

SIGNALKOMMITTÉNS UPPDRAG OCH ARBETSSÄTT

Enligt det uppdrag, som järnvägsstyrelsen gav signalkommittén, när denna tillsattes, skulle kommitténs utredningsarbete primärt omfatta undersökningar rörande dels signal- och säkerhetsanläggningar för små och medelstora stationer, dels spårledning, dels ock apparatkonstruktioner. Kommittén har valt att först slutbehandla frågan om spårledningarna. Dessa ingå nämligen som oumbärliga element i nutida signalsäkerhetsanläggningar. Spårledningar användas såväl i egentliga signalsäkerhetsanläggningar på stationer och utmed linjer, som i säkerhetsanläggningar vid plankorsningar mellan järnväg och väg. Man torde utan överdrift kunna påstå, att anläggningarnas tillförlitlighet ur säkerhetssynpunkt står och faller med spårledningarnas funktionsduglighet.

Behovet av att först studera spårledningsfrågan accentuerades genom en serie rapporter från distriktsbefälet. Av dessa framgick, att driftsäkerheten hos vissa spårledningar ej alltid låg i nivå med rimliga anspråk. Kommittén tog sig från början an de till synes oförklarliga störningar, som i ogynnsamma fall medförde, att signaler visade falsk signalbild. I intimt samarbete med Kungl. Sjöfartsstyrelsens jordmagnetiska sektion, vars undersökningar på detta område leddes av fil. dr N. Ambolt, lyckades kommittén utröna dessa störningars fysikaliska natur och därmed också finna utvägar att komma till rätta med dem. Åtskilliga andra spårledningsstörningar återstodo emellertid att undersöka och avhjälpa. Några av de mera framträdande förorsakades av rost på räler, inkopplingsströmstötur från loktransformatorer samt rälbrott. Parallellt med undersökningarna över störningarna och deras orsaker utarbetades och driftprovades nya tillförlitligare spårledningssystem, varvid såväl inhemska som utländska erfarenheter utnyttjades. Arbetet i spårledningsfrågan blev härigenom mycket omfattande och tidsödande och anförtröddes redan på ett tidigt stadium åt ett särskilt utskott under ledning av professor E. Alm. På många punkter krävde arbetet grundliga teoretiska studier. Resultaten av dessa fingo kontrolleras genom prov i laboratorier och genom mätningar på för ändamålet iordningställda spårledningssträckor. Undersökningarna antogo sålunda karaktären av forskningsarbete, vilket till väsentlig del förklarar, att en så jämförelsevis lång tid förgått, innan arbetet kunnat slutföras och redovisas. Huvudvikten av arbetet har lagts vid de komplicerade spårledningsproblem, som uppträda på växelströmselektrifierade banor. Uppmärksamhet har dock även ägnats motsvarande problem på banor med andra driftformer.

Vid sidan om arbetet i spårledningsfrågan ha åtskilliga överläggningar och förslag

förekommit rörande utformningen av reläställverk för små och medelstora stationer. L. M. Ericssons Signalbolag har här på ett förtjänstfullt sätt bidragit med värdefulla kunskaps- och materielinsatser. I drift varande provanläggningar vid Stehag och Anderstorp vittna om detta samarbete. Ställverksfrågan har sedermera förts vidare inom järnvägsstyrelsens elektrotekniska byrå, där den förskilda ändamål utvecklats efter två olika linjer. Kommittén räknar med att i en andra del av detta betänkande närmare belysa denna utveckling.

Beträffande de i utredningsuppdraget omnämnda apparatkonstruktionerna må nämnas, att det i kommitténs regi konstruerats bl. a. matnings- och reläutrustningar för s. k. kodade spårledningar, tvåfasiga induktionsspårreläer, statiska frekvensför-dubblare för matning av spårledningar, filterkretsar för spårledningsskydd, elektro-magnetiska tidreläer med lång falltid m. m. Under detta arbete har kommittén vid sidan om andra slutsatser kommit till den uppfattningen, att det med hänsyn till anläggningsekonomin är av betydelse att SJ i tillbörlig grad påverkar ut-vecklingen av signalteknisk apparatur i avseende på både utförande och priser.

Förutom de nämnda huvuduppgifterna har kommittén befattat sig med en del andra aktuella frågor, som berört dess verksamhetsområde. Med anledning av tåg-olyckan vid Gårdsjö den 29 juni 1945 avgav kommittén sålunda ett den 30 augusti 1946 daterat utlåtande angående införande i ökad omfattning av spårledningar, auto-matisk tågvägsförregling och utfartssignaler på stationer. Bland övriga frågor, som ha stått på kommitténs dagordning, må noteras akustisk tågankomstsignalering, kon-trollsignallyktor vid automatiska vägsignalanläggningar, förregling av fällbommar, repetering av försignaler, backspeglar på lok, utbyggnadsetapper för säkerhetsan-läggningar och trafikmässig klassificering av linjer med tanke på val av säkerhets-anläggningar.

REKOMMENDATIONER FÖR UTFÖRANDET AV SPÅRLEDNINGAR

Med hänvisning till de undersökningar, överväganden och slutsatser, som äro redovisade i efterföljande sammanfattande redogörelse och till denna hörande bilagor, anser sig kommittén böra lämna nedanstående rekommendationer för utförandet av spårledningar. Rekommendationerna avse spårledningar, som äro belägna dels på järnvägslinjer, utrustade för elektrisk drift med enfasström, 16 2/3 p/s, dels på icke elektrifierade linjer, dels på likströmselektrifierade linjer. Det för rekommendationerna redovisade underlaget är emellertid i princip tillämpligt även för spårledningar, som äro belägna på linjer med andra driftformer.

Till skillnad från tidigare spårledningskonstruktioner innebära de rekommenderade konstruktionerna, att vederbörlig hänsyn tagits till förekomsten av jordmagnetiska störningar. Ett betydande inflytande på spårledningskonstruktionerna ha därvid de störningsspänningar fått, som uppträda i rälererna, när rälbrott och jordmagnetiska störningar förekomma samtidigt.

De av kommittén lämnade rekommendationerna få icke anses utgöra hinder för att andra ekonomiskt berättigade spårledningskonstruktioner användas, när sådana framkomma som resultat av den fortgående tekniska utvecklingen, blott de fylla åtminstone de krav på säkerhet, som kommittén funnit vara av avgörande betydelse.

I det följande inom parentes angivna kapitelhänvisningar avse kapitel i den sammanfattande redogörelsen.

1. Allmänna förutsättningar

Konstruktionen av spårledningar skall enligt kommitténs uppfattning baseras på följande allmänna förutsättningar.

Avledningen mellan rälsträngarna i spår utan spårväxlar förutsättes antaga ett högsta värde av 0,5 S/km. Förekomma spårväxlar i spårledningen, förutsätts dessa vid beräkning av spårledningens elektriska data representera maximalt 0,1 S per växel om de äro lokalt, och 0,2 S per växel om de äro centralt omläggbara, svarande mot fiktiva ökningar av spårledningens längden med 0,2 resp. 0,4 km/växel. (Se kap. 3a.)

Den spänning mellan rälsträngarna, som härrör från spårströmkällan, förutsättes efter utshuntning av spårledningen uppgå till högst 1,0 V, vare sig fråga är om växel- eller likströmsspårledningar. (Se kap. 3b.)

Avledningen mellan rälsträng och jord förutsättes variera mellan lägst 0,0004 S/km och högst 0,143 S/km, om rälsträngen icke är förbunden med kontaktledningsstolpar,

samt mellan lägst 0,02 S/km och högst 2,86 S/km om den är förbunden med kontaktledningsstolpar. (Se kap. 3c.)

Jordmagnetiska störningar förutsätts ge upphov till spänningar i en obruten rälsträng av högst 7 V/km. (Se kap. 4b α .)

Lokströmmar med en grundfrekvens av 16 2/3 p/s förutsätts alstra störande spänningar i en obruten rälsträng av högst 75 V/km. Övertoner med periodtalen 50, 83 1/3, 100 och 116 2/3 p/s förutsätts därvid uppträda med en styrka av högst 9, 4, 0,5 resp. 1 V/km. (Se kap. 4b β .)

Inkopplingsströmstötter från elektrolok förutsätts medföra kortvariga, dämpade spänningstötter i en obruten rälsträng av högst 25 V/km med en dämpningsexponent, definierad såsom angivits i kap. 4b γ , av lägst 4 under den första perioden av banströmmen med frekvensen 16 2/3 p/s.

Induktionsstörningar från banan närbelägna krafledningar förutsätts kunna försummas. (Se kap. 4b.)

Returströmstörningar från eventuellt tillkommande jordade storkraftöverföringssystem för högspänd likström försummas, enär dessa system förutsätts bli så utförda, att returströmmarna icke kunna olägligt påverka spårledningarna. (Se kap. 4b.)

Spårledningar förutsätts icke utöva störande inverkan på varandra. (Se kap. 4b.)

2. Allmänna rekommendationer

Kommittén rekommenderar, att *spåret* på de linjer och driftplatser, varest spårledningar förutses komma till användning, bygges och underhålles så, att avledningen mellan rälsträngarna i anslutning till förutsättningarna i punkt 1 ovan icke överstiger 0,5 S/km.

Avledningen är i första hand beroende av den elektriska ledningsförmågan hos ballast och sliprar. Ballastmaterialet bör sålunda ha högt elektriskt motstånd. Detsamma gäller slipersmaterialet, som därför icke får impregneras med medel, vilka i vattenlösning, dvs. vid väta i spåret, reducerar motståndet i märkbar omfattning. Är slipersmaterialet kraftigt elektriskt ledande, såsom vid användning av t. ex. betong eller stål i sliprarna, måste betryggande elektrisk isolation åstadkommas mellan räler och sliprar. Det är vidare av betydelse, att bangårdar och linjer dräneras så, att avledningen icke höjes genom att vatten samlas i spåret. I detta sammanhang böra observeras konsekvenserna för spårledningarnas vidkommande, om för dammbindning — vanligen vid korsningar i samma plan mellan väg och järnväg — eller för ogräsbekämpning användas kemikalier, som i vattenlösning öka avledningen mellan rälsträngarna. Följderna bli icke säkerhetsfel men väl driftfel, som, efter vad erfarenheten visat, kunna vålla högst besvärande störningar i tågföringen och i varningssignaleringen vid korsningar i samma plan mellan väg och järnväg. Besprutning med dylika lösningar bör därför undvikas, där spårledningar användas eller förutses komma att anordnas inom det närmaste året efter besprutningen.

Kommittén rekommenderar, att *fallspänningens* minimivärde hos spårreläutrustningarna i anslutning till förutsättningarna i punkt 1 ovan standardiseras till 1,1 V.

Fallspänningen har höjts från det i punkt 1 ovan angivna värdet 1,0 V till 1,1 V för att en säkerhetsmarginal på 10 % skall erhållas. Enär förhållandet mellan spårreläutrustningarnas drag- och fallspänningar i allmänhet är ungefär lika med 2, måste spänningen mellan rälerna vid högsta förekommande avledning uppgå till minst 2,2 V. (Se kap. 3b.)

Kommittén rekommenderar, att *isolerskarvar* i fortsättningen utföras med skarvstycken av mekaniskt och elektriskt högvärdigt isolermaterial.

Genom detta arrangemang få hittills existerande risker för säkerhetsfel i spårledningarna på grund av genomslag i isolermaterialet anses eliminerade under förutsättning dels att gällande bestämmelser rörande erforderligt expansionsutrymme mellan räländar iakttagas vid spårbyggnad, dels att skarvarna tillses så, att räländarna icke komma i kontakt med varandra genom utvalsning till följd av hjulens slag i skarvarna. (Se kap. 4c.)

Kommittén rekommenderar, att *skydd mot sådana spänningar*, som härröra från lokströmmar eller från onormala överströmmar av skilda slag, införas i matnings- och spårreläutrustningarna i överensstämmelse med vad som närmare beskrives i kap. 6 i den sammanfattande redogörelsen.

Kommittén rekommenderar, att såväl *matnings-* som *spårreläutrustningarna* konstruktivt sett standardiseras till ett fåtal typer.

Härigenom bör det bli möjligt att minska montage- och materielkostnaderna till båtnad för anläggningskostnaderna i stort.

3. Rekommendationer rörande spårledningarna i signalsäkerhetsanläggningar på bangårdar

För säkerhetsanläggningar på bangårdar belägna på linjer, som äro elektrifierade med enfasström, 16 2/3 p/s, rekommenderar kommittén, att enkelisolerade växelströmsspårledningarna i regel användas. Dessa spårledningarna böra matas med frekvensen 100 p/s och vara utförda *antingen* som tvåfasiga spårledningarna med tvåfasigt induktionsspårrelä med låg effektförbrukning *eller* ock som enfasiga spårledningarna med frekvensselektivt filter, likriktare och likströmsrelä i spårreläutrustningen. Valet mellan dessa olika spårledningstyper får från tid till annan bli beroende av teknisk-ekonomiska hänsyn. För frekvensomformning kunna såväl statiska omformare som roterande sådana med noggrann frekvensreglering ifrågakomma. Reserv för strömavbrott på det matande nätet bör anordnas. Därvid bör i första hand utnyttjas annat stabilt distributionsnät, där sådant finnes att tillgå, i andra hand reservgenerator. Inmatningen bör anordnas i spårledningens ena ända och spårreläutrustningen anslutas i dess andra ända utan användning av mellantransformator (s. k. relätransformator).

Ovanstående rekommendationer gälla även för icke elektrifierade banor och för banor med likströmsdrift. Vid dessa driftformer råder dock frihet i fråga om val av frekvens för spårledningsströmmen.

På små bangårdar belägna på linjer, som icke äro elektrifierade eller som äro elektrifierade med enfasström, 16 2/3 p/s, må, när så av särskilda skäl kan befinnas lämpligt, mittmatade likströmsspårledningar med permapolariserade spårreläer enligt punkt 4 nedan användas.

Växelström har ansetts böra användas i första hand, för att spänningsfallen i spårledningarnas tilliedningar skola kunna begränsas nöjaktigt. På bangårdar, där centralt matningsaggregat för spårledningarna naturligen bör ordnas, bli nämligen tilliedningarna i allmänhet av betydande längd. För användning av växelström talar också det förhållandet, att det med denna strömform är enklare att åstadkomma tillfredsställande hinderfrihetskontroll vid växelförbindelser mellan parallella spår än med likström. Växelströmsspårledningar äro därtill att förorda, enär de äro okänsliga för jordmagnetiska störningar. Sistnämnda egenskap medför vidare den fördelen, att spårledningarna kunna utföras enkelisolerade, varav följer kostnadsbesparing. Frekvensen 100 p/s har ansetts lämplig, enär densamma på ett betryggande sätt skiljer sig från de frekvenser av 83 1/3 och 116 2/3 p/s, som uppstå i det av banströmmen förorsakade spänningsfallet i den sammanhängande rälsträngen. Visserligen förekomma även störningsspänningar av frekvensen 100 p/s, nämligen när banström och jordmagnetisk ström samtidigt framgå i den sammanhängande rälsträngen, men dessa störningsspänningar ha befunnits vara ofarliga. Frekvensen 100 p/s är därtill att föredraga framför andra frekvenser, när statisk frekvensomformning kommer i fråga. Sådan omformning blir nämligen i regel liktydig med frekvensfördubbling, varvid omformningsutrustningen blir enkel, ger god verkningsgrad och ej kräver någon särskild infasningsanordning. Växelströmsspårledning med filter, likriktare och likströmsspårrelä har framkommit som ett godtagbart alternativ till den hittills i stor utsträckning använda tvåfasiga växelströmsspårledningen, enär elektriska filterkretsar, som effektivt hindra störningsspänningar att komma fram genom filterutrustningen, numera kunna erhållas. Ur säkerhetssynpunkt få de båda alternativen anses likvärdiga. Såsom alltid i tekniska sammanhang får valet mellan alternativen bli beroende av såväl utvecklingen av de ingående apparaternas konstruktion som av kostnaderna för desamma. Relätransformator har uteslutits, enär den magnetisering, som en störande likström skulle åstadkomma i transformator kärnan, medför risk för fel-signaler. Denna uteslutning fordrar att spårreläet i den tvåfasiga spårledningen konstrueras så, att effektförbrukningen blir låg. (Se kap. 4cz och 5a.)

4. Rekommendationer rörande spårledningar i automatiska linjeblockanläggningar

För automatiska linjeblockanläggningar belägna på linjer, som äro elektrifierade med enfasström, 16 2/3 p/s, rekommenderar kommittén, att enkelisolerade likströmsmatade spårledningar användas. Dessa spårledningar böra vara försedda med ett permapolariserat likströmsspårrelä i vardera ändan av spårledningen samt matas mellan reläerna (s. k. mittmatning). I de vanligen förekommande fall, då växelströmsnät finnes tillgängligt, bör likströmmen alstras medelst till nätet ansluten likriktare. Därjämte bör matningsanordningen innehålla en till likriktaren permanent ansluten elektrisk ackumulator, som normalt hålles fulladdad och vid strömavbrott på växelströmsnätet tjänstgör som reservströmkälla. Om växelström ej kan erhållas till rimlig kostnad, bör strömkällan utgöras av elektriska primär- eller sekundärelement.

Ovanstående rekommendationer gälla även för icke elektrifierade banor, där spår-

ledningarna dock böra dubbelisolerats, så framt spårreläutrustningarnas resistanser, på sätt som angivits i kap. 4c ζ i den sammanfattande redogörelsen, kunna anpassas med hänsyn till spårledningens längd, vilket vanligen är möjligt.

På banor med likströmsdrift förekommande spårledningar måste vara av växelströmstyp.

Dessa rekommendationer skänka betryggande säkerhet mot fel — orsakade av de för likströmsmatade spårledningar särskilt besvärande störningarna av likströmskaraktär — vilka skulle innebära, att falsk klarsignal visades i den signal, som reglerar infart på den spårledningskontrollerade spårsträckan. De för reläkontrollen vid mittmatning behövligen ledningarna mellan spårledningens ändpunkter erfordras under alla förhållanden för linjeblockanläggningens funktion och öka alltså icke spårledningens anläggningskostnad. Användningen av likström innebär, att matningsapparaturen blir enkel och tillförlitlig samt att reservmatning lätt och säkert kan ordnas vid strömavbrott på det matande nätet. Beträffande de som reservtjänstgörande elektriska ackumulatorerna förutsattes, att dessa dimensioneras och underhållas så, att de med säkerhet fungera under minst 2 dygns strömavbrott, dock alltid under tiden mellan två på varandra följande inspektionstillfällen. (Se kap. 4c ϵ , 4c ζ och 5a.)

5. Rekommendationer rörande spårledningar i automatiska vägskyddsanläggningar

Kommittén anser sig i detta fall böra lämna dels rekommendationer, avseende det framtida utförandet av vägskyddsanläggningar, dels anvisningar rörande ett provisorium.

Med avseende på det framtida utförandet av vägskyddsanläggningar rekommenderar kommittén, att pågående utvecklingsarbete fortsattes med all energi och i huvudsak inriktas dels på anläggningar med kodspårledningar (se kap. 4c β och 5b), dels på anläggningar, i vilka varningssignaleringen igångsattes med hjälp av någon på ett eller annat sätt utformad impulsteknik, t. ex. kontaktanordningar i spåret eller mycket korta och för fel eller störningar därför okänsliga spårledningar. Vid det slutliga valet av anläggningstyp bör särskild vikt läggas vid anläggningsekonomin, enär antalet vägskyddsanläggningar kan förutses bli mycket stort.

Då utvecklingen av den apparatur, som kräves för att de ovanstående rekommendationerna skola kunna följas, kan väntas bli tidskrävande, och då ett avbrott i pågående arbeten på vägskyddsanläggningar och deras planering icke torde kunna tolereras, finner sig kommittén nödsakad att såsom provisorium under en övergångstid, som bör göras så kort som möjligt, godtaga en problemlösning, innebärande, att på banor, elektrifierade med enfasström, 16 2/3 p/s, tills vidare användas enkelisolerade, ändmatade likströmsspårledningar i förening med vägkorsningssignal för kontroll av spårledningarnas funktion. Dessa spårledningar böra matas i de från vägkorsningen längst bort belägna ändarna och vara försedda med neutrala likströmsspårreläer i ändarna närmast vägen. Spårreläutrustningens fallspänning bör enligt rekommendationerna under punkt 2 ovan vara minst 1,1 V och i varje enskilt

fall ökas till det högre värde som medges med hänsyn till spårströmkällans spänning och den av lokala förhållanden betingade maximala avledningen mellan rälerna. Dessa anvisningar gälla även för icke elektrifierade banor, där spårledningarna dock böra dubbelisoleras. Rörande matningsanordningens utförande hänvisas till rekommendationerna under punkt 4 ovan.

På banor med likströmsdrift förekommande spårledningar måste vara av växelströmstyp.

Intill dess att praktiskt användbara kodspårledningar eller anordningar, baserade på annan, lika säker teknik hunnit åstadkommas, måste man, enligt kommitténs uppfattning, godtaga, att likströmsspårledningar med neutrala spårreläer provisoriskt användas i vägskyddsanläggningar. Härigenom kan man nämligen dels med minsta möjliga tidsutdräkt åstadkomma en nödvändig förbättring av äldre automatiska vägskyddsanläggningar, dels undvika avbrott såväl i pågående anläggningsarbeten som i planläggningen av automatiskt verkande anläggningar för ännu oskyddade vägkorsningar. Kommittén har funnit provisoriet försvarligt också av den anledningen, att de anordningar, som tillkomma genom detsamma, i stort sett låta sig väl inordnas i ett på kodspårledningar inriktat utvecklingsprogram. (Se kap. 56.)

SAMMANFATTANDE REDOGÖRELSE FÖR KOMMITTÉNS SPÅRLEDNINGSUNDER- SÖKNINGAR

1. Inledning

På en spårledning av den vanligast förekommande och här behandlade typen ställer man det kravet, att den säkert skall rapportera, när den spårsträcka, vilken kontrolleras av spårledningen, är fri från sådana järnvägsfordon, som kunna påverka spårledningar.

Detta krav bestämmer de grundläggande egenskaperna hos spårledningen. I varje avsnitt måste den sålunda

dels oavbrutet känna förekomsten av fordon av ovannämnd art så länge fordonet befinner sig på spårsträckan,

dels lämna information om sådant fordons förekomst genom påverkan av något för ändamålet anordnat informationssystem,

dels fullgöra dessa funktioner oberoende av åtminstone sådana yttre inflytanden, störningar, vilka, därest deras verkningar icke eliminerades genom ändamålsenlig konstruktion av spårledningen, skulle kunna leda till falsk information av innebörd, att ett på spåret befintligt fordon rapporterades såsom icke befintligt.

Sistnämnda egenskap är av avgörande betydelse för *trafiksäkerheten*. Med hänsyn till spårledningens *driftsäkerhet*, vilken är av betydelse för tågföringen, är det önskvärt, att ej heller sådan falsk information lämnas, att rapport erhålles om att spåret skulle vara belagt med fordon, ehuru så icke är fallet.

Det ovanstående antyder vidare, att icke varje järnvägsfordon får betraktas som ett fordon, vilket kan påverka spårledningen. Det måste tvärtom besitta vissa bestämda egenskaper, om det skall kunna förväntas påverka spårledningen med erforderlig säkerhet.

Vidare inses, att en spårledning måste kompletteras med ett informationssystem, om den skall bliva till avsedd nytta. Det säger sig självt, att man även på detta systems funktion måste ställa minst lika höga krav på tillförlitlighet som på spårledningen som sådan.

Till slut må framhållas, att förekomsten av störningar och även rena fel i spårled-

ningarna fått ett dominerande inflytande på resultatet av de undersökningar, som genomförts av kommittén. Det har bland annat befunnits nödvändigt att utrangera vissa hittills tillämpade spårledningskonstruktioner för att ersätta dem med andra, mera tillförlitliga. Detta får icke tolkas som om man tidigare skulle på ett oförsvarligt sätt ha eftersatt elementära säkerhetskrav vid konstruktionen av spårledningar. Det fysikaliska underlaget för konstruktionsarbetet var nämligen då föga känt, särskilt vad beträffar störningarnas natur och verkningar. Av den djupare insikt i dessa problem, som numera vunnits, har emellertid framgått, att störningarna kunna få menliga följder, om de icke beaktas vid konstruktionsarbetet. Att så sker är så mycket mera betydelsefullt som spårledningarna äro att betrakta som ett av de grundläggande elementen i järnvägarnas säkerhetsteknik och därtill framdeles kunna väntas få en långt vidsträckt användning än de hittills haft.

2. Spårledningens principiella uppbyggnad

I spåret är det närmast rälerna, som komma i kontakt med ett på spåret befintligt fordon. Rälerna bibringas förmågan att känna fordonet genom att man mellan dem applicerar en elektrisk spänning, inmatad från en till rälerna ansluten *spårströmkälla*. Ett mellan rälerna inkopplat relä, i detta sammanhang kallat *spårrelä*, hålles draget av spänningen, om denna är tillfinnandes. Inkopplas någon av reläets kontakter i serie med en elektrisk krets, kan denna tjäna som informationssystem.

Inkommer ett fordon på det sålunda utrustade spåret, kortslutes spänningen mellan rälerna av fordonets hjul och axlar samt kontaktpunkterna mellan hjul och räler, om dessa element utgöra en obruten elektrisk ledare. Reläet faller därvid, om spänningen upptages av en i serie med spårströmkällan insatt *förkopplingsimpedans*, som helt eller delvis kan ingå i denna strömkälla. Reläets kontakt förändrar då tillståndet i den som informationssystem fungerande elektriska kretsen.

Den av hjul, axlar och nyssnämnda kontaktpunkter bildade ledaren kan med avseende på sin inverkan på spänningen över reläet närmast karakteriseras som en shuntkopplad resistans, vars värde icke får vara större än att kortslutningen blir tillräckligt effektiv. Det följer härav, att nämnda resistans, vanligen benämnd *tågshunten*, har ett övre gränsvärde, vilket icke får överskridas, om fordonet skall kunna påverka spårledningen. Särskilt bör observeras, att kontaktpunkternas resistanser kunna vara av halvledarkaraktär och att de kunna representera den större delen av den totala tågshunten.

Det spänningsbelagda, med ett spårrelä utrustade spåret blir en i princip fullt utbildad spårledning, om spänningens förekomst i spåret begränsas till en avgränsad spårsträcka med den tillämnade spårledningens utsträckning. Denna begränsning åstadkommes om den spårledningskontrollerade spårsträckans ändpunkter sektioneras antingen i den ena eller i båda skensträngarna medelst elektriskt isolerande inlägg och om spänningen inmatas mellan skensträngarna i en punkt *mellan* spårsträckans

sålunda isolerade ändpunkter. På detta sätt får man *enkel-* resp. *dubbelisolerade* spårledningar. Båda typerna förekomma.

Rälskarv, i vilken ett isolerande inlägg är anordnat, kallas *isolerskarv*. I en enkelisolerad spårledning benämnes den rälsträng, i vilken isolerskarvar förekomma, den *isolerade rälsträngen* eller, kortare, *i-rälen*. Den andra kallas den *sammanhängande rälsträngen*, *s-rälen*.¹

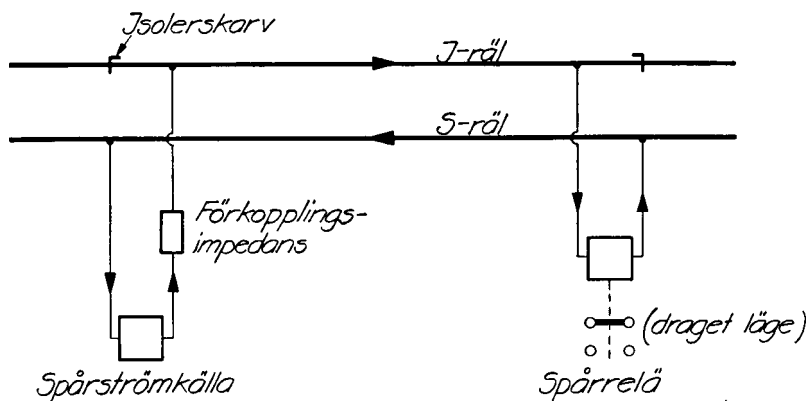


Fig. 1. Schematisk bild av ändmatad, enkelisolerad spårledning, som är fri från fordon.

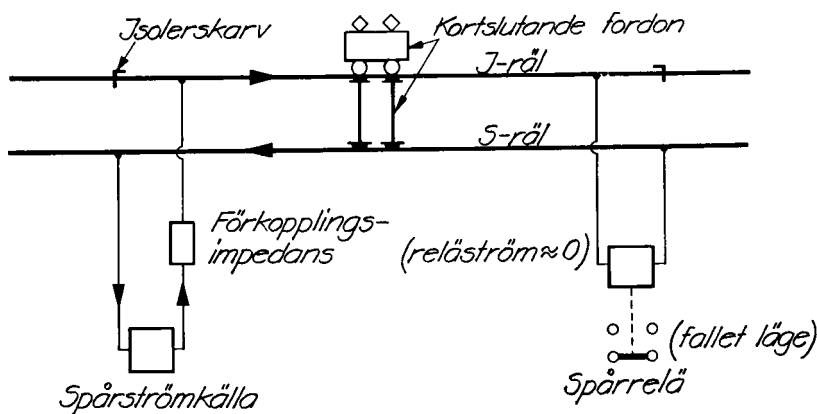


Fig. 2. Schematisk bild av ändmatad, enkelisolerad spårledning, som är upptagen av fordon.

I sin enklaste form är spårledningen försedd med ett spårrelä i den ena ändan, medan spänningen inmatas i den andra. Dyliga spårledningar benämnas *ändmatade* spårledningar. Figurerna 1 och 2 återge schematiskt den principiella uppbygg-

¹ Tidigare har för i- och s-rälen använts beteckningarna plus- resp. minusrälen. De sistnämnda beteckningarna övergivas här, enär de icke äro tillämpliga på växelströmsspårledningar och dessutom vid användning på likströmsspårledningar i vissa fall kunna leda till missförstånd.

naden av en ändmatad, enkelisolerad spårledning. I fig. 1 är spårledningen fri från fordon, i fig. 2 är den upptagen av fordon. En spårledning kan också utrustas med två spårreläer, ett i vardera ändan, medan spänningen inmatas i någon punkt mellan reläerna. Oavsett var mellan reläerna denna punkt blir belägen säges spårledningen då vara *mittmatad*. Fig. 3 visar schematiskt en mittmatad och för exemplifierings skull dubbelisolerad spårledning.

En spårledning kan matas med likspänning, växelspanning eller spänningsimpulser. I anslutning härtill talar man om *likströms-*, *växelströms-* eller *kodspårledningar*.

För att spårledningen skall rapportera ett fordon, var än detta befinner sig på den spårledningskontrollerade spårsträckan, måste spårspänningen vara tillfinnandes i *varje* punkt av spårledningen. Denna måste med hänsyn härtill vara så uppbyggd, att spårreläet faller, icke blott då ett fordon inkommer på spårledningen utan även vid rälbrott, avbrott i matnings- eller reläkretsar eller vid kortslutningar av annan anledning än den, att fordon inkommer på spårledningen.

Rälbrott innebära en onormal ökning av *rälimpedansen*, som också kan nå för höga värden, om rälskarvarna äro underhaltiga i elektriskt avseende. Dessa bruka förbättras med hjälp av s. k. *kontaktförbindningar*.

Obehöriga kortslutningar uppkomma om t. ex. det elektriska motståndet i sliprar och ballast sjunker till den grad, att samma indikationer uppstå som när ett fordon inkommer på spårledningen. Man får i dylikt fall en så hög *avledning* emellan rälsträngarna, att spårledningen fungerar på onormalt sätt. Såväl avledningen som den nyssnämnda rälimpedansen spela med andra ord en betydande roll för spårledningens funktion.

Särskilt bör uppmärksammas, att risken för rälbrott medför krav på sådant utförande av spårledningen, att varje del av den spårledningskontrollerade spårsträckan blir belägen mellan å ena sidan ett spårrelä, å andra sidan den punkt, i vilken spårspänningen inmatas. Ett fordon, uppställt på annorledes belägen del av

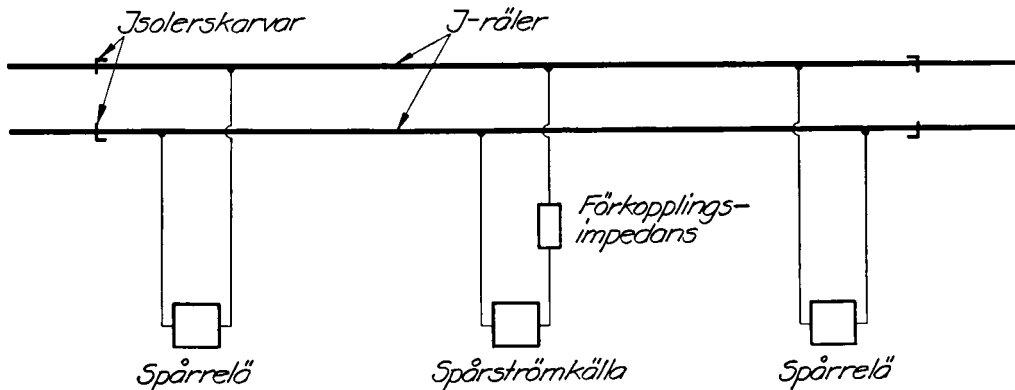


Fig. 3. Schematisk bild av mittmatad, dubbelisolerad spårledning.

spårledning, som genom rälbrott bleve skild från spårledningen i övrigt, skulle nämligen icke bliva med säkerhet rapporterat.

De sålunda beskrivna spårledningarna karakteriseras bl. a. därav, att spårledningskretsen ständigt genomflytes av en ström. Spårledningar av denna art bruka med hänsyn härtill benämnas *vilströmsspårledningar*. De äro de allmänast förekommande. Andra spårledningar, använda för speciella ändamål, äro sådana vilka genomflytas av ström, först då fordon inkomma på dem. Dessa behandlas icke i detta sammanhang, enär deras utförande i praktiken icke erbjuder några större problem.

Det ovanstående torde kunna sammanfattas så, att en spårledning kan uppbyggas på flera olika sätt men att dock vissa grundläggande krav därvid måste tillgodoses. Sker så, kan spårledningen, om den är opåverkad av yttre störningar, sägas ha den egenskapen, att den icke underlåter att rapportera ett fordon, som skall och kan rapporteras, och att den dessutom rapporterar såsom för dylikt fordon även om den är felaktig till följd av rälbrott, obehöriga kortslutningar eller avbrott i spänningsmatningen, allt under den ytterligt betydelsefulla förutsättningen, att spårreläet i mekaniskt och elektriskt avseende fungerar oklanderligt.

I verkligheten förhåller det sig emellertid så, att en spårledning är utsatt för yttre inflytanden, störningar, av olika slag. Dessa bliva särskilt besvärande på elektrifierade banor. De konstruktiva möjligheterna begränsas härigenom mycket starkt. I själva verket är det störningarnas art och styrka i förening med ekonomiska hänsyn, som bestämma spårledningens konstruktiva utförande.

3. Spårledningens elektriska egenskaper

En spårlednings konstruktion och verkningssätt kan på förhand beräknas med hjälp av de vanliga teorier, som gälla för elektriska ledningar, om blott dess olika ledningskonstanter äro kända. Beräkningarna kompliceras emellertid därav, att ledningskonstanterna äro mer eller mindre variabla, vilket i praktiken leder till matematisk behandling av gränsfall.

a) Spårledningens ledningskonstanter

Spårledningens ledningskonstanter uppdelas med fördel i yttre och inre konstanter. Till de *yttre* konstanterna räknas de elektriska data, som karakterisera matningskretsen med dess EMK och impedans, samt spårreläkretsen med dess impedans och reläets värde på förhållandet mellan drag- och fallspänning, det s. k. *K-värdet*. Till de *inre* konstanterna höra *resistansen* och *induktansen* i spårledningens räl samt *avledningen* mellan dessa. Mellan rälerna uppträder också en viss kapacitans, som dock normalt kan försummas.

Spårreläets *K*-värde definieras genom uttrycket $K = \frac{U_d}{U_f}$, där U_d är dragspänningen, karakteriserad som den lägsta spänning över reläet, vid vilken reläet drager med

fullt kontakttryck på de slutande kontakterna, och U_f är fallspänningen, bestämd som den högsta spänning över reläet, vid vilken reläet faller. För att driftegenskaper hos ett spårrelä skola kunna anses vara goda, får K -värdet icke vara för högt. Ett normalt värde är $K = 2$ för likströmsspårreläer. Är spårreläet vid användning i spårledning försett med tillsatsapparat, t. ex. för skydd mot störningar, eller avslutat medelst långa ledare med märkbar resistans, kan det vara lämpligt att i stället för att räkna med reläets K -värde använda spårreläutrustningens K -värde, varvid jämväl fall- och dragspänningarna skola hänföras till spårreläutrustningen.

Värden på avledning, resistans och induktans ha uppmätts i kommitténs regi och jämförts med värden, som erhållits på annat sätt, företrädesvis genom mätningar på anläggningar i samband med deras idrifttagande. Resultaten härav sammanfattas sålunda.

Avledningen, betecknad g och räknad i siemens per kilometer spår, varierar inom vida gränser. På variationerna inverkan de faktorer äro temperatur, fuktighet och föroreningar i ballasten, ballastmaterialet och dess konsistens, slipersmaterialet, ev. förekommande slipersimpregnering, förekomsten av växlar i spåret samt omfattningen av kontakter mellan ballastmaterialet och rälfoten.

Avledningen minskar, då temperatur och fuktighet sjunka. Vid låga temperaturer — under 0°C — eller eljest vid mycket torr väderlek kan den nå värden nära noll. Omvänt gäller, att den ökar, när temperaturen stiger över 0 -punkten, särskilt om ballast och sliprar äro fuktiga.

Föroreningar i ballasten inverka i vissa fall mycket oförmånligt på avledningen, särskilt om de bestå av kemikalier, som äro lösliga i vatten. Salter, använda för ogräsbekämpning eller dammbindning, ha erfarenhetsmässigt visat sig kunna öka avledningen i så hög grad, att spårledningar fungerat såsom för tåg, ehuru tåg icke inkommit på spårledningen.

Vid torr väderlek ger makadamballast lägre avledning än grusballast. Skillnaden utjämnas emellertid vid regnväder. Järnmalmhaltigt ballastmaterial ger vid fuktig väderlek något större avledning än grusballast.

Kreosotimpregnerade eller friska oimpregnerade sliprar lämpa sig väl som underlag för räler i spår med spårledningar. Den vid statens järnvägar tidigare använda arsenikimpregneringen däremot ökar avledningen till det dubbla i jämförelse med de värden som gälla för kreosotimpregnerade eller oimpregnerade sliprar åtminstone under de första två åren av deras livslängd. Genom urlakning av impregneringsmedlet sjunker avledningen därefter så småningom. Stål- och betongsliprar fordra särskilda anordningar för isolering av rälerna, vilka anordningar böra tåla de höga tryck- och vibrationspåkänningar, som uppträda i spåret.

Förekomsten av spårväxlar ökar avledningen. Särskilt gäller detta centralt manövrerade och kontrollerade växlar med deras relativt komplicerade anordningar. De uteslutande lokalt omläggbara växlarna ge i allmänhet mindre avledning.

Spår, i vilka ballasten ligger an mot rälfoten, ha, särskilt om ballasten utgöres av grus, högre avledning, då ballasten är fuktig, än spår, i vilka ett mellanrum finnes mellan ballast och rälfot.

Avledningen är den av spårledningens konstanter, som varierar mest och som därför vållar de största konstruktiva svårigheterna. Dessa öka allteftersom avledningen stiger. Det är därför nödvändigt att vid beräkning och konstruktion av spårledningar räkna med så vitt möjligt realistiskt bedömda maximivärden på avledningen och att i övrigt dimensionera spårledningen härefter. Av vikt är, att spårets överbyggnad utföres och dess underhåll skötes så, att dessa maximivärden icke överskridas. Misstag på dessa punkter medföra i allmänhet ingen direkt risk för järnvägens trafiksäkerhet. Däremot kan driftsäkerheten äventyras med ofta allvarliga rubbningar i tågföringen som följd. Användes spårledningar för manövrering av vägskyddsanläggningar, kunna vidare samma misstag leda till falsk varningssignalering och otillbörlig fällning av fällbommar, vilket med fog kan befaras minska vägtrafikanternas respekt för järnvägens skyddsanordningar. Indirekt kan detta leda till en minskning av trafiksäkerheten på vägarna.

De *maximivärden* på avledningen, som vid beräkning och konstruktion av spårledningar böra användas, äro följande, nämligen i spår utan spårväxel på den av spårledningen kontrollerade sträckan, om sliprarna äro kreosotimpregnerade eller oimpregnerade:

$$g = 0,5 \text{ S/km}$$

i spår utan spårväxel på den av spårledningen kontrollerade sträckan, om sliprarna äro arsenikimpregnerade:

$$g = 1,0 \text{ S/km}$$

Den med hjälp av dessa värden beräknade, av spårledningens längd beroende *totala* avledningen bör ökas med 0,1 S för lokalt omläggbara och 0,2 S för centralt manövrerade växlar, som äro inlagda i den av spårledningen kontrollerade spårsträckan.

Rälresistansen, mätt med likström, betecknas r_l och uttryckes i ohm per kilometer spår eller i ohm per 2 kilometer rälsträng. Värdet varierar väsentligen med rälvikten men röner i praktiken också inflytande av rälförbindningarnas kvalitet. Beräknas resistansen med ledning av växelströmsmätningar — i så fall kallad r_v och uttryckt i ohm per kilometer spår — blir den på grund av strömförträngning högre än motsvarande likströmsvärde. Värdet på r_v varierar med mätströmstyrkan samt med mätfrekvensen och rältypen, dock ej mer än att vid måttliga strömstyrkor och given frekvens ett och samma värde kan användas oberoende av rältypen.

Induktansen, betecknad med l och uttryckt i henry per kilometer spår, varierar med rältypen och frekvensen, dock ej mer än att vid given frekvens samma värde kan användas för praktiskt bruk oberoende av rältypen.

De på mätningar baserade, för praktiskt bruk användbara värdena på resistans och induktans framgå av följande sammanställning:

$$\begin{aligned}r_l &= 0,12 \text{ ohm/km spår vid rälvikten } 40 \text{ kg/m} \\r_l &= 0,10 \quad \text{,,} \quad \text{,,} \quad \text{,,} \quad 50 \quad \text{,,} \\r_v &= 0,38 \quad \text{,,} \quad \text{,,} \quad \text{,,} \quad \text{frekvensen } 100 \text{ p/s} \\l &= 1,59 \cdot 10^{-3} \text{ H/km spår vid frekvensen } 100 \text{ p/s}\end{aligned}$$

Konstanterna r_v och l ha angivits för frekvensen 100 p/s, enär denna frekvens, såsom framgår i det följande, valts som standardfrekvens för växelströmsspårledning.

b) Tågshunten

Med de höga värden på kontaktryck mellan räler och hjul, som förekomma i järnvägsdrift, skulle man vänta sig en effektiv kortslutning av spänningen mellan rälerna i en spårledning, när ett järnvägsfordon inkommer på densamma. På något så när livligt trafikerade bandelar, där rälerna hållas blanka genom friktionen mellan dem och hjulen, är detta också fallet. Vid undersökningar, som utförts på ett flertal platser i norra, mellersta och södra delarna av landet, ha värden erhållits på tågshunten, liggande mellan 0,0002 och 0,02 ohm. Vid dessa mätningar var tågshunten av rent "metallisk" karaktär, dvs. oberoende av strömstyrkan. Även om de angivna värdena innebära en resistansvariation i förhållandet 1 : 100, kunna de, såsom lätt kan visas, anses motsvara praktiskt taget full kortslutning av spårreläet.

På några platser ha mätningarna, utförligt redovisade i bil. 2, dock givit resultat, som i hög grad avvika från de ovan angivna. Detta har framför allt gällt bansträckor på västkusten, som ligga så nära havet, att de nås av salt, som medföres av vinden. Detta salt ger upphov till en väsentligt kraftigare rostbildning på rälerna än den längre inåt landet vanliga. På rälens yta utbildas därvid ett skikt av halvledarkaraktär, som vid mycket låga spänningar verkar praktiskt taget helt isolerande mellan räl och hjul. När spänningen över skiktet höjts, har emellertid genomslag inträffat, varefter skiktet genomsläppt en relativt stor ström samtidigt som spänningen över skiktet sjunkit.

I dylikt fall är begreppet tågshunt inte längre aktuellt. Det får ersättas med *tågshuntspänning*, definierad som den spårledningsspänning, vilken kvarstår mellan de båda rälerna, sedan det isolerande skiktet genomslagits. Genomslagsspänningen är högre än tågshuntspänningen, dock i allmänhet mindre än den senares dubbla värde. Avsevärd skillnad mellan genomslags- och tågshuntspänning har iakttagits endast på spårledningar, som under längre tid icke varit befarna av fordon. På sål-lan befarna spårledningar måste därför särskilda försiktighetsmått vidtagas.

På tågshuntspänningens storlek inverkar även eventuellt förekommande isbildning på rälerna, sand samt på sina håll löv, rikligast förekommande under höstens lövfällningsperioder.

Undersökningar rörande isbildningens inverkan ha visat, att isbeläggningar, tillkomna vid temperaturer strax under 0°C , ha så låg tryckhållfasthet, att de krossas av hjultrycket från även lätta tvåaxliga rälsbussar, med en totalvikt av ca 6,7 ton, både då bussen är stillastående och i rörelse. Isbildning åstadkommen vid låga temperaturer, vid ca -30°C , har däremot så hög tryckhållfasthet, att en stillastående tvåaxlig lätt rälsbuss icke förmår krossa densamma, detta i all synnerhet om isbeläggningsen är tunn, ca 0,3 mm. I sådant fall uppstår ingen shuntverkan från bussen. Då rälsbussen är i rörelse, uppstår emellertid enligt vad proven utvisade även i detta fall krossverkan och god utshuntning på större delen av provsträckan, eller på ca 65 % av dess längd.

Under dessa mätningar åstadkoms isbeläggningsen genom begjutning av rälerna med vatten. I verkligheten förekommer isbildning vid låg lufttemperatur så sällan att risken för otillräcklig utshuntning av spårreläerna för dess skull får anses vara ringa.

Undersökningar av tågshuntspänningen i spår med sandade rälerna ha visat, att man med en stillastående tvåaxlig lätt rälsbuss, vars ena hjulpar isolerats från rälerna medelst isolerande mellanlägg, i flertalet fall erhåller värden på tågshunten av rent metallisk karaktär, att man i en del fall får värden av halvledarkaraktär med tågshuntspänningar upp till 0,6 V per hjulpar samt att man i undantagsfall erhåller så höga värden på tågshunten, att någon utshuntning av ett spårrelä icke är att påräkna. Låter man däremot båda hjulparen på en lätt rälsbuss vara samtidigt verksamma som tågshuntar, erhålles i övervägande antalet fall god metallisk utshuntning. Endast undantagsvis får man då svag halvledarkaraktär på den totala tågshunten med måttliga värden på tågshuntspänningen. Sådana resultat äro att vänta, ty med två som tågshuntar verksamma hjulpar bör sannolikheten för metallisk kontakt mellan hjul och räl bli betydligt större än om blott ett hjulpar är verksamt.

Frågan om risken för bristfällig utshuntning till följd av lövfällning har i viss mån undersökts av kommittén. Erfarenhetsmässigt vet man, att denna risk är särskilt markerad i trafik med lätta rälsbussar, medan den är att betrakta som praktiskt taget obefintlig i trafik med tunga fordon. Undersökningarna ha därför ansetts kunna begränsas till utshuntningsförmågan hos de tyngre rälsbussarna, med ett axeltryck av 6 à 7 ton. Resultaten ha visat, att enbart ett skikt av löv på rälerna icke torde hindra att utshuntningen blir tillfredsställande. Men om ett skikt av våta löv fryser fast eller inmänges med sand bildas en beläggning, som kan innebära risk för att utshuntningen uteblir. Att av denna orsak avstå från att använda spårledningarna finge emellertid anses orimligt, eftersom spårledningarna få betraktas som ett av de mest betydelsefulla medel man har för att tillgodose säkerhetskravet för den stora mängden av tåg. För de särförhållanden, som uppstå i lövfällningstid vid trafik med rälsbussar, synes risken kunna elimineras genom särskilda försiktighetsåtgärder.

Ytterligare en risk för otillfredsställande utshuntning, som icke närmare undersökts av kommittén men som dock erfarenhetsmässigt föreligger, sammanhänger med, att

fordonens hjul kunna bli belagda med isolerande skikt. Sådana ha iakttagits på lätta fordon, tvåaxliga rälsbussar med trumbromsar, däremot icke på tyngre fordon med bromsklotsar, som äro direkt verksamma på hjulen och som därför hålla hjulringarnas löpytor rena. Med hänsyn härtill är det av betydelse för spårledningarnas säkra funktion, att järnvägsfordonen utrustas med bromsar, vilka verka direkt på hjulringarnas löpytor, såvida man icke av särskilda skäl finner det motiverat att på annat sätt sörja för att dessa ytor hållas rena.

Över huvud taget gäller, att de vid SJ förekommande lätta — ca 3 tons axeltryck — tvåaxliga rälsbussarna böra utrangeras så snart sig göra låter. De innebära en risk med hänsyn till spårledningarnas funktion, som på tekniskt och ekonomiskt rimliga villkor icke torde kunna elimineras på annat sätt.

Om man bortser från de med dessa rälsbussar förenade riskerna behöver man, såvitt mätningar visat, ej räkna med högre värden på tågshuntspänningen än 1,0 V, då det är fråga om likströmsspårledningar, samt med värdet 0,9 V, då det är fråga om växelströmsspårledningar. Det något oväntade förhållandet mellan likströms- och växelströmsvärdena har sin förklaring i den deformation av växelspanningsfallets kurvform, som orsakas av isolerskiktets halvledaregenskaper.

Såsom en vid beräkning och konstruktion användbar norm för tågshuntspänningen bör värdet 1,0 V fastställas, vilket värde av praktiska skäl bör gälla både likströms- och växelströmsspårledningar.

Är tågshuntspänningen 1 V måste spårreläutrustningen konstrueras så, att reläet faller för åtminstone alla värden på spårspänningen i spårledningens reläända, som äro lägre än eller lika med 1 V. Detta värde bör dock höjas till 1,1 V, så att en marginal på 10 % erhålles. *Spårreläutrustningens fallspänning får med andra ord icke vara lägre än 1,1 V. Därvid blir spårreläutrustningens dragspänning lika med $K \cdot 1,1$ V eller, om K -värdet är 2, lika med 2,2 V.*

c) Isolationsmotstånd mellan räler och jord

Det är av vikt att ha en uppfattning om isolationsmotståndet mellan räler och jord, enär detta blir i hög grad bestämmande för spänningsfallet över ett rälbrott, om ett sådant skulle inträffa. Ett dylikt spänningsfall kan inverka störande på en spårlednings funktioner.

Av mätningar i Hässleholm år 1945 framgick, att isolationsmotståndet till jord var i det närmaste lika för de båda rälsträngarna, trots att kontaktledningsstolparnas jordtrådar voro anslutna blott till den sammanhängande rälsträngen. Det visade sig på denna plats vidare, att isolationsmotståndet till jord var väsentligt högre än isolationsmotståndet mellan rälerna. På en sträcka av 1 km längd var det förstnämnda motståndet sålunda ca 10 ohm, medan det sistnämnda icke var större än ca 3 ohm. I detta fall var kontaktledningsstolparnas motstånd till jord relativt högt, 189 ohm per stolpe. På andra platser ha avsevärt lägre stolpmotstånd uppmätts, i

närheten av Uppsala till 7,4 ohm per stolpe. I trakten av Uppsala stodo stolparna i postglacial lera, i Hässleholm i pinnmo.

I de fall, då markens beskaffenhet ger låga stolpmotstånd, bör man kunna vänta sig, att den på elektrifierad linje med kontaktledningsstolparna förbundna s-rälen har lägre isolationsmotstånd till jord än den andra rälen, i-rälen. Detta har också bekräftats vid mätningar i närheten av Södertälje Södra, där man på vissa ställen hade jämförelsevis låga värden på stolpmotstånden. För s-rälen erhöles där vid mätning med banfrekvent ström värden på isolationsmotståndet till jord av 0,5—2,5 ohm och för i-rälen 7—10 ohm, allt räknat för en rälsträng av 1 km längd. Man får alltså hålla i minnet att rälernas isolationsmotstånd till jord kan variera rätt väsentligt, beroende på lokala förhållanden.

Systematiska mätningar på stolpmotstånd i olika jordarter, utförda år 1945, gävo följande medelvärden:

Mo (finkornig sand)	ca	70	ohm/stolpe
Morän (pinnmo)	„	190	„ „
Glacial lera	„	16	„ „
Postglacial lera	„	7	„ „
Lergyttja	„	10	„ „
Gyttja	„	15	„ „
Grus och grov sand (i rullstensås)	„	100	„ „
Torv	„	20	„ „

Dessa mätningar företogs på senhösten, då marken kunde beräknas vara väl genomfuktad av höstregn. Värdena böra med hänsyn härtill kunna anses representativa som undre gränsmedelvärden.

De mot dessa medelvärden svarande individuella värdena avvika i vissa fall betydligt från medelvärdena, vilka sistnämnda likväl ge en god uppfattning om de variationer, med vilka man har att räkna. För en rälsträng av 1 km längd bli medelvärdena på isolationsmotstånden till jord följande (med 20 stolpar per km):

Mo	3,5	ohm,	motsvarande	0,286	S/km
Morän	9,5	„	„	0,105	„
Glacial lera	0,8	„	„	1,25	„
Postglacial lera	0,35	„	„	2,86	„
Lergyttja	0,5	„	„	2,00	„
Gyttja	0,75	„	„	1,33	„
Grus och grov sand	5,0	„	„	0,20	„
Torv	1,0	„	„	1,00	„

Den med stolparna icke förbundna rälsträngen uppvisar mycket varierande värden på isolationsmotståndet. Lägre värden än 7 ohmkm torde man dock, såsom framgått av mätningar, icke behöva förutse.

Tidigare mätningar, företagna på Malmbanan under januari och februari 1921, då mycket låga temperaturer rådde — omkring — 40°C — gävo helt andra värden.

På enstaka stolpar kunde motståndsvärden av storleksordningen 5 000 ohm uppmätas. Högre medelvärde för ett flertal till samma skensträng anslutna stolpar än 1 000 ohm per stolpe erhöles dock ej. Detta svarar mot ett största motstånd mellan den till kontaktledningsstolparna anslutna rälsträngen och jord av 50 ohmkm, vilket värde torde kunna betraktas som ett maximum.

Motsvarande värde på motståndet mellan en till kontaktledningsstolpar icke ansluten rälsträng och jord rörde sig om 2 500 ohmkm.

I fråga om sambandet mellan jordmotstånden för dels den till kontaktledningsstolpar anslutna rälsträngen, dels den isolerade rälsträngen vågar man ej med säkerhet draga någon längre gående slutsats, än att jordmotståndet för den förstnämnda icke är högre än för den sistnämnda eller — om man så vill — att den med stolparna förbundna rälsträngen har minst lika stor avledning till jord som den isolerade rälsträngen, allt per längdenhet räknat.

d) Spårledningens beräkning

Med den terminologi, som företrädesvis användes inom teletekniken kan spårledningens båda rälsträngar med den mellan dessa uppträdande avledningen betraktas som en fyrpol, till vars ena ända är ansluten en spårreläutrustning med dess impedans Z_2 ohm och andra ända matningsutrustningen med impedansen Z_1 ohm och elektromotoriska kraften E volt. Fyrpolens egen karakteristik betecknas Z ohm. Spårledningens längd är L km och spårströmkällans vinkelfrekvens ω radianer per sekund. Spänningen över rälerna vid spårreläutrustningen kallas U_2 volt. Med ledning av fig. 4 erhålles ekvationssystemet

$$\left. \begin{aligned} E &= U_2 \left[\left(1 + \frac{Z_1}{Z_2} \right) \cosh \gamma L + \left(\frac{Z}{Z_2} + \frac{Z_1}{Z} \right) \sinh \gamma L \right] \\ \gamma &= \sqrt{g(r + j\omega l)} \\ Z &= \sqrt{\frac{r + j\omega l}{g}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

I detta ekvationssystem äro vissa storheter givna på förhand. Spänningen över spårreläutrustningen, U_2 , skall sålunda för $K = 2$ vara 2,2 V vid maximal avledning mellan rälsträngarna. Av standardiseringsskäl är det vidare lämpligt att för såväl växelströms- som likströmsspårledningar sätta $E = 6$ V.

I växelströmsspårledningar med frekvensen 100 p/s blir $\omega l = 2\pi \cdot 100 \cdot 1,59 \cdot 10^{-3} = 1$ ohm och i likströmsspårledningar = 0. I växelströmsspårledningar blir vidare $r = r_v = 0,38$ ohm/km och i likströmsspårledningar $r = r_l = 0,12$ ohm/km, gällande som ett högsta värde för de vanligen förekommande rälyper i spår, i vilka spårledningar förekomma.

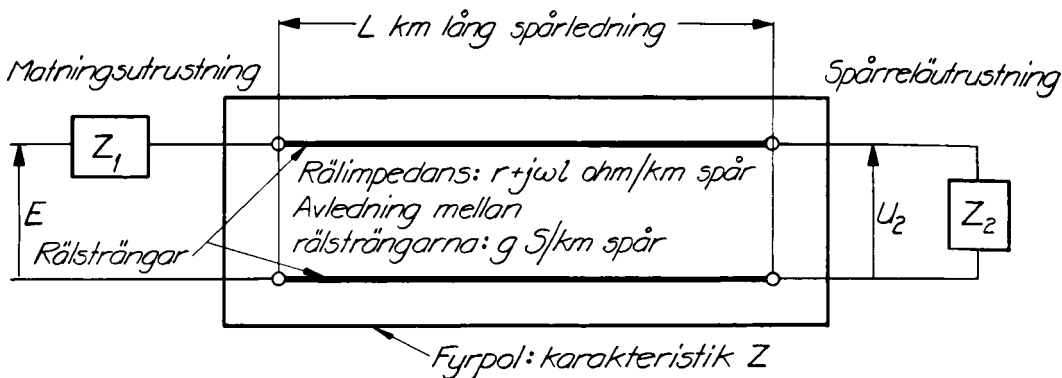


Fig. 4. Ekvivalent schema för beräkning av spårledning.

Beteckningar:

E = spårströmkällans elektromotoriska kraft.

U_2 = spänningen mellan rälerna vid spårreläutrustningen.

Z_1 = matningsutrustningens impedans (inkl. ledningsmotstånd).

Z_2 = spårreläutrustningens impedans (inkl. ledningsmotstånd).

l = rälinduktans per km spår.

r = rälresistans per km spår.

ω = spårströmkällans vinkelfrekvens.

Vidare är den maximala avledningen given, nämligen $g = 0,5$ S/km i spår med oimpregnerade eller kreosotimpregnerade sliprar och $g = 1,0$ S/km i spår med arsenikimpregnerade sliprar.

Genom att insätta de så angivna värdena i ekvationssystem (1) kunna fyra olika ekvationssystem, vilka för likströmsspårledningar reduceras till enkla ekvationer, uppställas, gällande fyra olika spårledningstyper, nämligen

växelströmsspårledningar i spår med oimpregnerade eller kreosotimpregnerade sliprar

$$\left. \begin{aligned} 2,727 &= \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2} \right) \cosh \gamma L + \left(\frac{Z}{Z_2} + \frac{Z_1}{Z} \right) \sinh \gamma L \\ \gamma &= \sqrt{0,19 + j \cdot 0,5} \\ Z &= \sqrt{0,76 + j \cdot 2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

växelströmsspårledningar i spår med arsenikimpregnerade sliprar

$$\left. \begin{aligned} 2,727 &= \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2} \right) \cosh \gamma L + \left(\frac{Z}{Z_2} + \frac{Z_1}{Z} \right) \sinh \gamma L \\ \gamma &= \sqrt{0,38 + j \cdot 1} \\ Z &= \sqrt{0,38 + j \cdot 1} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

likströmsspårledningar i spår med oimpregnerade eller kreosotimpregnerade sliprar

$$2,727 = \left(1 + \frac{\zeta_1}{\zeta_2}\right) \cosh 0,245 L + \left(\frac{0,49}{\zeta_2} + \frac{\zeta_1}{0,49}\right) \sinh 0,245 L \quad (4)$$

likströmsspårledningar i spår med arsenikimpregnerade sliprar

$$2,727 = \left(1 + \frac{\zeta_1}{\zeta_2}\right) \cosh 0,346 L + \left(\frac{0,346}{\zeta_2} + \frac{\zeta_1}{0,346}\right) \sinh 0,346 L \quad (5)$$

Det man vid spårledningsberäkningar i allmänhet söker är värdet på matningsutrustningens impedans ζ_1 ohm, varav förkopplingsimpedansen är en del, medan övriga delar utgöras av spårströmkällans, tillhörande ledningars och eventuellt förekommande skyddsdroslars impedans. Värdet på ζ_1 får sökas för värden på L och ζ_2 , som kunna variera från fall till fall. Det gäller därvid att bl. a. konstatera, att ζ_1 är så stort, att matningsutrustningen icke överanstränges vid kortslutning av spårledningen i inmatningspunkten.

De ovan angivna ekvationerna äro ganska besvärliga att lösa. De ha därför tabellerats för $\zeta_2 = 4, 8, 16, 32$ och 64 ohm, varvid ζ_2 liksom också ζ_1 antagits ha rent ohmsk karaktär även för växelströmsspårledningar och därför betecknats i tabellerna med R_2 resp. R_1 . Vidare har L antagits variera i steg om $0,1$ km från 0 till 1 km för växelströmsspårledningar och i steg om $0,2$ km från 0 till 2 km för likströmsspårledningar. För varje sålunda angivet värde på ζ_2 har jämväl uträknats motsvarande värden på utmatad ström, nämligen dels då spårledningen är obelagd, I_0 ampere, dels då spårledningen är belagd av fordon i inmatningsändan, I_k ampere. Beräkningarna redovisas i tabellerna 1—4, samtliga gällande ändmatade spårledningar.

I samtliga fall har förutsatts, att spårströmkällans elektromotoriska kraft håller sig i stort sett oförändrad vid belastningsvariationer. Tillnärmelsevis konstant elektromotorisk kraft kan förutsättas, om spårledningarna matas från roterande maskiner, i likströmsfallen även från ackumulatorer. Om däremot spårströmmen erhålles från en anordning med fallande, starkt krökt ström-spänningskaraktistik, t. ex. en frekvenstransformator, kunna tabellerna ej utan vidare användas, varför man då är hänvisad till att utföra erforderliga speciella beräkningar.

I likströmsfallen, tabellerna 3 och 4, har vid beräkning av I_k förutsatts som spänningsskälla en ackumulator med den vid laddning uppträdande maximala spänningen av $7,2$ volt.

Tabellerna 3 och 4 äro användbara även för mittmatade likströmsspårledningar, såsom framgår av det följande.

L' antages vara den längre delen av spårledningen, L'' den kortare. Ur tabell 3 resp. 4 utläsas motsvarande värden på R_1 och I_0 , i fortsättningen betecknade R'_1

Tabell 1

Beräknade värden för ändmatade växelströmsspårledningar i spår med kreosotimpregnerade eller oimpregnerade sliprar (avledning $g = 0,5$ S/km)

Spårledningslängd L km	Matningsutrustningens impedans R_1 ohm vid en i ohm uttryckt reläimpedans av $R_2 =$					Maximalt utmatad ström I_0 amp., då fordon ej finnes på spårledningen, vid en i ohm uttryckt reläimpedans av $R_2 =$					Maximalt utmatad ström I_k amp., då spåret är belagt med fordon, vid en i ohm uttryckt reläimpedans av $R_2 =$				
	4	8	16	32	64	4	8	16	32	64	4	8	16	32	64
0	6,9	14	28	55	110	0,55	0,28	0,14	0,07	0,03	0,87	0,43	0,21	0,11	0,05
0,1	5,7	9,8	15	21	26	0,66	0,39	0,25	0,18	0,14	1,1	0,61	0,40	0,29	0,23
0,2	4,9	7,6	11	13	15	0,77	0,50	0,36	0,29	0,26	1,2	0,79	0,55	0,46	0,40
0,3	4,2	6,1	8,1	9,5	10	0,89	0,61	0,47	0,40	0,37	1,4	0,98	0,74	0,63	0,60
0,4	3,7	5,2	6,4	7,3	7,9	1,0	0,72	0,58	0,51	0,48	1,6	1,2	0,94	0,82	0,76
0,5	3,3	4,4	5,3	5,9	6,4	1,1	0,84	0,70	0,63	0,59	1,8	1,4	1,1	1,0	0,94
0,6	2,9	3,8	4,6	5,0	5,3	1,2	0,95	0,81	0,74	0,70	2,1	1,6	1,3	1,2	1,1
0,7	2,6	3,4	3,9	4,3	4,5	1,4	1,1	0,93	0,86	0,82	2,3	1,8	1,5	1,4	1,3
0,8	2,3	3,0	3,5	3,7	3,9	1,5	1,2	1,0	0,97	0,93	2,6	2,0	1,7	1,6	1,5
0,9	2,1	2,6	3,0	3,3	3,4	1,6	1,3	1,2	1,1	1,1	2,9	2,3	2,0	1,8	1,8
1,0	1,9	2,4	2,7	2,9	3,0	1,8	1,4	1,3	1,2	1,2	3,2	2,5	2,2	2,1	2,0

Tabell 2

Beräknade värden för ändmatade växelströmsspårledningar i spår med arsenikimpregnerade sliprar (avledning $g = 1,0$ S/km)

Spårledningslängd L km	Matningsutrustningens impedans R_1 ohm vid en i ohm uttryckt reläimpedans av $R_2 =$					Maximalt utmatad ström I_0 amp., då fordon ej finnes på spårledningen, vid en i ohm uttryckt reläimpedans av $R_2 =$					Maximalt utmatad ström I_k amp., då spåret är belagt med fordon, vid en i ohm uttryckt reläimpedans av $R_2 =$				
	4	8	16	32	64	4	8	16	32	64	4	8	16	32	64
0	6,9	14	28	55	110	0,55	0,28	0,14	0,07	0,03	0,87	0,43	0,21	0,11	0,05
0,1	4,9	7,6	11	13	15	0,77	0,50	0,36	0,29	0,26	1,2	0,79	0,55	0,46	0,40
0,2	3,8	5,2	6,5	7,4	7,9	0,99	0,72	0,58	0,51	0,48	1,6	1,2	0,92	0,81	0,76
0,3	3,0	4,0	4,6	5,2	5,3	1,2	0,95	0,80	0,73	0,70	2,0	1,5	1,3	1,2	1,1
0,4	2,5	3,1	3,6	3,9	4,0	1,5	1,2	1,0	0,96	0,92	2,4	1,9	1,7	1,5	1,5
0,5	2,1	2,6	2,9	3,1	3,2	1,7	1,4	1,3	1,2	1,2	2,9	2,3	2,1	1,9	1,9
0,6	1,8	2,2	2,4	2,5	2,6	1,9	1,7	1,5	1,4	1,4	3,3	2,7	2,5	2,4	2,3
0,7	1,5	1,8	2,0	2,1	2,2	2,2	1,9	1,8	1,7	1,6	4,0	3,3	3,0	2,9	2,7
0,8	1,3	1,6	1,7	1,8	1,9	2,5	2,2	2,0	1,9	1,9	4,6	3,8	3,5	3,3	3,2
0,9	1,1	1,3	1,5	1,5	1,6	2,8	2,4	2,3	2,2	2,1	5,5	4,6	4,0	4,0	3,8
1,0	0,96	1,2	1,3	1,3	1,4	3,0	2,7	2,5	2,4	2,4	6,3	5,0	4,6	4,6	4,3

Tabell 3

Beräknade värden för ändmatade likströmsspårledningar i spår med kresot-impregnerade eller oimpregnerade sliprar (avledning $g = 0,5$ S/km)															
Spårledningslängd L km	Matningsutrustningens motstånd R_1 ohm vid ett i ohm uttryckt relämotstånd av $R_2 =$					Maximalt utmatad ström I_0 amp., då fordon ej finnes på spårledningen, vid ett i ohm uttryckt relämotstånd av $R_2 =$					Maximalt utmatad ström I_k amp., då spåret är belagt med fordon, vid ett i ohm uttryckt relämotstånd av $R_2 =$				
	4	8	16	32	64	4	8	16	32	64	4	8	16	32	64
0	6,9	14	28	55	110	0,55	0,28	0,14	0,07	0,03	1,0	0,51	0,26	0,13	0,07
0,2	4,9	7,7	11	13	15	0,77	0,50	0,36	0,29	0,25	1,5	0,94	0,65	0,55	0,48
0,4	3,8	5,3	6,5	7,4	8,0	0,99	0,72	0,58	0,51	0,48	1,9	1,4	1,1	0,97	0,90
0,6	3,1	4,0	4,7	5,2	5,4	1,2	0,94	0,80	0,73	0,70	2,3	1,8	1,5	1,4	1,3
0,8	2,6	3,2	3,7	3,9	4,1	1,5	1,2	1,0	0,95	0,92	2,8	2,3	1,9	1,8	1,8
1,0	2,2	2,7	3,0	3,2	3,3	1,7	1,4	1,3	1,2	1,2	3,3	2,7	2,4	2,3	2,2
1,2	1,9	2,3	2,5	2,6	2,7	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4	3,8	3,1	2,9	2,8	2,7
1,4	1,7	2,0	2,1	2,2	2,3	2,2	1,9	1,7	1,6	1,6	4,2	3,6	3,4	3,3	3,1
1,6	1,5	1,7	1,9	1,9	2,0	2,4	2,1	2,0	1,9	1,8	4,8	4,2	3,8	3,8	3,6
1,8	1,3	1,5	1,6	1,7	1,7	2,7	2,4	2,2	2,1	2,1	5,5	4,8	4,5	4,2	4,2
2,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	2,9	2,6	2,4	2,4	2,3	6,0	5,5	5,1	4,8	4,8

Tabell 4

Beräknade värden för ändmatade likströmsspårledningar i spår med arsenik-impregnerade sliprar (avledning $g = 1,0$ S/km)															
Spårledningslängd L km	Matningsutrustningens motstånd R_1 ohm vid ett i ohm uttryckt relämotstånd av $R_2 =$					Maximalt utmatad ström I_0 amp., då fordon ej finnes på spårledningen, vid ett i ohm uttryckt relämotstånd av $R_2 =$					Maximalt utmatad ström I_k amp., då spåret är belagt med fordon, vid ett i ohm uttryckt relämotstånd av $R_2 =$				
	4	8	16	32	64	4	8	16	32	64	4	8	16	32	64
0	6,9	14	28	55	110	0,55	0,28	0,14	0,07	0,03	1,0	0,51	0,26	0,13	0,07
0,2	3,8	5,3	6,6	7,5	8,0	0,99	0,72	0,58	0,51	0,47	1,9	1,4	1,1	0,96	0,90
0,4	2,6	3,3	3,7	4,0	4,1	1,4	1,2	1,0	0,95	0,92	2,8	2,2	1,9	1,8	1,8
0,6	2,0	2,3	2,6	2,7	2,8	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4	3,6	3,1	2,8	2,7	2,6
0,8	1,6	1,8	1,9	2,0	2,0	2,4	2,1	1,9	1,9	1,8	4,5	4,0	3,8	3,6	3,6
1,0	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	2,8	2,5	2,4	2,3	2,3	5,5	5,1	4,8	4,5	4,5
1,2	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	3,3	3,0	2,9	2,8	2,8	6,5	6,0	5,5	5,5	5,5
1,4	0,90	0,99	1,1	1,1	1,1	3,8	3,5	3,4	3,3	3,2	8,0	7,3	6,5	6,5	6,5
1,6	0,77	0,84	0,89	0,91	0,92	4,3	4,0	3,9	3,8	3,7	9,4	8,6	8,1	7,9	7,8
1,8	0,66	0,72	0,76	0,78	0,79	4,9	4,6	4,4	4,3	4,3	11	10	9,5	9,2	9,1
2,0	0,57	0,62	0,65	0,67	0,67	5,4	5,1	4,9	4,8	4,8	13	12	11	11	11

resp. R_1'' och I_0' resp. I_0'' . Det resulterande värdet på den maximalt utmatade strömmen vid obelagd spårledning betecknas $I_{0_{res}}$, medan den erforderliga resistansen i matningsutrustningen kallas $R_{1_{res}}$. Med dessa beteckningar gäller

$$I_{0_{res}} = I_0' + \frac{6 - R_1' I_0'}{6 - R_1'' I_0''} I_0'' \quad (6)$$

$$R_{1_{res}} = \frac{R_1' I_0'}{I_{0_{res}}} \quad (7)$$

Kortslutningsströmmen vid belagd spårledning, kallad $I_{k_{res}}$, blir

$$I_{k_{res}} = \frac{7,2}{R_{1_{res}}} \quad (8)$$

Vid dessa beräkningar har förutsatts, att dragspänningen över spårreläutrustningen skall vara 2,2 V för den längre spårledningsdelen. Den kortare spårledningsdelens reläutrustning får därvid en högre spänning.

De ur tabellen tagna eller på detta sätt beräknade strömmarna ha betydelse ur två synpunkter. I ogynnsammaste fall, vid maximal avledning, blir I_0 resp. $I_{0_{res}}$ den ström, som kontinuerligt belastar spänningskällan. Består denna av en ackumulator, som kan lämna t. ex. 40 Ah, fungerar en spårledning för vilken värdet på I_0 eller $I_{0_{res}}$ är 4,0 A, vid avbrott på det nät, för vilket ackumulatorn utgör reserv, ej längre än 40 : 4,0 timmar, dvs. 10 timmar. Denna tid reduceras, om tåg kan beräknas stå längre tid på spårledningen. I dylikt fall uppträder I_k resp. $I_{k_{res}}$ som märkbar belastningsström, vartill hänsyn måste tagas då behovet av strömreserv bedömes.

I_k resp. $I_{k_{res}}$ får vidare anses avgörande, då det gäller att bestämma belastningsförmågan hos R_1 resp. $R_{1_{res}}$. Dessa motstånd få med andra ord icke utsättas för skadlig uppvärmning, om de kontinuerligt belastas av ström, svarande mot I_k resp. $I_{k_{res}}$.

4. Spårledningsstörningar

Med avseende på verkningarna kunna de tänkbara felen i en spårledning uppdelas i två grupper, för enkelhetens skull betecknade som säkerhetsfel och driftfel.

Ett *säkerhetsfel* innebär, att spårledningen rapporterar, att den är fri från fordon, ehuru den i verkligheten är belagd med sådana. Funktionellt betyder detta, att spårledningens spårrelä icke faller, när så skall ske, eller att ett redan fallet relä drager för tidigt, dvs. innan spårledningen blivit fri från fordon.¹

¹ I detta sammanhang beaktas endast de säkerhetsfel, som kunna bero av spårledningens egna funktioner, medan andra säkerhetsfel, till äventyrs orsakade av det sätt varpå en spårledning användes, icke behandlas.

Ett *driftfel* å andra sidan leder till att spårledningen icke rapporterar, att den är fri från fordon, ehuru den i verkligheten är så. Vid ett driftfel antingen faller spårreläet, ehuru det borde vara draget, eller underlåter det att draga, när spårledningen blir fri från fordon.

Säkerhetsfel innebära direkta risker för tågsammanstötningar, tågurspårningar eller kollisioner mellan landsvägs- och järnvägsfordon. Spårledningar skola därför konstrueras så, att säkerhetsfel förebyggas på betryggande sätt. Driftfel däremot innebära icke lika stora direkta risker som säkerhetsfel. Indirekt kunna de dock få allvarliga följder, nämligen inom järnvägsdriften, när den automatik, vari spårledningarna ingå, utan förvarning måste ersättas med personellt handlande, särskilt om situationen tillspetsats av de rubbningar i tågföringen, som ofta bli en följd av spårledningsfel. Även för landsvägstrafiken kunna indirekta risker uppstå, nämligen om dessa driftfel inträffa på spårledningar, som anordnats för automatisk manövrering av bommar eller signaler vid korsning i samma plan mellan väg och järnväg, och återkomma så ofta, att de vägfarandes respekt för dessa skyddsanordningar avtrubbas. Det är därför ett självfallet önskemål, att spårledningar konstrueras så, att så vitt möjligt ej heller driftfel uppstå på dem.

Det torde utan vidare kunna konstateras, att det av praktiska skäl icke är möjligt att konstruera spårledningar, på vilka fel över huvud taget ej kunna uppstå. Under dylika förhållanden framstår det som självfallet att inrikta ansträngningarna på att förebygga säkerhetsfelen. Driftfelen få därvid accepteras men skola inom en ekonomiskt försvarbar ram motverkas genom lämpligt val av material och omsorgsfullt underhåll av de färdiga anläggningarna.

I *tekniskt* avseende är det lämpligt att uppdelas felen i dels sådana, som föranledas av för stora förändringar i spårledningens konstanter eller i dess apparatutrustning, dels sådana, som förorsakas av andra strömmar än de, som härröra ur spårledningens egen spårströmkälla, dels slutligen sådana mera komplicerade fel, vilka uppstå vid samtidigt uppträdande av de orsaker, vilka var för sig vålla fel av någon av de båda förstnämnda kategorierna.

Observeras bör, att ett säkerhetsfel icke kan ge sig tillkänna på en spårledning med mindre än att ett fordon inkommer eller inkommit på spårledningen. Analogt gäller, att ett driftfel icke giver sig tillkänna med mindre än att ett fordon lämnar eller lämnat spårledningen.

a) Förändringar i spårledningens konstanter eller apparatutrustning

En starkare *avledning* än den, för vilken en spårledning är konstruerad, medför, att spårreläet faller, även om spårledningen icke är besatt av fordon. För stor avledning medför alltså ett *driftfel*. Större värden på avledningen än de i kapitel 3a normerade skola icke behöva befaras, om avledningsproblemet beaktas i erforderlig grad vid byggnad och underhåll av spåret.

En onormal ökning av *rälresistansen* förebygges till en del genom överbrygning av

rälskarvarna medelst kontaktförbindningar. Verkningarna av rälbrott kunna dock icke förebyggas på detta sätt. Inträffar rälbrott i någon av spårledningens rälsträngar, kan följden bli den, att spårledningsströmmen förhindras sluta sig över spårreläet, varvid detta faller, även om spårledningen icke är besatt av fordon. Även i detta fall uppstår ett *driftfel*.

Nämnvärda förändringar i spårledningens *rälinduktans* skola icke behöva befaras. Dyliga förändringar behöva sålunda icke sökas som orsak till vare sig säkerhets- eller driftfel.

Avbrott i eller kortslutning av *spårmatningsutrustningen* medför, att spårledningsströmmen uteblir, att spårreläet faller, även om spårledningen är obesatt, och att alltså ett *driftfel* uppstår.

Avbrott i eller kortslutning av *spårreläutrustningen* leder till samma resultat, alltså till *driftfel*. *Kortslutning av en isolerskarv* kan i princip sägas innebära, att avledningen mellan spårledningens båda rälsträngar stegras. Följden härav kan bli ett *driftfel*.

Förekomsten av fordon på en spårledning, behäftad med något av de ovanstående felen, ändrar icke dessa fels karaktär av driftfel. Förutsättningen härför är emellertid, att *spårreläet* fungerar felfritt, vilken förutsättning är av utomordentlig betydelse för hela spårledningstekniken. Med hänsyn härtill bör ett spårrelä vara av robust utförande, innehålla få detaljer, särskilt rörliga sådana, kunna fungera utan komplicerade rörelser och i övrigt vara så konstruerat, att tillverkningen icke inbjuder till fabriktionsfel, vilka efter kortare eller längre tids drift under i många avseenden svåra förhållanden kunna äventyra funktionen. Av hittills kända spårrelätyper är, såvitt framgår av vunna erfarenheter, det enkla ankarreläet med få kontakter det relä, som bäst uppfyller dessa anspråk.

b) *Störningsströmmar*

Med störningsströmmar avses i detta sammanhang i spårledningen uppträdande strömmar, vilka icke emanera ur spårledningens egen spårströmkälla. Äro spårledningens båda skensträngar fullt lika i elektriskt avseende, dvs. om spårledningen är fullt symmetrisk, vilket bl. a. förutsätter, att spårledningen är dubbelisolerad, fördelar sig en störningsström lika på de båda skensträngarna. I sådant fall röner spårreläet ingen inverkan av störningsströmmen, varför den då saknar betydelse. Varje osymmetri i spårledningen — den må bero på ett rälbrott, ett genomslag i en isolerskarv, en olikhet i de båda rälsträngarnas isolationsmotstånd till jord eller liknande — leder däremot till en icke önskvärd störningsspänning över spårreläet, som, om den når för stort värde, kan otillbörligt påverka spårreläet. Direkt farlig blir denna påverkan, om störningsspänningen hindrar ett spårrelä att falla, när fordon inkommer på spårledningen, eller rent av förmår att draga ett av samma anledning redan fallet spårrelä.

Det vållar i många fall inga svårigheter att bygga spårledningar, som från början äro fullt symmetriska. Det är däremot omöjligt att garantera, att symmetrien förblir

bestående. Ett genomslag i en isolerskarv är, för att välja ett exempel, fullt tillräckligt för att åstadkomma en högst besvärande osymmetri.

I allmänhet gäller, såvitt hittills kunnat utrönas, att man icke uppnår största möjliga funktionssäkerhet hos en spårledning, om denna säkerhet till någon del baseras på försök att åstadkomma och bibehålla symmetri. I princip bör man tvärtom räkna med osymmetrien som en integrerande faktor i spårledningsproblemet.

Man har att räkna med olika typer av störningsströmmar, nämligen

- jordmagnetiska strömmar
- banströmmar på elektrifierad järnväg
- inkopplingsströmstötter från elektrolok
- induktionsströmmar från banan närbelägna kraftledningar
- returströmmen från jordade storkraftöverföringssystem med högspänd likström
- ström från annan närbelägen spårledning.

Av dessa sex olika typer av störningsströmmar har kommittén närmare undersökt de tre förstnämnda. Redogörelser för dessa undersökningar lämnas i fortsättningen. De återstående typerna, däremot, kunna visas vara av underordnad betydelse. Sålunda inses utan vidare, att den ström, som kan induceras i en enstaka räl från ett trefasigt kraftledningsnät med symmetrisk belastning på faserna måste bli ytterligt ringa och att den skillnad i inducerad ström, som kan uppstå i två närbelägna, parallella räler, dvs. i en spårledning, måste bli av en ännu lägre storleksordning. Det är först vid den osymmetri i kraftledningens belastning, vilken uppstår vid t. ex. enfasig jordslutning, som en störningsström kan tänkas få för spårledningen farliga följder. Men vid dylika fel i kraftledningen bortkopplas denna automatiskt efter några tiondedels sekunder, när systemet är direktjordat, varefter risken för störande strömmar i spårledningen försvinner. Om till äventyrs en felsignalering för spårledningen skulle vållas av en dylik störningsström, vilket knappast är troligt med hänsyn till spårledningsautomatikens tröghet, upphör den med andra ord efter ett ytterligt kort tidsmoment. Är systemet å andra sidan spoljordat, blir störningsströmmens storlek så ringa, att dess verkan kan försummas. Dessa omständigheter i förening med det faktum, att jordslutningsfelen i kraftledningar äro relativt sällsynta, göra, att det icke kan synas försvarligt att förutse särskilda åtgärder för att förebygga fel av denna art i spårledningarna.

För den händelse man i framtiden inför storkraftöverföring med högspänd likström på sådant sätt, att returströmmen återföres i jorden, får man tänka sig att denna ström kan komma att söka sig upp i järnvägsräler och i dem vålla spänningsfall, som kunna påverka spårledningarnas spårreläer. Utan vidare står emellertid klart, att spårledningar, som äro konstruerade så, att de icke utsättas för säkerhetsfel genom påverkan av jordmagnetiska strömmar, ej heller utsättas för sådana risker genom returströmmen i ett storkraftöverföringssystem, blott denna ej blir större än de strömmar i rälererna, som vållas av de jordmagnetiska störningarna. Hur stor den

andel av returströmmen kan bli, som söker sig upp i rälerna, kan icke nu förutses, enär den bestämmes bl. a. av sådana än så länge okända faktorer, som den definitiva utformningen av systemets elektroder, elektrodernas belägenhet i förhållande till järnvägsnätet, överföringsspänningen samt den överförda effektens storlek. Undersökningar, utförda av "samarbetskommittén för storkraftöverföring" och i sammanfattning redovisade av professor R. Lundholm i en den 5 januari 1948 daterad promemoria, tyda dock på att problemet bör kunna bemästras. För dagen gäller blott, att man bör hålla i minnet, att frågan kräver uppmärksamhet, när storkraftöverföring med likström på nytt aktualiseras.

I fråga om störande ström från annan närbelägen spårledning påpekas, att man icke får utesluta möjligheten, att ett rälbrott i en spårledning kan tvinga upp spårledningsströmmen i en annan spårledning om förutsättningarna i övrigt äro sådana, att de härför erforderliga strömbanorna kunna utbildas. Vid bedömningen av riskerna för säkerhetsfel av denna anledning bör man hålla i minnet, dels att någon fara ej kan uppstå, om den ena spårledningen matas med växelström och den andra med likström, dels att man i det fall att båda spårledningarna äro av likströmstyp löper långt mindre risk för säkerhetsfel av här antydd orsak än genom en jordmagnetisk störning. Som följd av denna sistnämnda omständighet bör en likströmsspårledning, konstruerad med tanke på risken för säkerhetsfel genom jordmagnetiska störningar bli användbar, även om den störes av likström från en annan likströmsspårledning. Äro båda spårledningarna av växelströmstyp bli förhållandena något mera komplicerade. Man kan dock genom beräkningar visa, att den störspänning, som i ogynnsammaste fall — tvåspårig bangård på enkelspårig, elektrifierad bana med 700 m fri mötesspårängd, utrustad med växelströmsspårledningar för 100 p/s — kan uppstå vid ett rälbrott, ej blir högre än 0,7 V över den störda spårledningens spårreläutrustning, vilket värde är ofarligt, om utrustningens fallspänning är 1,1 V, ett värde, som tidigare (kap. 3b) visats vara erforderligt. Det är först om hyttsignalering införes, som frågan om störningar mellan olika spårledningar inbördes kan tänkas bli besvärande, enligt kommitténs mening dock icke på sådant sätt, att de av kommittén angivna problemlösningarna härigenom omkullkastas.

α) Jordmagnetiska strömmar

Det har konstaterats, att strömmar uppträda i jorden vid magnetiska oväder. Den fysikaliska bakgrunden till dessa strömmar kan numera anses någorlunda klarlagd, åtminstone i teoretiskt avseende.¹ De uppträda som övertonsrika växelströmmar med varierande amplitud och varierande, vanligen ytterligt låg grundfrekvens. Genom mätningar mellan jordplåtar medelst registrerande instrument har karaktären av de spänningsfall bestämts, som sammanhånga med dessa strömmar. Endast

¹ Jfr en på järnvägsstyrelsens elektrotekniska byrå utarbetad, den 24.2.56 dagtecknad promemoria, reg.-nr Ebr 17071.

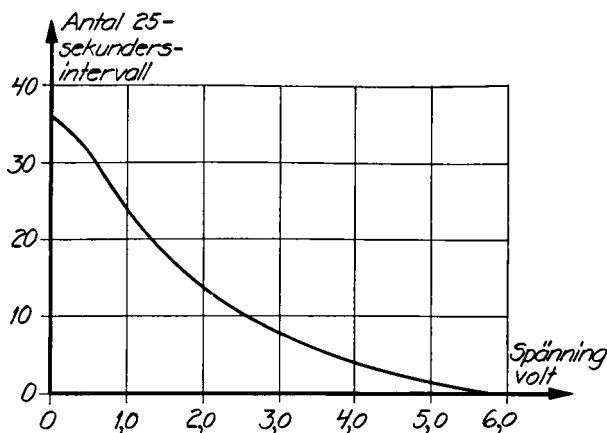


Fig. 5. Kurva, som anger antalet 25-sekundersintervall, för vilka medelvärdet av spänningens absoluta belopp överstiger den spänning, som avläses längs abscissaxeln.

undantagsvis ha så stora amplitudvärden på spänningsfallen som 4 V/km kunnat påvisas, vilket värde var det största, som kunde uppmätas med den använda apparaturen. Undersökes för ett antal svårare störningsfall frekvensen av t. ex. olika 25-sekundersmedelvärden som funktion av dessa medelvärden storlek, skall man efter extrapolering av funktionskurvan finna, att frekvensen bör vara noll för medelvärden över 5,8 V/km. Se fig. 5. Varje 25-sekundersmedelvärdet innehåller dock ett antal snabbare variationer i amplituden av ca 5 sekunders varaktighet, vilka avvika från de större medelvärdena med högst 20 %. Högre absolutvärden på de spänningsfall, som förorsakas av de jordmagnetiska strömmarna, än 7,0 V/km skulle enligt dessa mätningar alltså icke behöva befaras.

De här i korthet refererade mätningarna, vilka beskrivits mera utförligt i bil. 1, kap. 5, utfördes i samarbete med Sjöfartsverkets jordmagnetiska observatorium på Lovön i Mälaren under åren 1946—1948. De avbrötos mot slutet av sistnämnda år, då man funnit, att störningsintensiteten efter hand minskade. Därmed är självfallet icke vetenskapligt bevisat, att icke svårare störningar kunna förekomma på andra platser inom landet och under andra år.

I fråga om störningarnas lokalisering får man i stället lita till liknande, likaledes i bil. 1, kap. 5 redovisade mätningar, som utfördes på enkelisolerade, ändmatade spårledningarna med kortslutna inmatningsändar på ett stort antal platser inom landet. Man kunde nämligen på en del av dessa spårledningarna uppmäta spänningar över reläändan, som uppträdde ungefär samtidigt med spänningarna på Lovön och hade i stort sett samma oscillografiska karaktär som dessa. Det största iakttagna amplitudvärdet, 6,0 V, uppmättes i slutet av mars år 1946 på en 886 m lång spårledning på linjen Töreboda—Moholm. Detta värde svarar mot 6,8 V/km och ligger alltså under den på ovan angivet sätt beräknade maximigränsen, 7,0 V/km. På andra

undersökta spårledningarna voro störningsspänningarna mindre och på vissa av dem lyckades man över huvud taget icke upptäcka några störningar.

I samband med undersökningarna på Lovön kunde vidare konstateras, att de jordmagnetiska strömmarna uppträdde samtidigt med de av observatoriet registrerade "magnetiska stormarna", vilka i sin tur äro svårast under solfläcksrika år, alltså med ca 11 års mellanrum. Enär år 1946 var ett dylikt solfläcksrikt år, kan man alltså med hög grad av sannolikhet göra gällande, att de detta år registrerade spänningarna dels mellan jordplåtarna på Lovön, dels i spårledningarna på olika platser inom landet voro bland de svårare. Bekräftelse härpå kan dock icke vinnas annat än genom nya mätningar, vilka med utsikt till framgång ej kunna genomföras förrän tidigast omkring år 1957.

På spårledningarna uppmättes dessa spänningar över reläändan. De förmådde också påverka spårreläet, så att detta drog, fastän spårledningen var kortsluten i inmatningsändan såsom av fordon. Det var därmed genom direkta observationer fullt klarlagt, att jordmagnetiska störströmmar kunde vålla säkerhetsfel på likströms-spårledningarna samt vidare som följd härav, att den enkeliserade, ändmatade likströms-spårledningen icke var pålitlig under perioder med jordmagnetiska oväder, i varje fall ej så länge spårreläutrustningens fallspänning höll sig under produkten $7,0 \text{ V} \times \text{spårledningens i km uttryckta längd}$. Därmed var till slut konstaterat, att dylika spårledningarna av icke alltför ringa längd ej borde användas i fortsättningen utan de kompletteringar, som möjligen kunde åstadkommas för att den sålunda konstaterade risken för säkerhetsfel skulle elimineras. Utan dylika kompletteringar kunde dock en kort spårledning förutses fungera, nämligen om längden begränsades till högst $0,15 \text{ km}$, ty i dylikt fall kunde den maximala jordmagnetiska störspänningen beräknas till högst $7,0 \times 0,15 \text{ V} = 1,05 \text{ V}$, vilket värde ligger strax under den enligt kapitel 3b normerade fallspänningen för ett spårrelä, $1,1 \text{ V}$. Nämnda spårledningslängd kan emellertid ökas, om reläets fallspänning höjes i motsvarande grad. Vid t. ex. 300 m längd måste fallspänningen överstiga $2,1 \text{ V}$. Sättes den lika med $2,2 \text{ V}$, blir dragspänningen vid $K = 2$ alltså $4,4 \text{ V}$. För beräkning av även en sådan spårledning kunna tabellerna 3 och 4 användas. Ur tabellen hämtade värden betecknas såsom förut R_1 , I_0 och I_k . Motsvarande nya värden, gällande om en dragspänning av $4,4 \text{ V}$ förutsättes, betecknas R'_1 , I'_0 och I'_k . Följande samband gälla:

$$R'_1 = R_1 - \frac{3,0}{I_0} \quad (9)$$

$$I'_0 = 2,0 I_0 \quad (10)$$

$$I'_k = \frac{7,2}{R_1} \quad (11)$$

Fortsatta överväganden och undersökningar bekräftade, att en väsentlig förutsättning för uppkomsten av dessa säkerhetsfel måste vara, att den ena rälsträngen är

sammanhängande, dvs. att den saknar isolerskarvar på en längre sträcka, såsom fallet är, då spårledningarna äro anordnade på en elektrifierad bana och därvid endast den ena rälsträngen användes för returströmmen från elektroloken. Förklaringen härtill är, att nämnda rälsträng måste vara lång, för att den skall få så god kontakt med jordytan, att i denna uppträdande strömmar skola få tillfälle att söka sig upp i rälsträngen, så att ett tillräckligt stort spänningsfall uppstår i densamma. Beräkningar, som genomförts i bil. 6, kap. 2, ha sålunda visat, att den sammanhängande rälsträngen vid lägsta avledning till jord, 0,02 S/km, måste vara 17 à 18 mil lång för att strömstyrkan i rälsträngens mittpunkt skall vara 90 % av det värde, som skulle erhållits i en oändligt lång rälsträng. Motsvarande längd vid största avledning, 2,86 S/km, är 14 à 15 km.

Indirekt leder detta resonemang till den slutsatsen, att en symmetrisk spårledning, t. ex. en ändmatad, dubbelisolerad likströmsspårledning av den typ, som användes vid statens järnvägar på icke elektrifierade banor, borde vara okänslig för de jordmagnetiska störningarna. Den kan också anses vara så, nämligen så länge spårledningen är hel. Men inträffar t. ex. ett rälbrott, är symmetrien genast hävd. En jordmagnetisk störning kan då ge anledning till ett säkerhetsfel. Eftersom man icke kan räkna med, att rälbrott omedelbart upptäckas och repareras, får man även för de dubbelisolerade spårledningarna förutse kompletterande åtgärder, genom vilka säkerhetsfel av här avsedd art förebyggas.

β) Banströmmar

På elektrifierade banor, utrustade med spårledningar, användes antingen den ena eller båda rälsträngarna som ledare för returströmmen från elektroloken. Användes blott den ena rälsträngen, måste denna anordnas som en sammanhängande ledare, dvs. utan isolerskarvar. De sistnämnda införas i stället i den andra rälsträngen. Man får i detta fall enkelisolerade och som följd härav i elektriskt avseende osymmetriska spårledningar. Returströmmen vållar därvid ett spänningsfall i den sammanhängande rälsträngen, utgörande produkten av returströmmen och rälsträngens impedans. Detta spänningsfall uppträder som en spänning mellan de båda rälsträngarna i spårledningen och alltså även över spårreläet.

Användes båda rälsträngarna för returströmmen från loken, kunna symmetriska spårledningar anordnas, i vilka spänningsfallen bli lika stora i de båda rälsträngarna och därför icke ge upphov till någon resulterande spänning över spårreläet. I dylikt fall införas isolerskarvar i båda rälsträngarna, varjämte impedansförbindningar anordnas. En impedansförbindning består i princip av två skilda men likadana transformator kärnor, var och en försedd med en lindning med mittpunktsuttag. De båda mittpunktsuttagen äro sammankopplade. I övrigt äro de båda ändpunktsuttagen på den ena kärnans lindning anslutna till var sin rälsträng i den ena spårledningen. Den andra kärnans lindning är på samma sätt ansluten till den andra, angränsande spårledningen. Arrangemanget framgår närmare av fig. 6.

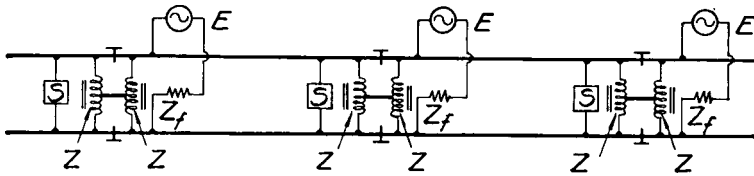


Fig. 6. Spårledningar med impedansförbindningar.

Beteckningar:

- E = spårströmkälla.
- S = spårrelä.
- Z = impedansförbindning.
- Z_f = förkopplingsimpedans.

Dessa impedansförbindningar ha en dubbel uppgift. De skola dels vidareföra returströmmen från rälerarna i den ena spårledningen till rälerarna i den andra, dels sörja för att den sålunda vidareförda returströmmen fördelar sig lika på de båda rälsträngarna inom varje spårledning.

Så länge spårledningens olika element äro felfria, fungerar en dylik symmetrisk spårledning utmärkt. Men inträffar ett rälbrott, en händelse som måste förutses, försvinner symmetrien, och kvar finns en osymmetrisk spårledning, som ur störningssynpunkt är på intet sätt lättare att behärska än den enkelisolerade spårledningen. Med hänsyn härtill har man ingen anledning att komplicera spårledningarna med impedansförbindningar och alltså ej heller att acceptera kostnaderna för desamma.

Frågan om impedansförbindningar kan dock bedömas ur även en annan synpunkt. Eftersom man genom dem får returströmmen fördelad på de båda rälsträngarna, blir returströmmens spänningsfall i rälerarna reducerat till hälften av vad som skulle erhållits, om blott den ena rälsträngen hade använts. Detta kan vara av betydelse, när kontaktledningsspänningen är relativt låg och de av tågdriften bestämda strömstyrkorna sålunda relativt höga, såsom fallet oftast är på likströmselektrifierade järnvägar, men spelar å andra sidan mindre roll på växelströmselektrifierade järnvägar, som vanligen ha hög kontaktledningsspänning och som följd härav förhållandevis små strömmar också i rälerarna. På de växelströmselektrifierade svenska järnvägarna kunna impedansförbindningar sålunda icke anses aktuella, vare sig med hänsyn till spårledningarnas funktion eller kraftförsörjningen för tågdriften.

Det av returströmmen från loken vållade spänningsfallet i rälerarna är icke rent sinusformat. Det innehåller tvärtom, såsom närmare beskrivits i bil. 1, kap. 3, en serie övertoner, normalt av udda ordningstal.

Grundtonen — 16 $\frac{2}{3}$ p/s — i spänningsfallet varierar icke lineärt med strömmen i rälsträngen utan växer proportionsvis snabbare än denna. Överslagsvis kan man för en sammanhängande rälsträng av tyngre räler räkna med ca 30 V/km vid 200 A och ca 75 V/km vid 400 A.

Av övertonerna är det särskilt den 3:e, 5:e och 7:e, som kräva uppmärksamhet. De motsvara frekvenserna 50, 83 $\frac{1}{3}$ och 116 $\frac{2}{3}$ p/s. Vid 200 och 400 A ha för dessa uppmätta värden, vilkas storleksordning framgår av följande tabell 5, som för fullständighetens skull även visar grundtonens värden.

Tabell 5

Ström i sammanhängande rälsträng A	Spänningsfall i V/km av			
	grundtonen	3:e tonen	5:e tonen	7:e tonen
200	30	1,0	1,5	0,4
400	75	9,0	4,0	1,0

Av tabellen framgår bl. a., att medan såväl 3:e som 5:e tonerna kunna nå värden, som särskilt vid högre värden på strömmen i rälsträngen kunna bli betydande, ger 7:e tonen låga värden. 9:e tonens värden kunna, såsom ytterligare undersökningar visat, helt försummas.

Även övertoner av jämna ordningstal kunna enligt bil. 1, kap. 6 befaras, nämligen om en likström framgår genom rälsträngen, samtidigt som denna genomflytes av returströmmen från loken. Undersökningarna på detta område visade, att de jämna övertonerna framträda med maximal styrka, när likströmmen i rälsträngen är av storleksordningen 80 A. Det var närmast 6:e tonen — 100 p/s — som var föremål för större intresse. Dess effektivvärde uppmättes vid en returström av 200 A till 0,09 V/km och vid 300 A till 0,31 V/km. Vid 400 A kunde den uppskattas till 0,5 V/km. Det framgick härav, att den genom returströmmens passage i rälsträngen orsakade 6:e tonen icke är av sådan storlek, att den behöver vålla några större bekymmer.

γ) Inkopplingsströmstötar från elektrolok

Då loktransformatorn till ett elektrolok inkopplas, blir den i de första ögonblicken uppträdande strömmen icke alltid symmetrisk. I flertalet fall blir den tvärtom osymmetrisk, vilket betyder, att den innehåller en dämpad likströmskomponent. På elektrolok önskar man i allmänhet hålla transformatorvikten låg. Som följd härav blir magnetiseringen av transformatorn hög, vilket leder till att inkopplingsströmmens likströmskomponent kan bli avsevärt högre än i stationära transformatorer med deras mera rikligt dimensionerade transformator kärnor.

Likströmskomponentens storlek bestämmas vidare av i vilken fas av spänningskurvan, som inkopplingen sker. Den blir störst, om inkopplingen sker vid spänningskurvans nollpassager och avtager därefter, så att den blir noll, om inkopplingen sker vid spänningskurvans toppvärden.

Även avståndet mellan loket och en närbelägen omformarstation inverkar. Nära omformarstationen uppnås de högsta värdena. De avtaga allt eftersom loket avlägsnar sig från omformarstationen, när därvid kontaktledningens resistans gör sig gällande i allt högre grad.

Man får räkna med att inkopplingsfenomen av här ifrågavarande art uppträda relativt ofta i järnvägsdrift, icke blott vid tillslagning av lokbrytarna utan även i de fall, då strömvatagaren av en eller annan orsak tillfälligt lämnar kontakttråden.

I ett kontaktledningssystem som det svenska med återledning och sugtransformatorer söker sig lokströmmen normalt upp genom närmaste förbindelse mellan den sammanhängande rälsträngen och återledningen för att via den sistnämnda återvända till omformarstationen. Sugtransformatorerna sörja därvid för att praktiskt taget hela lokströmmen återföres genom återledningen. Endast den mycket obetydliga del, som svarar mot magnetiseringsströmmen i sugtransformatorerna, återvänder genom den sammanhängande rälsträngen och jord direkt till omformarstationen.

Innehåller däremot lokströmmen en likströmskomposant, såsom fallet kan vara vid inkoppling av en loktransformator, utsättes sugtransformatorerna för en likströmsmagnetisering. Härvid ökas storleken av den för växelströmsmagnetisering av sugtransformatorerna erforderliga växelströmmen, vilket i sin tur innebär, att den del av lokströmmen, som via den sammanhängande rälsträngen återgår direkt till omformarstationen, kan uppnå betydande värden. Även denna del av lokströmmen innehåller en dämpad likströmskomposant.

Av det ovanstående framgår i stort sett, att lokströmmen vid inkoppling, då den lämnar loket, kan dela upp sig för att med en del genomflyta den sammanhängande rälsträngen i den ena riktningen och med en annan del i den andra. Detsamma gäller en i inkopplingsströmmen uppträdande likströmskomposant. Se fig. 7, som schematiskt visar ledningssystemet och de däri framgående strömmarna vid inkoppling av loktransformator.

Genom i kommitténs regi utförda, i bil. 1, kap. 4 redovisade, praktiska mätningar och i bil. 3 utförda teoretiska beräkningar ha maximivärdena av de här berörda inkopplingsströmmarna fastställts. Vid de praktiska mätningarna användes ett lok litt. M i statens järnvägars typserie, enär detta lok är utrustat med transformator med knappt dimensionerad järnkärna. Av särskilt intresse var att utröna, på vad sätt strömmen och särskilt dess likströmskomposant fördelade sig på de båda riktningarna i spåret. Loket var, på sätt som framgår av fig. 7, uppställt mellan den första och den andra sugtransformatorn, räknat från omformarstationen, och dessutom så, att förbindelsen mellan den sammanhängande rälsträngen och återledningen fanns emellan loket och den andra sugtransformatorn. Uppställningen valdes på detta sätt, enär man därvid kunde utgå ifrån att den genom rälerna direkt till omformarstationen utgående delen av lokströmmen skulle bli maximal i det fall, att

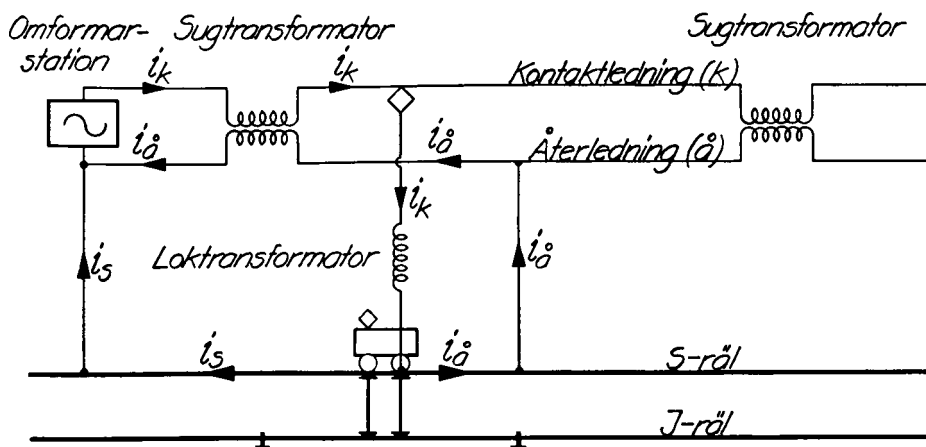


Fig. 7. Schematisk bild av ledningssystemet och strömmarna i detta vid inkoppling av loktransformator till kontaktledningen.

någon sugtransformator skulle vara verksam i förloppet. De vid försöken använda sugtransformatorerna voro av den typ, som anskaffades på 1930-talet och voro stämplade för en kontinuerlig belastningsström av 140 A. Senare ha två större typer av sugtransformatorer, märkta för 200 resp. 300 A kontinuerlig belastningsström, anskaffats och insatts i vissa delar av kontaktledningsnätet.

De värden på inkopplingsströmmen, som i detta sammanhang äro av intresse, äro: maximalt värde i kontaktledningen på den första strömtoppen efter inkopplingen, kallat $i_{k_{max}}$,

maximalt värde på andelen i den första strömtoppen, som direkt via den sammanhängande rälen söker sig tillbaka till omformarstationen, kallat $i_{s_{max}}$,

maximalt värde på andelen i den första strömtoppen, som via återledning och sugtransformatorer söker sig tillbaka till omformarstationen, kallat $i_{\dot{a}_{max}}$,

begynnelsevärdet av likströmskomponenten, definierat som det aritmetiska medelvärdet av inkopplingsströmmen under den första växelströmsperioden

dels i kontaktledningen, kallat $i_{kl_{max}}$,

dels i den sammanhängande rälsträngen, kallat $i_{sl_{max}}$,

dels i återledningen, kallat $i_{\dot{a}_{l_{max}}}$.

Även dämpningsexponenten α för inkopplingsströmmen, definierad ur t. ex. uttrycket

$$i_{sl} = i_{sl_{max}} e^{-\alpha t}$$

där t är den i sekunder uttryckta tiden, är av intresse.

Mätningar och beräkningar gävo de i tabell 6 angivna, till inkopplingsströmstyrkor genom lok litt. M hänförliga värdena.

Tabell 6

Sugtransformator märkt	Ampere						
	$i_{k_{max}}$	$i_{s_{max}}$	$i_{d_{max}}$	$i_{kl_{max}}$	$i_{sl_{max}}$	$i_{dl_{max}}$	α
140 A	1 060	360	960	360	77	283	4—5
200 A	1 020	300	900	335	63	272	4—5
300 A	1 020	210	1 000	335	36	299	4—5

Såsom framgår av tabellen, är värdet på $i_{k_{max}}$ ett annat än summan av värdena på $i_{s_{max}}$ och $i_{d_{max}}$. Detta är också att vänta, enär man icke har anledning att räkna med att de tre toppvärdena skola infalla i exakt samma fas.

Såsom framgår av tabellen, varierar dämpningsexponenten mellan 4 och 5. Räkna man med det lägsta värdet, betyder detta dock, att de aktuella värdena, jämförda med de i tabellen angivna toppvärdena reduceras till 36,8 % efter 0,25 sekund, till 13,5 % efter 0,5 sekund samt till 1,83 % efter 1,0 sekund.

Betydelsen av de i tabell 6 angivna värdena skola i fortsättningen illustreras med ett exempel, valt så, att störningsspänningarna bli de svåraste, med vilka man har anledning att räkna. Därvid väljes en enkelisolerad, mittmatad spårledning om 2,8 km längd, belägen mellan den första sugtransformatorn och förbindelsen från den genomgående rälsträngen till återledningen mellan den första och den andra sugtransformatorn, räknat från omformarstationen. Ifrågavarande spårledning finnes även antydd i fig. 7. Det valda värdet på spårledningens längd, 2,8 km, svarar mot det normala avståndet mellan en sugtransformator och närbelägen förbindelse till återledningen. De i tabell 6 angivna värdena antagas vara oberoende av var loket befinner sig på den valda spårledningen, ett antagande, som innebär en viss approximation, vilken dock är utan betydelse, om man nöjer sig med att få reda på storleksordningen av de sökta störningsspänningarna. I första hand är det av intresse att undersöka storleken av de likspänningsstörningar, som uppträda i spårledningens båda ändpunkter, då loket förflyttar sig utefter spårledningen. Lokets avstånd från den första sugtransformatorn antages därvid vara x km. För en dämpad likström av här ifrågavarande art får man räkna med en resistans av 0,078 ohm/km enkel rälsträng.

I den närmast den första sugtransformatorn belägna spårledningsändan, A-ändan, får man enligt tabell 6 för en linje med 140 A sugtransformatorer i första ögonblicket efter inkopplingen av loktransformatorn en i volt uttryckt spänning mellan rälerna av

$$V_A = 0,078 \cdot 77 x$$

eller

$$V_A = 6,0 x$$

Motsvarande värde i spårledningens andra ända, B-ändan, blir

$$V_B = 0,078 \cdot 283 (2,8 - x)$$

eller

$$V_B = 61,7 - 22,1 x$$

Ett i A-ändan anbragt spårrelä förblir med säkerhet fältt, så länge produkten $6,0 x$ icke överstiger reläets dragspänning 2,2 V. Säker funktion hos detta relä kan alltså påräknas, så länge loket befinner sig närmare A-ändan än $\frac{2,2}{6}$ km = 0,37 km.

Motsvarande värde blir för ett i B-ändan placerat spårrelä mycket ringa, ca 100 m. Något av de båda spårreläerna förblir sålunda fältt, men endast om loket befinner sig mindre än 370 m från A-ändan eller högst ca 100 m från B-ändan. Befinner sig loket på den mellanliggande delen av spårledningen, ca 2 330 m, riskeras alltså, att båda spårreläerna under ett kort moment äro dragna, fastän spårledningen är upp-tagen av fordon. Man får i så fall ett om än kortvarigt fel i spårledningens funktion. Vill man undvika ett sådant — det kan under ogynnsamma omständigheter verka förvillande på förarpersonalen — får man vidtaga särskilda försiktighetsmått. Att sådana bli nödvändiga med hänsyn till icke enbart likströmskomponenten utan även växelströmskomponenten säger sig självt.

Är linjen utrustad med sugtransformatorer, märkta i stället med 300 A, bli för-hållandena något gynnsammare. I så fall fås

$$V_A = 0,078 \cdot 36 x$$

eller

$$V_A = 2,8 x$$

och

$$V_B = 0,078 \cdot 299 (2,8 - x)$$

eller

$$V_B = 65,3 - 23,3 x$$

I A-ändan faller reläet med säkerhet, om avståndet till loket är högst $\frac{2,2}{2,8}$ km = 0,79 km. I B-ändan blir motsvarande värde ca 100 m. Det mellanliggande avståndet på vilket ett kortvarigt säkerhetsfel riskeras, minskas i detta fall till ca 1 910 m.

c) Kombinerade störningar

De störningsorsaker, för vilka redogjorts i det föregående, numreras och samman-fattas enligt följande:

- 1a För stor avledning mellan rälsträngarna
- 1b Oliktid i avledningen till jord för de båda rälsträngarna
- 2 Rälbrott i sammanhängande rälsträng

- 3 Rälbrott i isolerad rälsträng
- 4a Kortslutning av spårmatningsutrustningen
- 4b Avbrott i spårmatningsutrustningen
- 5a Kortslutning av spårreläutrustningen
- 5b Avbrott i spårreläutrustningen
- 6 Kortslutning av isolerskarv
- 7 Jordmagnetisk ström
- 8 Banström
- 9 Inkopplingsströmstöt från elektrolok

Dessa störningsorsaker kunna uppträda var och en för sig eller i olika kombinationer. Antalet sådana kan matematiskt beräknas till 4 095, av vilka en del kunna förutses ge anledning till driftfel, andra till säkerhetsfel. Då man kan utgå ifrån, att det icke ligger inom möjligheternas ram att konstruera en spårledning, på vilken icke någon av alla dessa kombinationer kan uppträda, och det vidare förhåller sig så, att driftfelen kunna tolereras, blott de icke uppträda med för stor frekvens, medan säkerhetsfelen över huvud taget ej få förekomma, begränsas framställningen i fortsättningen till de kombinationer, vilka skulle vålla *säkerhetsfel*, om spårledningen ej konstruerades med särskild hänsyn till att dessa måste förebyggas. Det gäller alltså att utsortera de farliga kombinationerna, vilket enklast sker, om man på olika vägar successivt rensar bort de ofarliga. I första hand undersökes, i vad mån de olika störningsorsakerna över huvud taget behöva medräknas i kombinationerna, om man blott syftar till att få fram dem, som kunna vålla säkerhetsfel.

Till en början kan konstateras, att en ökning av avledningen mellan rälsträngarna aldrig kan bidra till att höja en spänning mellan rälerna, hur denna än uppkommit, alltså ej heller en störningsspänning över spårreläet. Störningsorsak 1a kan därmed slopas i förteckningen.

Om den som störningsorsak 1b angivna olikheten mellan de båda rälsträngarnas avledning till jord må framhållas, att sådan osymmetri alltid kan förutses vara förhanden i större eller mindre grad. För enkelisolerade spårledningar, som oavsett avledningen till jord äro osymmetriska saknar detta tillskott till osymmetrien betydelse, varför störningsorsak 1b icke behöver medtagas bland störningsorsakskombinationerna för dem. För de dubbelisolerade spårledningarna kan störningsorsak 1b däremot väntas vara av betydelse och bör därför medtagas i den fortsatta behandlingen av denna typ av spårledningar.

Såsom nämnts i det föregående, kan ett säkerhetsfel inte ge sig tillkänna med mindre än att tåg inkommer eller inkommit på spårledningen. Har så skett, är det utan betydelse, hur spårmatningsutrustningen fungerar. Även störningsorsakerna 4a och 4b äro därmed ur räkningen.

Vidare kan konstateras, att ett avbrott i spårreläutrustningen, varigenom denna skiljes från endera eller båda rälsträngarna, eller en kortslutning av densamma

obönhörligt leder till att spårreläet faller, varigenom information erhålles om att spårledningen är besatt av fordon, vare sig så är fallet eller ej. Därmed kunna störningsorsakerna 5a och 5b lämnas ur räkningen.

En undersökning av orsakerna till kortslutningar i isolerskarvar med skarvstycken av stål — vilken störningsorsak skulle vålla avsevärda konstruktiva svårigheter, om den ej eliminerades — visar, att felaktigheterna företrädesvis uppstå i de bussningar, som isolera räländarna från skarvbultarna. Detta fel förebygges effektivt, om skarvstyckena utföras av isolermaterial, ty några bussningar förekomma i dylikt fall icke. Genom val av lämpligt material i de isolerande skarvstyckena bör vidare risken för brott i dessa kunna elimineras, vilket styrkes av såväl erfarenheter, vunna vid utländska järnvägar, som av resultat från försök inom landet. Utnyttjas möjligheten att använda isolerskarvar med skarvstycken av lämpligt isolermaterial, får risken för uppkomsten av kortslutningar i isolerskarvar anses vara så ringa, att den kan försummas, i vilket fall störningsorsak 6 kan utgå ur förteckningen. Observeras bör emellertid, att man i så fall genom noggrann tillsyn får förvissa sig om, *dels* att kortslutningar ej uppstå genom utvalsning av räländarna till följd av hjulens slag i skarvarna, en förutsättning som på intet sätt kan väntas vålla några oöverstigliga svårigheter, *dels* att gällande bestämmelser rörande expansionsutrymme i skarvarna verkligen iakttagas.

I detta sammanhang påpekas, att isolerskarvarna naturligen kortslutas av hjulen, då tåg passera, vilket, såsom framgår av fortsättningen, har sin betydelse för bedömningen av riskerna för säkerhetsfel.

Efter denna grovrensning återstå för de *enkelisolerade* spårledningarna blott följande 5 störningsorsaker, nämligen

- 2 Rälbrott i sammanhängande rälsträng
- 3 Rälbrott i isolerad rälsträng
- 7 Jordmagnetisk ström
- 8 Banström
- 9 Inkopplingsströmstöt från elektrolok

Antalet kombinationer är därmed begränsat till 31. Det är slutligen lätt att finna, att ej heller de 3 kombinationer, som kunna åstadkommas av störningsorsakerna 2 och 3, kunna ensamma leda till ett säkerhetsfel. En ytterligare begränsning av antalet kombinationer till 28 kan därmed noteras.

Man bör vidare kunna bortse ifrån, att störningsorsakerna 7, 8 och 9 kunna uppträda samtidigt, ehuru så i praktiken mycket väl kan ske. Anledningen härtill är, att man för att kunna behärska dessa typer av störningar för var och en av dem får räkna med speciella, av andra störningar opåverkbara skyddsanordningar i reläutrustningen. Därigenom begränsas antalet orsakskombinationer till 12.

Sammanfattningsvis gäller, att man för *enkelisolerade spårledningar på växelströms-*

elektrifierad bana icke behöver räkna med fler än följande 12 kombinationer av störningsorsaker, nämligen

7	8	9
7 + 2	8 + 2	9 + 2
7 + 3	8 + 3	9 + 3
7 + 2 + 3	8 + 2 + 3	9 + 2 + 3

Även på *icke elektrifierad bana* skulle enkelisolerade spårledningarna kunna användas. Men man synes dock i detta fall böra föredraga *dubbelisolerade*, enär de driftfel, som måste tolereras på grund av de jordmagnetiska störningarna på enkelisolerade spårledningarna, normalt ej förekomma på dubbelisolerade.

För spårledningarna på *icke elektrifierad bana* bortfalla störningsorsakerna 8 och 9 jämte de kombinationer, i vilka dessa ingå. I stället tillkommer störningsorsak 1b, om dubbelisolerade spårledningarna användas, vilket i fortsättningen förutsättes. Vidare måste konstateras, att räלבrott kan uppstå antingen i den ena eller den andra eller i båda rälsträngarna, varav följer att man lämpligen bör redovisa räלבrott i den ena rälsträngen som störningsorsak 3a och i den andra som 3b. Aktuella i detta fall bli alltså störningsorsakerna 7, 1b, 3a och 3b. Av dessa kunna 15 olika kombinationer sammanställas. Alla, som icke innehålla störningsorsak 7, kunna dock utelämnas som anledningar till säkerhetsfel, varefter följande 8 kombinationer återstå, nämligen

7
7 + 1b
7 + 3a
7 + 3b
7 + 1b + 3a
7 + 1b + 3b
7 + 3a + 3b
7 + 1b + 3a + 3b

Uppträder störningsorsak 7 ensam, är spårledningen symmetrisk, varav följer, att varken säkerhetsfel eller driftfel uppstå. Kombinationen 7 är därmed ur räkningen. Vidare är kombinationen 7 + 3a i princip densamma som 7 + 3b. Den ena, förslagsvis 7 + 3b, kan därför slopas i förteckningen. Enär slutligen störningsorsak 1b kan representeras av ett tal, som kan vara antingen större eller mindre än 1, föreligger ej heller någon principiell skillnad mellan kombinationerna 7 + 1b + 3a och 7 + 1b + 3b, varför också en av dessa kombinationer kan slopas, lämpligen 7 + 1b + 3b. Antalet kombinationer, som behöva närmare undersökas, är därmed reducerat till 5, nämligen

7 + 1b
7 + 3a
7 + 1b + 3a

$$7 + 3a + 3b$$

$$7 + 1b + 3a + 3b$$

I vad mån var och en av dessa 12 resp. 5 kombinationer på elektrifierad resp. icke elektrifierad bana kan leda till säkerhetsfel eller enbart driftfel eller möjligen alldeles sakna betydelse kan förutsättas bero på spårledningens konstruktion. Tydligt är emellertid tills vidare, att ett säkerhetsfel icke kan uppkomma med mindre än att åtminstone någon av störningsorsakerna 7—9 ingår i kombinationen. Härav följer, att en spårledning, som kan göras okänslig för dessa störningar, också blir fri från säkerhetsfel av hittills diskuterad art.

Den principiella lösningen på problemet kan lätt anges. Man skall för det första välja spårström av sådan art, att den inte ens under ett kortare ögonblick kan reproduceras av en utifrån kommande störningsström, och för det andra en spårreläutrustning, vars spårrelä icke kan draga för annan ström än just den valda spårströmmen.

Som dylik spårström kan likström icke utan vidare användas, ty de ofta mycket långsamt pulserande jordmagnetiska strömmarna påverka utan svårighet ett likströmsrelä. Ej heller kunna växelströmmar av godtycklig frekvens väljas. Det säger sig sålunda självt att spårström med banströmmens frekvens 16 2/3 p/s, eller någon av dess lägre udda övertoner, 50 p/s, 83 1/3 p/s resp. 116 2/3 p/s, ej heller kunna väljas. Däremot kan t. ex. 100 p/s accepteras, om spårreläutrustningen kan göras tillräckligt selektiv för denna frekvens och i övrigt utföres så, att den icke i och för sig på grund av "likströmsmätning" genom jordmagnetiska störningar kan giva upphov till banfrekvensens 6:e ton, 100 p/s. Frekvensen 100 p/s är särskilt lämplig ur den synpunkten, att denna frekvens relativt enkelt kan åstadkommas genom fördubbling av den tämligen allmänt tillgängliga frekvensen 50 p/s med hjälp av statisk apparatur, s. k. frekvenstransformator. Den kan självfallet också åstadkommas med hjälp av roterande omformare.

I teorien borde det sålunda vara möjligt att utföra alla spårledningar som växelströmsspårledningar och därvid ernå fullt tillfredsställande säkerhet. I praktiken kompliceras problemet emellertid av frågan om spårledningarnas försörjning med ström. Växelströmsspårledningar kunna nämligen anordnas endast där man har eller för rimlig kostnad kan anordna två av varandra oberoende växelströmsnät, så att det ena nätet kan kopplas till, om spänningen från det andra skulle falla bort. Saknas denna förutsättning, återstår det att förse spårledningarna med kraft från primärelement eller ackumulatörer. Från sådana erhållas endast likström. Härav följer, att frågan om att konstruera likströmsspårledningar, på vilka säkerhetsfel ej kunna uppträda, aktualiseras. Detta har fört med sig, att det blivit nödvändigt att genom beräkningar och praktiska prov närmare undersöka olika typfall med huvudvikten lagd vid likströmsspårledningarna. Detta har emellertid icke uteslutit, att även växelströmsspårledningarna bearbetats. På sistnämnda punkt ha vissa konstruktiva problem visat sig vara tillräckliga motiv härför. Resultatet av dessa typfallsundersökningar redovisas i korthet i det följande.

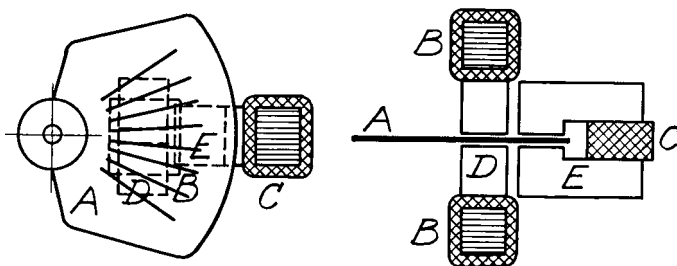


Fig. 8. Schematisk bild av tvåfasigt skivrelä.

α) Växelströmsspårledningar

Kommittén har närmare undersökt och bedömt två typer av växelströmsspårledningar för 100 p/s, nämligen

dels den under många år använda tvåfasiga spårledningen med tvåfasiga induktionsreläer,

dels den enfasiga spårledningen med frekvensselektivt filter, likriktare och likströmsrelä i spårreläutrustningen.

Vid valet mellan dessa två typer av spårledningar göra sig följande synpunkter gällande.

Vad först den tvåfasiga spårledningen beträffar bör observeras, att spårreläerna kunna utföras antingen som skivreläer (fig. 8) eller som burrotorreläer (fig. 9). I kommitténs regi har, såsom framgår av bil. 5 A, avsevärt arbete nedlagts på utvecklingen av de sistnämnda. Målsättningen var därvid att åstadkomma ett relä med så låg effektförbrukning, att dess spårfasledning kunde anslutas direkt till

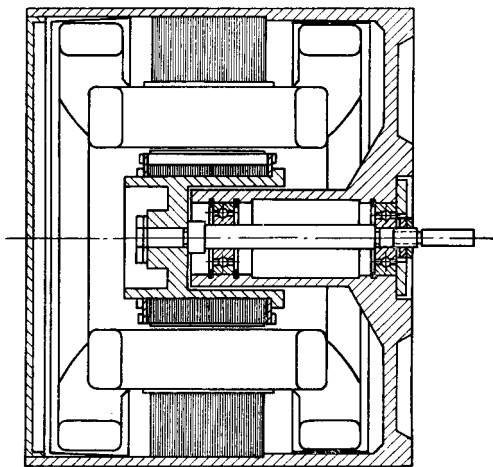


Fig. 9. Schematisk bild av tvåfasigt burrotorrelä.

spåret, dvs. utan att någon transformator användes. En transformator, ansluten mellan spåret och reläet, kan nämligen utsättas för störande likspänning, som tillsammans med den banfrekventa strömmen ger upphov till en störande frekvens på 100 p/s, dvs. just den frekvens, vid vilken spårledningen av skäl, som redovisas i annat sammanhang, normalt skall arbeta. Det på dessa grunder utarbetade burrotorreläet visade sig visserligen uppfylla de ställda kraven på låg effektförbrukning, men befanns å andra sidan behöva utrustas med en extra anordning för överföring av rotorns moment till reläkontaktgruppen, om denna skulle innehålla maximalt antal erforderliga kontakter, dvs. 10 slut- och 2 brytkontakter. Det befanns därför lämpligt att utrusta reläet med enbart en slutkontakt och samtidigt införa repeterreläer med mera fullständiga kontaktkombinationer. På detta sätt erhöles ett spårrelä av relativt enkel mekanisk konstruktion, vilket i motsats till de hittills använda skivreläerna kan anslutas direkt till spåret.

Även skivreläets kontaktutrustning kan reduceras till blott en enda slutande kontakt, varvid dess effektförbrukning sjunker, på grund av dess ogynnsamma luftgapsförhållanden dock ej i lika hög grad som hos burrotorreläet. Uteslutes användningen av transformator mellan spåret och reläet, vilket med hänsyn till risken för störande spänningar av frekvensen 100 p/s är nödvändigt även när det gäller skivreläer, blir det därför lättare att tillgodose säkerhetskraven med burrotorreläer än med skivreläer.

Jämföres därefter den tvåfasiga med den enfasiga spårledningen, vilken sistnämnda närmare beskrives i bil. 5 E, är följande att notera.

I säkerhetsavseende är, så länge endast reläutrustningens elektriska egenskaper beaktas, den tvåfasiga spårledningen att föredraga framför den enfasiga. Orsaken härtill ligger främst däri, att spårreläet i den tvåfasiga spårledningen i sig självt är frekvensselektivt, medan selektiviteten i den enfasiga spårledningen är beroende av ett filter, vars reaktorer måste utföras med små förluster och vars kondensatorer måste dimensioneras rikligt ur spänningshållfasthetssynpunkt. I fråga om mekaniska egenskaper utfaller emellertid en jämförelse i säkerhetsavseende till förmån för den enfasiga spårledningen, vars likströmsspårrelä (fig. 10) är enklare än det tvåfasiga växelströmsspårreläet, vare sig det sistnämnda utföres som skivrelä eller burrotorrelä. Väger man emellertid för- och nackdelar i såväl elektriskt som mekaniskt avseende mot varandra, torde man komma sanningen närmast, om man karakteriserar de båda spårledningstyperna såsom varande likvärdiga med hänsyn till säkerheten. Under dylika omständigheter synes valet mellan dem böra göras beroende uteslutande av ekonomiska hänsyn, dvs. kostnaderna för anläggning, drift och underhåll. Enär dessa faktorer kunna variera från tid till annan och de dessutom bero av utvecklingen på den fabrikationstekniska sidan, kan det icke vara lämpligt att nu göra ett definitivt, för framtiden bindande val.

Sammanfattningsvis gäller, att man i de fall växelströmsspårledningar skola användas, har att med ledning av ekonomiska hänsyn välja mellan antingen den tvåfasiga spårledningen

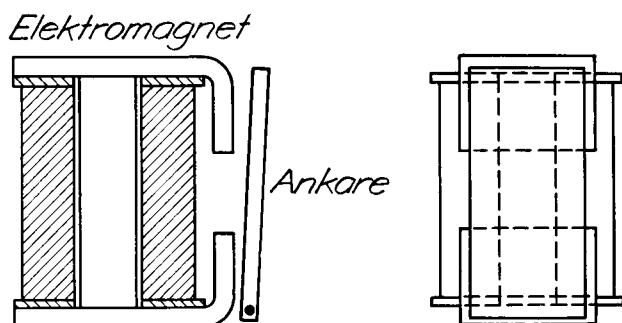


Fig. 10. Schematisk bild av neutralt likströmsspårrelä.

med sådant relä, att någon transformator ej erfordras mellan spåret och reläet, eller den enfasiga spårledningens med frekvensselektivt filter, likriktare och likströmsrelä i spårreläutrustningen.

Dessa spårledningstyper kunna utföras som enkel- eller dubbelisolerade. Då de äro okänsliga för även jordmagnetiska störningar, kunna de till skillnad från likströmsspårledningar med fördel göras enkelisolerade även på icke elektrifierad bana, enär kostnaderna för anordnande av isolerskarvar härigenom reduceras.

β) Kodspårledningar

Kommittén har ägnat stor uppmärksamhet åt kodspårledningar, matade med likström (se bil. 5 B). Denna typ av spårledningar skiljer sig i vad avser risken för säkerhetsfel i principiellt avseende föga från en växelströmsspårledning med exklusiv frekvens. I stället för växelström inmatas en likström, som regelbundet polyvändes. Spårströmmen får därigenom karaktären av en växelström med relativt låg frekvens, av storleksordningen 1 p/s. Även en sådan frekvens får betraktas som exklusiv, enär den icke kan förutses bliva producerad för annat ändamål och ej heller kan väntas uppstå som följd av något naturfenomen. I spårreläutrustningen ingår en efter kodfrekvensen avstämd och av den kodade spårströmmen påverkad mekanisk pendel. Denna upphör att svänga, om spårströmmen uteblir i spårledningens reläända, varvid ett av pendeln styrt spårrelä faller. Eftersom pendeln ej svänger för annan frekvens än spårströmmens och enbart pendeln styr spårreläet, låter sig det sistnämnda ej påverkas av några i spårledningen uppträdande störningsströmmar. Den med kodad likström arbetande spårledningen måste alltså anses vara utomordentligt tillförlitlig med hänsyn till risken för säkerhetsfel. Driftfel kunna tänkas, men det bör vara möjligt att utforma apparaturen så, att dessa ej bli besvärande. En provutrustning har tillverkats i kommitténs regi, vilken fungerat tillfredsställande under långvariga laboratorieprov. Av erfarenhet vet man emellertid, att det kan dröja länge innan en laboratorieprodukt kan omsättas i fabrikmässig serietillverkning. Vidare kan konstateras, att utomlands tillgänglig materiel icke är anpassad för de driftvillkor, som råda vid de svenska elektrifierade järnvägarna. Dessa förhållanden

innebära, att man måste vänta ännu några år, innan man kan räkna med att införa kodspårledningar vid statens järnvägar i större omfattning. *Arbetet med att vidareutveckla denna spårledningstyp är emellertid angeläget, enär den kan väntas förena växelströms-spårledningarnas tillförlitlighet med likströmsspårledningarnas förtjänster i fråga om strömförsörjningen.*

γ) Enkelisolerade, ändmatade likströmsspårledningar

Utöver de ovannämnda tre typerna av spårledningar — de båda växelströmsspårledningarna och kodspårledningen — har kommittén närmare bearbetat fyra typer av likströmsspårledningar, nämligen enkel- och dubbelisolerade, ändmatade samt enkel- och dubbelisolerade, mittmatade sådana. De enkelisolerade spårledningstyperna undersöktes närmast med tanke på användning på elektrifierad, de dubbelisolerade på icke elektrifierad bana.

För den enkelisolerade, ändmatade likströmsspårledningen gäller, att dess relä vid jordmagnetiska stormar utsättes för en maximal spänning, utgörande produkten av 7,0 V/km och spårledningens i km uttryckta längd, om ett tåg kortsluter spårledningens inmatningsända. Denna spänning kan, såsom tidigare nämnts, accepteras, om spårledningens längd vid ett värde på spårreläutrustningens fallspänning av 1,1 V begränsas till 0,15 km eller vid en fallspänning av 2,2 V begränsas till 0,3 km. Störningsorsakskombination 7 är under dylika förutsättningar ofarlig. Inträffar emellertid ett rälbrott i den sammanhängande rälen — kombination 7 + 2 — blir situationen en annan. Över rälbrottet uppstår i så fall en spänning U_b , som enligt bil. 6, kap. 3 (ekv. 22) kan beräknas ur uttrycket

$$U_b = \frac{2E}{\gamma} \quad (12)$$

där E är den av en jordmagnetisk storm förorsakade spänningen i V/km och $\gamma = \sqrt{r_l g}$. Maximivärdet på E är i det föregående, kap. 4b α , beräknat till 7,0 V/km. Som värde på r_l antages lämpligen 0,06 ohm/km enkel rälsträng. Faktorn g , utgör avledningen i S/km mellan den sammanhängande rälsträngen och jord. Dess minsta värde, 0,02 S/km för en till kontaktledningsstolpar ansluten rälsträng utgör det inverterade värdet av det maximala isolationsmotståndet mellan rälsträngen och jord, enligt kap. 3c uppmätt till 50 ohmkm. Dess största värde är enligt samma kapitel $\frac{1}{0,35} = 2,86$ S/km, gällande våt postglacial lera. Med dessa värden blir $\gamma = 0,0346$ resp. 0,414 och $U_b = 405$ resp. 34 V.

I verkligheten ha så höga spänningar som den först angivna, orsakade av de jordmagnetiska stormarna, icke givit sig till känna. En väsentlig orsak härtill är återledningens förekomst. Denna är förbunden med den sammanhängande rälsträngen i punkter, belägna på ett inbördes avstånd av 5 à 6 km. På detta avstånd har åter-

ledningen med sugtransformatorer en resistans av ca 0,8 ohm, varmed ett rälbrott alltså förbikopplas. Som följd härav sänkes spänningen över rälbrottet till 111 V vid det minsta värdet och till 32,5 V vid det högsta värdet på avledningen, båda gällande för $E = 7,0$ V/km (jämför bil. 6, kap. 3). Återledningen visar sig alltså som väntat reducera de av ett rälbrott orsakade spänningarna högst väsentligt.

Denna mellan 111 och 32,5 V varierande spänning över rälbrottet kan uppmätas också över spårreläutrustningen, om spårledningens inmatningsända är kortsluten av tåg. Det säger sig självt, att spårreläet i så fall kommer att draga. Kombinationen $7 + 2$ skulle med andra ord medföra ett säkerhetsfel, innebärande att en enkelisolerad, ändmatad likströmsspårledning, oavsett dess längd, icke utan vidare skulle kunna accepteras, om denna kombination bedömdes såsom sannolik.

I sistnämnda hänseende konstateras, att flera faktorer måste samverka, för att säkerhetsfelet skall uppstå på t. ex. en tågföljdsreglerande spårledning.

Körsignal skall ha visats och ett tåg skall ha inkommit på den felaktiga spårledningens inmatningsända. Samtidigt skall ett rälbrott förekomma i den sammanhängande rälsträngen och en jordmagnetisk storm pågå.

I detta fall erfordras icke någon starkare jordmagnetisk störning. Det räcker i varje fall, om den förmår åstadkomma en spänning över rälbrottet på 2,2 V, svarande

mot värden på E , som ligga mellan $E = \frac{2,2}{111} \cdot 7,0 = 0,139$ V/km och $E = \frac{2,2}{32,5} \cdot 7,0 = 0,473$ V/km. Så låga värden förekomma relativt ofta, även under år, då solfläcksmaxima icke uppträda.

Rälbrott förekomma mera sällan. En undersökning av rälbrottsstatistiken för år 1954, begränsad till sådana brott, som skulle ha förorsakat fullständiga avbrott i en spårledningskrets, visade, att det i *genomsnitt* förflyter ca 300 år mellan de tillfällen, då två på varandra följande rälbrott skulle ha inträffat i den sammanhängande rälsträngen på en och samma godtyckligt belägna 300 m långa spårledning. Man behöver emellertid inte ha mer än 300 sådana spårledningar på ett järnvägsnät — ett mycket lågt antal — för att i medeltal ett rälbrott per år skall ge sig tillkänna. Man kan vidare utgå ifrån, att ett rälbrott icke alltid hinner upptäckas och rapporteras på den tid, som förflyter mellan två på varandra följande tåg. Under förutsättning att ett tåg *kan* komma in på spårledningen och kortsluta den i inmatningsändan är risken för säkerhetsfel sålunda icke så ringa, att den får förbises.

Frågan är därför, hur spårreläet beter sig vid en jordmagnetisk störning, strax innan ett tåg inkommer på spårledningen, om ett rälbrott dessförinnan inträffat. Är spårreläet då fallet, ställes den signal på stopp, som reglerar tillfarten till spårledningen. Tåget hindras därigenom att komma in på spårledningen, och något säkerhetsfel uppträder ej. Är spårreläet däremot draget, signaleras fri infart på spårledningen. Ett säkerhetsfel inträffar då, som tar sig uttryck i att signalen för spårledningen bakom det inkomna tåget signalerar kör, varvid ett efterföljande tåg kan kollidera med det på spårledningen först inkomna.

Den över rälbrottet uppträdande, med U_b betecknade, mellan 111 och 32,5 V varierande spänningen sammansätter sig med matningsutrustningens spänning, 6 V. Över spårreläutrustningen kan alltså uppmätas en spänning av antingen $(6 - U_b)$ V eller $(6 + U_b)$ V, beroende på om störningsspänningen har motsatt eller samma polaritet som den matande spänningen. Användes ett polariserat spårrelä, dvs. ett relä, som drager för ström i blott en riktning, och är detta så anslutet, att det drager för den strömriktning, som bestämmes av matningsutrustningen, kan den lägre resulterande spänningen icke åstadkomma, att reläet drager. Vid den högre spänningen $(6 + U_b)$ V, däremot, bli förhållandena annorlunda. Denna spänning fördelar sig, om spänningsfallet i den isolerade rälsträngen försummas, över matnings- och spårreläutrustningens resistanser i förhållande till dessa storheters värden. Då matningsutrustningens resistans för korta spårledningar i allmänhet är av samma storleksordning som reläutrustningens, inses, att omkring hälften av spänningen kommer att påverka spårreläutrustningen, varigenom spårreläet kommer att draga. Detta sker alltså, innan spårledningens inmatningsända kortslutits av tåg. Därmed skulle alltså vara visat, att inte ens en så kort enkelisolerad, ändmatad likströms-spårledning som av 300 m längd skulle vara fullt pålitlig.

Risken för ett säkerhetsfel av denna art är naturligtvis ringa, om den bedömes för en längre tidsperiod. Under ett dygn däremot, då de jordmagnetiska stormarna kunna förorsaka betydande störningsspänningar under sammanlagt upp till flera timmars tid, kan kombinationen med rälbrott inte försummas, särskilt inte om den sammanlagda längden av spårledningar ökas så som måste ske, om spårledningstekniken skall komma att tillämpas i avsedd omfattning. Under sådana förhållanden kan inte ens den korta, enkelisolerade, ändmatade spårledningen accepteras, *såvida inte* den sammanhängande rälsträngen är parallellkopplad med antingen en särskild ledare med högst samma resistans som den sammanhängande rälsträngens (0,018 ohm vid 300 m spårledningenslängd, svarande mot en kopparledare med ca 300 mm² area) eller annan obruten rälsträng, varigenom ett eventuellt rälbrott förbikopplas.

Användes en särskild ledare på detta sätt, kan dess area reduceras högst väsentligt, om den anslutes till den sammanhängande rälsträngen icke blott vid spårledningens ändpunkter utan även mellan dessa.

Kombinationen 7 + 3 ger, som lätt inses, blott ett driftfel. Kombinationen 7 + 2 + 3 är identisk med kombinationen 7 + 3, om ovan angiven förutsättning — parallellkoppling av den sammanhängande rälsträngen med särskild ledare etc. — är uppfylld och ger alltså även den blott ett driftfel.

Om de störningskombinationer, i vilka störningsorsak 8 ingår, är följande att notera.

Då spårledningen är hel, uppträder över reläutrustningen en växelspanning, 16 2/3 p/s, som vid antagen maximal lokström, 400 A, ger 75 V/km. På t. ex. en 300 m lång spårledning svarar detta värde mot 22,5 V. Denna spänning skulle kunna draga spårreläet — växelströmsvärdena på fall- och dragspänningar för ett

likströmsrelä äro högre än motsvarande likströmsvärden — om detta ej skyddades genom lämpliga anordningar. Som sådana användas dels en i serie med reläet kopplad induktans, dels en över reläet parallellkopplad resistans. Det nödvändiga skyddet erhålles, om induktansen dimensioneras så, att den ström, som framgår genom densamma, ej är större än att dess växelspanningsfall i reläets parallellresistans blir mindre än reläets fallspänning vid växelströmsmatning med 16 2/3 p/s. Dimensioneringen av skyddsinduktansen och parallellresistansen blir beroende av spårreläets data, vilket innebär, att det vid konstruktion av spårledning, vad gäller reläändan, icke enbart blir fråga om dimensionering av enskilda apparater utan om uppbyggnad av en spårreläutrustning med optimalt utförande i tekniskt och ekonomiskt avseende.

Vid rälbrott i den sammanhängande rälén, kombinationen 8 + 2, kunna betydande spänningar uppstå över rälbrottet och därigenom också över spårreläutrustningen. Impedansen, Z_b ohm, i ett rälbrott sammanhänger med såväl rälimpedansen, z_r ohm/km, som avledningen mellan den sammanhängande rälsträngen och jord, g , S/km, och kan enligt bil. 1, kap. 7 (ekv. 4) beräknas ur formeln

$$Z_b = 2 \sqrt{\frac{z_r}{g}} \quad (13)$$

Vid 16 2/3 p/s rör sig z_r om ca 0,18 ohm/km, medan avledningen kan variera mellan 0,02 S/km och 2,86 S/km. Z_b kommer härigenom att variera mellan 6 och 0,5 ohm. Vid en lokström av 400 A skulle dessa impedansvärden ge störningsspänningar vid 16 2/3 p/s av 2 400 resp. 200 V.

Vid dessa beräkningar har dock återledningen med dess sugtransformatorer icke beaktats. Denna kommer med särskild aktualitet in i bilden, om rälbrottet uppstår mellan den plats, där tåget för ögonblicket befinner sig, och den förbindelse mellan återledning och sammanhängande rälsträng, genom vilken lokströmmen skall föras upp i återledningen. Samtidigt skall reläutrustningen och tåget befinna sig på var sin sida om rälbrottet. I detta fall mättas den närbelägna transformatorn, om avledningen mellan jord och sammanhängande rälsträng är låg. Mätningsspänningen rör sig om 1 000 à 1 500 V, vilket alltså skulle vara den högsta spänning vid 16 2/3 p/s, för vilken reläutrustningen skulle kunna utsättas på grund av rälbrott.

Mot en så hög störningsspänning kan man icke rimligen skydda reläet genom skyddsanordningar sådana som de ovan antydda. Det skulle därför vara nödvändigt att i serie med reläutrustningen införa en smältsäkring, men eftersom ifrågavarande spårledning, såsom i det föregående påvisats vid diskussion av kombinationen 7 + 2, icke kan användas med mindre än att åtgärder på förhand vidtagits, varigenom ett eventuellt rälbrott är överkopplat, bör denna säkring kunna uteslutas.

Av de övriga kombinationer, i vilka störningssorsak 8 ingår, ger 8 + 3 icke anledning till någon störningsspänning från banströmmen, eftersom denna icke söker sig

fram i den isolerade rälen. Kombinationen $8 + 2 + 3$ är identisk med $8 + 3$, om rälbrottet i den sammanhängande rälsträngen är förbikopplat och är i så fall också ofarlig.

Beträffande de kombinationer, i vilka störningsorsak 9 ingår, gäller för den ifrågasvarande ändmatade likströmsspårledningen i stort sett samma resonemang som för de kombinationer, vilka innehålla störningsorsak 8. En väsentlig skillnad ligger dock däri, att likströmskomponenten till följd av dess dämpning blir av relativt kort varaktighet, medan störningsspänningarna från banströmmen kunna bli mera långvariga.

Det för en hel spårledning svåraste fallet uppträder, när loket befinner sig i inmatningsändan av spårledningen och denna är så belägen, att reläändan är vänd mot den punkt, där återledningen är förbunden med den sammanhängande rälsträngen. I övrigt skall spårledningen vara belägen, såsom angivits för det exemplifierade fallet i kap. 4b γ (fig. 7). Man får därvid räkna med att den sammanhängande rälen kan komma att föra den likströmskomponent av lokströmmen, som i tabell 6 betecknats med $i_{al,max}$ och som för 140 A sugtransformatorer kan nå värden av upptill 283 A. Spänningsfallet i ett 300 m långt avsnitt av den sammanhängande rälen blir därvid $(0,078 \cdot 0,3 \cdot 283 =)$ 6,6 V. Denna spänning uppträder dock med väsentligt reducerat belopp över spårreläet, om detta skyddas med en serieinduktans och en parallellresistans, såsom tidigare angivits i diskussionen rörande skyddsåtgärder mot störningar från banströmmen. Med hänsyn härtill ger likströmskomponenten intet säkerhetsfel, så länge spårledningen är hel.

Vid ett rälbrott däremot, kombinationen $9 + 2$, finge man, om ovan omtalade parallellkoppling icke vore anordnad, räkna med att spänningen över reläutrustningen bleve avsevärd, även om man tager hänsyn till att likströmskomponenten $i_{al,max}$ reduceras något genom rälbrottet. I detta fall skulle rimligt dimensionerade serieinduktanser och parallellresistanser icke ge tillräckligt skydd, varför man finge utnyttja den omständigheten, att likströmskomponenten är dämpad, genom att förlänga spårreläets tillslagstid. Eftersom man emellertid måste förutsätta parallellkoppling av den sammanhängande rälsträngen är problemet icke aktuellt.

De återstående två kombinationerna med störningsorsak 9 kunna av skäl, som äro analoga med dem, som angivits för kombinationerna $8 + 3$ och $8 + 2 + 3$, lämnas ur räkningen.

Den omständigheten, att man måste förebygga säkerhetsfel på grund av rälbrott i den sammanhängande rälen och samtidigt uppträdande jordmagnetiska störningar genom att parallellkoppla denna räl med annan rälsträng eller särskild ledare med tillräcklig area, gör, att man i fråga om denna spårledningstyp bör taga hänsyn till även rälbrott, som skulle kunna uppträda i den sammanhängande rälen utanför spårledningens ändpunkter, om samtidigt ett rälbrott uppstått i spårledningens isolerade rälsträng. Vid dylik fel- och störningskombination kan nämligen en störande

spänning uppstå över spårreläet, vilken förmår draga spårreläet, ehuru det borde ha fallit. Risken för att en dylik kombination skall uppträda är visserligen liten men existerar dock, vilket gör att denna spårledningstyp icke kan anses användbar i säkerhetsanläggningar, när man, såsom vanligen är fallet, önskar effektiv kontroll av ett fordon's förekomst i varje punkt av spårledningen.

Sammanfattningsvis gäller, att *den enkeliserade, ändmatade likströmsspårledningen icke är användbar i säkerhetsanläggningar.*

d) Dubbelisolerade, ändmatade likströmsspårledningar

De för denna spårledningstyp aktuella störningskombinationerna äro, såsom redan nämnts,

7

7 + 1b

7 + 3a

7 + 3b

7 + 1b + 3a

7 + 1b + 3b

7 + 3a + 3b

7 + 1b + 3a + 3b

Av dessa kombinationer ha 7, 7 + 3b och 7 + 1b + 3b tidigare påvisats vara ofarliga eller eljest onödiga att vidare undersöka. Blott följande fem kombinationer skulle därför behöva behandlas närmare, nämligen

7 + 1b

7 + 3a

7 + 1b + 3a

7 + 3a + 3b

7 + 1b + 3a + 3b

För kombinationen 7 + 1b är följande att notera.

Den största olikheten i de båda rälsträngarnas avledning till jord uppstår, om man antager, att den ena har maximal och den andra minimal avledning till jord, dvs. $1/7$ resp. $1/2$ 500 S/km, vilka värden återfinnas i kap. 3c. En beräkning, utförd för en 2 km lång spårledning, visar enligt bil. 6, kap. 5a, att en så stor, i praktiken icke förekommande olikhet ej ger högre störningsspänning över spårreläet än 35 mV, ett värde som saknar varje praktisk betydelse. Detta låga värde förutsätter att tåget står helt inne på spårledningen. Om tåget däremot befinner sig så, att det överbryggar isolerskarvarna vid inmatningsändan, fås högre värden, vid ovan angiven olikhet 2,21 V. Undersöker man emellertid hur stor olikheten får vara för att högre spänning än 1,1 V icke skall uppträda, finner man, fortfarande enligt kap. 5a i bil. 6, att förhållandet mellan de båda rälsträngarnas avledning till jord måste uppgå till $1 : 0,28$. Ett så stort förhållande förekommer normalt icke i praktiken. Kombinationen 7 + 1b kan därför lämnas ur räkningen.

Kombinationen 7 + 3a är att betrakta som ett specialfall av kombinationen 7 + 1b + 3a, nämligen det fall, då olikheten mellan rälsträngarnas avledning till jord reducerats till noll. Behandlas den sistnämnda kombinationen som ett generellt fall, kan alltså den förstnämnda t. v. lämnas ur räkningen.

I kombinationen 7 + 1b + 3a kan, såsom framgår av bil. 6, kap. 5b, spänningen över spårreläet med tillräcklig noggrannhet för ifrågakommande spårledningar med relativt begränsade längder beräknas ur formeln

$$U_r = ELRg \frac{x(L-x)}{Rgx \left(9L - \frac{2x}{\alpha + 1} \right) + 7L} \quad (14)$$

där E = den i jorden uppträdande spänningen, maximalt 7,0 V/km,

L = spårledningens längd i km,

R = spårreläutrustningens resistans i ohm,

g = avledningen i S/km mellan rälsträngarna,

x = avståndet i km mellan spårreläutrustningen och rälbrottet,

α = förhållandet mellan de båda rälsträngarnas avledningar till jord.

I formeln har gjorts det på erfarenhet grundade antagandet, att avledningen till jord för den rälsträng, som har den största avledningen, är av storleksordningen 2/7 av avledningen mellan rälsträngarna, gällande det fall, att spårledningen är belägen på icke elektrifierad bana.

Av formeln framgår utan vidare, att U_r växer dels med L , dels med produkten Rg . Det gäller att dimensionera spårledningen så, att U_r ej blir större än spårreläutrustningens fallspänning vid maximalt värde på E , 7,0 V/km, och godtyckligt läge av rälbrottet, dvs. vid godtyckligt värde på x , samt vid förutsebara värden på α .

För t. ex. en 2 km lång spårledning kan ekv. (14) skrivas

$$U_r = 14Rg \frac{x(2-x)}{Rgx \left(18 - \frac{2x}{\alpha + 1} \right) + 14} \quad (14a)$$

I denna ekvation löses produkten Rg , som därvid får formen

$$Rg = \frac{14U_r}{x^2 \left(\frac{2U_r}{\alpha + 1} - 14 \right) - 2x(9U_r - 14)} \quad (14b)$$

För beräkning av tillåtet maximivärde på Rg bildas ekvationen $\frac{d(Rg)}{dx} = 0$, varur värdet på x löses och insättes i ekv. (14b). Då erhålles

$$(Rg)_{max} = \frac{14U_r \left(14 - \frac{2U_r}{\alpha + 1} \right)}{(14 - 9U_r)^2} \quad (14c)$$

Sättes häri $U_r = 1,1$ V för att spårreläutrustningens fallspänning icke skall överskridas, och förutsättes dessutom, att de båda rälsträngarna ha samma avledning till jord — $\alpha = 1$, störningskombination $7 + 3a$ — får $(Rg)_{max}$ icke vara större än 11,8. För maximalt värde på g , 0,5 S/km, blir R då 23,6 ohm. Detta värde gäller spår med kreosotimpregnerade sliprar.

För $\alpha > 1$ blir $(Rg)_{max} > 11,8$, vilket är till fördel för spårledningens konstruktion. Är α å andra sidan mindre än 1, minskar $(Rg)_{max}$. Sålunda blir för $\alpha = 0,5$ och 0,1 $(Rg)_{max} = 11,5$ resp. 11,0, vilka värden visa att ej heller i detta fall — i kombination med rälbrott och med tåget helt inne på spårledningen — ens stora olikheter i avledningen ha någon praktisk betydelse.

För spårledningar, som äro kortare resp. längre än 2 km, erhållas större resp. mindre värden på den tillåtna största resistansen i spårreläutrustningen. När spårledningens isolerskarvar vid inmatningsändan äro kortslutna av tåg, kan L i själva verket bli praktiskt taget hur stort som helst. För ett sådant fall kan enligt bil. 6, kap. 5b med tillräcklig noggrannhet skrivas

$$U_r = ERg \frac{x \left(\frac{2}{\gamma} - x \right)}{9Rgx + 7} \quad (15)$$

där U_r , E , R , g och x ha samma betydelse som i ekv. (14), medan definitionen på γ återfinnes i kap. 4c γ .

För t. ex. $x = 1,0$ km, $Rg = 8$ och $\gamma = 0,093$ — praktiskt möjligt maximivärde — blir $U_r = 14,6$ V, ett värde som är alldeles för högt. För att U_r ej skall överstiga 1,1 V, får produkten Rg inte vara större än några hundradelar. Härav framgår, att den ifrågavarande spårledningstypen icke kan användas utan särskilda arrangemang. Eftersom de vid normala värden på Rg uppträdande höga värdena på U_r uppkomma, då tåg passera eller bli stående över isolerskarvarna vid inmatningsändan, varigenom L antager onormalt stora värden, kan problemet i en del praktiska fall behärras, om ett extra par isolerskarvar inläggas utanför spårledningens inmatningsända och på så stort avstånd från denna, att längsta på linjen förekommande tåg icke samtidigt kan överbrygga både det ordinarie och det extra paret isolerskarvar. Vid kontroll av spårledningen enligt ekv. (14c) får L därvid antagas utgöra avståndet mellan dess reläända och det extra paret isolerskarvar.

De båda återstående kombinationerna, $7 + 3a + 3b$ och $7 + 1b + 3a + 3b$, kunna utan svårighet påvisas medföra lägre störningsspänningar över spårreläet än kombinationerna $7 + 3a$ resp. $7 + 1b + 3a$, varför de icke tillföra diskussionen några nya moment.

Sammanfattningsvis gäller, att *den dubbelisolerade, ändmatade likströmsspårledningen kan användas på icke elektrifierad bana under förutsättning*

dels att den skyddas med ett extra par isolerskarvar, anbringade utanför spårledningens inmatningsända och på så stort avstånd från denna, att det ordinarie och

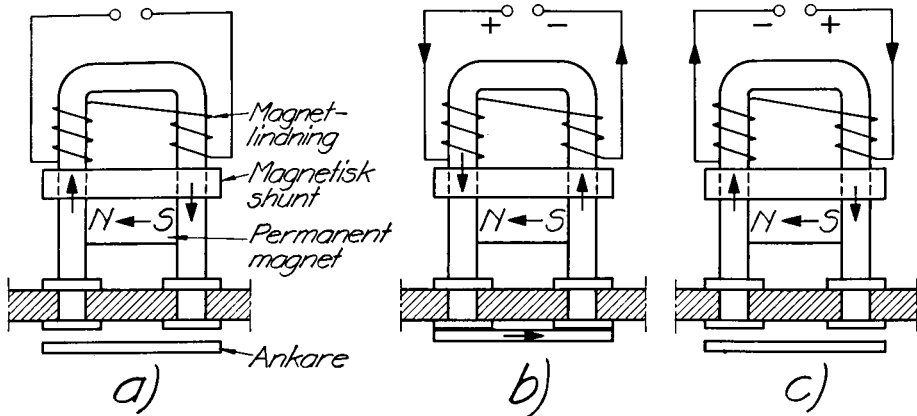


Fig. 11. Schematisk bild av permipolariserat likströmsspårrelä.

- a) Ingen ström framgår genom relälindningen. Permanentmagnetens flöde sluter sig genom den magnetiska shunt; reläankaret fallet.
- b) Ström av rätt polaritet framgår genom relälindningen. Permanentmagnet och relälindning samverka; reläankaret draget.
- c) Ström av felaktig polaritet framgår genom relälindningen. Permanentmagnet och relälindning motverka varandra; reläankaret fallet.

det extra paret isolerskarvar ej samtidigt kunna överbryggas av längsta på linjen förekommande tåg,

dels att spårreläutrustningens resistans på sätt, som angivits i det föregående, anpassas med hänsyn till avståndet mellan det extra paret isolerskarvar och spårledningens reläända, till största mellan rälerna förekommande avledning, samt till eventuellt förekommande olikhet mellan de båda rälsträngarnas avledningar till jord,

dels att även de extra isolerskarvarna utföras och underhållas så, att man åtminstone under perioder med jordmagnetiska störningar kan räkna med, att de alltid äro hela.

Observeras bör, att spårreläutrustningens resistans ej kan vara hur låg som helst, vilket i praktiken innebär, att spårledningens längd begränsas till ungefär 1 km. I många fall blir det dessutom omöjligt att inlägga det extra paret isolerskarvar utan att detta blir överbryggt av fordon, som följa efter det tåg, som spårledningen i första hand skall skydda. Denna spårledningstyp kan därför icke användas generellt.

ε) Enkelisolerade, mittmatade likströmsspårledningar med permipolariserade reläer

Denna typ av spårledningar är konstruerad med särskild tanke på störningar från de jordmagnetiska stormarna.

I den polariserade spårledningen äro de båda reläerna så utförda, att de draga för ström endast i den ena riktningen men ej för ström i den andra (fig. 11). De äro vidare så anslutna till spåret, att vart och ett drager för var och en av de båda motriktade strömmar, som utmatas från spårledningens matningsutrustning. De kunna

alltså inte båda draga för ström i en och samma riktning och alltså ej heller för det spänningsfall, som uppstår av en i den sammanhängande rälen flytande jordmagnetisk ström. När därtill gäller, att båda reläerna måste vara dragna — detta kontrolleras medelst en särskild, längs spårledningen framdragen, lämpligen i kabel förlagd ledning som seriekopplar två slutkontakter, en på vardera reläet — för att spårledningen skall rapportera, att den är fri från fordon, inses, att en jordmagnetisk storm ej kan vålla säkerhetsfel på denna typ av spårledning, i varje fall ej så länge den är hel. Ett rälbrott i den sammanhängande rälen, kombinationen $7 + 2$, innebär blott en ökning av den störande spänningens storlek, däremot ej av dess riktning, varför ej heller denna kombination ger något säkerhetsfel. Även kombinationerna $7 + 3$ och $7 + 2 + 3$ äro, såsom lätt kan påvisas, ofarliga.

För att den polariserade spårledningen skall fungera med hänsyn till störningar från banström och inkopplingsströmstötter från elektrolok — de farligaste kombinationerna äro även för denna typ av spårledningar $8 + 2$ och $9 + 2$ — måste spårreläerna skyddas med serieinduktanser och parallellresistanser, varjämte deras tillslagstid måste förlängas. *Uppfyllas dessa villkor, får den mittmatade, enkelisolerade likströms-spårledningen med permapolariserade spårreläer anses tillgodose alla rimliga krav med hänsyn till faran för säkerhetsfel.*

ζ) Dubbelisolerade, mittmatade likströmsspårledningar med permapolariserade reläer

För denna typ av spårledningar gäller, att endast kombinationen $7 + 3a + 3b$ kräver närmare undersökning med hänsyn till risken för säkerhetsfel, varvid måste förutsättas, *dels* att vart och ett av felen uppträder på var sin sida om matningsutrustningen, vilken i sin tur antages vara kortsluten av tåg, *dels* att avledningen till jord är lika för de båda rälsträngarna, vilket ger det ogynnsammaste fallet. En undersökning, genomförd i bil. 6, kap. 6, visar, att som villkor för att ett säkerhetsfel ej skall uppstå gäller, att reläutrustningens resistans ej får överskrida ett av spårledningens totala längd bestämt värde. Det sålunda gällande sambandet mellan spårledningens totala längd, L km, och spårreläutrustningens resistans, R_{max} ohm, framgår av följande tabell 7, som avser spårledningar med en största avledning mellan rälsträngarna av 0,5 S/km.

Tabell 7

L km	R_{max} ohm
1,5	1 660
2,0	35,4
2,5	10,2
3,0	4,8
4,0	1,8

För andra värden på L kunna motsvarande värden på R_{max} lämpligen erhållas genom grafisk interpolation mellan tabellvärdena.

Som villkor för användning av denna spårledningstyp gäller alltså att spårreläutrustningarnas resistanser skola anpassas med hänsyn till spårledningens längd.

5. Olika spårledningstypers egenskaper och användbarhet

Det sätt, varpå en spårledning användes, kan tillsammans med andra på problemet inverkan faktorer sätta sin prägel på valet av spårledningstyp i det enskilda fallet. I de egentliga signalsäkerhetsanläggningarna för järnvägsdrift har föraren på det tåg, som påverkar spårledningen, normalt ingen som helst möjlighet att kontrollera, om funktionen blivit den avsedda, t. ex. om den signal, som skall skydda hans tåg, ställts till stopp. Den skyddande signalen står nämligen bakom tåget och vänd i riktning från föraren. Häri ligger ett av skälen för att konstruktionen av dessa spårledningar måste inriktas på att säkerhetsfel icke skola kunna uppstå på dem.

När spårledningar användas i vägskyddsanläggningar, däremot, bli förhållandena annorlunda. De signaler eller bommar vid vägen, som genom tågets inverkan på spårledningen skola ställas om av tåget, befinna sig framför föraren på tåget ända intill det ögonblick, då tåget kommer fram till vägkorsningen. Häri ligger en möjlighet att, som skett vid många anläggningar, ordna så, att föraren med hjälp av en av spårreläets ställning beroende signal kan kontrollera spårledningens funktion. Denna i vissa sammanhang värdefulla möjlighet har, såsom i fortsättningen skall visas, aktualitet, när det gäller att under olika tekniska och ekonomiska förutsättningar, bl. a. beträffande strömförsörjningen, lösa spårledningsproblemet vid vägskyddsanläggningar.

Om strömförsörjningen gäller helt allmänt, att tillfredsställande sådan helt naturligt är en av de grundläggande förutsättningarna för spårledningarnas driftsäkerhet. Järnvägens egen hjälpkraftledning, där sådan finns, eller de vanliga bygdenäten för allmän elkraftdistribution kunna icke ensamma anses vara tillräckligt pålitliga, ty även relativt kortvariga strömavbrott kunna leda till alltför besvärande störningar i tågföringen eller i varningssignaleringen vid vägkorsningar. Skola växelströmsspårledningar användas, böra alltså minst två av varandra oberoende nät med samma frekvens stå till förfogande, så att det ena på kort tid — helst automatiskt — kan kopplas in, om spänningen på det andra skulle falla bort. Det kan på grund av detta krav bli nödvändigt att som reserv för ett nät anordna en frekvensreglerad växelströmgenerator, driven av ackumulatorbatteri eller förbränningsmotor. Det bör observeras, att den enfasiga växelströmsspårledningen ställer större krav på frekvensregleringen än den tvåfasiga.

Det säger sig självt, att en sådan relativt dyrbar kraftreserv endast kan inrättas på platser, där ett större antal spårledningar äro koncentrerade till ett begränsat område, dvs. på bangårdar. Det är också på bangårdar, som växelströmsspårled-

ningarnas speciella fördelar bäst komma till sin rätt, nämligen *dels* möjligheten att transformera matningsspänningen, varigenom eljest besvärande spänningsfall i de ofta långa ledningarna mellan det centrala kraftförsörjningsaggregatet och spårledningarna kunna undvikas, *dels* den på bangårdar på elektrifierad bana värdefulla möjligheten att på enkelt sätt ordna tillfredsställande hinderfrihetskontroll i växel förbindelser mellan parallella spår.

Där godtagbar växelströmsförsörjning inte kan ordnas för rimlig kostnad, t. ex. för spårledningar i vägskyddsanläggningar, som äro belägna ute på linjen på större avstånd från en station, måste likströmsspårledningar användas, matade från primärelement eller ackumulatörer, vilka normalt stå under laddning från det vanligen enda växelströmsnät, som finnes tillgängligt eller kan utbyggas för överkomlig kostnad.

De spårledningstyper, vilka behandlats i det föregående och därvid visat sig användbara med eller utan inskränkningar, typbetecknas och definieras enligt följande.

Typ ETV₁₀₀: Enkelisolerad, ändmatad, tvåfasig växelströmsspårledning, matad med växelström av frekvensen 100 p/s, med spårreläutrustning, som innehåller ett tvåfasigt induktionsrelä.

Typ DTV₁₀₀: Dubbelisolerad, ändmatad, tvåfasig växelströmsspårledning, matad med växelström av frekvensen 100 p/s, med spårreläutrustning, som innehåller ett tvåfasigt induktionsrelä.

Typ EEV₁₀₀: Enkelisolerad, ändmatad enfasspårledning, matad med växelström av frekvensen 100 p/s, med spårreläutrustning, som innehåller ett för 100 p/s selektivt filter, likriktare och likströmsrelä.

Typ DEV₁₀₀: Dubbelisolerad, ändmatad enfasspårledning, matad med växelström av frekvensen 100 p/s, med spårreläutrustning, som innehåller ett för 100 p/s selektivt filter, likriktare och likströmsrelä.

Typ EKL: Enkelisolerad, ändmatad kodspårledning med likströmsmatning.

Typ DKL: Dubbelisolerad, ändmatad kodspårledning med likströmsmatning.

Typ DL: Dubbelisolerad, ändmatad likströmsspårledning, i vilken *dels* ett extra par isolerskarvar anordnats utanför spårledningens inmatningsända på så stort avstånd från denna, att längsta på linjen förekommande tåg icke samtidigt kan överbrygga såväl det extra som det ordinarie paret isolerskarvar vid inmatningsändan, *dels* spårreläutrustningens resistans på i det föregående angivet sätt (kap. 4cγ) anpassats med hänsyn till spårledningens längd.

Typ EPL: Enkelisolerad, mittmatad likströmsspårledning med permapolariserade reläer.

Typ DPL: Dubbelisolerad, mittmatad likströmsspårledning med permapolariserade reläer, i vilken spårreläutrustningarnas resistanser på sätt, som angivits i det föregående (kap. 4cç) anpassats med hänsyn till spårledningens längd.

Det gäller närmast att bland dessa 9 typer utvälja dem, som för framtiden kunna och böra användas för å ena sidan signalsäkerhetsanläggningar, å andra sidan vägskyddsanläggningar.

a) Signalsäkerhetsanläggningar

Såsom framhållits i kap. 4c α , måste den tvåfasiga och den enfasiga växelströms-spårledningen anses likvärdiga ur säkerhetssynpunkt. Valet mellan dem får därför träffas tid efter annan med ledning av ekonomiska överväganden. Ett tekniskt program för den fortsatta utbyggnaden måste som följd härav lämna möjligheten öppen att välja mellan dem. Observeras bör emellertid, att växelströmsspårledningar äro okänsliga för de jordmagnetiska störningarna. Det finns därför ingen anledning att söka nedbringa dessa störningars styrka genom att — där så är möjligt, dvs. på icke elektrifierad bana — isolera växelströmsspårledningarna i båda skensträngarna. I det tekniska programmet böra med andra ord medtagas typerna ETV₁₀₀ och EEV₁₀₀, medan typerna DTV₁₀₀ och DEV₁₀₀ med fördel kunna lämnas utanför detsamma. Figurerna 12 och 13 visa schematiskt arrangemanget av typ ETV₁₀₀ resp. EEV₁₀₀.

Växelströmsspårledningar, dvs. någon av typerna ETV₁₀₀ och EEV₁₀₀, äro användbara överallt, där tillfredsställande växelströmsförsörjning kan ordnas till rimlig kostnad. Där så icke kan ske, bli de olika typerna av likströmsmatade spårledningar aktuella.

Bland dessa inta de likströmsmatade kodspårledningarna, typerna EKL och DKL, en i flera avseenden utpräglad särställning, vilket tidigare påvisats (kap. 4c β). Se även fig. 14, som schematiskt visar spårledning av typ EKL. Sammanfattningsvis gäller att man har anledning att tro, att dessa spårledningar skola bli mycket användbara, enär de kunna förväntas förena växelströmsspårledningarnas tillförlitlighet med likströmsspårledningarnas förtjänster i fråga om strömförsörjningen. Som följd härav får det anses angeläget att den av kommittén påbörjade utvecklingen av

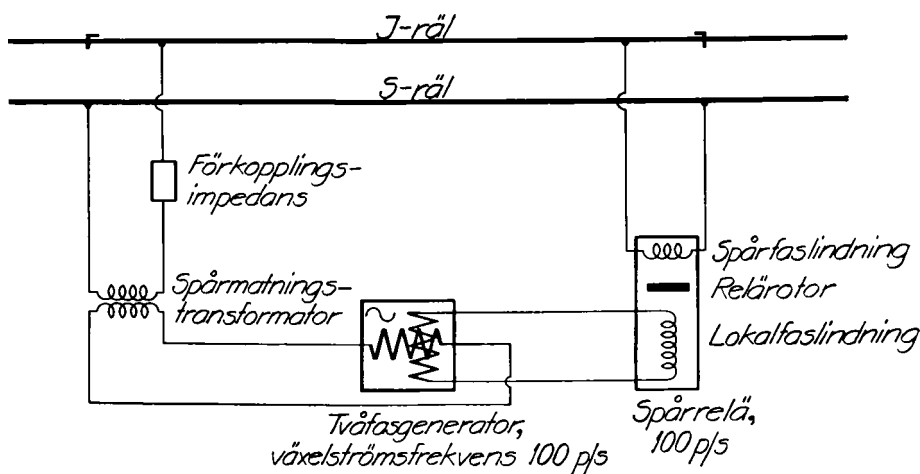


Fig. 12. Schematisk bild av enkelisolerad, ändmatad, tvåfasig växelströmsspårledning med tvåfasigt induktionsspårrelä för växelströmsfrekvensen 100 p/s (spårledningstyp ETV 100).

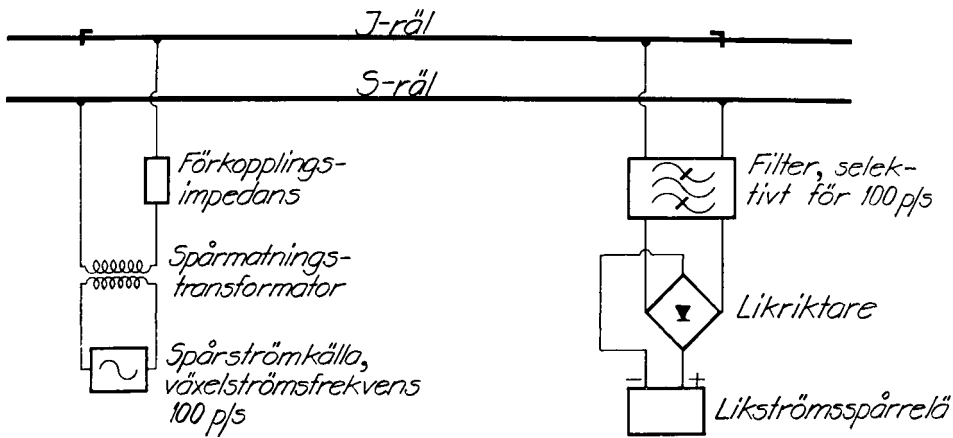


Fig. 13. Schematisk bild av enkelisolerad, ändmatad enfasspårledning, matad med växelström av frekvensen 100 p/s och försedd med filter, likriktare och likströmsspårrelä (spårledningstyp EEV 100).

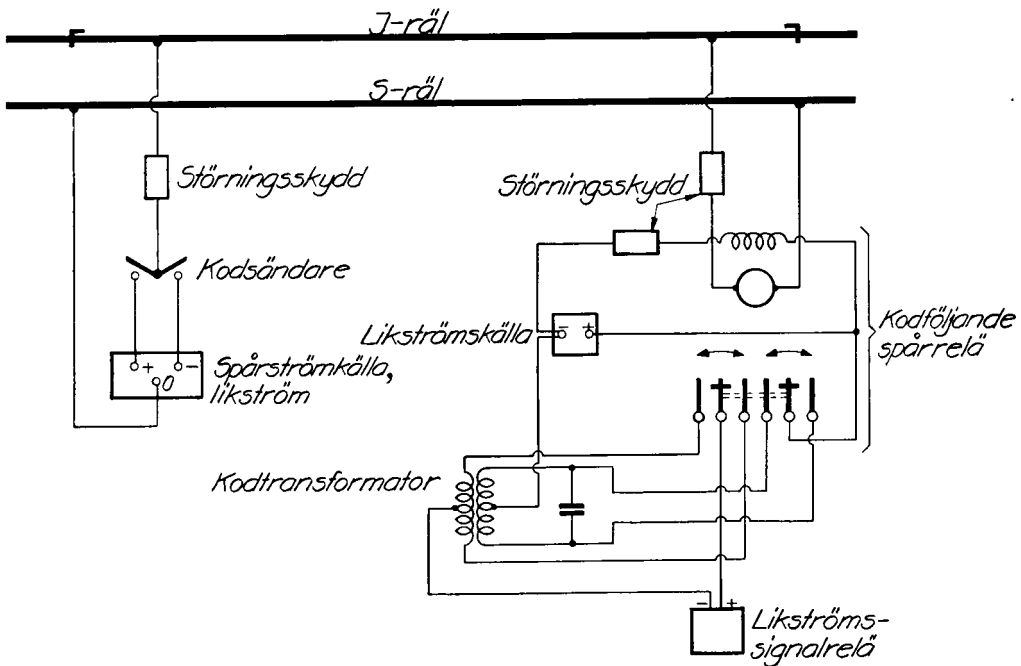


Fig. 14. Schematisk bild av enkelisolerad, ändmatad kodspårledning, matad med ömsom positiva, ömsom negativa likströmsimpulser (spårledningstyp EKL).

apparatur för kodspårledningar föres vidare så att serietillverkad materiel blir tillgänglig.

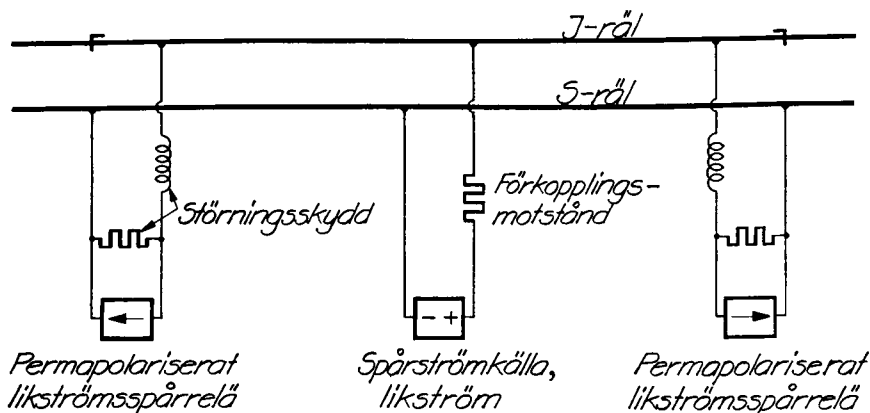


Fig. 15. Schematisk bild av enkelisolerad, mittmatad likströmsspårledning med permapolariserade reläer (spårledningstyp EPL).

Bland likströmsmatade spårledningar, som icke arbeta med kodad likström, är det endast typ EPL, den enkelisolerade, mittmatade spårledningen med permapolariserade reläer (fig. 15), som i de i praktiken förekommande fallen kan användas utan inskränkningar. Denna är alltså, om kodspårledningarna t. v. lämnas åt sidan, att betrakta som huvudtyp bland dessa spårledningar och blir som följd härav den normalt använda spårledningen i automatiska linjeblockeringsanläggningar samt i signalsäkerhetsanläggningar på bangårdar, vilka ej lämpligen böra utrustas med växelströmsspårledningar, på både elektrifierade och icke elektrifierade bandelar. Den dubbelisolerade varianten, typ DPL, kan dock med fördel användas på icke elektrifierade bandelar, nämligen om spårledningens längden kan begränsas så att det blir möjligt att ordna en praktiskt genomförbar anpassning av spårreläutrustningarnas resistansvärden (kap. 4cζ), vilket i allmänhet icke torde vålla några svårigheter.

Typ DL, den dubbelisolerade, ändmatade likströmsspårledningen, bör med hänsyn till de praktiska synpunkter, som framförts i slutet av kap. 4cδ, över huvud taget icke användas i signalsäkerhetsanläggningar.

b) Vägskyddsanläggningar

Såsom redan nämnts, kan man, sådana förhållandena nu äro, inte räkna med att tillfredsställande växelströmsförsörjning skall kunna ordnas för rimlig kostnad vid vägskyddsanläggningar. Skall varningssignaleringen vid vägkorsningar igångsättas med hjälp av spårledningar, måste därför användas sådana, som matas med likström. Av denna anledning kunna i detta fall spårledningstyperna ETV 100, DTV 100, EEV 100 och DEV 100 icke komma i fråga.

Av likströmstyperna kunna till en början spårledningar av typen DL uteslutas,

enär villkor äro förenade med deras anordnande, vilka endast i undantagsfall kunna uppfyllas.

Kodspårledningarna få anses som en framtida möjlighet att lösa problemet. Härom gäller vad som i föregående avsnitt sagts om dessa spårledningars användbarhet i signalsäkerhetsanläggningar.

Det återstår därefter att diskutera de mittmatade likströmsspårledningarna med permopolariserade reläer, av vilka den enkeliserade, typ EPL, skulle användas på elektrifierad och den dubbeliserade, typ DPL, på icke elektrifierad bana. För båda gäller, att de tekniskt sett få anses fullt godtagbara. En nackdel är emellertid, att de för sin funktion kräva en som jordkabel eller luftledning anordnad dubbelledare mellan de polariserade reläernas slutkontakter, dvs. utefter de båda igångsättnings-spårledningarnas hela sammanlagda längd. Denna dubbelledare medför en kostnadsökning, enär den i motsats till motsvarande ledare i de mittmatade spårledningarna för linjeblockeringsanläggningar inte samtidigt användes för annat ändamål. Denna omständighet gör att det nu finge anses förhastat att reservationslöst bestämma sig för att i framtiden använda dessa båda spårledningstyper. Redan ett framgångsrikt resultat av det förestående fortsatta arbetet med kodspårledningarna skulle rycka undan grunden för ett dylikt beslut. Därtill kommer, att det också finns andra nära till hands liggande möjligheter att styra de automatiska vägskyddsanläggningarna, t. ex. i spåret anordnade riktningsskännande rälskontakter eller mycket korta och för fel eller störningar därför praktiskt taget okänsliga spårledningarna. Av kommittén genomförda försök att pröva andra utvägar, redovisade i bil. 5 F, ha endast delvis lett till framgång. Proven kunna nämligen anses ha givit goda resultat, om spårledningarna förutsättas vara hela. Antages däremot en störningskombination av rälsbrott och jordmagnetisk ström, kunna de antydda resultaten icke anses tillfredsställande.

Ser man på det aktuella läget, år 1956, finner man, att frågan har ytterligare en komplikation. Vid de svenska statsbanorna finnas nämligen ett stort antal automatiska vägskyddsanläggningar, ca 1 400, vilka tillkommit under loppet av en 30-års period och vilka uppvisa ett avsevärt antal varianter i utförandet. Önskvärt är att dessa anläggningar ombyggas, så att de bli okänsliga för den nyssnämnda störningskombinationen och att ombyggnaden genomföres före nästa väntade period med svårare jordmagnetiska störningar, dvs. före år 1957. Detta är emellertid otänkbart. Det kan nämligen konstateras, att alternativet med kodade spårledningarna icke kan komma i fråga redan av det skälet att denna spårledningstyp ännu icke är utprovad för praktisk drift. Ej heller alternativet med mittmatade spårledningarna med permopolariserade reläer kan föreslås, enär en ombyggnad enligt detta alternativ skulle kräva arbetsinsatser, vilka f. n. icke torde kunna åstadkommas. Andra, i det föregående antydda, utvägar erbjuda ej heller någon lösning på kort sikt.

I den sålunda aktuella situationen återstår intet annat än att tillgripa ett provisorium, innebärande att spårledningarna för de automatiska vägskyddsanlägg-

ningarna utföras på sätt som skett på senare år, dvs. som ändmatade likströmsspårledningarna av den i varje särskilt fall erforderliga längden, enkelisolerade på elektrifierad och dubbelisolerade på icke elektrifierad bana. Det förutsättes därvid, att de utrustas med neutrala likströmsspårreläer och utföras för en minsta fallspänning av 1,1 V, en spänning som i varje särskilt fall bör höjas till största möjliga av batterispänning och avledningsförhållanden bestämda värde. Vidare böra anläggningarna förses med vägkorsningssignaler för kontroll av spårledningarnas funktion samt med sådan automatik, att en mot de vägfärdande visad stoppsignal ej kan övergå till klarsignal, förrän antingen annalkande tåg kommit fram till och passerat vägkorsningen eller viss tid förflutit från det ögonblick, då stoppsignal eventuellt orsakats på annat sätt än av annalkande tåg.

Vad här sagts om ombyggnadsarbetet har principiell giltighet även för nyanläggningar. Om utvecklingsarbetet på detta område inriktas på användningen av kodspårledningar, kommer det ovan angivna provisoriet att vara ett led i en systematiskt genomförbar utbyggnad. De i så fall sedermera tillkommande ändringarna inskränka sig nämligen till vissa utbyten och kompletteringar, medan anläggningarna i stort bli oförändrade.

6. Störningsskydd

Avgörande vid val av de i det föregående kapitlet definierade och till sina användningsområden föreslagna spårledningarna är, såsom framgår av diskussionerna i kap. 4, risken för säkerhetsfel på grund av jordmagnetiska störningar. Väljas de rätta spårledningstyperna bör denna risk vara undanröjd så långt rimligen kan beväras.

I övrigt erfordras skydd i växlande omfattning i såväl matnings- som spårreläutrustningarna. För spårledningar på elektrifierad bana erfordras i första hand skydd mot de normala och onormala störningsspänningar, som uppkomma till följd av den elektriska tågdriften. Oavsett om spårledningarna äro belägna på elektrifierad eller icke elektrifierad bana, kunna skydd mot överströmmar till följd av materielfel också bli behövliga. Även behovet av skydd mot materielförstöring genom åsknedslag anmäler sig.

Vad beträffar särskilt frågan om överströms- och åskskydd bör hållas i minnet, att dylika skydd i sig själva utgöra felkällor, som kunna verka störande på driften. De böra därför införas med urskilning, i första hand, när de erfordras för att förebygga säkerhetsfel och därutöver endast för att skydda dyrbar eller svårersätlig apparatur mot förstöring. Skador på mindre dyrbar och lätt ersatt materiel till följd av överström och åsknedslag, vilka skadeorsaker mera sällan göra sig gällande i järnvägens anläggningar, böra alltså riskeras. I de fall att åskskydd anordnas är det av vikt, att de anslutas till god jord. Som sådan är att betrakta den genomgående rälsträngen på elektrifierad bana.

a) Skydd i matningsutrustningarna

Spårledningstyperna ETV₁₀₀ och EEV₁₀₀ skola enligt kap. 5 användas företrädesvis i säkerhetsanläggningar på bangårdar, på vilka det ställer sig ekonomiskt fördelaktigt att anordna central matning för samtliga eller huvudparten av i anläggningen ingående spårledningar. Enligt vunnen erfarenhet är det tillräckligt att förse den för generering av ström med frekvensen 100 p/s behövliga motorgeneratorn eller frekvenstransformatorn med överströmsskydd — i enklaste form smältsäkringar — vilka böra insättas på såväl spårlednings- som nätsidan. Andra skydd synas normalt ej erforderliga, inte ens i fråga om motorgeneratorer eller frekvenstransformatorer för spårledningar på elektrifierad bana, enär dessa utrustningar bli så rikligt dimensionerade i både termiskt och elektriskt avseende, att de tåla förekommande störningsspänningar från spårledningarna. I undantagsfall — vid små anläggningar — kan det bli nödvändigt att skydda matningsutrustningarna genom att anbringa en för spårledningsfrekvensen avstämd serieresonanskrets vid spårledningens inmatningsända.

Likströmsspårledningar matas alltid individuellt, normalt från ackumulatorer, anslutna över likriktaraggregat till växelströmsnät. Normala säkringar erfordras i dessa fall mellan likriktartransformatorn och nätanslutningen för att skydda denna apparatur mot eventuella kortslutningar över ackumulatorn. Samma apparatur skyddas effektivt mot störningsspänningar från spårledningen av ackumulatorn, varav indirekt följer, att huvudparten av dessa spänningar måste upptagas av matningsutrustningens förkopplingsresistans. Den sistnämnda bör med hänsyn härtill dimensioneras rikligt i termiskt avseende på icke elektrifierad bana och på växelströmselektrifierad bana dessutom vid behov förstärkas med en induktans med luftgapsförsedd järnkärna, lämpligen av storleksordningen 1 H. Åskskydd anbringas, där sådana erfarenhetsmässigt visa sig behövliga.

b) Skydd i spårreläutrustningarna

För spårledningstyp ETV₁₀₀ erfordras inga speciella skydd i spårreläutrustningen under förutsättning att spårreläet dimensioneras tillräckligt rikligt i termiskt och elektriskt avseende. På elektrifierad bana bör reläet kontinuerligt kunna tåla 75 V växelspanning vid 16 2/3 p/s per km spårledning. Detta värde bör kunna standardiseras till 100 V, 16 2/3 p/s. Eftersom spårledningar av denna typ sällan bli längre än 1 km, vinnes härigenom en viss säkerhetsmarginal med hänsyn till de termiska påkänningarna i apparaturen. Provspanningen vid isolationsprov bör självfallet väljas åtskilligt högre. Med hänsyn till de spänningar som kunna uppträda över spårreläutrustningen, då rälbrott inträffar i den sammanhängande rälsträngen och avledningen samtidigt är liten, bör den icke understiga 1 500 V vid 16 2/3 p/s under en provtid av 1 minut. Samma krav på isolationshållfastheten böra ställas även på utrustningar som skola användas på icke elektrifierad bana, varigenom antalet utrustningstyper kan hållas lågt. På detta sätt garderar man sig även mot de isolations-

påkänningar som vid rälbrott i den sammanhängande rälsträngen och låg avledning uppkomma på grund av jordmagnetiska strömmar, på icke elektrifierad bana, maximalt 400 V.

För spårledningstyp EEV100 är filtret i spårreläutrustningen med i denna ingående smältsäkring att anse som tillräckligt skydd mot förekommande störningsspänningar under förutsättning att det dimensioneras tillräckligt rikligt i termiskt och elektriskt avseende. I fråga om dess elektriska hållfasthet gäller vad därom sagts beträffande spårreläet i spårledningstyp ETV100.

Åskskydd anbringas i de fall så anses erforderligt med hänsyn till lokalt vunna erfarenheter.

I spårreläutrustningar för likströmsspårledningar på icke elektrifierad bana erfordras i allmänhet inga skydd utom möjligen åskskydd, om sådana erfarenhetsmässigt skulle bedömas erforderliga.

För likströmsspårledningar på elektrifierad bana bli skyddsanordningarna i spårreläutrustningen mera komplicerade. I dessa fall kan man enligt hittills tillämpad praxis koppla en skyddsinduktans i serie med spårreläet, över vilket även anslutes en parallellresistans. Det nödvändiga skyddet mot de normalt uppträdande störningsspänningarna från den elektriska tågdriften erhålles därvid, om induktansen dimensioneras så, att den genom densamma framgående växelströmmen av frekvensen $16 \frac{2}{3}$ p/s ej blir större, än att dess växelspanningsfall i parallellresistansen blir mindre än spårreläets fallspänning vid $16 \frac{2}{3}$ p/s. Dimensioneringen av skyddsinduktansen och parallellresistansen blir beroende av spårreläets data och kan därför icke fastställas utan kännedom om dessa. Ett så ordnat skydd hjälper däremot icke mot de vid rälbrott uppträdande onormala spänningarna. Mot dessa får man skydda sig medelst smältsäkringar i serie med spårreläutrustningarna. Även åskskydd böra anordnas, om sådana erfarenhetsmässigt skulle visa sig behövliga.