kiruna till Gällivare, då trefassystemets nollpunkt i Kiruna, såsom normalt är fallet, ej är jordförbunden. I kraftverket är trefassystemets nollpunkt jordförbunden genom motstånd. Då vid ett tillfälle även trefassystemets nollpunkt i Kiruna jordförbands, kom en kraftig ström att framgå, och blevo därvid störningarna i svagströmsledningarna så kraftiga, att all trafik på desamma blev omöjlig.

Vid statens järnvägars försöksanläggning användes för driften 25-periodig enfasström och hördes där i de efter försöksbanan framdragna telefonledningarna en ton så snart endast spänning påsläpptes. Vid den schweiziska försöksbanan Seebach—Wettingen användes i början 50-periodig enfasström för bandriften, men erhöles därvid i telefonledningarna utefter banan kraftiga störningar redan då endast spänning påsläpptes ledningarna. Då periodtalet för banströmmen sänktes till 15, försvunno dessa störningar så gott som alldeles. Det lägre periodtalet 15 för banströmmen är således ur denna synpunkt av synnerligen stort värde.

Vidare hava en del undersökningar utförts med tillhjälp av oscillograf. Sålunda hava fält- och spänningskurvorna för enfasgeneratorerna i Porjus upptagits och visas dessa av bild 39. Fältkurvan företeer en del oregelbundenheter, men hava dessa av oscillogrammet att döma försvunnit i

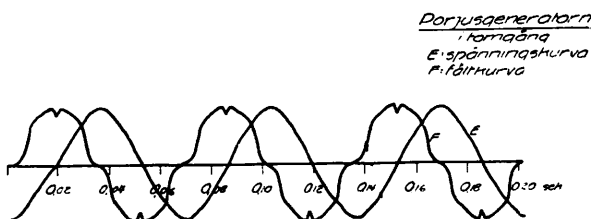


Bild 39. Oscillogram visande kurvor för Porjus enfasgeneratorer.

spänningskurvan. Emellertid har det visat sig, att telefonen är ett vida känsligare instrument än oscillografen, som användes för dessa försök, och vilkens känsligaste slinga krävde minst 0,1 milliampère för att göra fullt tydligt utslag. De ovan omnämnda lyssningsförsöken med telefon hava emellertid visat, att mot generatorernas spänningskurva ej någon anmärkning kan göras. Spänningen på trefasnätets nollpunkts motstånd för 70,000 voltssidan i Porjus visas av bild 40, av vilken synes en mycket kraftig tredje övertton samt mindre 5:te, 7:de och 9:de övertoner.

Spänningskurva för trefassy-  
stemets nollpunktsmotstånd  
i Porjus

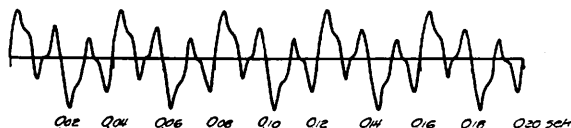


Bild 40. Oscillogram visande kurvan för spänningen på trefassystemets nollpunktsmotstånd i Porjus kraftverk.

Bild 41 visar oscillogram av dels rotorspänningen för en motor till ett malmtågslokomotiv under gång och dels av spänning och ström på högspänningssidan av detta lokomotivs transformator.

Rotorspänningen företeer såsom synes fullt av övertoner med högt periodtal. Dessa dämpas emellertid av oscillogrammen att döma, så att på transformatorns högspänningssida knappast kan upptäckas någon återstod av rotorspänningens övertoner.

Däremot visa oscillogrammen för transformatorn en utpräglad tredje övertton, vilken vållas av den höga magnetiska täthet i järnet, med vilken dessa transformatorer arbeta. Av de utförda lyssningsförsöken med telefon framgår emellertid, att rotorspänningens övertoner fortplantas genom transformatorn i tillräcklig grad för att verka störande. De för motorerna vidtagna åtgärderna för borttagande av övertoner hava sålunda ej lämnat önskat resultat.

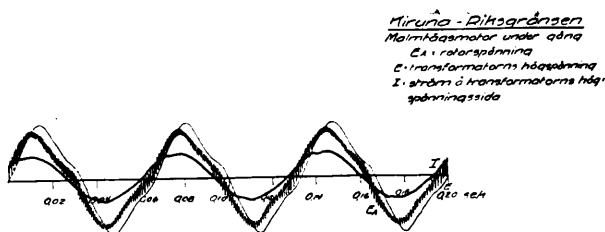


Bild 41. Oscillogram visande kurvor för malmtågslokomotiv till bandelen Kiruna—Riksgränsen.

Vid kortslutningsförsök för kontaktledningarna med spårtransformatorer



inkopplade erhålles också, såsom av vidstående bild 42 framgår, en tredje överton i kurvan för störningsströmmen, vilken överton emellertid knappast är skönjbar i kurvan för kortslutningsströmmen. Denna tredje överton förekommer ej, såsom synes av bild 36, då spårtransformatorer icke finnas inkopplade i kontaktledningarna vid kortslutningsförsöken.

Av de utförda undersökningarna framgår således, att störningarna i telefonledningarna till följd av övertoner äro i mycket hög grad beroende av telefonledningarnas tillstånd. Om isolationen är i gott stånd samt lika för telefonledningens båda branscher och kapaciteten för båda branscherna även lika, så finnes ingen anledning till strömövergång från den ena branschen till den andra genom telefonapparaterna, varför, om dessa förutsättningar kunde uppfyllas, några störningar genom övertoner ej skulle behöva förekomma. Om emellertid telefonledningarna till följd av laddning eller annan inverkan bli spänningsförande i förhållande till jord, är det svårt att undvika olika urladdning från de båda branscherna.

I sådant fall kan ej undvikas, att telefonapparaterna komma att genomgå av störningsström och komma därvid eventuella övertoner att följa med. Det är därför tydligen också av vikt att alla störningsspänningar för svagströmsledningarna i göriligaste mån avlägsnas.

Då emellertid ovan angivna förutsättningar beträffande isolation och kapacitet ej fullkomligt innehållas även för den mest förstklassigt utförda telefonledning, är det för undvikande av störningar av största vikt att sådana anordningar utföras beträffande generatorer, motorer och andra detaljer, att uppkomsten av övertoner i möjligaste mån förhindras. Det är emellertid att förmoda, att spårtransformatorerna i likhet med lokomotivtransformatorerna skola verka dämpande på eventuellt uppkommande övertoner.

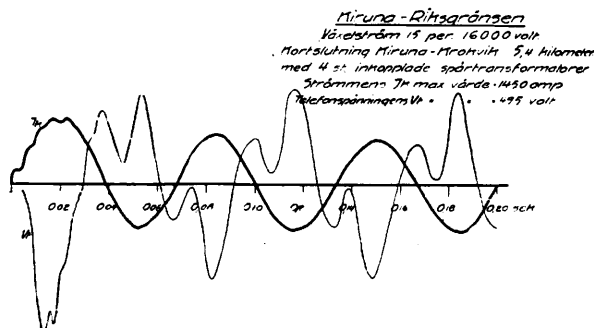


Bild 42. Oscillogram visande kurvor från kortslutningsförsök vid bandelen Kiruna—Riksgränsen i kontaktledning med inkopplade spårtransformatorer.

## SAMMANFATTNING.

Ovan har redan meddelats, att de nu till användning komma provisoriska förbättringsanordningarna för telegraf- och telefonledningarna fungerat i stort sett tillfredsställande, men de måste icke förty betecknas såsom ett provisorium. Särskilt vad telefonledningarna beträffar är att anmärka, att de inkopplade spolarna försämra talöverföringen och göra ledningarna mycket känsliga för fel på grund av den nu alltid befintliga jordförbind-

ningen genom nyssnämnda spolar. Dessutom kunna genom de nu vidtagna anordningarna ej de vid kortslutningar uppkommande obehagliga knäpparna i telefon undvikas. Det är därför av vikt, att de nu vidtagna provisoriska anordningarna så snart ske kan utbytas mot fullt ändamålsenliga anordningar. Detta blir så mycket mer nödvändigt, så snart området för den elektriska driften kommer att utökas.

De åtgärder, som därvid böra vidtagas för att avlägsna den inverkan på svagströmsledningarna, som vållats av överföringsledningarna och spänningen på kontaktledningarna, äro följande:

Svagströmsledningarna utflyttas till ett avstånd av minst 100 meter från banledningarna eller förläggas i kabel. För den händelse detta ej lämpligen kan ske, kunna svagströmsledningarna få framdragas på minst 15 meters avstånd från banledningarna, men måste i så fall kontaktledningarna förses med kompensationsledningar och överföringsledningarna skruvas åtminstone för var tjugonde kilometer.

De störningar, som vållas av strömmen i kontaktledningarna, äro där emot svårare att avlägsna. Man skulle därvid vara frestad att föreslå anordnandet av tvåpolig kontaktledning, i vilket fall tydligen kontaktlednin-

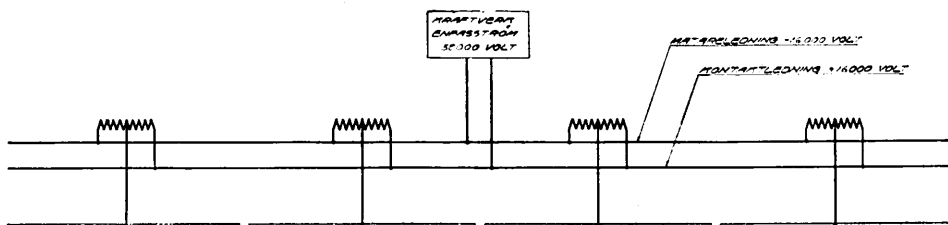


Bild 43. Schema för treledaresystemet.

garna, om man bortser från inverkan av kortslutningar, skulle bli fullt jämförbara i störningsavseende med överföringsledningarna och vanliga elektriska kraftledningar.

Tvåpoliga kontaktledningar finnas emellertid redan vid igång varande trefasbanor, och är resultatet av desamma föga tillfredsställande. Enligt rapporter från Schweiz uppgår underhållskostnaden för sådana kontaktledningar till omkring 8-dubbla underhållskostnaden för vanliga enpoliga kontaktledningar. Detta betyder också, att kortslutningar vid tvåpoliga kontaktledningar förekomma avsevärt oftare än för de enpoliga, varför olägenheterna i avsevärd grad skulle stegras, även i jämförelse med enpoliga kontaktledningar utan spårtransformatorer. Då härtill kommer, att kostnaden för tvåpoliga kontaktledningar ställer sig högre än för enpoliga kontaktledningar med spårtransformatorer, synes ingen anledning föreligga att reflektera på denna utväg.

Om kontaktledningssystemet skall utföras enpoligt, återstår, förutom ovan diskuterade möjligheter, det av New York-New Havenbanan använda treledaresystemet för strömfördelningen. I detta fall erhålles tydligen utan extra åtgärder en kompensationsledning för borttagande av den statiska uppladdning, som annars vållas av kontaktledningen.

Bild 43 visar anordningen av detta treledaresystem. För att reducera inverkan av strömmen i kontaktledningssystemet borde givetvis också i detta fall skensystemet sektioneras. Kontaktledningarna kunna däremot ej sektioneras, när de i detta fall samtidigt tjänstgöra som ena ledningen i överföringssystemet. Spårtransformatorer kunna ej heller lämpligen i detta fall komma till användning, när strömmen i skenledningen och kontaktledningen oftast ej skall vara lika. Möjligen kunde ett slags spårtransformatorer med tre lindningar tänkas komma ifråga, men bleve dessa säkert mindre driftsäkra på grund av den högre spänning, som i detta fall skulle förefinnas mellan två av lindningarna. Om åter spårtransformatorer skola undvikas, måste de skilda sektionerna göras små och därför transformatorstationerna komma nära varandra, varför de i kapacitet knappast skulle komma att motsvara mer än ett tåg. Det måste då räknas med att en sektion kan bli fullbelastad, under det att den närmaste är obelastad. Vid full belastning måste räknas med ett spänningsfall i transformatorerna av åtminstone 4 procent och resultatet därav

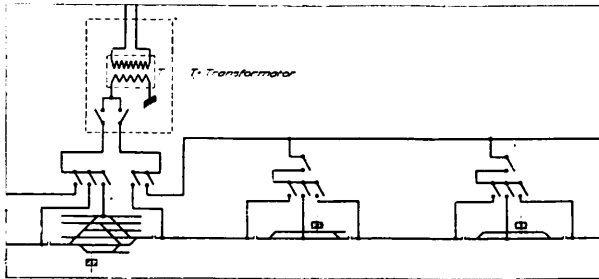


Bild 44. Schema för strömfördelningssystem med matarledning.

skulle tydligen bli, att, även om man bortser från spänningsfall i skenledningen, en spänning av 640 volt (4 procent av 16,000) måste beräknas uppkomma vid den isolerade skenskarven mellan en belastad och en obelastad sektion. Så hög spänning kan emellertid ej tillåtas för en isolerad skenskarv. Sammankopplas skenorna blir tydligen följden den, att strömmar uppkomma mellan de olika transformatorstationerna, som giva upphov till spänningar på i närheten framdragna svagströmsledningar. Treledaresystemet är således ej avsevärt bättre än det ursprungligen för bandelen Kiruna—Riksgränsen använda fördelningssystemet med avscende på inverkan på svagströmsledningarna.

Med hänsyn till nödvändigheten att använda spårtransformatorer kunna ej heller enpoliga matarledningar gärna få anordnas för kontaktledningarna, såsom i en del fall föreslagits, när i så fall svårigheter vid spårtransformatorernas inkoppling skulle möta. Sådana matarledningar måste därför anordnas tvåpoliga och förses med särskilda serietransformatorer. Bild 44 visar den föreslagna oriktiga anordningen. Helst böra dock matarledningar för kontaktledningarna undvikas och i stället transformatorstationerna anordnas på sådant sätt, att dessa ledningar ej erfordras.

Bästa sättet att nå det erforderliga resultatet är tydligen att använda sektionerat kontaktledningssystem jämte spårtransformatorer eller således det fördelningssystem, som visas av bild 45. Avståndet mellan transformatorstationerna bör med hänsyn till kortslutningars inverkan i allmänhet ej väljas större än 30 à 40 kilometer. Transformatorstationerna böra förbindas medelst överföringsledningar såsom schemat visar för att möjliggöra att de skilda kontaktledningssystemen alltid arbeta i fas med varandra och hava ungefär samma spänning. Härigenom undviks, såsom i det föregående redan påpekats, nödvändigheten av att anordna strömlösa sektioner mellan de skilda kontaktledningssystemen med därav följande olägenheter för driften.

Varje transformatorstation har, om de anordnas på nyssnämnda avstånd, att mata högst 20 kilometer bana åt vardera hållet. Den största belastning, som på en sådan sträcka kan tänkas ifrågakomma, motsvarar 6,000 ampèrekilometer, och bör den på svagströmsledningarna härav alstrade spänningen, sedan spårtransformatorer insatts, ej komma att uppgå till mer än 10 à 15 volt. Vid kortslutningar skulle i ogynnsammaste fall ej

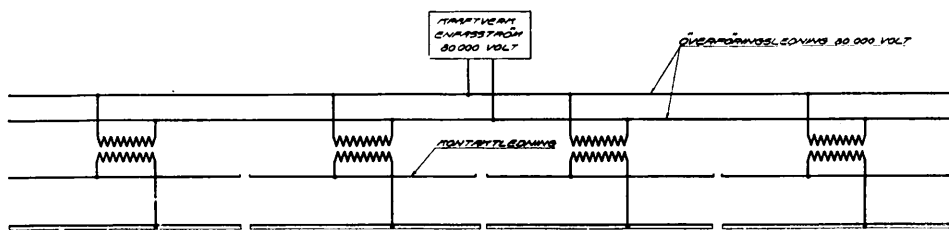


Bild 45. Schema för sektionerade strömfördelningssystemet.

högre spänning än 100 volt erhållas. Kortslutning kan knappast tänkas äga rum mer än på en plats samtidigt, men däremot torde inverkan från flere transformatorstationsområden i ogynnsamma fall kunna addera sig och öka den normalt uppträdande spänningen. De spänningar, som härvid kunna uppkomma såväl normalt som vid kortslutningar, bliva tydligen så små, att någon olägenhet av desamma ej behöver uppkomma för vare sig telefon- eller telegrafledningar, om desamma utföras dubbeltrådiga och med god isolation.

Med hänsyn till de ljudstörningar för telefonledningar, som kunna uppkomma, bör banströmmens periodtal väljas lågt, helst 15 perioder, och vidare bör beträffande generatorer, motorer och annat elektriskt maskineri, som inkopplas till bannätet, tillses, att sådana anordningar utföras, som hindra uppkomsten av övertoner. Tydligt är, att i detta fall kommutatormotorer bereda de största svårigheterna.

De ovan omnämnda anordningarna för borttagande av svagströmsstörningar äro samtliga erforderliga för banor, som i avseende på storlek och trafik äro jämförliga med bandelen Kiruna—Riksgränsen. För mindre banor och banor med svagare trafik erfordras däremot ej alla dessa åtgärder.

För små banor, exempelvis järnvägen Lund—Bjärred, behöva endast svagströmsledningarna utflyttas för att avlägsna inverkan av kontaktledningarnas spänning. Inverkan av strömmen i kontaktledningen är däremot i sådana fall så ringa (för Lund—Bjärred högst 150 Akm.) att med hänsyn därtill inga särskilda åtgärder behöva vidtagas. För något större banor bör, då med hänsyn till inverkan av strömmen i kontaktledningen så erfordras, i första hand spårsystemet isoleras från invid liggande spårsystem och för ännu större banor bör för nedbringande av denna inverkan kopparförbindningar insättas vid skenskarvarna. För banor av sådan storlek, att ej heller detta är tillräckligt, böra dessutom spårtransformatorer insättas i kontaktledningssystemet och för de största banorna måste slutligen samtliga ovan angivna anordningar vidtagas.

---