

BANSTRÖMMENS ÅTERLEDNING GENOM SKENORNA OCH JORDEN.

Vid likströmsbanor användas vanligen skenorna för strömmens återledning. *Inledning.* Emellertid visade det sig redan vid de första elektriska spårvägarne, att en del af återledningsströmmen banade sig väg genom jorden i närheten af spåret, hvarvid den ofta kom att gå igenom närbelägna rörledningar för gas och vatten. Dessa rör blefvo då stundom till följd af elektrolys sönderfrätta särskildt i skarfvorne, hvarvid det t. o. m. någon gång gick så långt, att gasexplosioner uppkommo till följd af ljusbågar, som bildades vid en sönderfrätt skarv. Så länge enkeltrådiga telefonledningar i större utsträckning förekommo, hade också dessa »vagabonderande strömmar» i jorden ett mycket störande inflytande på telefoneringen.

På grund häraf hafva myndigheterna i vissa städer gått till en sådan ytterlighet, att de föreskrifvit, att till strömåterledningen för de elektriska spårvägarne en andra kontakttråd skall användas i stället för skenorna. En sådan anordning medför emellertid betydliga komplikationer och svårigheter samt afsevärdt ökade kostnader.

Erfarenheten har emellertid som bekant visat, att det ej alls är nödvändigt att använda två kontakttrådar för förebyggande af sådana skadliga inverknings genom elektrolys, enär de vagabonderande strömmarne kunna hållas inom tillåtliga gränser genom användande af goda skenförbindningar samt lämpligt anordnade matareledningar till skenledningen, så att spänningsskillnaden mellan olika punkter af skenledningen ej öfverstiger vissa låga värden, i hvilket afseende vanligen tillåtas 2—7 volt.

För enfasbanor skulle två kontaktledningar endast kunna användas i de fall, då man kan nöja sig med en kontaktledningsspänning af 3,000 eller allra högst 5,000 volt, något som för våra förhållanden är ekonomiskt omöjligt. Vid växelström spelar emellertid elektrolys af naturliga skäl och såsom af det följande närmare framgår ej alls samma roll som vid likriktad ström. Då härtill kommer, att sådana föremål, som skulle kunna skadas genom elektrolys, vid järnvägar ej förekomma i närmelsevis sådan utsträckning som vid spårvägar, är det tydligt, att frågan om elektrolys kan lämnas ur räkningen vid bestämmande af det spänningsfall, som kan tillåtas i skenledningen. Detta spänningsfall har däremot ett ogynnsamt infly-

tande på utmed banan löpande telefon- och telegrafledningar, hvarom mera i nästa kapitel. Det ser emellertid ut, som om detta spänningsfall skulle kunna få uppgå till några hundratals volt, hvilket, om en spänning af 15,000 volt användes, ej blir procentuellt betydande, och skulle spänningsfallets storlek begränsas af öfverslagsspänningen för åskledarne å telefon- och telegrafapparaterna.

Skenförbindningar.

De vid likströmsbanor använda skenförbindningarne utgöras i de flesta fall af band eller trådar af koppar, som i ändarne äro försedda med en cylinder eller kon, hvilken pressas in i motsvarande hål i skenlifvet. Såsom af det följande framgår, spela skenförbindningarne ej på långt när samma roll vid växelström som vid likström, bland annat därför, att skenornas motstånd för växelström är så mycket större än för likström, att skarfmotståndet blifver af vida mindre procentuell betydelse.

Vid försöksanläggningen hafva skenförbindningar endast användts undantagsvis i och för jämförande mätningars verkställande.

För att närmare undersöka hithörande förhållanden användes ett vid Tomtebodas utlagdt försöksspår på isolerande underlag. Vid mätningarne fick den ena skenan tjänstgöra som till- och den andra som återledning, och visa således nedanstående värden motståndet i de båda seriekopplade skensträngarne.

Period-tal	Volt	Amp.	Impedans	Anmärkning
25,7	10,1	89,4	0,113	
25,7	8,1	90,6	0,089	Skarfjärnen hårdare åtdragna
25,7	7,1	89,6	0,079	Skarfjärnen ännu hårdare åtdragna
25,7	4,32	88,6	0,049	Skarfjärnen åtdragna så mycket som möjligt
25,7	2,98	88,0	0,024	Skarfjärnen försedda med skenförbindningar

De skenförbindningar, som insattes parallellt med skarvfjärnen å de båda skensträngarne, utgjordes liksom tvärförbindningen mellan skenändarne af 6 mm koppartrådar, som i ändarne voro försedda med kopparpluggar, hvilka pressats in i för ändamålet borrade hål i skenlifvet.

Ovannstående tabell visar, att impedansen kan minskas högst betydligt, endast genom att skarvfjärnens skrufvar åtdragas. I jämförelse härmed visade sig den minskning, som erhöles genom att sedan insätta skenförbindningar, relativt ringa. Härvid är också att märka, att skenorna till detta försöksspår tagits direkt från upplag, och voro ytorna därför rostiga. Utförda mätningar, af hvilka en del i det följande anföras, tyda emellertid därpå, att skarfvärne i ett trafikeradt spår hafva betydligt mycket mindre motstånd än ofvan omtalade försöksspår, beroende delvis därpå, att, då spåret trafikerats af vagnar, skarvfjärnen och skenorna komma att nöta mot

hvarandra och på så sätt hålla ytorna rena. Härigenom kommer den goda inverkan af skenförbindningarne att blifva jämförelsevis ännu mindre betydande än af tabellen framgår.

Utom de nu omtalade skenförbindningarne hafva äfven profvats dels andra kopparförbindningar med upp till 60 kvmm area samt dels den skenförbindningsanordning, som af firman Brown, Boveri & C:ie användes exempelvis vid Burgdorf—Thunbanan. Vid denna senare anordning förekomma inga kopparförbindningar, utan nyttjas själfva skarvfjärnen för strömledningen, hvarvid öfvergångsmotståndet mellan dessa och skenorna nedbringas genom rengöring af kontaktytorna på mekanisk väg samt deras bestyrkande med en metallpasta. Skarfvar, utförda på detta sätt, hafva visat sig i afseende på ledningsförmåga motsvara sådana med skenförbindningar af koppar med 60 kvmm area.

Då denna metallpasta undersökts i tjockare skikt med afseende på elektrisk ledningsförmåga, erhöles det egendomliga resultatet, att dess motstånd var mycket stort och varierade från 3,000 till 20,000 ohm pr kbcm. Pastan har kemiskt analyserats och då befunnits bestå af 85,4 % zinkstoff, 2,6 % bly och 12,0 % råvaselin. Denna pastas verkan beror således hufvudsakligen därpå, att den skyddar skarfytorna och håller dem rena.

En af skenförbindningarnes uppgifter vid likströmbanor är också att förhindra frätning genom elektrolys vid strömmens öfvergång mellan skenor och skarvfjärn, hvarigenom öfvergångsmotståndet naturligen med tiden skulle ökas högst betydligt. Denna fara är emellertid obetydlig vid växelström, då, som redan förut påpekats, därvid ej elektrolys förekommer i på långt när samma grad som vid likström, och någon ökning af skenskarfvarnes motstånd har under försökstiden ej heller kunnat iakttagas. Man skulle vara frestad att tro, att elektrolys ej alls skulle förekomma vid växelström, men erfarenheten har dock visat, att sådan kan förekomma. Så har man t. ex. funnit, att vid motstånd bestående af i vattenbad nedsänkta metallspiraler, som förr användes mångenstädes särskildt för igångsättning och hastighetsreglering af stora trefasmotorer, spiralerna efter några månader blefvo så anfrätta, att de gingo af. Om emellertid ofvannämnda motstånd användas för likström under liknande förhållanden, så minskas spiralernas hållbarhet så hastigt, att de vanligen redan efter en dags förlopp äro obrukbara. *Elektrolys.*

Ingående undersökningar rörande elektrolys vid växelström hafva utförts i Amerika och hafva offentliggjorts i Proceedings of American Institute of Electrical Engineers i Februarinumret för år 1907 af J. L. R. Hayden. Han meddelar där, dels hvad man förut ansett sig kunna antaga, nämligen att elektrolys i samma mening som vid likström ej alls förekommer vid växelström, och dels att den förstörande inverkan af en växelström af viss styrka så godt som aldrig uppgår till en procent af den inverkan, som utöfvas af en lika stark likriktad ström. Han har äfven, såsom var att förutse, funnit, att den förstörande inverkan af växelströmmen ökas, då periodtalet minskas. Af dessa försök och en del erfarenheter från existerande

växelströmbanor synes framgå, att några svårigheter ej äro att befara till följd af elektrolytisk inverkan.

Mätningar. För uppmätning af motståndet i banledningen har i allmänhet kraftstationen inkopplats mellan kontaktledningen och skenledningen i Tomteboda vid mätning af motstånden till Värtan och Järfva, och har därvid kontaktledningen elektriskt förbundits med skenorna vid ändpunkten vid Värtan eller Järfva. Vid vissa tillfällen har dock kraftstationen inkopplats mellan kontaktledningarna till Järfva och Värtan i Tomteboda, hvilka ledningar därvid metalliskt förbundits med skenorna både i Värtan och Järfva. I detta senare fall ha således erhållits värden på hela motståndet mellan Värtan och Järfva. För att erhålla jämförande värden för kortare sträckor och af andra praktiska skäl har förbindningen mellan kontakt- och skenledningen i en del fall ej satts vid ledningarnes ändpunkter, utan närmare kraftstationen. För dessa mätningar har, då ej annat särskildt omnämnes, användts växelström med 25 perioders frekvens.

Vid de mätningar, som sålunda företagits, har dels observerats, att vid hvarje mätningstillfälle alltid motståndet varit störst vid de första mätningarna, men sedan aftagit, då strömmen fått passera några minuter. Detta har särskildt varit fallet, då ledningen under några dagar före mätningen varit strömlös. Den minskning, som därvid observerats, intill dess att fortfarighetstillstånd inträdt, har undantagsvis uppgått till bortåt 10 procent af totala motståndet. Utom denna sänkning af motståndet, som visat sig vid början af mätningarna, hafva äfven smärre variationer observerats under mätningarnes gång.

*Väderlekens
inflytande.*

Några af de värden, som vid dessa mätningar erhållits, hafva sammanställts här nedan i tabellform. I denna tabell är upptaget, förutom motståndet, dels beteckning och längd af den sträcka, på hvilken sammanlagda motståndet af kontakt- och skenledningen uppmätts, dels den strömstyrka, med hvilken mätningen företagits, och dels en anteckning angående väderleken. De i tabellen angifna värdena grunda sig på afläsningar, tagna efter det att det ofvan nämnda fortfarighetstillståndet inträdt.

Sträckan	Längd i km	Ampère	Impedans pr km	Anmärkingar
Tomteboda—Värtan	2,25	50	0,82	Mycket torrt
»	2,1	50	0,70	Torrt
»	2,25	50	0,69	Marken fuktig under ytan
»	2,25	50	0,67	» » » »
Tomteboda—Värtan	3,21	50	0,79	Mycket torrt
»	3,12	50	0,70	Torrt, fuktigt under ytan
»	3,12	50	0,69	Fuktigt under ytan

Sträckan	Längd i km	Ampère	Impedans pr km	Anmärkingar
Tomteboda—Värtan	5,00	50	0,70	Mycket torrt
»	5,00	50	0,68	Torrt, under ytan fuktigt
»	5,00	50	0,65	Våt mark, snö
»	5,00	50	0,61	Vått, delvis fruset
Tomteboda—Järfva	2,82	50	0,57	Stark torka
»	2,82	50	0,51	» »
»	2,82	50	0,49	Snö, frusen mark
»	2,82	50	0,46	Snöslask
Värtan—Järfva	9,10	100	0,55	Våt mark
»	9,10	100	0,52	» »
»	10,73	100	0,55	Våt mark, snö

Vid dessa mätningar har impedansen bestämts genom att uppmäta strömstyrka och spänning i kraftstationen. Vid mätningar mellan Tomteboda och Värtan eller Järfva har därvid äfven impedansen på liknande sätt bestämts mellan kraftstationen och den punkt vid gränsen af Tomteboda bangård, hvarest den enkelspåriga skenledningen börjar. Från den uträknade impedansen hos ledningen mellan kraftstationen och Värtan eller Järfva har sedan fråndragits impedansen mellan kraftstationen och den enkelspåriga linjens början, hvarefter det så erhållna värdet dividerats med den återstående ledningens längd. Detta är naturligen ej fullt korrekt, på grund dels af att Tomteboda bangård är mycket väl jordförbunden, och dels emedan de uppmätta impedansvärdena ej ligga fullt i fas, hvarför värdena från dessa mätningar äro något osäkra. Vid mätningarne å hela sträckan Värtan—Järfva är denna osäkerhet dock eliminerad. Af tabellen framgår tydligt, att väderleken har stort inflytande, så att impedansen är vida mindre, då jorden är fuktig, än om den är torr.

Vid dessa mätningar visade det sig emellertid också, att ledningens totala impedans minskades, då strömstyrkan ökades. Detta framgår närmare af bild 51, som återgifver kurvor öfver banledningarnes totala impedans, räknad från kraftstationen vid olika årstider och väderlek samt för olika strömstyrkor. *Inverkan af strömstyrkan.*

Kurvorna A—D gälla för ledningen till Järfva och kurvorna E—K för ledningen till Värtan. Förbindelsen mellan kontakt- och skenledningen har i dessa fall af praktiska skäl ej varit placerad vid kontaktledningens ändpunkt, utan i förra fallet 0,8 km. och i senare 0,83 km. från denna. Kurvorna L och M äro upptagna för en 9,1 km. lång sträcka mellan Värtan och Järfva och kurvan N för hela den 10,73 km. långa linjen mellan ledningens ändpunkter å dessa stationer.

I omstående tabell är angifvet dels mätningens datum och dels en anteckning om väderleken.

Tabell till bild 51.

Kurva	Ledning	Mättningsdatum	Anmärkingar
A	Tomteboda—Järfva	5/3 1906	Frusen mark, snö
B	»	19/12 1906	Mycket fuktig, delvis frusen mark
C	»	13/6 1906	Mycket torr mark
D	»	12/9 1907	Efter en veckas torra
E	Tomteboda—Värtan	21/2 1906	Våt, delvis frusen mark
G	»	14/11 1905	Frusen mark, något snö
H	»	10/4 1906	Marken torr, under ytan våt
K	»	12/9 1907	Efter en veckas torra
L	Värtan—Järfva	23/1 1908	Våt mark
M	»	23/1 1908	» »
N	»	18/2 1908	Våt mark, snö

Kurvorna L och M å bilden återgifva mättningsresultat å samma ledning med endast några timmars tidsmellanrum. Kurvan L, som togs sist vid detta tillfälle, visar betydligt lägre värden än kurvan M, hvilken var den första, som togs vid ifrågavarande mätningstillfälle.

Af det föregående framgår, att impedansen pr km är 70 à 80 procent mindre för ledningen Tomteboda—Järfva än för ledningen Tomteboda—Värtan, hvilket torde bero på, att den senare sträckan dels är försedd med klenare räls och sämre skarvfjörn och dels har betydligt mindre trafik. Värdena på impedansen för hela sträckan Värtan—Järfva synes emellertid ligga närmare de lägre af dessa värden.

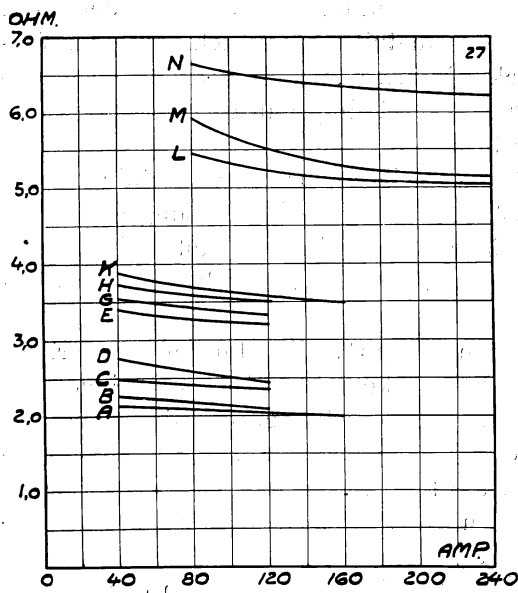


Bild 51. Kurvor öfver ledningens totala impedans.

Att draga några bestämda slutsatser af dessa värden torde emellertid ej låta sig göra, då resultatet i dessa fall mycket influeras af den goda jordförbindning, som erhålles för skenledningen af det stora antal växelspår, som finnes på flere af stationerna å dessa sträckor. Genom tillmötesgående från Kungl. Telegrafstyrelsen, som ställt till förfogande en efter banan upplagd 15 km. lång, tvåtrådig telefonledning från Tomteboda förbi Järfva till Rotebro, utförd af 4,5 mm. koppartråd, har det blifvit möjligt att erhålla värden från en något längre sträcka, hvarest ej bangårds-spår haft något vidare inflytande. Det visade sig emellertid, att de

värden pr km, som på så sätt erhöles, i det närmaste öfverensstämde med mätningarne från sträckan Värtan—Järfva.

För att direkt utröna, huru stor del af strömmen, som under olika förhållanden går genom jorden, har vid några tillfällen skenledningen afbrutits genom borttagande af skarvfjärnen. Spårets båda rälsändar på hvardera sidan om skarven hafva sedan försetts med tvärförbindningar af koppar, och mellan dessa har en ampèremeter inkopplats. Bild 52 visar, hur stor procent af den i kraftstationen uppmätta strömstyrkan, som i olika fall observerats på en på detta sätt i skenledningen inkopplad ampèremeter. Kurvorna A och B visa sålunda den del af hela strömmen, uttryckt i procent, som uppmättes i skenledningen vid Järfva och vid den midt emellan Järfva och Rotebro belägna stationen Tureberg vid de mätningar, som utfördes med tillhjälp af Telegrafverkets ledning till Rotebro. Dessa mätningar företogs den $\frac{8}{2}$ 1907, då marken var frusen och täckt med torr snö. Kurvorna C och D visa den procent af strömmen, som passerade skenledningen i Hagalund under mätning mellan Tomtebodas och Järfvas den $\frac{12}{9}$ 1907. Marken var därvid synnerligen torr. Då kurvan D togs, hade skarvfjärnen borttagits vid Järfva bortom det ställe, där förbindelsen mellan kontakt- och skenledning gjorts, så att i detta fall all ström tvangs att gå genom skenorna tillbaka mot kraftstationen. Den strömprocent, som genomgick skenledningen vid Albano, då mätning samma dag företogs å ledningen Tomtebodas—Värtan, synes af kurvorna F och G, och är kurvan G (analogt med D) upptagen, sedan skenledningen afbrutits vid Värtan bortom hopkopplingen mellan kontakt- och skenledningen. Kurvan E är upptagen den $\frac{14}{11}$ 1905 under samma förhållanden som F, och var marken vid detta tillfälle frusen och täckt med torr snö. Kurvorna H—N togos den $\frac{23}{1}$ 1908 vid mätning å ledningen Värtan—Järfva, och var marken då mycket fuktig. Kurvorna H och N angifva den strömprocent, som passerade i skenledningen vid det ställe, hvarest enkelspåret till Järfva utgår från Tomtebodas bangård, och kurvorna K och M den strömprocent, som utgick från Tomtebodas bangård i enkelspåret till Värtan. Då kurvorna M och N togos, var skenledningen afbruten vid Värtan och Järfva bortom förbindelsepunkterna mellan kontakt- och skenledningen.

Jordström-
mar.

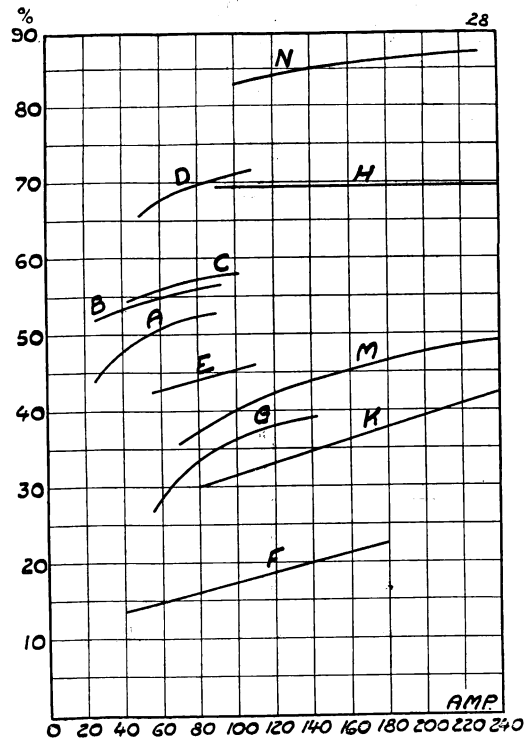


Bild 52. Kurvor, visande den del af strömmen, som går genom skenorna.

Särskild jordförbindning af skenledningen medelst jordplåtar. Af dessa kurvor framgår, att storleken af den del af hela strömmen, som passerar genom skenledningen, varierar betydligt både med väderleken och mätningströmstyrkans storlek. Försök ha gjorts att medelst jordplåtar, nedgrädda efter banan till Värtan, minska öfvergångsmotståndet och därigenom få en större del af strömmen att gå genom jorden, men hafva jordplåtarna i detta fall ej visat sig hafva något som helst inflytande, i det att märkbar ström ej kunnat observeras i förbindelsen mellan en jordplåt och skenledningen. Jordplåtarna hade en area af 4 kvm, och var en af dem utlagd i närheten af Tomteboda kraftstation, en vid Värtan och en mellan dessa båda. Mellan plåtarna vid Tomteboda och Värtan uppmättes impedansen med 30 amp. växelström till 14 ohm.

Öfvergångsmotståndet mellan skenor och jord. Vid vanliga spårvägar med skenorna nedbäddade i marken uppgår öfvergångsmotståndet mellan skenor och jord enligt uppgift af Lichtenstein (se E. T. Z. 1907, sid. 648) till normalt 0,2 ohm pr km skensträng, d. v. s. till 0,1 pr km spår. Då skenorna läggas, som vid järnvägar vanligen är fallet, på träsyllar ofvan jordytan, blir naturligen detta motstånd mycket större. Vid de approximativa beräkningar, som gjorts på grund af försöksresultaten, hafva erhållits mycket varierande värden, af hvilka de flesta legat mellan 2 och 6 ohm pr km spår.

Fasskillnad mellan jord- och skenströmmar.

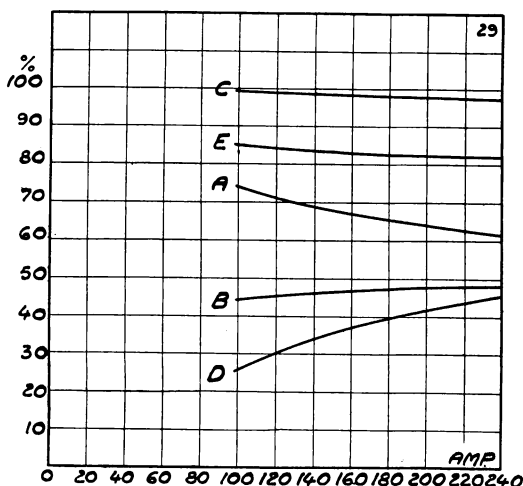


Bild 53. Kurvor, visande strömfördelningen i återledningen vid Värtan.

och skenströmmar. Därvid gjordes genom skarvfjärens borttagande afbrott i skenledningen en gång vid Värtan och en annan gång vid Järfva, och mellan skenäändarna inkopplades på sätt, som ofvan angifvits, två ampèremetrar i serie. Emellan dessa mätare inkopplades kontaktledningen, så att den ena ampèremetern kom att visa den i skenorna till kraftstationen direkt återgående strömstyrkan, under det den andra angaf den ström, som gick bakåt in på stationsområdet vid Värtan resp. Järfva och sedan åter genom jorden.

På vidstående bild 53 visar kurvan A storleken af den ström, som i Värtan gick inåt stationen och B den strömstyrka, som genom skenorna gick mot Tomteboda, båda uttryckta i procent af totala mätningströmstyrkan. Kurvorna C, D och E angifva $\cos \varphi$, då φ är fasvinkeln mellan spänningen i kraftstationen och strömmen, nämligen dels de strömmar, som angifvas af kurvorna A och B, och dels totala strömstyrkan. Bild 54 återgifver på samma sätt de kurvor, som erhöles vid mätningar till Järfva.

Af kurvorna å bilderna 53 och 54 framgår, att, under det att den ström, som går in på Värtans station och åter genom jorden, utgör den största af strömgrenarne i Värtan och har $\cos \varphi$ nära lika med 1, så äger vid Järfva ett motsatt förhållande rum, i det att där den ström, som går in på stationen, utgör den minsta delen och har $\cos \varphi$ omkring 0,55. Denna olikhet förklaras emellertid af den omständigheten, att Värtans station med sina många spår utgör en mycket god jordförbindning, under det att Järfva station, som äger ett relativt mycket litet spår-system, har ett förhållandevis stort öfvergångsmotstånd till jord. Den ström, som går in på Järfva station, tvingas därför att passera en lång väg genom skenorna, innan den erhållit tillräcklig öfvergångsyta till jord.

Af dessa försök framgår emellertid, att en betydlig fasskillnad kan förefinnas mellan strömmarne i jord- och skenledning.

Trots det, att en stor del af återledningsströmmen tager vägen genom jorden, var det tydligt på grund af det tämligen stora öfvergångsmotståndet mellan skenor och jord, att under vissa förhållanden rätt höga spänningar skulle kunna uppkomma mellan rälsändarne, då skarvfjärnen af någon anledning blifvit borttagna. För att närmare undersöka detta hafva särskilda försök blifvit utförda, hvilkas resultat visas af kurvorna å vidstående bild 55. Dessa kurvor angifva, huru de spänningar, som uppmäts mellan skenändarne, då skarvfjärnen borttagits, på olika ställen varierat för olika mätningsströmstyrkor. Kurvan A erhöles vid Albano den $14/11$ 1905 vid mätning mellan Tomteboda och Värtan. Marken var då täckt med våt snö. Kur-

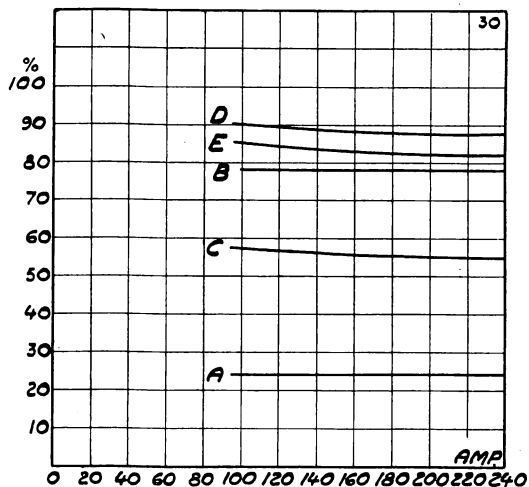


Bild 54. Kurvor, visande strömfördelningen i återledningen vid Järfva.

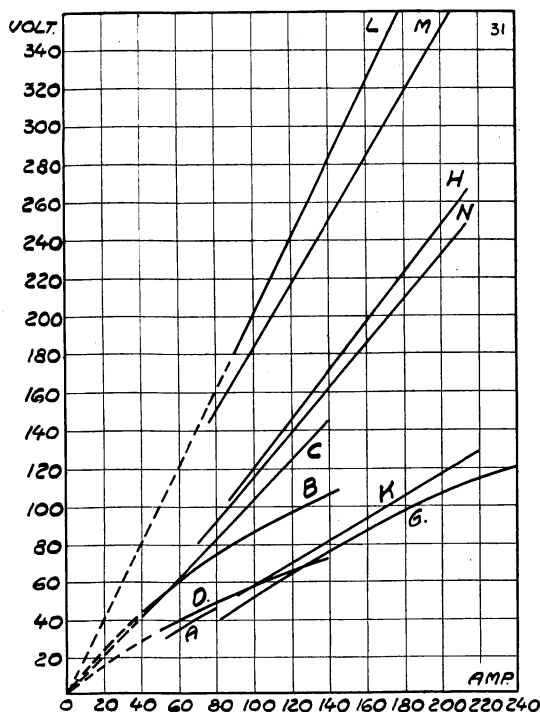


Bild 55. Kurvor, visande spänningsdifferensen mellan skenändar, då skarvfjärnen uttagits.

Spännings-
differenser

van B erhöjls vid mätning å samma sträcka vid Värtan den $12/9$ 1907, då marken var torr. Samma dag gjordes också mätningar å ledningen Tomteboda—Järfva, och uppmättes därvid spänningsdifferenserna vid skenafbrott i Hagalund och Järfva, hvilka mätningars resultat återgifvas af kurvorna C och D. Öfriga kurvor å bild 55 upptogos vid mätning å ledningen Värtan—Järfva den $23/1$ 1908, vid hvilket tillfälle marken var våt utan snö. Kurvorna G och K angifva de värden å spänningen mellan rälsändarne, som uppmättes, där enkelspåret till Värtan utgår från Tomteboda bangård, H och L de, som uppmättes, där enkelspåret till Järfva utgår från Tomteboda bangård. Då kurvorna K och L togos, voro skensträngarne afbrutna vid Värtan och Järfva bortom hopkopplingarne mellan kontakt- och skenledningen. Vid uppmätningen af kurvorna M och N var skensträngen afbruten såväl i Järfva som i Värtan, och var hopkopplingen mellan kontakt- och skenledningen i motsats mot hvad fallet var, då kurvorna B och D togos, vid båda dessa ställen gjord bortom afbrottsställena i skenledningen. Kurvan M anger de uppmätta spänningarne mellan rälsändarne vid Järfva och N motsvarande spänningar, som uppmättes vid Värtan.

Af dessa kurvor, som synas variera mycket beroende på väderleken, framgår, att så pass betydliga spänningsdifferenser kunna uppkomma mellan skenändar, då skarfjärnen på båda skensträngarne borttagits, att till förekommande af olycksfall det vid kommande anläggningar torde blifva nödvändigt att upplägga en med skenorna på lämpliga afstånd förbunden jordtråd på ledningsstolparne. Denna tråd skulle naturligtvis också kunna tjänstgöra som åskskydd och jordförbindning för isolatorpinnar och torde därför lämpligen uppläggas öfver öfriga ledningar, på sätt som bild 49 visar.

Vid flere tillfällen hafva försök gjorts att uppmäta spänningsdifferenser mellan skenledningen samt i jorden nedlagda jordplåtar eller nedstuckna rör m. m., men har därvid i allmänhet aldrig mer än cirka 25 volts spänningsskillnad kunnat konstateras. I berättelsen om kraftstationen är emellertid redan omtaladt ett fall, då vid profning af kraftstationen en rätt betydlig spänningsdifferens erhöjls i marken, hvilken, ehuru icke lifsfarlig, likväl var ganska obehaglig. Det låter också tänka sig, att afsevärdt höga spänningsdifferenser skulle kunna erhållas mellan skenledningen och en parallellt därmed framgående vattenledning, om marken t. ex. utgöres af sand, och böra därför sådana ledningar och andra ledande föremål, som kunna tänkas erhålla spänningsskillnad mot skenledningen, metalliskt förbindas med denna.

Med hänsyn till faran för människor och husdjur genom spänningsskillnaden i skenledningen torde man enligt erfarenheten från försöken utan ringaste risk kunna tillåta ett värde af 50 volt pr km, och synes intet skäl förefinnas, hvarför icke ur denna synpunkt vida större spänningssfall skulle kunna tillåtas. Med 50 volt pr km erhåller man emellertid redan för en banlängd af 20 km 1,000 volts spänningssfall i skenledningen, hvilken spänning då under ogynnsamma förhållanden kan komma att uppträda mellan skenorna samt telefon- och telegrafledningar och därvid vålla öfverslag i dessa ledningars åskledare, om ej särskilda åtgärder vidtagas. Sådana öf-

verslag skulle naturligen göra både telefon och telegraf otjänstbara. Till förebyggande häraf torde det blifva nödvändigt att vid större anläggningar vidtaga särskilda åtgärder för att begränsa de spänningsdifferenser, som kunna uppträda mellan olika punkter af skenledningen.

Sådana metoder för nedbringande af spänningsfallet i skenledningen hafva därför undersökts såväl teoretiskt som praktiskt. Ett af villkoren för att erhålla ett så litet spänningsfall som möjligt är naturligtvis, att man använder minsta möjliga strömstyrka i skenledningen, hvilket åter förutsätter, att högsta möjliga kontaktledningsspänning användes, och har det därvid befunnits, såsom i kapitlet om kontaktledningen framhållits, att en spänning af 15,000 volt lämnar fullgod driftsäkerhet. För att begränsa det totala spänningsfallet i skenorna får afståndet mellan transformatorstationerna naturligen ej tagas för stort. Då hela den sträcka, som skall matas från en kraftstation, ej är större, än att en matareledningsspänning af 30,000 volt är tillräcklig, synes det lämpligt att använda ett treledaresystem med $2 \times 15,000$ volt, hvarvid flere fördelar vinnas, bl. a. i afseende på kostnaden för transformatorer och instrumentering. Ett annat sätt att minska spänningsfallet i skenledningen, som i vissa fall torde kunna komma att användas, är det af bland andra Maschinenfabrik Oerlikon föreslagna sättet med s. k. »sugtransformatorer». Dessa utgöras af vanliga serietransformatorer, som hafva en lindning seriekopplad med kontaktledningen och en annan lindning seriekopplad med en matareledning till skenledningen. Dessa transformatorer öfverflytta spänningsfallet i skenledningen stegvis till kontaktledningen.

Metoder att minska spänningsfallet i skenledningen.

För att erhålla ett begrepp om periodtalets inverkan på spänningsfallet i ledningarne hafva mätningar utförts på hela den 10,73 km långa ledningen Värtan—Järfva. Resultatet af dessa mätningar är sammanställt i nedanstående tabell:

Periodtalets inverkan på spänningsfallet.

Periodtal	Volt	Amp.	KW.	$\cos \varphi$	Z	r	x
25,9	624	95,2	47,5	0,800	6,56	5,25	3,94
25,7	890	139,2	100,0	0,807	6,39	5,16	3,77
25,5	1145	182,4	168,2	0,805	6,28	5,06	3,73
20,3	565	93,6	44,5	0,842	6,04	5,09	3,26
20,1	970	165,8	137,7	0,856	5,85	5,01	3,03
14,9	733	134,0	90,0	0,916	5,47	5,01	2,20
15,2	886	162,4	131,8	0,916	5,46	5,00	2,19

I ofvanstående tabell angifva Z , r och x värdena på impedans, resistans och reaktans för hela ledningen inklusive matareledningen från kraftstationen, hvilken utgjordes af två 8 mm koppartrådar. För denna uppmättes r till 0,3 ohm och x till 0,148 ohm. Som synes af ofvanstående tabell, erhålles i detta fall vid minskning af periodtalet från 25 till 15 en minskning i ledningens impedans af cirka 20 procent.

För att emellertid göra begreppen klarare angående de olika faktorernas inverkan på spänningsfallet i banledningen måste tydligen en uppdelning

Teoretiska undersökningar.

göras. Dylika undersökningar hafva redan offentliggjorts af L. Lichtenstein (E. T. Z. år 1907 sid. 620) med flere, och är den i det följande upptagna utredningen delvis stödd på sålunda offentliggjorda uppgifter äfvensom på upplysningar och erfarenhetssiffror från de ledande firmorna på elektriska området.

Resistansen i banledningen är summan af kontaktledningens resistans r_l och skenledningens resistans r_s . Resistansen r_l är, på grund af att skärmverkan är ytterst obetydlig, för kontaktledningen approximativt lika med dess ohmska motstånd, under det att resistansen r_s är större än skenledningens ohmska motstånd, beroende på skärmverkan.

För bestämmande af r_s exkl. skarfmotståndet användes vanligen formeln:

$$r_s = \frac{k}{u} \sqrt{\frac{\mu \sim}{g}}$$

Reaktansen i banledningen består af två delar, nämligen dels kontaktledningens reaktans pr km $x_l = 4 \pi \sim 10^{-4} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{d}{c_1} \right)$ och dels spårets reaktans pr km $x_s = 2 \pi \sim 10^{-4} \left(\frac{\mu}{4} + \ln \frac{d^2}{c_0 n} \right)$

I formlerna för r_s , x_1 , x_2 och x_3 är:

k = en konstant,

u = skenans omkrets,

μ = skenans »ekvivalenta permeabilitet»,

\sim = periodtalet,

g = skenans ledningsförmåga,

d = kontaktrådens afstånd från ena skenan,

c_1 = kontaktrådens radie,

c_0 = skenans »ideella radie»,

n = afståndet mellan skencentra.

Värdet å banledningens totala impedans pr km Z_l kan beräknas ur uttrycket:

$$Z_l = \sqrt{(r_l + r_s)^2 + (x_l + x_s)^2}$$

Den ekvivalenta permeabiliteten och skenans ideella radie kunna ej hvar för sig bestämmas. Därför uppdelas lämpligen x_s i $x_2 + x_3$, af hvilka $x_2 = 4 \pi \sim 10^{-4} \left(\frac{\mu}{8} + \frac{1}{2} \ln \frac{n}{c_0} \right)$ och $x_3 = 4 \pi \sim 10^{-4} \ln \frac{d}{n}$

Af dessa kan x_3 lätt beräknas och x_2 experimentellt bestämmas, i det att reaktansen i en ledning, som bildas af ett spår med en skena som till och en som återledning, är pr km

$$2 \times 4 \pi \sim 10^{-4} \left(\frac{\mu}{4} + \ln \frac{n}{c_0} \right),$$

hvilket uttryck åter är $= 4x_2$.

För bestämmande af x_2 kunde således användas det i det föregående omnämnda, vid Tomtebodas utlagda isolerade försöksspåret. Detta spår bestod af två skensträngar, utlagda med normal spårvidd. Skenorna voro af

1896 års typ med en vikt af 40,5 kg pr meter och en area af 5,140 kvmm. Skensträngarnes längder utgjorde resp. 56,27 och 56,33 meter, och var den ena försedd med 5 och den andra med 6 skarfvär. För profvet sammankopplades de båda skensträngarne i ena änden medelst en tvärförbindning.

De skenförbindningar, som insattes parallellt med skarvfjärnen å de båda skensträngarne, utgjordes liksom den ofvan omnämnda tvärförbindningen af 6 mm koppartrådar, som i ändarne voro försedda med kopparpluggar, hvilka pressas in i för ändamålet borrade hål i skenlifvet. Vid de mätningar, som utfördes å detta spår, erhöles också värdet å skenresistansen inklusive skenskarfmotståndet. Mätningarne utfördes, sedan skarvfjärnen blifvit väl åtdragna, och uppmättes därvid, förutom spänning och strömstyrka äfven wattförbrukningen. De erhållna värdena äro sammanställda i nedanstående tabell.

Anmärkningar	Volt	Amp.	Watt	Cos φ	Z	r	x	r _s	x ₂
Normal spårvidd utan skenförbindningar	2,22	43,0	90	0,943	0,0516	0,0487	0,0172	0,216	0,076
	4,32	88,6	320	0,836	0,0488	0,0408	0,0268	0,181	0,119
	6,10	129,0	685	0,871	0,0473	0,0412	0,0233	0,183	0,104
	9,0	190,4	1450	0,826	0,0473	0,0400	0,0252	0,178	0,112
	6,2	134,0	710	0,854	0,0463	0,0396	0,0241	0,176	0,107
	4,6	84,4	360	0,829	0,0487	0,0404	0,0273	0,179	0,121
	2,46	47,0	110	0,955	0,0522	0,0499	0,0155	0,222	0,069
Normal spårvidd med skenförbindningar	1,5	45,0	42,5	0,630	0,0334	0,0210	0,0259	0,093	0,115
	2,98	88,0	160	0,610	0,0339	0,0207	0,0269	0,092	0,120
	4,55	129,0	362	0,617	0,0353	0,0218	0,0278	0,097	0,124
	6,95	192,0	885	0,663	0,0362	0,0240	0,0270	0,107	0,120
	4,86	136,0	415	0,628	0,0357	0,0224	0,0278	0,100	0,124
	3,28	96,0	200	0,635	0,0342	0,0217	0,0264	0,096	0,117
	1,55	46,6	50	0,692	0,0333	0,0230	0,0241	0,102	0,107
50 cm spårvidd utan skenförbindningar	1,78	39,2	69,5	0,996	0,0454	0,0452	—	0,201	—
	4,02	80,2	320	0,993	0,0501	0,0497	—	0,221	—
	6,1	124,1	745	0,985	0,0492	0,0484	—	0,215	—
	9,3	186,2	1600	0,924	0,0500	0,0462	—	0,205	—
	6,4	126,0	798	0,989	0,0508	0,0503	—	0,223	—
	4,65	89,0	410	0,991	0,0523	0,0518	—	0,230	—
	2,6	46,0	119	0,995	0,0565	0,0562	—	0,250	—
50 cm spårvidd med skenförbindningar	1,32	45,0	42,5	0,716	0,0293	0,0210	0,0205	0,093	0,091
	2,64	87,0	165,0	0,719	0,0303	0,0218	0,0211	0,097	0,094
	4,15	129,0	370,0	0,691	0,0322	0,0222	0,0233	0,099	0,104
	6,3	191,0	898,0	0,746	0,0330	0,0246	0,0220	0,109	0,098
	2,92	94,0	195,0	0,711	0,0311	0,0221	0,0217	0,098	0,096
	2,82	93,0	188,0	0,715	0,0304	0,0217	0,0213	0,096	0,095
	1,38	46,4	50,0	0,781	0,0297	0,0232	0,0186	0,103	0,083

I denna tabell betyda z , r , x profspårets impedans, resistans och reaktans. Värdena på r_s och x_2 äro sedan efter dessa uträknade, så att de gälla per km spår. På grund af de små utslagen på den använda wattmetern äro

värdena något osäkra, och variationen till stor del beroende på, att afläsningen ej kunnat göras så exakt som önskvärdt. Af tabellen framgår emellertid, att r_s , då skenförbindningar ej användas, kan antagas vara 0,2 och, då skenförbindningar användas, 0,1 ohm pr km spår. Värdet på x_2 blir enligt tabellen 0,12, hvilket värde emellertid på grund af strömkurvans form torde vara något för högt, enligt hvad som framgår af utredningen i bilaga n:r 5. Detta värde på x_2 har emellertid såsom varande på säkra sidan användts för här följande beräkningar. Om kontakttråden utgöres af 8 mm koppartråd, förlagd 5,5 meter öfver spåret, och om normal spårvidd antages, fås

$$r_l = 0,35 \text{ ohm/km}$$

$$x_1 = 0,235$$

$$x_3 = 0,041$$

Per km banledning blir således totala resistansen r

- 1) då skenförbindningar ej användas

$$r = 0,55 \text{ ohm}$$

- 2) då skenförbindningar användas

$$r = 0,45 \text{ ohm}$$

och totala reaktansen x blir

$$x = 0,396 \text{ ohm}$$

Om totala impedansen uträknas på grund af dessa värden, så erhålles

- 1) för spår utan skenförbindningar

$$Z_t = 0,68 \text{ ohm pr km}$$

- 2) för spår med skenförbindningar

$$Z_t = 0,60 \text{ ohm pr km.}$$

För jämförelse kan nämnas, att Lichtenstein erhöll värden på r_s , varierende mellan 0,055 och 0,075, om skenförbindningar användes, och 0,078 till 0,088 utan skenförbindningar. Hans försökspår bestod också af 40,5 kg:s räler, men vid detta försök lågo skenorna som vanligt utan extra isolation till jord, så att en del af strömmen banade sig väg genom jorden, och dessutom voro tydligen både skarfjärnen och skenförbindningarne i detta spår bättre ledande än de vid Tomtebodaförsöket använda. A. E. G. har för beräkning af r_s , då skenförbindningar användas, uppställt erfarenhetsformeln

$$r_s = \frac{2,6\sqrt{\sim}}{2u}$$

enligt hvilken för 40,5 kg:s räls skulle erhållas

$$r_s = 0,103.$$

Enligt Lichtensteins mätningar blir vid en mättningsströmstyrka af 100—200 amp.,

$$x_s = 0,14.$$

Hans mätningar visa alla, att skenornas permeabilitet ökas med strömstyrkan och att alltså x_s därvid också ökas något.

A. E. G. har uppgifvit, att man vid 25 perioder kan räkna med μ lika med 18 och c_0 lika med radien i en cirkel med samma yta som skenprofilen. Med dessa antaganden skulle för 40,5 kg räls erhållas

$$x_s = 0,20$$

Vid försöken har, som af det föregående framgår, endast för ledningen till Värtan, där kleinere räls och relativt dåliga skarvar förekomma, uppmätts så högt impedansvärde som 0,68 ohm pr km. Genom den i jorden framgående strömmen minskas impedansen högst betydligt. Kurvorna på bild 56 angifva, huru därvid skenledningens resistans r_s och den totala reaktansen x förändras. Å bild 56 hafva alla värden för r_s betecknats med stor bokstaf, under det att motsvarande värden för x betecknats med samma bokstaf i lilla alfabetet. Kurvorna A, a äro de på grund af siffrorna från försöks-spåret vid Tomtebodas uträknade värdena, hvarvid är att märka, att A gäller pr km spår utan skenförbindningar. Betydelsen af de öfriga kurvorna, som uppmätts och uträknats på analogt sätt med impedanskurvorna å bild 51, framgår af nedanstående tabell, där förutom kurvornas beteckning äfven är upptaget dels beteckning och längd af försökssträckan i de olika fallen, dels också datum, då kurvorna upptagits samt en anteckning angående väderleken.

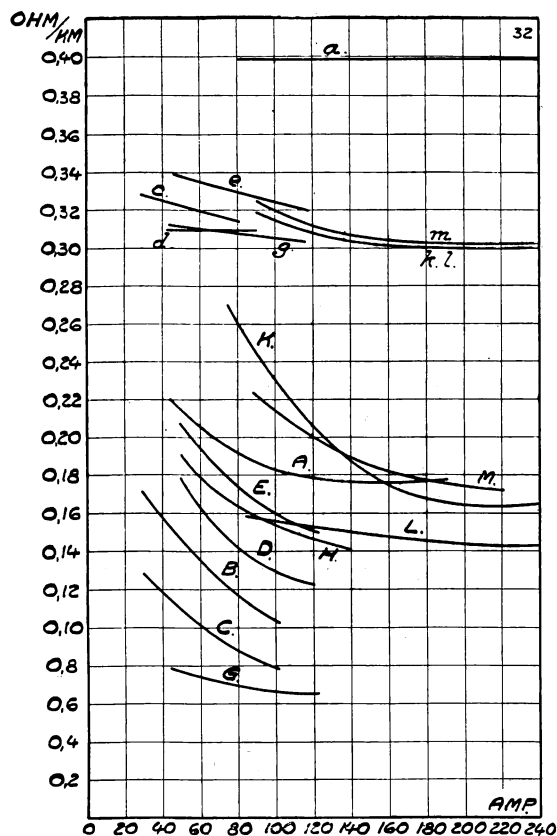


Bild 56. Kurvor, visande skenledningens resistans och reaktans.

Tabell till bild 56.

Kurvbeteckning		Sträckan	Längd i km	Datum	Anmärkingar
r_s	x				
A	a	Försöksspår	0,056	—	Spåret väl isoleradt
B	—	Tomtebodas—Rotebro	15,2	22/9 06	Torr mark, 9,6 km dubbelspår
C	c	»	15,2	8/2 07	Frusen mark, snö
D	d	Tomtebodas—Järfva	2,82	12/9 07	Mycket torr mark
E	e	»	2,82	12/9 07	D:o, spåret brutet vid Järfva
G	g	»	2,82	19/12 06	Mycket våt mark
H	—	Tomtebodas—Värtan	4,56	12/9 07	Torr mark
K	k	Värtan—Järfva	9,10	23/1 08	Våt mark
L	l	»	9,10	23/1 08	D:o, 2 timmar senare
M	m	»	9,10	23/1 08	D:o, spåret brutet i Värtan och Järfva

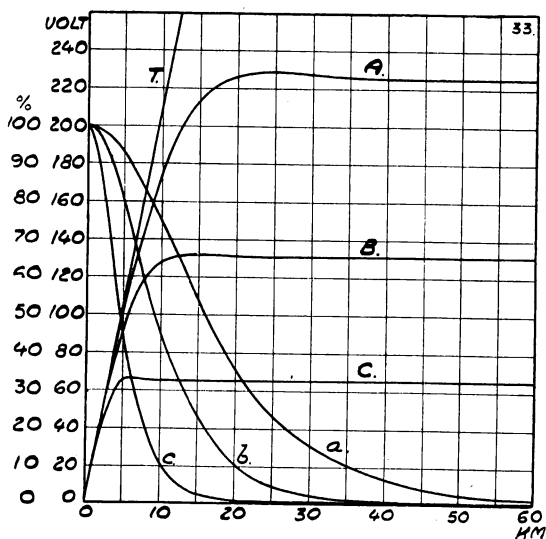


Bild 57. Spänningsfall och strömfördelning i återledningen vid jordmotståndet = 0.

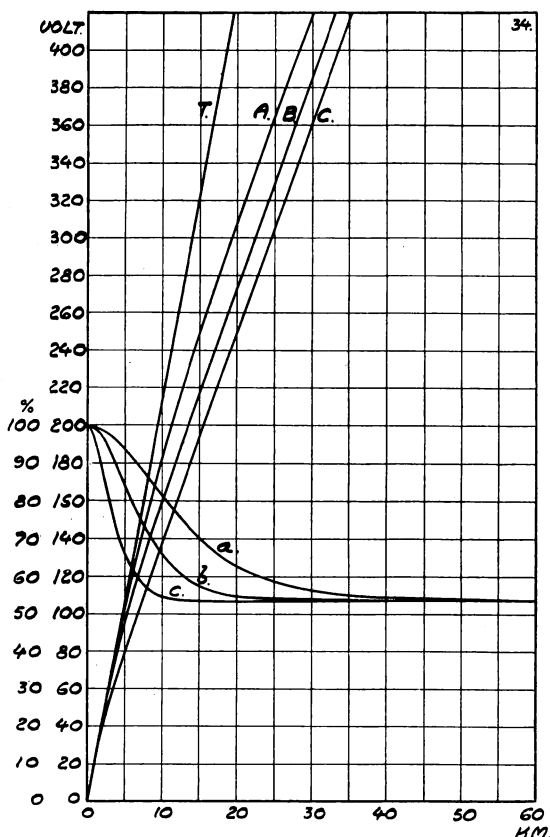


Bild 58. Spänningsfall och strömfördelning i återledningen vid jordmotståndet = 0,2 ohm/km.

haft en begränsad längd, och har denna

Då kurvorna E, e och M, m upptogs, var spåret, som anmärkts i tabellen, afbrutet bortom hopkopplingen mellan kontakt- och skenledningen, hvarigenom jordförbindningen af spåret blir sämre och jordströmmen mindre.

Kurvorna K och k äro upptagna på samma gång som kurvorna L och l och motsvaras af kurvorna M och L å bild 51. Kurvorna K och k voro de första, som vid ifrågavarande mätningstillfälle upptogs, och hafva de första punkterna tydligen upptagits, innan fortfarighets-tillståndet för motståndet inträdt. Af bild 56 framgår emellertid, att reaktanskurvorna k och l sammanfalla. Af alla kurvorna framgår vidare, att både resistansen r_s och reaktansen x minskas betydligt genom jordströmmen.

För att lämna en föreställning om, huru förhållandena gestalta sig vid återledning genom skenor och jord, då längre afstånd ifrågakomma, än det vid försöksanläggningen varit möjligt att erhålla, hafva kurvorna å bilderna 57 och 58 blifvit beräknade. Vid dessa beräkningar har skenledningens resistans antagits till 0,14 ohm pr km, hvilket värde för ett spår med innötta skarvar ansetts mera antagligt som ett medelvärde än det af ofvan anförda mätningar erhållna värdet 0,2 ohm pr km. Skenledningens reaktans har som ofvan antagits till 0,16 ohm pr km. För beräkningarne har vidare antagits, att spåret längd, uttryckt i km, för kur-

vorna tagits till abskissa. De med stora bokstäfver betecknade kurvorna ange spänningsförlusten i återledningen, då 100 amp. passerar, under det att de med små bokstäfver betecknade ange den strömstyrka, uttryckt i procent af den totala, som går fram i spåret midt mellan dess ändpunkter. Kurvorna A, a, B, b och C, c äro uträknade för ett öfvergångsmotstånd mellan skenor och jord af resp. 6, 2 och 0,5 ohm pr km. Vid beräkning af kurvorna T har detta öfvergångsmotstånd antagits oändligt stort, d. v. s. att ingen ström i så fall skulle framgå genom jorden. Vid beräkning af kurvorna å bild 57 har jordens motstånd antagits = 0, under det att för beräkning af kurvorna på bild 58 ett jordmotstånd af 0,2 ohm pr km antagits, hvilket på grund af försöksresultaten ansetts vara det högsta värde å jordmotståndet, som möjligen skulle kunna antagas. Emellertid torde intet af dessa båda antaganden om jordmotståndet vara fullt korrekt. De uppritade kurvorna torde emellertid utgöra begränsningen för de värden, som vid mätningar å en blifvande längre anläggning komma att erhållas, och hvilka naturligen beroende på jordmånens beskaffenhet komma att variera ganska betydligt.
